

**T.C.
MUĞLA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

BİYOLOJİ ANA BİLİM DALI

**TUZ VE SU STRESİ ALTINDAKİ MISIR (*Zea mays* L.)
BİTKİSİNDE PROLİN BİRİKİM DÜZEYLERİ VE STRES
PARAMETRELERİNİN ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Sultan KÖŞKEROĞLU

MUĞLA 2006

**T.C.
MUĞLA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

BİYOLOJİ ANA BİLİM DALI

**TUZ VE SU STRESİ ALTINDAKİ MISIR (*Zea mays* L.)
BİTKİSİNDE PROLİN BİRİKİM DÜZEYLERİ VE STRES
PARAMETRELERİNİN ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Hazırlayan: Sultan KÖŞKEROĞLU
Danışman : Yrd. Doç. Dr. A. Levent TUNA**

MUĞLA 2006

Yrd. Doç. Dr. A. Levent TUNA danışmanlığında Sultan KÖŞKEROĞLU tarafından hazırlanan bu çalışma 21/08/2006 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Biyoloji Ana Bilim Dalı'nda yüksek lisans/doktora tezi olarak oybirliği/oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Başkan: Prof. Dr. İbrahim YOKAŞ	İmza:
Üye : Prof. Dr. Güven GÖRK	İmza:
Üye : Yrd. Doç. Dr. A. Levent TUNA	İmza:
Üye :	İmza:
Üye :	İmza:

ÖNSÖZ

“Tuz stresi altındaki mısır bitkisinde (*Zea mays* L.) prolin birikim düzeyleri ve stres parametrelerinin araştırılması” isimli bu yüksek lisans tez çalışmasını bana öneren, çalışmalarımın her aşamasında bana yardımcı olan ve hiçbir zaman desteğini esirgemeyen, bu tez çalışmasını hazırlayabilmemde en büyük sebep olan değerli hocam **Yrd. Doç. Dr. Levent TUNA**’ya çok teşekkür ederim.

Yüksek lisans süresi boyunca maddi ve manevi her türlü desteği sağlayan aileme, özellikle babam **Hikmet KÖŞKEROĞLU** ve annem **Bahtiyar KÖŞKEROĞLU**’na sonsuz teşekkürler.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	II
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	III
ÖZET	V
ABSTRACT	VII
TABLolar VE ÇİZELGELER DİZİNİ	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ	X
SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ	XI
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ÖZETİ	8
2.1. Toprakta Tuz	8
2.2. Bitkide Tuz	12
2.2.1. Bitkide Sodyum ve Klorürün Alınımı, Taşınımı ve Birikimi	19
2.2.2. Tuz Toksitesinde Bitki Büyümesi ve Ortaya Çıkan	
Olumsuzluklar	22
2.2.2.1. Tuz Toksitesinde Su Noksanlığı	23
2.2.2.2. Tuz Toksitesinde Bitkide İyon Toksisitesi ve İyon	
Dengesizliği	24
2.2.2.3. Tuz Toksitesinde Kalsiyumun Önemi	27
2.2.2.4. Tuz Toksitesinde Fotosentez ve Respirasyon	29
2.2.2.5. Tuz Toksitesinde Protein Sentezi	30
2.2.2.6. Tuz Toksitesinde Fitohormonlar	31
2.2.3. Tuza Toleransta Adaptasyon Mekanizmaları	32
2.2.3.1. Tuzdan Sakınım ve Tuza Tolerans	33
2.2.3.2. Vejetatif Kısımlarda Tuz Dağılımı	35
2.2.3.3. Ozmotik Düzenleme	35
2.2.3.4. İyon Kompartıması ve Çözünebilir Organik	
Maddeler	36
2.2.3.5. Tuz Salgılanması	38
2.2.3.6. Fizyolojik Mekanizmalar	38
2.3. Bitkide Su Stresi	42
2.3.1. Bitki-Su İlişkisi	42

2.3.2. Su Stresinin Bitkideki Etkileri	43
2.3.2.1. Su Stresinin Büyüme ve Verim Üzerine Etkisi	45
2.3.2.2. Su Stresinin Hücre İçi Yapılarına Etkisi	46
2.3.2.3. Su Stresinin Hücre İçi Yapılarına Etkisi	47
2.3.2.4. Su Stresinin Fotosenteze Etkileri	47
2.3.2.5. Su Stresinin Azot Metabolizmasına Etkileri	49
2.3.3. Fizyolojik Kuraklık	49
2.3.4. Su Stresine Adaptasyon Mekanizmaları	49
2.3.4.1. Kuraklık Rezistansı	51
2.3.4.2. Kuraklık Toleransı ve Avoidansı	52
3.MATERYAL VE METOD	53
3.1. Materyal	53
3.2. Metod	54
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	59
5. SONUÇ	77
KAYNAKLAR	83
ÖZGEÇMİŞ	106

**TUZ STRESİ ALTINDAKİ MISIR BİTKİSİNDE (*Zea mays* L.)
PROLİN BİRİKİM DÜZEYLERİ VE STRES
PARAMETRELERİNİN ARAŞTIRILMASI**

(Yüksek Lisans Tezi)

Sultan KÖŞKEROĞLU

MUĞLA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

2006

ÖZET

Bu çalışma tuz stresi altındaki mısır bitkisinde (*Zea mays* L.) prolin birikim düzeyleri ve stres parametrelerinin araştırılması amacıyla yapılmıştır. Hidrofonik ortamda ve sera koşullarında yetiştirilen mısır bitkisinde; stres koşullarının prolin birikimi ve gelişme üzerine etkilerinin araştırıldığı bu çalışmada, kontrol, düşük tuz (5ds/m NaCl) ve yüksek tuz (10ds/m) içeren ortamlar oluşturulmuştur. Oluşturulan her 3 ortam da kendi arasında normal sulama ve PEG6000 uygulaması olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Su stresi yaratmak amacıyla -1 MPa basınç oluşturacak derecede PEG6000 uygulanmıştır. Kontrol olarak normal sulama suyu+besin çözeltisi kullanılmıştır. 3 tekrarlamalı bir saksı denemesi şeklinde kurulan denemede, yapraklarda meydana gelen prolin birikim düzeyleri araştırılmış ve stres koşullarına maruz bırakılan bitkilerde meydana gelen değişimler direkt olarak gözlemlenmiş ve gelişimi nasıl etkilediği araştırılmıştır.

Deneme sonunda yapılan analizlerde; yapraklarda membran geçirgenliği (EC %), prolin, klorofil ve karotenoid, antioksidatif enzimlerden SOD, POX, PPO aktiviteleri tayini yapılmış, ayrıca bazı bitki gelişim parametreleri saptanmıştır. Aynı zamanda, yaprak ve köklerin makro element içeriği belirlenmiştir.

Araştırma sonunda elde edilen verilere göre; artan tuzluluk ve su stresi koşulları ile, yapraklarda membran geçirgenliği artmış, klorofil ve karotenoid miktarı azalmış, antioksidatif enzim aktivitelerinde ise özellikle tuzlulukla beraber belirgin bir artış gözlenmiştir. Yaprak ve köklerin makro element içeriği ise artan Na miktarına paralel olarak azalma göstermiştir. Stres koşullarının artmasıyla birlikte bitki boyu, gövde çapı, gövde ve kök yaş ve kuru ağırlığı azalmıştır. Antioksidatif enzim aktivitesinde ve prolin miktarındaki artış; mısır bitkisinin tuz ve su stresine olan tepkisi ve stres koşullarının verdiği zararı en aza indirmek amacıyla oluşturduğu savunma mekanizmasının harekete geçmesi olarak nitelendirilmiştir.

Anahtar kelimeler : *Gelişme, Prolin, PEG6000, Antioksidatif enzimler (SOD,POX, PPO), Mısır, Tuz ve Su Stresi.*

Sayfa Adedi : 106

Tez Yöneticisi : Yrd. Doç. Dr. A. Levent TUNA

**THE INVESTIGATION on ACCUMULATION LEVELS of PROLINE and STRESS
PARAMETERS OF THE MAIZE (*Zea mays* L.) PLANT UNDER SALINITY**

(M. Sc. Thesis)

Sultan KÖŞKEROĞLU

MUĞLA UNIVERSITY
INSTITUTE of SCIENCE and TECHNOLOGY

2006

ABSTRACT

In this research is done to find out the accumulation levels of proline and stress parametres in the corn plant which is under the effect of salt stress. In the corn plant, grown at hydroponic environment and under the conditions of greenhouse; in this research where the stress conditions' effects on the development and accumulation, there formed settings including control, low-rate salt(5ds/m NaCl) and high-rate salt(10ds/m). These 3 settings each have been divided to two applications within themselves as normal watering and PEG6000. In order to create water stress,a certain amount of PEG6000 is used enough to create -1 MPa preassure. As a means of control, irrigation water and nutrition solution. In the experimentation conducted as a 3-repetition application, the accumulation levels of proline on the leaves are analysed and the changes occuring in the plants facing stress conditions are directly observed, and examined how they effected the development.

In the analyses after the experiments, designation of the membrane permeability in the leaves (EC %), SOD, POX, PPO activities from antioxidative enzymes, proline, chlorophyll, carotenoid are made and moreover and some plant growth parametres are determined. Also, the macro element content of the leaves and roots are specified.

According to the outcomes from the research, with the increasing salt rate and water conditions, the membrane permeability in the leaves have increased, chlorophyll and carotenoid amount has decreased and the antioxidative enzyme activities especially has largely increased due to this high rate salt. On the other hand the macro element content of the leaves and roots has decreased as paralel to increasing amount of Na. With the increasing conditions of stress, the height, diameter of stem, and the humid and dry weights of root and stem has decreased. The increase in the antioxidative enzyme activitiy and amount of proline is identified as the actuation of the defense mechanisms of the corn plant as a reaction to salt and water stress to lower the harm to the minumum level.

Keywords : *Growth, Proline, PEG6000, Antioxidative Enzymes (SOD, POX, PPO), Maize, Salinity and Water Stress.*

Page Number : 106

The Supervisor of The Thesis : Assistant Professor Dr. A. Levent TUNA

TABLolar VE ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Tablo No</u>	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1: Tuz ve su stresi altındaki mısır bitkisinde prolin, EC (%), klorofil a, klorofil b ve karotenoid miktarları.	59
Tablo 2: Tuz ve su stresinin mısır bitkisinin toprak üstü aksam kuru ve yaş ağırlık, kök kuru ve yaş ağırlık, bitki boyu ve gövde çapına etkisi.	64
Tablo 3: Tuz ve su stresi altındaki mısır bitkisinde yaprak makro element içerikleri.	68
Tablo 4: Tuz ve su stresi altındaki mısır bitkisinde kök makro element içerikleri.	69
Tablo 5: Tuz ve su stresi altındaki mısır bitkisinde çözünebilir protein miktarı ve süperoksit dismutaz (SOD), peroksidaz (POX), polifenol oksidaz (PPO) aktiviteleri.	72
<u>Çizelge No</u>	<u>Sayfa No</u>
Çizelge 1: Toprak tuz düzeylerine göre (1:1 soil:water; toprak: saf su karışımı) bitkilerin duyarlılıkları .	11
Çizelge 2: Tarla Bitkilerinin Tuz Toleransı.	13
Çizelge 3: Sebzelerin Tuz Toleransı.	13
Çizelge 4: Yumuşak ve Sert Kabuklu Meyvelerin Tuz Toleransı.	14
Çizelge 5: Çiçeklerin Tuz Toleransı.	14
Çizelge 6: Ağaçların Tuz Toleransı.	14
Çizelge 7: Çayır-Mera Bitkilerinin Tuz Toleransı.	15

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil no</u>	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1: Tuz birikimi sonucunda fiziksel ve kimyasal özellikleri bozulmuş bir toprakta bitki gelişimi.	8
Şekil 2: Tuz zararının bitki gelişimine etkileri.	16
Şekil 3: Su ve tuz stresi altındaki mısır bitkisinde prolin ve EC miktarlarının değişimi.	62
Şekil 4: Tuz ve su stresi altındaki mısır bitkisinde klorofil-a, klorofil-b ve karotenoid miktarlarındaki değişim.	63
Şekil 5: Tuz ve su stresi altındaki mısır bitkisinde gövde uzunluğunun değişimi.	65
Şekil 6: Tuz ve su stresi altındaki mısır bitkisinin gövde ve kök kuru ve yaş ağırlıklarının değişimi.	65
Şekil 7: Hidrofonik ortamda yetiştirilen mısır bitkisinde farklı tuz konsantrasyonlarının gövde ve kök uzunluğuna etkileri.	66
Şekil 8: Tuz ve su stresi altındaki mısır bitkisinin yaprak makro element içeriğindeki değişiklikler.	70
Şekil 9: Tuz ve su stresi altındaki mısır bitkisinin kök makro element içeriğindeki değişiklikler.	71
Şekil 10: Tuz ve su stresi altındaki mısır bitkisinin çözünebilir protein miktarındaki değişimler.	72
Şekil 11: Tuz ve su stresi altındaki mısır bitkisinde süperoksit dismutaz (SOD) aktivitesindeki değişiklikler.	74
Şekil 12: Tuz ve su stresi altındaki mısır bitkisinde peroksidaz (POX) aktivitesindeki değişiklikler.	74
Şekil 13: Tuz ve su stresi altındaki mısır bitkisinde polifenol oksidaz (PPO) aktivitesindeki değişiklikler.	75

SEMBOLLER DİZİNİ

nm	: Nanometre
ppm	: Milyonda bir
dS/m	: Decisiemens/metre (1 dS/m= 1 mS/cm= 1000 µS/cm)
mM	: Milimoles
MPa	: Megapaskal

KISALTMALAR DİZİNİ

Ağ.	: Ağırlık
EC	: Elektiksel Geçirgenlik
OP	: Ozmotik Basınç
SAR	: Değişebilir Sodyum Yüzdesi
ESP	: Adsorbe Edilen Sodyum
FW	: Yaş Ağırlık
RWC	: Bağlı Su Kapasitesi
PS II	: Fotosistem II
NaCl	: Tuz (Sodyum Klorür)
KCl	: Potasyum Klorür
CaCl₂	: Kalsiyum Klorür
K	: Potasyum
P	: Fosfor
N	: Azot
Ca	: Kalsiyum
Mg	: Magnezyum
Fe	: Demir
Cu	: Bakır
Zn	: Çinko
Mn	: Mangan
Cl	: Klor

O₂	: Oksijen
CO₂	: Karbondioksit
KNO₃	: Potasyum Nitrat
Ca(NO₃)₂	: Kalsiyum Nitrat
SOD	: Süperoksit dismütaz
APX	: Askorbat Peroksidaz
GR	: Glutatiyon Redüktaz
CAT	: Katalaz
POX	: Peroksidaz
PPO	: Polifenol Oksidaz
ABA	: Absisik Asit
CYT	: Sitokinin
GA	: Giberellik Asit

I. GİRİŞ

Bitkiler hareketsiz olduklarından dolayı istenmeyen çevresel koşullara maruz kalırlar. Ekstrem sıcaklık, kuraklık, tuzluluk, ışın, elektromagnetik alan, besin, metal toksitesi, kirlilik ve patojenler, bitki büyümesi, gelişmesi ve ürün verimliliğini önemli şekilde etkilemektedir. Bu istenmeyen çevresel koşullar gerçek ve potansiyel ürün verimi arasında %70'e varan kayba neden olabilmektedir. Bununla birlikte, bitkilerin ekstrem çevresel koşullarını tolere edebilme yeteneklerindeki çarpıcı genetik farklılıklar gözlenmektedir.

Tarımsal üretim alanlarında tuzluluk ve su noksanlığı, toprakların verimliliğini olumsuz yönde etkileyen bitkisel verimi sınırlandıran önemli problemlerdir. Türkiye topraklarında da önemli birer sorun olan tuzluluk son yıllarda artan drenaj yetersizliğinden dolayı giderek ciddi boyutlara varmaktadır.

Tuzluluk bitkilerde toksiteye ve mineral beslenme bozukluklarına yol açmakta ve sonuçta metabolizmayı tahrip etmektedir. Bu bağlamda, tuzluluk bir yandan üründe kalite düşüklüğüne, diğer yandan bitki gelişmesi ve büyümesinin sınırlandırılması sonucu bitkisel verimin önemli derecede azalmasına neden olmaktadır.

Dünyada sulanabilir toprakların % 33'ü tuzluluk probleminin etkisindedir (Vose, 1938). Ülkemizde ise bu arazilerin varlığı 1.5 milyon hektara ulaşmıştır (Dinç ve ark., 1993). Yanlış sulama ve aşırı gübrelemeyle birlikte drenaj yetersizliğinden dolayı, tuzluluk problemi giderek daha ciddi boyutlara ulaşmaktadır. Bu nedenle yeryüzünün büyük bir kısmı tarıma elverişli değildir. Çünkü tahıl bitkilerinin tuza toleransı diğer bitkilere göre çok düşüktür (Kocaçalışkan, 2002).

Geniş alanların tarım dışı kalmasına neden olan tuz stresi, değişik tuzların toprak ya da suda bitkinin büyümesini engelleyebilecek konsantrasyonlarda bulunması olarak tanımlanır. Bu tuzlar genelde klorürler, sülfatlar, karbonatlar, bikarbonatlar ve boratlardır. Ancak doğada en çok rastlanılan tuz formu sodyum klorür (NaCl)'dür.

Kocaçalışkan (2002)'a göre bitkiler tuz stresinden iki şekilde etkilenmektedir:

- 1- Ozmotik etki:** Topraktaki tuz miktarının artışı ozmotik basıncı arttırdığı için ve su potansiyelini düşürdüğü için köklerin su alımını engelleyerek bir çeşit kuraklık stresine sebep olur. Dolayısıyla bu çeşit tuz stresi gerek belirtileri gerekse sonuçları itibariyle bir kuraklık stresidir.
- 2- Toksik etki:** Tuz iyonlarının yüksek konsantrasyonlarda olması halinde bitkide toksik etkiler görülür. Özellikle sodyum iyonları bitkiye fazla alındığında halofit olmayan bitkilerde toksik etkiler oluşur. Mitoz bölünmenin engellenmesi, bazı enzimlerin inaktivasyonu gibi toksik etkiler görülür. Bu etkiler bitki gelişimi ve büyümesini önemli derecede sınırlandırır.

Tuzlu ortamda yetişen bir bitki için büyümeyi sınırlandırıcı faktörleri ise üç grupta toplamak mümkündür. Bunlar: a: su stresi, b: aşırı Na ve Cl alımı ile ilişkili iyon toksitesi, c: besin maddelerinin alımını, yeşil aksama taşınmasında stres nedeniyle oluşan dengesizlikler ve özellikle K ve kısmen Ca eksikliklerinin ortaya çıkması şeklinde özetlenebilir (Marschner,1995).

Tuz stresi bitkiyi doğrudan öldürebileceği gibi, bitkinin tuza toleransı ve ortamın tuz konsantrasyonuna bağlı olarak büyümeyi engellemekte, yaşlı yapraklardan başlayan klorofil ve membran parçalanmasına yani kloroz ve nekrozlara neden olmaktadır.

Tuzlu toprakların ıslahının ekonomik ve pratik olmaması nedeniyle, son yıllarda tuza dayanıklı bitki tür ve genotiplerin yetiştirilmesi, bu alanları değerlendirmede en akılcı yoldur. Yüksek oranda çözünebilir tuz içeren ortamlarda bitkilerin büyümesini ve kabul edilebilir bir verimle hayat devresini tamamlayabilme kabiliyeti olarak tanımlayabileceğimiz tuz toleransı, bitkide farklı şekillerde kendisini göstermektedir.

Marschner (1995)'e göre, bitkilerde tuza tolerans iki şekilde gerçekleşmektedir. Bunlardan birincisi, tuzdan sakınım (exclusion) mekanizmasıdır. Bu mekanizmaya sahip bitkiler tuzun alımını sınırlama yoluyla toksiteyi önleme yeteneğine sahiptirler. Tuzu

kabullenme (inclusion) diye belirtilen ikinci mekanizma ise bitkinin sodyum (Na) ve klor (Cl)'a doku toleransı göstermesi şeklinde işler.

Bitki Na'u fazla aldığı halde, bitkideki zararlanma az veya hiç yoksa, bitkide doku toleransından bahsedilebilmektedir. Bitkilerin tuza reaksiyonu, bitkinin gelişme dönemine, ortamdaki tuzun konsantrasyonuna, tuza maruz kalma süresine ve ışık, sıcaklık, toprak tekstürü gibi çevre koşullarına bağlı olarak değişebilmektedir (Greenways and Munns, 1980; Marschner, 1995).

Bitkilerin tuz stresinden etkilenme düzeyleri, çevre faktörleri ve bitkinin gelişme dönemine göre farklılık göstermekle beraber, farklı bitki türleri ve tür içerisindeki genotipler de tuza karşı farklı duyarlılık göstermektedir.

Bir genotipin tuz stresine karşı toleransını gösteren 200 adet morfolojik-fizyolojik parametre olduğu ileri sürülmektedir. Tuzdan sakınım veya tuzu kabullenmeye bağlı olarak tuza toleransın belirlenebilmesi için bitkilerin değişik doku ve organellerindeki iyonların (Na, K, Cl) birikimi (Sykes, 1987), bitkideki taşınımı ve dağılımı ya da translokasyonu (Hasegawa ve ark. , 1986), organik madde sentezleme ve biriktirme yetenekleri (Banuls ve Primo-Millo, 1992) ve farklı organların iyon dengelerinin (K/Na, Na/Ca) (Speer ve Kaiser, 1991) araştırıldığı görülmektedir.

Son yıllarda tuz toksitesine bağlı hücre tahribatının, bitkideki toksik olan O₂ radikalleri ile katalize edildiği düşüncesi giderek yaygınlaşmakta ve bu konuya büyük bir önemle değinilmektedir (Dionisio-Sese ve Tobita, 1998; Sreenivasulu ve ark. , 2000).

Tuzluluk tıpkı yüksek sıcaklık, kuraklık, düşük sıcaklık, don, herbisit uygulaması, mineral element eksikliği ve su noksanlığından kaynaklanan stres faktörlerinde olduğu gibi bitkilerde karbon (C) metabolizmasını ve elektron transport aktivitesini sınırlandırmakta ve bozmaktadır (Gueta-dahan ve ark., 1997; Sreenivasulu ve ark., 2000).

Tuz stresinde bitkilerin su kaybını azaltmak için stomalarını kapatmasıyla CO₂ girişi engellenmekte ve bunun sonucunda CO₂ fiksasyonu azalmaktadır (Brugnoli ve Lauteri, 1991; Makela ve ark., 1999). Stres koşullarında oluşan ve son yıllarda üzerinde en çok durulan zarar işte bu aşamada başlamaktadır. CO₂ fiksasyonunda kullanılmayan elektronlar ile absorbe edilen ışık enerjisi O₂'in aktivasyonunda, yani radikallerin sentezlenmesinde kullanılmaktadır

(Halliwell ve Gutteridge, 1985). Stres altındaki bitkide artan düzeylerde sentezlenen serbest radikaller hücrelere zarar vermekte, özellikle yavaşlama sürecine giren fotosentez etkinliğini daha da sınırlamaktadır. Sentezlenen O₂ radikalleri protein membran lipitleri ve nükleik asitler ile klorofil gibi hücre komponentlerini de bozmaktadır (Fridovich, 1986; Davies, 1987). Şimdiye kadar yapılmış birçok araştırma, tuz stresi altında yetişen bitkilerde görülen nekrozların oksijen radikallerince gerçekleştirilen lipit tahribatından ve klorozların ise oksijen radikallerinin klorofilleri parçalamasından kaynaklandığını göstermektedir (Salin, 1987; Gosset ve ark., 1994a; Streb ve Feirabend, 1996).

Son yıllardaki araştırmalar, stres altında antioksidant miktarlarını ve antioksidatif enzim aktivitelerini daha fazla arttıran bitkilerin, oksidatif zarara karşı daha dirençli olduğunu göstermektedir (Wise ve Naylor, 1987; Spsychalla ve Desborough, 1990).

Herhangi bir genotipin tuz stresine karşı toleransı, oluşan radikalleri hangi intensitede detoksifike ettiği ile ilişkilendirilmektedir. Kloroplastlar toksik oksijen türevlerine karşı antioksidatif savunma sistemlerine sahip olup, bu antioksidantların başında, vitamin E, vitamin C, glutatyon ve karotenoidler (beta-karoten ve zeaxanthin) gelmektedir. Süperoksit dismutaz (SOD), askorbat peroksidaz (APX), glutatyon redüktaz (GR), katalaz (CAT), peroksidaz (POX), polifenol oksidaz (PPO) gibi enzimler ise bu radikallerin yok edilmesinde en etkin antioksidatif enzimler olarak bilinmektedir (Cakmak ve Marschner, 1992; Cakmak, 1994; Gosset ve ark., 1994 a; Sreenivasulu ve ark., 2000).

Tuz stresi ile bağıntılı bir diğer stres çeşidi olan su stresi; bitkilerin ihtiyacı olan suyu alamaması durumudur. Bunun çeşitli sebepleri vardır. En önemlisi ve bitkilerin en çok karşılaştıkları ise toprakta yeterli suyun bulunmayışıdır. Diğer taraftan toprakta aşırı suyun bulunması da bitkinin su almasını engeller ki buna **fizyolojik kuraklık** denir. Bir başka sebep de topraktaki tuzun fazla olmasından dolayı serbest suyun bağılı hale geçmesinden kaynaklanan kuraklık durumudur ki bu da tuz stresi olarak nitelendirilir (Kocaçalışkan, 2002). Görüldüğü üzere esasında su ve tuz stresi birbiri ile bağıntılı iki kavramdır.

Bitki kökleri ancak toprak gözeneklerindeki serbest su moleküllerini absorbe edebilir. Zaten su potansiyeli kavramı bir ortamdaki serbest su moleküllerinin bir ölçüsüdür. Yani serbest su molekülleri ne kadar fazla ise su potansiyeli o kadar yüksektir. Su, genellikle su potansiyelinin yüksek olduğu ortamdan düşük olduğu ortama doğru hareket eder. Eğer

toprakta çözünen madde miktarı normal ise topraktan bitkiye su alınır. Fakat toprak aşırı gübreli ve düşük su potansiyeline sahip olursa bitki su kaybeder, böylece su stresine maruz kalır ve su alamayıp ölür.

Topraktaki su miktarı “**devamlı solma noktası**”nda ise (=toprakta bulunan su miktarının bitkinin kaybettiği su miktarında çok düşük olması, bitki hücrelerinin turgorlu duruma geçmesini sağlayamayacak kadar düşük olduğu değerdir.) bitkide solma gerçekleşir. Devamlı solma noktasında toprağın su potansiyeli çoğu yerlerde -1 MPa (megapaskal: su potansiyeli birimi) ile -2 MPa arasındadır. Ortalama olarak da -1,5 MPa’dır. Genellikle tahıl bitkileri -0,03 ile -1,5 MPa arasındaki su potansiyeline sahip topraklarda yetişirler.

Esasen, bitkiyi strese sokan en önemli şey; topraktaki su potansiyelinin azalmasıdır. Çünkü transpirasyonla olan su kaybı, eğer toprakta yeterli su varsa telafi edilebilir. Ancak toprakta yeterli su bulunmaz ve bitki buna karşı tolerans mekanizmalarını çalıştırmayıp su kaybederse bitkide su stresi görülür. Topraktaki su potansiyeli daimi solma noktasına geldiğinde (-1,5 Megapaskal) yaprakların su potansiyeli kökün ve toprağın su potansiyelinin aşağısındadır. Yani bir su potansiyeli farkı olmasına rağmen bitki su alamaz ve solmaya başlar. Bu uzun süre devam ederse bitki kuruyarak ölür. Toprakta su çok azaldığında, toprak kolloidlerince daha fazla çekildiğinden, köklerin emme gücü kolloidlerin emme gücünü yenemez ve su alımı olmaz. Böylece yaprak ve köklerde daimi solma noktasında, solma gerçekleşmiş olur (Kocaçalışkan, 2002).

Su stresi bitkilerde; büyüme ve verim, bitkinin vejetatif ve generatif organları arasında su rekabeti, hücre içi yapılar, fotosentez ve azot metabolizması üzerine olumsuz etkilerde bulunarak bitki metabolizmasını bozmaktadır (Kocaçalışkan, 2002).

Su noksanlığı bitkilerde turgorite kaybıyla beraber ozmotik potansiyelin de azalmasına neden olmaktadır. Su noksanlığına bir cevap olarak ortaya çıkan bu durum, bitkide çeşitli eriyebilir maddelerin birikimine neden olmakta ve vakuolden yapraklara su ile birlikte taşınan ozmotik maddelerin miktarlarında artışlara neden olmaktadır. Bu durum kök bölgesindeki ozmotik potansiyel ve su alımı mekanizması çerçevesinde **ozmotik uyum** veya **ozmoregülasyon** olarak tanımlanmaktadır. Osmotik uyum kuraklık, su ve tuz stresine karşı bitkinin yaşamsal faaliyetlerini sürdürebilmesi açısından oldukça önemli bir mekanizmadır.

Bu yaşamsal faaliyetler arasında stomatal ve fotosentetik uyum mekanizmaları, bitki gelişmesi ve ürün vermesi ile hücre gelişiminin devamlılığı sayılabilir (Pesserakli, 1989).

Kocaçalışkan (2002)'e göre su stresi altındaki bitkilerde en önemli fizyolojik mekanizma olan ozmoregülasyon iki yolla sağlanır:

- 1- **Avoidans yolu:** Su kaybını azaltarak (stomaların kapanması, kalın-mumsu kutikula, yaprak tüylerinde artış).
- 2- **Tolerans yolu:** Suda çözünmeyen (nişasta gibi) maddeler enzimler tarafından hidrolize edilerek ozmotik basınç arttırılır ve böylece hücrenin su alması sağlanır.

Su stresinin başlangıcında ozmotik ayarlama yolu ile tam bir turgor meydana gelebilir. Fakat stres devam ettikçe ozmotik ayarlama bir azalma görülmektedir.

Görüldüğü üzere hem tuz, hem de su stresi bitkilerde birçok metabolik olayı olumsuz yönde etkileyen ve özellikle kültür bitkilerinde ürün kalitesi ve verimi düşüren önemli faktörlerdir. Stres faktörleri ve bitkinin stres koşullarında geliştirdiği mekanizmalar açısından bir değerlendirme yapıldığında her iki stres faktöründe de strese cevap niteliğinde, belirli parametrelerde değişiklikler olmakta ve bu değişiklikler iki faktör açısından değerlendirildiğinde birbirine yakın sonuçlar vermektedir.

Diğer birçok stres faktörlerinde olduğu gibi tuz ve su stresi oluşturan koşulların bazı enzimlerin, poliaminlerin ve aminoasitlerin (örneğin; prolin) düzeylerinde artışa neden olması, miktarı artan kimyasalların bitkilerde bir stres mekanizması göstergesi olduğu fikrini ortaya koymaktadır. Olumsuz stres koşullarının devamı nedeniyle bitki gelişimini sekteye uğratabilecek derecede fiziko ve biyokimyasal olaylarda bozulmalar olarak bitki büyüme ve gelişiminde, bitkideki mineral beslenme dengesinde, protein metabolizmasında, fotosentez ve transpirasyon olaylarında aksamalar meydana gelecektir. Literatürde her iki yönde de bulgular yer almaktadır (Ünsal, 1998).

Bu tez çalışmasında bitki-stres ilişkisini yukarıda açıklanan ilkeler doğrultusunda irdelemek amacıyla mısır bitkisi kullanılarak sera koşullarında bir deneme kurulmuş, stresin bitkilerde yarattığı olumsuz koşullar araştırılmış, strese bir cevap niteliğinde oluşan prolin birikim seviyesi araştırılmış ve bitkideki hasar düzeyleri ortaya koyularak stres koşullarına verilen bu cevapların bitkide verim, kalite ve diğer bazı önemli biyokimyasal olayları

etkileme dereceleri araştırılmıştır. Deneme su kültür yöntemi (hidrofonik yetiştirme ortamı) kullanılarak yürütülmüştür. Denemede strese dayanıklılığın fizyolojik nedenlerinin ortaya konulması amacıyla mısır bitkisinde protein konsantrasyonu, SOD, POX ve PPO gibi enzim aktiviteleri araştırılmış ve bu parametreler arasındaki etkileşimler incelenmiştir.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

2.1. Toprakta Tuz

Tuzluluk dünya topraklarının önemli sorunlarından biridir. Tarımsal ya da peyzaj sulama uygulamalarının yanlış yapılması, özellikle doğal drenaj koşullarının kötü olduğu kurak ve yarı kurak yerlerde tuzluluk sorununun ortaya çıkmasına neden olabilmektedir. Sulamanın olduğu her yerde toprağa tuz iletimi de söz konusudur. Sulamada kullanılan yerüstü ve yeraltı sularının tamamı da bünyelerinde erimiş olarak tuzları bulundurlar. Topraktaki su buharlaşma ve bitki kullanımıyla tüketildiğinde geride bu tuzlar kalarak birikmektedir. Toprakta biriken tuzlar, toprağın fiziksel ve kimyasal özelliklerini bozmakta ve bitki gelişimini de olumsuz yönde etkilemektedir. (Şekil 1). Yetiştirilen bitkinin veriminde görülecek azalmalar, toprak çözeltisinin konsantrasyonuna bağlı olduğu kadar, bitkinin tuza dayanımı ile de ilgilidir (Ekmekçi ve ark., 2005).



Şekil 1: Tuz birikimi sonucunda fiziksel ve kimyasal özellikleri bozulmuş bir toprakta bitki gelişimi.

Çözünebilir tuzlar, bitkiler tarafından kolayca alınabilirler. Bitki bünyesine giren tuz bileşikleri çeşidine ve miktarına göre belli bir konsantrasyonu aşınca bitkiye zararlı olmaktadır. Bitki üzerinde, beslenme ve metabolizmayı bozmak yoluyla zehirleyici etki yaparlar. Ayrıca toprakta tuz konsantrasyonunun artmasıyla, bitkinin topraktan su alımı güçleşmekte, toprağın yapısı bozularak bitki gelişimi yavaşlamakta, hatta durmaktadır (Kanber ve ark., 1992; Güngör ve Erözel, 1994). Toprak içerisinde yeterli miktarda su bulunmasına rağmen bazı koşullar altında bitkilerin solmaya başladıkları görülmüştür. Bu durum genellikle yüksek toprak tuzluluğunun yarattığı ‘fizyolojik kuraklık’ durumundan kaynaklanmaktadır. Fizyolojik kuraklık durumunda yüksek ozmotik basınç nedeniyle bitki kökleri topraktaki mevcut suyu alamamaktadırlar (Ayyıldız, 1990).

Toprakta bitki gelişmesinin iyi bir göstergesi olan ozmotik basınç (OP) 20 atm’e ulaştığında bitki gelişmesi kısıtlanmakta, 40 atm’e yükseldiğinde ise bitki ölümleri görülmektedir. Ozmotik basınç ile saturasyon çamurunun elektriksel iletkenliği arasındaki ilişki aşağıdaki eşitlikle verilmektedir (Güngör ve Erözel, 1994).

$$OP = 0.36 (EC \times 10^3)$$

Eşitlikte;

OP; Ozmotik basınç (atm),

$EC \times 10^3$; Saturasyon ekstraktının elektriksel iletkenlik değeri (dS/m, 25 °C)’ni belirtir.

Toprak suyu tuzluluğunun kültür bitkilerinin gelişmesi üzerindeki zararlı etkileri şu şekilde özetlenebilir;

- Yavaş ve yetersiz çimlenme,
- Fizyolojik kuraklık, solma ve kuruma,
- Bodurluk, küçük yapraklar, kısa gövde ve dallar,
- Mavimsi yeşil yapraklar,
- Çiçeklenmenin gecikmesi, daha az çiçek açma ve tohumların daha küçük olması,
- Tuza dayanıklı yabancı otların ortamda gelişmesidir.

Bitkilerin normal gelişmeleri için toprakta sürekli olarak, gelişmelerini engellemeyecek düzeyde suyun bulunması gerekmektedir. Kök bölgesinde suyun azalması ile bitkilerin su kullanımlarında da azalma görülmektedir. Tuzluluk toprak ortamında bitkinin suyu kolaylıkla almasını engelleyen durumlardan birisidir. Kök bölgesi çözelti ortamında tuz

konsantrasyonunun artması ile bitkinin bu suyu alabilmek için harcamak zorunda kaldığı enerji miktarı da artar ve sonuçta tuzluluk arttıkça bitkinin su kullanımı azalır. Bitkinin su kullanımının zorlaşması ve su kullanımının azalması, bitki verimi ve kalitesini azaltıcı etkide bulunur (Yurtseven ve Bozkurt, 1997; Yurtseven, 2000; Yurtseven ve ark., 2001b; Kara ve Apan, 2000).

Tuzlulaşma kök bölgesinin tuzluluk düzeyinin verim ve kaliteyi olumsuz etkileyecek kadar artması, çeşitli etkiler sonucunda toprağın verimlilik potansiyelini doğrudan yönlendirici bir unsur olmaktadır. Kök bölgesine çeşitli nedenlerle iletilen tuzlar burada biriktirilirse, zaman boyutunda bitki verimi ve kalitesi, gittikçe artan oranlarda etkilenecektir. Kök bölgesi içerisindeki tuzluluğun en önemli faktörü, sulama suyunun tuz konsantrasyonu ya da yüksek tuzluluktaki taban suyu olabilir. Belli bir konsantrasyonda toprağa iletilen sulama suyu, toprak içerisinde tutulduktan sonra, bitki kullanımı ve buharlaşma ile eksilmeye başlar. Bu sırada tuzların büyük bölümü toprak içerisinde kalmaktadır (Yurtseven, 1999). Toprak tuzlulaşması iklim öğelerinden özellikle sıcaklık ve nemliliğin etkisi altındadır. Hava sıcaklığı ve hava nemi, gerek toprak yüzeyinden olan buharlaşmayı ve gerekse bitki yapraklarından olan terlemeyi kontrol edici bir etkiye sahiptir. Buharlaşma ve terlemenin artmasıyla kök bölgesi içerisinde ve toprak yüzeyindeki suyun eksilmesi hız kazanır (Yurtseven, 1999; Kanber ve ark., 1992).

Su içerisinde bulunan bileşikler, topraktaki organik ve inorganik komplekslerle fiziksel ve kimyasal tepkimeye girerler. Bunun sonunda istenen veya istenmeyen bazı toprak özellikleri ortaya çıkar. Örneğin suda kalsiyumun olması, toprağın hava su geçirgenliğini artırırken, sodyumun olması bunun tersi bir durum ortaya çıkarır. Toprakta adsorbe edilen kation dağılımı toprak suyu ile denge halindedir. Sulama ve gübreleme ile toprakta tutulan iyonların dağılımı değişir. Kalsiyum, magnezyum ve alüminyum gibi iki ve üç değerli kationlar, sodyum ve potasyum gibi bir değerli kationlara kıyasla kil zerrelere yüzeyinde daha kuvvetle tutulurlar. Bu nedenle bu kationlar kil zerrelere daha büyük ve stabil agregatlar halinde bir araya toplanmasını ve dolayısıyla daha iyi yapıdaki tarım topraklarının meydana gelmesini sağlarlar. Böylece ortama kalsiyumun hakim olması sonucu, granüle bir yapı oluşur. Toprak kolayca işlenen, geçirgen bir özellik kazanır. Düşük tuz konsantrasyonuna sahip topraklarda aralarında sodyumun da yer aldığı değişebilir kationların hakim duruma geçmesi toprak yapısının bozulmasına neden olur. Sodyumsuz durumda su kolaylıkla infiltre olurken, sodyumlu durumda bu mümkün olmaz ve su toprak

üzerinde birikir. Toprakta adsorbe edilen sodyum (SAR) değeri %10-15'i geçtiğinde, kil kompleksleri disperse hale geçer, geçirgenlik azalır, toprak işleme güçleşir, çimlenme zayıflar. Dolayısıyla bitki gelişimi olumsuz yönde etkilenir. Toprakta birikmesi olası değişebilir Sodyum Yüzdesi (ESP) miktarı SAR değeri kullanılarak hesaplanabilir. Nicelik olarak sodyumlu toprak, ESP>15 olan topraklardır. Tuzlu topraklarda ESP<15, tuzlu-sodyumlu topraklarda ESP>15'tir (Kanber ve ark., 1992).

Sulamamın olduğu her yerde toprağa tuz iletimi de söz konusudur (Yurtseven, 1999; Akgül, 2002; Yurtseven ve Bozkurt, 1997; Kanber ve ark., 1992). Sulama suları ile toprağa iletilen tuzlar, toprak çözeltisi içerisinde birikerek üzerinde yetiştirilen bitkiyi farklı biçimlerde etkilerler. Bu tuzlar toprak fiziksel özelliklerini etkileyebileceği gibi doğrudan bitki üzerine toksik yani zehir etkisi de yapabilirler ve sonuçta verimde azalmalar oluşacaktır (Kara ve Apan, 2000).

Toprak tuzluluğu, diğer bir adı ile **elektriksel geçirgenlik (EC)**; toprakta bulunan eriyebilir tuzların bir göstergesidir. Toprak tuz düzeylerine, yani toprağın elektriksel geçirgenliğine göre bitkilerin tuza dayanıklılıklarının sınıflandırılması çizelge 1'de verilmiştir.

Tuzluluk (EC –dS/m-)	Bitki Tepkisi
0-0.98 Çok az tuzlu	Tuzluluk etkisi çoğunlukla ihmal edilir.
0.98-1.71 Az tuzlu	Çok duyarlı bitkilerin ürün verimi düşebilir.
1.71-3.16 Tuzlu	Birçok bitkinin ürün verimi düşer.
3.16-6.07 Çok tuzlu	Tuza dayanıklı bitkiler normal verim verebilir.
> 6.07 Aşırı tuzlu	Tuza çok dayanıklı birkaç bitki ürün verebilir.

Çizelge 1: Toprak tuz düzeylerine göre (1:1 soil :distile water; toprak:saf su karışımı) bitkilerin duyarlılıkları (Soil Quality Test Kit Quide, 1999).

2.2. Bitkide Tuz

Toprakta karbonatlar, sülfatlar, klorürler, nitratlar ve boratlar gibi her çeşit tuza rastlamak mümkündür. Sodyum klorür (NaCl) ise en fazla rastlanan, çözünürlüğü çok yüksek olmasından dolayı da toksik etkisi en fazla olan tuzdur. Bu sebeple bitkilerde görülen tuz stresi çoğu kez Na tuzlarından, özellikle de NaCl tuzundan kaynaklanmaktadır. Sodyum tuzlarının yüksek konsantrasyonlarında yetişebilen bitki türlerini tanımlamak için “**halofit**” terimi kullanılmaktadır. Yüksek Na tuzu konsantrasyonlarında yetişemeyen, zarar gören bitki türleri ise “**glikofit**” (şekerce zengini) bitkiler olarak tanımlanmaktadır (Levitt, 1980).

Tarımı yapılan kültür bitkilerinin tuzluluğa karşı tepkileri değişiktir. Bazı bitkiler tuzluluğa karşı daha hassas iken, bazı bitkiler daha dayanıklıdır. Dayanıklı bitkiler, tuzlu topraklarda su gereksinimlerini karşılamak amacıyla ozmotik etkiye karşı daha fazla güç geliştirebilen bitkilerdir. Bitkinin tuza dayanımlarının incelenmesi, özellikle toprak tuzluluğunun belirli bir düzeyin altına düşürülemediği alanlarda, ekonomik düzeyde ürün verebilecek bitkilerin seçilerek yetiştirilmesi amacıyla önemlidir (Kotuby ve ark., 1997).

Kültür bitkilerinde ortamın tuzluluğu arttıkça elde edilen ürün miktarı da bitkinin dayanım düzeyine göre azalmaktadır. Çizelge 2, 3, 4, 5, ve 7 bazı bitkilerin vejetasyon dönemlerinde ortamın tuzluluk düzeyine göre verimlerinde meydana gelen azalmayı göstermektedir (FAO, 1976; Kotuby ve ark., 1997; Bayraklı, 1998; Kanber ve ark., 1992). Çizelgelerdeki değerler tuz konsantrasyonundaki artma ile verim azalması arasında doğrusal bir ilişkinin olduğu varsayılarak geliştirilmiştir. Bu amaçla aşağıdaki eşitlik kullanılmaktadır (Kanber ve ark., 1992; FAO, 1976).

$$Y_r = 100 - b(EC_e - a)$$

Eşitlikte;

Y_r ; Oransal bitki verimi (%),

EC_e = Çamur süzüğü (Saturasyon ekstraktı) tuz konsantrasyonu,

EC_w = Sulama suyu tuz konsantrasyonu,

a ; tuzluluk eşik değeri (Verimin %100'den düşmeye başladığı EC değeri),

b ; Birim tuzluluk artışına karşılık verim kaybı'dır.

Bitki Çeşidi	Eşik Değer		Verimdeki Azalma (%)					
	EC _e (dS/m)	EC _w (dS/m)	10		25		50	
			EC _e (dS/m)	EC _w (dS/m)	EC _e (dS/m)	EC _w (dS/m)	EC _e (dS/m)	EC _w (dS/m)
Arpa	8.0	5.3	10.0	6.7	13.0	8.7	18.0	12.0
Fasulye	1.0	0.7	1.5	1.0	2.3	1.5	3.6	2.4
Mısır	1.7	1.1	2.5	1.7	3.8	2.5	5.9	3.9
Pirinç	3.0	2.0	3.8	2.6	5.1	3.4	7.2	4.8
Pamuk	7.7	5.1	9.6	6.4	13.0	8.4	17.0	12.0
Sorgum	4.0	2.7	5.1	3.4	7.2	4.8	11.0	7.2
Şeker Pancarı	7.0	4.7	8.7	5.8	11.0	7.5	15.0	10.0

Çizelge 2: Tarla Bitkilerinin Tuz Toleransı (FAO, 1976; Kotuby ve ark., 1997; Bayraklı, 1998; Kanber ve ark., 1992)

Bitki Çeşidi	Eşik Değer		Verimdeki Azalma (%)					
	EC _e (dS/m)	EC _w (dS/m)	10		25		50	
			EC _e (dS/m)	EC _w (dS/m)	EC _e (dS/m)	EC _w (dS/m)	EC _e (dS/m)	EC _w (dS/m)
Brokoli	2.8	1.9	3.9	2.6	5.5	3.7	8.2	5.5
Pancar	4.0	2.7	5.1	3.4	6.8	4.5	9.6	6.4
Ispanak	2.0	1.3	3.3	2.2	5.3	3.5	8.6	5.7
Domates	2.5	1.7	3.5	2.3	5.0	3.4	7.6	5.0
Lahana	1.8	1.2	2.8	1.9	4.4	2.9	7.0	4.6
Soğan	1.2	0.8	1.8	1.2	2.8	1.8	4.3	2.9
Biber	1.5	1.0	2.2	1.5	3.3	2.2	5.1	3.4
Havuç	1.0	0.7	1.7	1.1	2.8	1.9	4.6	3.1
Marul	1.3	0.9	2.1	1.4	3.2	2.1	5.2	3.4

Çizelge 3: Sebzelerin Tuz Toleransı (FAO, 1976; Kotuby ve ark., 1997; Bayraklı, 1998; Kanber ve ark., 1992)

Bitki Çeşidi	Eşik Değer		Verimdeki Azalma (%)					
	EC _e (dS/m)	EC _w (dS/m)	10		25		50	
			EC _e (dS/m)	EC _w (dS/m)	EC _e (dS/m)	EC _w (dS/m)	EC _e (dS/m)	EC _w (dS/m)
Elma	1.7	1.0	2.3	1.6	3.3	2.2	4.8	3.2
Badem	1.5	1.0	2.0	1.4	2.8	1.9	4.1	2.7
Kayısı	1.6	1.1	2.0	1.3	2.6	1.8	3.7	2.5
Böğürtlen	1.5	1.0	2.0	1.3	2.6	1.8	3.8	2.5
Nektarin	1.6		2.0		2.6		3.7	
Şeftali	1.7	1.1	2.2	1.4	2.9	1.9	4.1	2.7

Çizelge 4: Yumuşak ve Sert Kabuklu Meyvelerin Tuz Toleransı (FAO, 1976; Kotuby ve ark., 1997; Bayraklı, 1998; Kanber ve ark., 1992)

Hassas	Orta Hassas	Dayanıklı
EC _e <2.0 dS/m	EC _e =2.0-3.0 dS/m	EC _e =3.0-4.0 dS/m
Sardunya Zambak Gardenya	Karanfil Krizantem	Gül

Çizelge 5: Çiçeklerin Tuz Toleransı (FAO, 1976; Kotuby ve ark., 1997; Bayraklı, 1998; Kanber ve ark., 1992)

Hassas	Orta Hassas	Dayanıklı
EC _e <2.0 dS/m	EC _e =2.0-3.0 dS/m	EC _e =3.0-4.0 dS/m
Kayın Fındık Akçaağaç Küçük yapraklı ıhlamur Kavak	Alıç (Akdiken) Ihlamur Manolya Meşe Çınar Ceviz	Dişbudak Kavak Karaçam Söğüt Meşe

Çizelge 6: Ağaçların Tuz Toleransı (FAO, 1976; Kotuby ve ark., 1997; Bayraklı, 1998; Kanber ve ark., 1992)

Bitki Çeşidi	Eşik Değer		Verimdeki Azalma (%)					
	EC _e (dS/m)	EC _w (dS/m)	10		25		50	
			EC _e (dS/m)	EC _w (dS/m)	EC _e (dS/m)	EC _w (dS/m)	EC _e (dS/m)	EC _w (dS/m)
Yüksek otlak ayrağı	7.5	5.0	9.9	6.6	13.3	9.0	19.4	13.0
Otlak ayrağı	3.5	2.3	6.0	4.0	9.8	6.5	16.0	11.0
Arpa	6.0	4.0	7.4	4.9	9.5	6.3	13.0	8.7
İtalyan çimi	5.6	3.7	6.9	4.6	8.9	5.9	12.2	8.1
Yonca	2.0	1.3	3.4	2.2	5.4	3.6	8.8	5.9
Köpek dişi	1.5	1.1	3.1	2.1	5.5	3.7	9.6	6.4
Çayır tilki k.	1.5	1.0	2.5	1.7	4.1	2.7	6.7	4.5

Çizelge 7: Çayır-Mera Bitkilerinin Tuz Toleransı (FAO, 1976; Kotuby ve ark., 1997; Bayraklı, 1998; Kanber ve ark., 1992)

Bitki yetiştirme ortamındaki fazla tuz bitkinin gelişmesini önemli ölçüde sınırlar. Tuzlar bitki büyümesine üç şekilde etki ederler;

Fiziksel etki; Ozmotik basıncın yükselmesi sonucu bitkinin su alımı ve dolayısıyla beslenmesi yavaşlar veya tamamıyla durur. Bitki su alımında güçlük çeker. Buna **ozmotik basınç etkisi** de denir.

Kimyasal etki; Bir kısım tuzlar, bitki besin maddelerinin alımını zorlaştırıp, metabolizmayı bozarak bitkinin bünyesine zarar verirler. Buna **özel iyonların toksitesi** de denir.

Dolaylı Etkiler; Tuzluluk veya sodyumluluğun toprak üzerinde meydana getirdiği değişiklikler, bitkilerin gelişmesine etki eder. Örneğin su alımının sağlanması için metabolik enerjinin kullanılması ve verimde düşme meydana gelmesi gibi (Ekmekçi ve ark., 2005).

Tuz zararı bitkilerde çok değişik şekillerde ortaya çıkabilir. Tuz toksitesinin ilk belirtileri yaşlı yaprakların uçlarından başlayıp yaprak ayasına ve sapına doğru ilerleyen ve daha sonra nekrozlara dönüşen klorozlardır (Mer ve ark., 2000). (Şekil 2). Tuz toksitesinin

bitkilerde neden olduğu zararın en önemlisi, büyüme ve gelişmenin engellenmesidir. Tuzlu koşullarda yetişen bitkilerin büyüme hızı düşüktür, habitusları bodurdur, yaprakları çoğunlukla ufak ve koyu yeşildir.



Şekil 2: Tuz zararının bitki gelişimine etkileri.

Yurtseven ve Baran (2000)'ın bildirdiğine göre Maas ve Hoffman (1977) tuzluluğun artması ile belli bir noktadan sonra verimde sürekli bir azalmanın söz konusu olduğunu vurgulamışlardır. Genelde sebzeler kültür bitkilerine oranla tuzluluğa daha duyarlıdır. Sebzeler 1.0-3.8 dS/m dolaylarındaki tuzluluklarda verimde azalma göstermeye başlarlar (Ekmekçi ve ark., 2005).

Kanber ve ark. (1992)'nın bildirdiğine göre Bernstein (1964)'in araştırma sonuçları göstermiştir ki, bitkilerin tuz direnci büyüme mevsiminin sonuna doğru artmaktadır. Ancak, birkaç bitki bu kuralın dışına çıkmaktadır. Örneğin çeltik (*Oryza sativa* L.), çiçeklenme ve tohum bağlama dönemlerinde tuzluluğa karşı çok duyarlı olduğu halde, çimlenme ve tohum bağlama dönemlerinde çok dirençlidir. Genellikle hemen hemen tüm bitkiler ekim ve ilk gelişme dönemlerinde tuza karşı çok duyarlıdır.

Arpa, buğday (*Triticum aestivum*) ve çeltik (*Oryza sativa* L.) özellikle fide devresinde tuza karşı daha duyarlıdır. Bu devrede tuzluluk 4-5 dS/m'yi geçmemelidir. Şekerpancarı (*Beta vulgaris var rapa*) özellikle çimlenme devresinde tuza karşı duyarlıdır. Bu devrede toprak tuzluluğu 3 dS/m'den fazla olmamalıdır (Bayraklı, 1998).

Yurtseven ve Bozkurt (1997) yaptıkları çalışmada; sulamada dört farklı sulama suyu tuzluluğu ve iki farklı SAR oranı konularının marul bitkisinde verim ve kaliteye etkisini araştırmışlardır. Çalışma sonucu olarak sulama suyu tuzluluğu ve sodyumluluğundaki artışa bağlı olarak marul (*Lactuca sativa*) gelişiminde önemli azalmalar olduğunu belirtmişlerdir.

Yurtseven ve Baran (2000) brokoli (*Brassica oleracea botrytis*) bitkisi için sulama suyu tuzluluğu ve su miktarlarının verim ve mineral madde içeriğine etkisini araştırmışlardır. Bitki verimi üzerine sulama suyu tuzlulukları ile sulama suyu miktarlarının her ikisi de etkili olurken, kuru madde ve toplam kül değerleri üzerinde sadece tuzluluklar etkili olmuştur. Verimde 6 dS/m düzeyinden itibaren önemli azalmalar olmuş, sulama suyu miktarındaki artış ise verimi azaltmıştır. Tuzluluğun artması bitki kuru madde miktarlarının azalmasına neden olurken, toplam kül içeriklerini artırmıştır.

Yurtseven (2000) tuzluluğun patlıcan (*Solanum melongena*) bitkisinin bitki su tüketimine etkisini araştırmış ve tuzluluk artışı ile bitki su tüketiminin azaldığını belirlemiştir. Bu azalma toprak ortamındaki çözelti konsantrasyonunun sulama suyu ile iletilen tuzlar nedeniyle artması ve bunun bir sonucu olarak ozmotik basıncın yükselmesinin bitki su alımını zorlaştırmasından kaynaklanmıştır.

Yurtseven ve ark. (1996) biberde (*Capsicum annuum*) çimlenme ve fide oluşumu dönemleri ile sonraki bitki gelişme dönemlerindeki sulama suyu tuzluluklarının bazı verim parametreleri üzerine olan etkilerini incelemişlerdir. Biberde çimlenme üzerine 3 dS/m lik tuzluluk düzeyi önemli bir etki oluşturmamıştır. Fide oluşumu üzerine ise fide boyunun artmasına neden olacak şekilde etki etmiştir. Yine çimlenme ve fide oluşumu dönemlerindeki tuzluluklar, sonraki bitki gelişmesi üzerine de herhangi bir etki yapmamıştır. Sonraki bitki gelişme döneminde göz önüne alınan sulama suyu tuzluluk düzeyleri ise bitki verimini

azaltıcı etkide bulunmuşlardır. Tuzluluğun 0.25 dS/m düzeyinde 6 dS/m düzeyine artması ile verimde azalma %61 düzeyine ulaşmıştır.

Yurtseven ve ark (1999) turp (*Raphanus sativus*) bitkisinde farklı sulama suyu tuzluluğu uygulamalarının verim parametrelerine etkisi isimli çalışmalarında yumru ve gövde verimlerinin her ikisinin de tuzluluk artışı ile azalma gösterdiğini belirtmişlerdir. Tuzluluğun yumru çapı üzerine etkisinin 1.5 dS/m düzeyinden itibaren, yumru boyu üzerine etkisinin 2.5 dS/m düzeyinde itibaren başladığı görülmüştür. Ayrıca sulama suyu tuzluluğunun topraktaki tuzlulaşmaya olan etkisini ortaya koyabilmek amacıyla deneme sonunda yapılan toprak analizlerinde profil tuzlulukları tüm tuzluluk konularında artma göstermiştir. Bunun nedeni sulama uygulamaları ile toprağı, suyun tuzluluğu ile ilişkili olarak değişen miktarlarda tuz taşınmıştır. Bitki kullanımı ve buharlaşma ile profilden uzaklaştırılan tuzların toplamı çok az olduğundan toprağı iletilen tuzların çok büyük bir bölümü profilde biriktirilmiştir. Sulama suyu tuzluluğunun yüksek olduğu konularda, taşınan tuz miktarı fazla olduğundan profilde daha fazla tuz birikmiştir.

Güngör ve ark. (1993) sulama suyu tuzluluğunun soya (*Soia hispida*) kimyasal bileşimi üzerine etkisi isimli çalışmada 0.6, 1.5, 2.5 ve 5.0 dS/m tuz içerikli sularda deneme yapmışlardır. Sulama suyu tuzluluğu ile soya verimi arasındaki ilişki incelendiğinde verimi etkileyen en önemli faktörün sulama suyu tuzluluğu olduğu görülmüştür. Sulama suyu tuzluluğun artması ile toprak çözeltisi tuz konsantrasyonu artmakta ve çözelti ozmotik basıncı yükseldiğinden bitki kökleri suyu almakta zorluk çekmekte ve fizyolojik kuraklık etkisi altında kalmaktadır. Sulama suyu tuz konsantrasyonunun artması ile toprak çözeltisi konsantrasyonu da artmaktadır. Bitki bünyesine alınan toprak suyu ile bitki vejetatif kısımlarında tuzlar biriktirilmekte buda kaliteyi etkilemektedir.

Grieve ve ark. (1999) tuzluluğun tohum üretimi ve gelişmeye olan etkilerini araştırmışlardır. Tuzlulukla birlikte tohum üretimi önemli bir şekilde azalma göstermiştir.

Scardaci ve ark (2002) toprak ve su tuzluluğunun çeltik (*Oryza sativa*) verimine etkisini araştırmışlardır. Pek çok su kaynağının EC'si 0.7 dS/m'nin altındadır. Bazı drenaj sularının EC'si 0.7 ve 1.7 dS/m arasındadır ve bu tuzluluk problemi oluşturabilir. Tuzluluğun

artmasıyla pirinç verimi azalma göstermiştir. Yine sulama suyu EC'sinin artmasıyla tohum yoğunluğu ve bio kütle değerleri de azalma göstermiştir.

Sönmez ve Yurtseven (1995) domates (*Lycopersicon esculentum*) bitkisinde farklı gelişme dönemlerinde farklı tuzluluk düzeyinin etkisini araştırmışlardır. Gerek tuzluluk gerek SAR düzeyinin artması çimlenme oranlarını azaltmıştır ve 10 dS/m düzeyinde çimlenme olmamıştır. Fide gelişimi üzerine ise 4 dS/m'nin üzerindeki tuzluluk düzeyleri olumsuz etki yapmışlardır. Çalışmalar sonunda ilk yıl verim değerlerinin ele alınan tuzluluk ve SAR değerlerinde etkilenmediği gözlenirken, ikinci yıl verim değerleri üzerine tuzluluğun etkisi önemli olmuştur. Üçüncü yıl verim değerleri üzerine tuzluluğun etkisi daha büyük oranda olmuştur.

Yurtseven ve ark. (2001a) bir yağ bitkisi olan kolzada (*Brassica napus oleifera*) sulama suyu tuzluluğu ile sulama aralığının verime ve vejetatif gelişmeye etkisi araştırılmıştır. Tuzluluk etkisiyle yağ ağırlıklar azalmıştır. Bio kütle değerleri üzerinde de tuzluluğun etkisinin benzer olduğu ve tuzluluğun bio kütle üretimini önemli düzeyde azalttığı gözlenmiştir. Bitki gelişiminin bir göstergesi olarak değerlendirilen bitki yaprak alanları da tuzluluğun artışı ile önemli düzeyde azalma göstermiştir.

Bitki dokuları üzerinde yapılan sayısız sitolojik çalışmalar tuz stresiyile sitokin miktarının azaldığını ve hücre büyümesinin belirgin bir şekilde inhibe edildiğini açıkça ortaya koymaktadır. Dolayısıyla tuzlu koşullarda çimlenmenin engellenmesi ve çimlenme yüzdesinin düşmesi olağandır (Mangal ve Lal, 1990; Awang ve ark., 1993). Yapılan araştırmalar tuz stresine maruz kalan bitkilerde kök, gövde ve sürgün büyümesinin azaldığını, yaprak alanlarının daraldığını, yaprak sayılarının azalarak meyve ağırlıklarının düştüğünü, dolayısıyla verimin azaldığını, meyve tat ve renklerinin bozulduğunu göstermektedir (Abbas ve ark., 1991; Franco ve ark., 1993; Garcia ve ark., 1993; Chartzoulakis, 1994; Sivritepe, 1995; Shannon ve Grieve, 1999).

2.2.1. Bitkide Sodyum ve Klorürün Alınımı, Taşınımı ve Birikimi

Büyüme iyileştiren, ancak bazı bitki çeşitleri ve bazı spesifik koşullar hariç, optimum bir bitki beslenmesi için mutlak gerekli olmayan mineral besin elementleri *yararlı*

elementler (beneficial elements) olarak adlandırılır (Marschner, 1995). Tuzlu topraklardaki dominant iyonlardan Na^+ bu tanımlamaya girmektedir. Bitkiler genelde %0.004 ile %2 arasında Na içerirler (Bergman, 1992) ve Na^+ u, toprak çözeltisinde çözünmüş ve toprağın değişim komplekslerinde adsorbe edilmiş halde bulunan Na^+ iyonu halinde alırlar. Farklı bitki türlerinin Na^+ u köklerden alım kapasitesi ve yeşil aksama transportu açısından büyük farklılıklar gösterdikleri ortaya konulmuştur. Bununla beraber, tür içindeki genotipler arasında da Na alımı ve yeşil aksama transportu açısından farklılıklar görülmektedir (Shannon ve Grieve, 1999). Sodyumun kökler tarafından alımındaki genotipsel farklılıklar, Na salgılama pompalarının aktiviteleri ve kök plazma membranlarının geçirgenlik kapasiteleri ile ilişkilidir (Schubert ve Lauchli, 1990).

Genotipler Na salgılama pompasının aktivitesine göre bünyesindeki Na^+ u düşük veya yüksek miktarlarda dış ortama bırakmaktadır. Sodyumun çeşitli araştırmacılar tarafından belirlenen görevleri şöyle sıralanabilir (Kacar, 1984):

- a) Sodyum kimyasal yönden potasyuma (K) büyük özdeşlik göstermektedir (Tinker, 1967). Şeker pancarı, yulaf, lahana, şalgam, havuç, tahıl ve pamuk gibi bitkilerde Na kısmen K'un görevlerini üstlenebilmektedir.
- b) Pek çok bitki için Na vazgeçilmez bir besin maddesidir. Sürekli K kullanıyor olsa bile Na^+ un toprağa verilmesiyle ürün miktarında dikkate değer artışlar sağlanabilmektedir.
- c) Sabahın çok erken saatlerinde yere düşen çığden, atmosferde ve taban suyundan su absorbe edebilmesi nedeniyle Na, kurak dönemlerde bitkilerin solmalarını geriletir.
- d) Sodyum bitki özsuyunda donma noktasını düşürmek suretiyle, kışın ve erken ilkbaharda bitkilerin dondan zarar görmelerini büyük ölçüde azaltır.
- e) Metalik bir katyon olarak Na toprakta kirecin yitirilmesini azaltarak, toprak çözeltisinde iyonik dengenin bozulmamasına yardım eder.
- f) Sodyum toprakta çözünmez şekilde bulunan fosforun (P) çözünür hale geçmesine ve bu halde kalmasına yardımcı olur. Bu durum özellikle kireçli topraklarda önem taşımaktadır.
- g) Sodyum lahana ve benzeri bitkilerin renk ve kokuları üzerine olumlu etki yapar. Bitkilerde kalite dikkate değer bir şekilde düzelerken hastalıklara karşı dayanıklılık artar (Leonard ve Bear, 1950).

- h) Yeterli düzeyde Na'a sahip çayır-mera bitkileri ile beslenen süt ineklerinden nitelikli ve bol süt alınmasında Na'un dolaylı etkisi vardır.

Bitki türlerinin sodyuma tepkileri, köklerden Na'u alım ve vejetatif kısımlara taşıma kapasitesine göre **natrophilik (tuzu seven)** veya **natrophobik (tuzu sevmeyen)** olarak karakterize edilir (Glenn ve ark., 1999; Blumwald ve ark., 2000). Bitki türleri, sodyumu köklerden alım ve yeşil aksama taşıma kapasiteleri yönünden önemli farklılıklar göstermektedir. Yüksek Na toleransı olan bitkide yaprak Na konsantrasyonu düşüktür. Bu durum bitkide akropetal translokasyonun inhibe edilmesi ve bazipetal geri taşınımın ve kökten dış ortama salgılanmasının (effluksun) tercih edilmesinden kaynaklanmaktadır. Örneğin; Nishikawa ve ark. (1999) *Schizosaccharomyces pombe* bitkisi ile yaptıkları çalışmada Na^+/H^+ antiportunu şifre eden gen olan $Sod2^+$ geninin tek değerlikli Na ve Li katyonlarını plazma membranında dışarı pompalayarak hücre toleransına katkıda bulunduğunu belirtmişlerdir. Bu mekanizmalar tarafından harcanan enerji bitkinin anyon-katyon dengesini etkilemektedir. Bu nedenle tuz stresinde büyümenin sınırlanmasında büyük olasılıkla bu mekanizmalar sorumludur. Genel olarak köklerde Na düzeyi yeşil aksamdan daha fazladır. Wybenga (1957) bitkileri Na alım ve translokasyon karakteristiklerine göre üç gruba ayırmıştır:

- a) Alımı fazla olduğu halde Na'u yeşil aksama yavaş taşıyan bitkiler (Örneğin; mısır ve fasülye).
- b) Sodyumu toprak üstü aksama büyük miktarlarda taşıyan bitkiler (Örneğin; arpa, havuç, domates ve tütün).
- c) Sodyumu toprak üstü aksama çok büyük miktarlarda taşıyan ve yaprak mezofilinde zenginleştiren bitkiler (Örneğin; pamuk ve ıspanak).

Tuz stresinde Na iyonu yanında Cl iyonu da bitkinin gereksindiği miktardan fazla alınır. Klor bitkiye toprak rezervleri, yağmurlar, gübreler ve hava kirliliği gibi birçok kaynak ile sağlandığından dolayı, bitkide noksanlığından çok toksisitesi dikkat çeker. Klor kapsamları bakımından bitkiler arasında önemli farklılıklar bulunduğu gibi, bir bitkinin değişik organlarında da Cl miktarları farklıdır. Walker ve ark. (1987) tuz uygulanmış fıstık bitkisinde en yüksek Cl konsantrasyonunun yaprak ayası ve yaprak sapında bulunduğunu, Na konsantrasyonunun ise köklerde yüksek olduğunu belirtmişlerdir.

Klorun bitkideki normal konsantrasyonu 70-700 mmol/kg kuru ağırlık (yaklaşık 2000-20000 mg/kg kuru ağırlık) arasındadır ki bu seviye tipik makroelement seviyesidir. Oysa optimal büyüme için gerekli olan Cl miktarı 340-1200 mg/kg kuru ağırlıktır ki bu değer normal mikroelement sınırları içerisindedir. Klorun gerek uzun mesafe taşınımı gerekse kısa mesafe taşınımı yüksektir ve bu nedenle yaşlı yapraklardan genç yapraklara ve meyveye doğru hareketi yüksektir. Araştırmalar yüksek bitkilerde klorun, hareketliliği yüksek olan Cl iyonu şeklinde bulunduğunu göstermektedir (Marschner, 1995).

1944 yılında Warburg izole edilmiş kloroplastlarda yaptığı çalışmasında, Hill reaksiyonunda Cl'a gereksinim duyulduğunu bulmuş ve o tarihten bu yana Cl'un fotosistem II'de suyun parçalanması işlemine katıldığı ve fotosentetik O₂'nin oluşturulmasında görev aldığı saptanmıştır. (Kelley ve Izawa, 1987). Bitkide toksik düzeyde yüksek Cl konsantrasyonları, özellikle depo organlarında bulunduğu asimilatların taşınmasını inhibe etmektedir (Bergmann, 1992).

2.2.2. Tuz Toksitesinde Bitki Büyümesi ve Ortaya Çıkan Olumsuzluklar

Farklı bitki türlerinin ve aynı tür içindeki genotiplerin tuz stresinden etkilenme dereceleri farklıdır. Marschner (1995), tuz stresinin bitki büyümesini sınırlandırmasını üç grup altında incelemiştir:

- 1- Su noksanlığı (su stresi),
- 2- Aşırı Na⁺ ve Cl⁻ alımı ile ilişkili iyon toksitesi,
- 3-Elementlerin alımında ve yeşil aksama taşınmasında stresten dolayı oluşan dengesizlik nedeniyle hücre içi çözeltinin mineral kompozisyonunun ve kısmen Ca dengesinin bozulması.

Levitt (1980)'e göre tuz stresinden kaynaklanan iyon toksitesi birincil stres, su stresi ve mineral beslenme ile ilgili olan etkiler ise ikincil stres olarak tanımlanmıştır. Aslında tuz ve su stresleri arasında ayırt edilmesi güç bir ilişki vardır. Topraktaki tuz seviyesinin artışı ile suyun ozmotik potansiyeli düştüğünden, tuz stresi bitkiyi ikincil bir strese, başka bir deyişle fizyolojik kuraklık stresine maruz bırakmaktadır. Bazı kaynaklar bunu su noksanlığı olarak tanımlamaktadır (Greenway ve Munns, 1980). Yüksek tuzlu ortamlarda bu üç önemli sınırlayıcı faktörün büyümei inhibe etme yönünde oransal katkılarından genellikle olanaklı

değildir. Çünkü bu olayda ortamdaki iyon konsantrasyonları, tuza maruz kalma süresi, bitki türü, genotipi ve bitkinin gelişme dönemi, bitki organı ve çevresel etmenler gibi faktörler rol oynamaktadır. Bitkinin uzun süre tuzluluğa maruz kalması yaşlı yapraklarda temel olarak iyon toksitesine ve su noksanlığına, bunun yanında daha genç yapraklarda karbonhidrat noksanlığına yol açar.

2.2.2.1. Tuz Toksisitesinde Su Noksanlığı

Ortam tuzluluğu suyun yarıyışlılığını ve bitkilerce alınımını azaltmakta ve bunun sonucunda ortamdaki eriyebilir maddeler ve suyun ksilemdeki transportu gerilemektedir. Dolayısıyla tuzlu ortamlarda su ve mineral elementlerin yeşil aksama taşınımı sınırlanmaktadır. Domates ve biberin kullanıldığı bir denemede, 50 mM NaCl düzeyinde tuz içeren bir ortamda 27 gün yetiştirilen bitkilerde ksilem akışı tuzsuz ortamdaki kontrol bitkilerine göre 17-20 kat azalmış ve ksilemdeki iyon konsantrasyonu 2-3 kat artmıştır. Böylece tuzlu ortamdaki su elverişliliği ve mineral element sağlanması sınırlanmıştır (Kafkafi, 1991).

“Tuzluluk koşulları altındaki domates (*Lycopersicon esculentum*) bitkisinde bitki-su ilişkileri ve suyun bitkiye alınışı” hakkındaki çalışmada, domates bitkisi tuzlu su ile sulandığında büyüme ve suyun alınışının her ikisinde de azalma olduğu tespit edilmiştir (Romero-Aranda ve ark., 2001).

“Tuzluluk ve bitki” isimli çalışmada tuzluluk düzeyi arttıkça topraktan bitkinin su alınımının zorlaştığından ve su stresi koşullarının oluştuğundan bahsedilmektedir. Na elementi yüksek ise su filtrasyonunun azaldığı ve yüksek toprak tuzluluğu sonucunda bitkide elementlerin toksik düzeylerde biriktiği, bu durumun besin dengesizliğine sebep olabileceği belirtilmiştir. (Amacher ve ark., 1997).

Triticum aestivum genotiplerinde su ve tuz stresi koşullarında oransal su değişimini inceleyen Tıpırdamaz ve Çakırlar (1990), 150 mM NaCl konsantrasyonunda Gerek-79 genotipinde % 83, Bezostaya-1 genotipinde ise % 79 oransal su içeriği belirlemiştir. Araştırmacılar bu durumu, dayanıklı genotiplerin ozmotik uyum niteliğine ve hücre çeper esnekliğindeki farklılığa bağlamışlardır. Moran ve ark. (1994), tuz stresi koşullarında, bezelyede oransal su içeriğinin % 80'e kadar azaldığını belirlemiştir.

Öncel ve Keleş (2003), yaptıkları çalışmada, 200 mM NaCl içeren su kültürü ortamında yetiştirilen buğday (*Triticum estivum*) fidelerinde 5 günlük NaCl uygulaması sonucunda kök ve sürgün büyümesinin önemli ölçüde azaldığını belirlemişler ve Seri-82 ile Ç-1252 gibi yavaş büyüyen genotiplerde büyüme inhibasyonunun nispeten daha az olduğunu görmüşlerdir. Ayrıca bu iki genotip oransal su kaybı bakımından da diğer genotiplere göre tuzluluğa daha dayanıklı olarak nitelendirilmiştir. Bu çalışmada Bezostaya-1 ve Kızıltan-91 genotipleri tuz stresi altında oransal su içeriği bakımından en düşük değerleri vermektedir.

Kural olarak tuzlu topraklarda vejetatif kısımların büyümesi kök gelişiminden daha fazla etkilenmektedir (Termaat ve Munns, 1986). Bununla birlikte kök uzaması da yüksek tuz ve Ca noksanlığı durumunda hemen azalmaktadır (Cramer ve ark.,1988). Yetiştirme ortamı tuzluluğuna bağlı olarak yaprak uzamasında görülen hızlı tepkilerin çoğu yaprağın su statüsündeki değişikliklere bağlanmaktadır. Kök bölgesi tuzluluğunun giderilmesi durumunda yaprak uzaması çok hızlı bir şekilde tuzsuz ortamdaki seviyesine dönmektedir. Bu durum kök bölgesi tuzluluğundan kaynaklanan büyüme azalmasının, tuz toksitesinden çok su noksanlığından kaynaklandığını düşündürmektedir.

2.2.2.2. Tuz Toksitesinde Bitkide İyon Toksisitesi ve İyon Dengesizliği

Tuzlu koşullarda genel olarak Na ve Cl iyonları dominant iyonlardır. Klor tüm bitkiler için hayati önem taşıyan bir mikroelement olmasına karşın, Na sadece halofitler (Munns ve Termatt, 1986) ve bazı C4 bitkileri için önemli element olup, (Johnston ve ark., 1988) bu iki iyonun tuzlu ortamdaki konsantrasyonları bitkilerce gereksinim duyulan miktarların çok üstündedir. Bu durum tuza duyarlı genotiplerde toksiteye yol açmaktadır.

Birçok meyve ve sebze de yaşlı yaprağın kloroz ve nekroza maruz kalışı sonucu oluşan yaprak tahribatı ve büyüme sınırlanması düşük NaCl uygulamalarında bile meydana gelebilmektedir (Sykes, 1992). Bu gibi durumlarda su noksanlığı sınırlayıcı bir faktör olmayıp (Greenway ve Munns, 1980), en azından turunçgil genotipleri için, yüksek klorür duyarlılığı ve buna bağlı olarak oluşan klor toksitesi önemli bir sınırlayıcı faktördür (Maas, 1993). Birçok meyve ve sebze türü üzerinde yapılan araştırmalarda, bitkilerin incelenen farklı organlarında tuz uygulamaları ile hızlı bir Cl akümüülasyonu olduğu belirlenmiştir (Chirachint ve Turner, 1988).

Tuza maruz kalan asmalarda sürgün büyümesi, limonlarda (*Citrus limonum*) klorofil kapsamı (Nieves ve ark., 1991), portakallarda (*Citrus sinensis (L) Osbeck*) fotosentez ve stoma iletkenliğinde (Banuls ve Primo-Millo, 1992) meydana gelen azalışlar, aşırı klorür birikimi ile açıklanmaktadır.

Tuz stresinde Na alımı diğer mineral maddelerin alımı ile rekabete girerek beslenme noksanlığına yol açmaktadır. Bitkiler ozmotik stres elimine edilerek tuz stresine maruz bırakıldıklarında büyümede meydana gelen azalmalar ve bu azalmaların K uygulamaları ile iyileştirilmesi, NaCl'ün bitkilerde K noksanlığına yol açtığına işaret etmektedir (Levitt, 1980). Bilindiği gibi tuz stresi bitkilerde Na birikimini arttırmakta, K alımını ise azaltmaktadır (Qian ve ark., 2000).

Bilgin'in (2002) çalışmasında; 3 çeşit domates (*Lycopersicon esculentum*) bitkisine 3 farklı aşamada uygulanan NaCl sonucunda; 1. aşamada yani gelişme devresinde (çimlendikten hemen sonra) tuz stresine dayanamamışlardır. 2. ve 3. gelişme devresinde tuz ilave edilen bitkiler çimlenme başlangıcında hasat edilerek, kuru ağırlık ve mineral madde içerikleri belirlenmiştir. Besin kültüründe NaCl uygulamalarındaki artışa bağlı olarak bütün domates çeşitlerinde ve gelişme devrelerinde kuru madde miktarı azalmıştır. Genel olarak bütün çeşitlerde ve gelişme devrelerinde bitki Na ve Cl içerikleri artarken, K ve NO₃ içeriği azalmıştır.

Araştırmalar genotiplerin farklı oranlarda Na ve K absorpsiyonu yapması ve dolayısıyla farklı K/Na oranlarına sahip olmasının (Na-K ayırım karakteri) tuzluluğa dayanıklılıkla ilişkili olduğunu göstermektedir (Heimler ve ark., 1995; Lopez ve Satti, 1997, Yu ve ark., 1998). "Biber bitkisindeki tuz toleransını KNO₃ eklenmesinin geliştirmesi" adlı çalışmada yüksek NaCl uygulamasında biber bitkisi büyümesinde kontrol grubuna göre önemli ölçüde kuru ağırlık, ürün verimi ve klorofil miktarında azalma gözlemlenmiştir. Yüksek tuzluluktaki toprağa eklenen KNO₃ bitki kuru ağırlığını, ürün verimini ve klorofil miktarını arttırmıştır. Membran permeabilitesi, yüksek NaCl uygulamasında artmıştır, fakat KNO₃ eklendiğinde azalmıştır (Kaya ve ark., 2003b).

Lopez ve ark.'nın (1996) "NaCl stresi altındaki domatestede (*Lycopersicon esculentum*) kalsiyum ve potasyumun büyüme verimini arttırması" adlı çalışmalarında; besin solusyonuna

eklenen NaCl'ün önemli ölçüde kök ağırlığını, yaş ağırlığı Ca, K konsantrasyonlarını, yaprak sayısını azalttığından bahsedilmektedir.

Yapılan çalışmalar Na'un K üzerinde antagonistik bir etkiye sahip olduğunu, Na'u ihraç edip yerine K akümüle edebilen bitkilerin tuza daha dayanıklı olduklarını göstermiştir (Ioneva, 1988; Ashraf ve O'leary, 1997; Santa-Maria ve Epstein, 2001). Stavarek ve Rains (1984) bitkilerde tuza dayanımın kısmen, Na'un ihraç edilmesi ve K'un alınabilmesi için gerekli olan enerjiyi mobilize etme yeteneğine bağlı olduğunu bildirmişlerdir. Bununla ilişkili olarak Greenway ve Munns (1980) optimum verimlilik için bitkilerin stoplazmalarında K/Na oranının 1'in üzerinde olması gerektiğini belirtmişlerdir. Ayrıca Binsel ve ark. (1985) membran fonksiyonunun sadece yüksek Na ve K konsantrasyonları ile değil, düşük K/Na oranı nedeniyle de etkilendiğini vurgulamışlardır.

Taban ve ark.'nın (1999) "Değişik mısır (*Zea mays* L.) çeşitlerinin tuz stresine duyarlılıkları" isimli çalışmalarında; Türkiye'de yaygın olarak yetiştirilen 8 mısır çeşidinden (Riogrande, Post KLF, Postkontrol, Alkantara, G- 4662 Dracma, Tarım, Fanion ve Kelty) tuza en dayanıklıların Kelty, Post KLF, Postkontrol ve G- 4662 Dracma çeşitleri olduğunu bildirmiş ve bu çeşitlerin kuru madde miktarları diğer çeşitlere göre daha az etkilenmiştir ve genelde Na ve Cl içerikleri diğer çeşitlere göre daha düşük olmuştur. Tuz stresi altında çeşitlerin P ve Mn içerikleri artmış, K içeriği azalmış, Fe, Cu ve Zn içeriklerinde ise çeşitlere göre farklı değişimler meydana geldiği belirtilmiştir.

Yüksek NaCl ve Mn içeren ortamlarda yetişen arpa (*Hordeum vulgare* L.) bitkisinde büyümenin inhibasyonu daha çok Mn alımının engellenmesiyle ortaya çıkan Mn noksanlığından kaynaklanmaktadır (Cramer ve Novak, 1992). Tuzlu toprak koşullarında bitkiye yarayışlı fosforun normalin çok üzerinde bulunması durumunda NaCl bitkinin fosfor alımını teşvik ederek fosfor toksitesine yol açmaktadır (Roberts ve ark., 1984).

Malkoç'un (2002) "Mısır (*Zea mays* L.) ve fasulye (*Phaseolus vulgaris* L.) bitkilerinin gelişimi ve mineral içeriği üzerine farklı tuz çeşitlerinin etkisi" adlı çalışmasında; mısır bitkisinin kuru madde miktarı üzerine tuz dozlarının etkisi incelendiğinde; bütün tuz çeşitlerinde uygulanan tuz miktarı arttıkça kontrole göre önemli derecede kuru madde azalışı söz konusu olup, en yüksek dozda en fazla kuru madde azalışı elde edilmiştir. Fasulye bitkisinde artan tuz dozlarının kuru madde içeriğinde meydana getirdiği azalış mısır bitkisine

oranla çok daha yüksek oranda gerçekleşmiştir. Bitkilerin N, P, K, Ca, Mg, Na, Fe, Mn, Zn ve Cu içerikleri genel olarak bütün tuzlarda doz arttıkça azalmıştır. Ancak Na tuzlarının uygulandığı bitkilerde doz arttıkça bitkilerde Na içeriği, Ca tuzlarının uygulandığı bitkilerde doz arttıkça Ca içeriği ve Mg tuzlarının uygulandığı bitkilerde doz arttıkça bitkilerin Mg içerikleri artmıştır.

Ben-Gal ve ark.'ın (2002) çalışmasında; aşırı borun domatesin transprasyonunu ve verimini azalttığından bahsedilmektedir. Bu etki eş zamanlı olarak bora ve tuz stresine maruz bırakıldığında inhibe olmuştur.

Essa'nın (2002) "Üç soya fasulyesi (*Glycine max* (L) Merr.) kültürünün besin kompozisyonları ve büyümeleri üzerinde tuzluluk stresinin etkileri" adlı çalışmasında; tohum çimlenmesinde tuzluluğunun etkilerinin kök ve filiz kuru ağırlığında, yaprak mineral içeriği üzerinde olumsuz etkiler yarattığı, tuzluluk arttıkça çimlenme yüzdesinin önemli ölçüde azaldığı belirtilmiştir.

"İki buğday (*Triticum aestivum* L.) kültürünün tuz toleransındaki mineral iyonların rolü" çalışmasında; kültürler arasındaki önemli farklılıkların tuz stresi koşulları altındaki genotipe bağlı cevaplar verebildiği, translokasyonu ve umulan iyon absorpsiyonunu gösterdiğinden bahsedilmektedir (Ebrahimzadeh ve ark., 2000).

2.2.2.3. Tuz Toksitesinde Kalsiyumun Önemi

Kalsiyumun tuz stresindeki olumlu etkisi, membran integrasyonunu artırması ve iyon alımı ve transportunda seçiciliğin kontrolünü sağlaması nedeniyledir (Lauchli, 1990). Yüksek tuz konsantrasyonları bitkinin beslenme statüsünü oluşturan majör elementlerden Ca'un alımı ve taşınımını sınırlayarak Ca noksanlığına ve bitkide iyon dengesizliğine yol açmaktadır. Yüksek Ca konsantrasyonları plazma membranının Na geçirgenliğini azaltmaktadır. Membranların Na geçirgenliğinin Ca ile azaltılması Na'un pasif alımla bitkide birikmesini önlemektedir (Hoffman ve ark., 1989). Diğer yandan topraktaki yüksek Na konsantrasyonları, Ca alım ve transportunu azaltır ve sonuç olarak düşük Ca konsantrasyonuna ya da yüksek Na/Ca oranına sahip ortamlarda yetişen bitkilerde Ca noksanlığı teşvik edilir (Lynch ve Lauchli, 1985). Kalsiyum ve K, iyonların membranlardan selektif olarak taşınmasında benzer bir rol üstlenir (WynJones ve Lunt, 1967; Fageria, 1983). Sonuç olarak düşük Ca/Na oranı,

düşük K/Na oranında olduğu gibi kök membranlarının seçiciliğini bozarak Na'un kök ve yeşil aksamda pasif birikimine neden olur (Kramer ve ark., 1977).

“Tuz stresi altındaki salatalık (*Cucumis sativus* L.) bitkisinde $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 'ın düzeltici etkisi” adlı çalışmada bitkilerin kontrol denemelerine göre yüksek NaCl uygulamasından daha az kuru ağırlık, ürün verimi ve klorofile sahip olduğu; toprağa eklenen belli miktardaki $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 'ın kuru ağırlığı, ürün verimini ve klorofil konsantrasyonunu yüksek tuz uygulamasına göre arttırdığı; membran permeabilitesinin yüksek tuz uygulamasında arttığı, $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ eklenmesinde membran permeabilitesinin korunduğundan bahsedilmiştir. $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, ürün verimi ve salatalık bitkisindeki toplam ağırlık üzerindeki yüksek tuzun etkilerini hafifletmiştir (Kaya ve ark., 2002b).

Kaya ve ark.'nın (2003a) “Salatalık (*Cucumis sativus* L.) ve kavun (*Cucumis melo* L.) bitkilerinde damlama sulama ile verilen tuzlu suyun üzerine $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 'ın iyileştirici etkileri” adlı çalışmalarında; bitkilere yüksek tuz içeren sulama uygulamalarında, kuru ağırlık, ürün verimi ve klorofil miktarının her iki denemede de kontrol grubuna göre azaldığından bahsedilmiştir. Sulamaya $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ eklenmesiyle kuru ağırlık, ürün verimi ve klorofil konsantrasyonlarında tuzlu su uygulamasına göre artış gözlemlenmiştir.

Davenport ve ark. (1997) tuza tolerans gösteren iki farklı buğday (*Triticum aestivum* L.) genotipi kullanarak Na-Ca etkileşimlerini inceledikleri çalışmalarında, tuza duyarlı olan buğday genotipinde Ca translokasyonunun Na tarafından inhibe edilmesinin dayanıklı çeşide göre daha fazla olduğunu saptamışlardır. Yüksek NaCl konsantrasyonlarında Ca konsantrasyonunun yükseltilmesi Na'un hücre duvarlarına ve plazma membranına bağlanışını ve hücre bölünmesi ile uzamasındaki olumsuz etkisini azaltarak büyümeyi artırır ve Na'un Ca noksanlığına yol açması engellenir (Lopez ve Satti, 1996; Navarro ve ark., 2000; Reid ve Smith; 2000).

Kaya ve ark.'nın (2003c) “ $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ' ya da KNO_3 eklenmesinde çilek (*Fragaria vesca* L.) bitkisinin tuz stresine cevabı” çalışmalarında; iki tür çilekte yapılan denemelerde her iki kültürde de yüksek NaCl uygulamasında kuru ağırlık, ürün verimi ve klorofil içeriğinin normal besin solusyonundan düşük çıktığı; $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ve KNO_3 denemelerinin her iki eklemede de önemli ölçüde bitki büyümesi ve ürün veriminde tuzluluğun negatif etkisini

iyileştirdiği sonucuna varılmıştır. Yapraktaki Ca, K, N konsantrasyonları, stressiz muamelelere göre yüksek NaCl uygulamasında çok daha düşük çıkmıştır.

Reid ve Smith (2000) 150 mM NaCl uygulamasının buğday (*Triticum aestivum* L.) bitkisinin büyümesini şiddetli bir şekilde azalttığını, gelişme ortamında Ca konsantrasyonunun 2.34 mM üzerine çıkarılması ile büyümenin normale döndüğünü belirtmişlerdir. Ayrıca, Ca tuz stresi altında K alım ve transportunu artırma yoluyla Na akümülyasyonunu azaltır.

Bu nedenle tuzlu topraklarda jips uygulaması yapılmakta ve bitkilerin tuz toleransının artması sağlanmaktadır. Jips uygulamasının iki yararlı etkisi vardır:

- 1- Toprak strüktürünü geliştirir ve böylece toprak havalanmasını artırır.
- 2- Ca/Na oranını artırarak, köklerin dışarıdan Na alım kapasitesini sınırlandırır.

2.2.2.4. Tuz Toksitesinde Fotosentez ve Respirasyon

Tuzluluk seviyesiyle yaprak alanı arasında ters orantılı bir ilişki vardır. Böylece tuzluluğun artması ile transpirasyon yoluyla su kaybı azalır. Bu durumda sadece total yüzey alanı azalmış olmaz, aynı zamanda birim alandan net CO₂ fiksasyonu azalır. Bunun yanında respirasyon artar ve bu durum birim yaprak yüzey alanı başına düşen günlük net CO₂ asimilasyonunda dramatik bir azalışa neden olur. Nitekim Dionisio-Sese ve Tobita (2000), tuza duyarlı 4 farklı çeltik genotipinde 60 ve 120 mM NaCl uygulaması durumunda CO₂ asimilasyonunda stoma iletkenliğinde önemli düşüşler saptandığını bildirmişlerdir.

Benzer bulgular tuz stresinin buğday (*Triticum aestivum* L.) çeşitlerinin fotosentez üzerine etkilerini araştıran Quergli ve ark. (2000) tarafından da saptanmıştır. Tuzluluk stresi altında net CO₂ fiksasyonunun azalması; su noksanlığı, stomaların kapanışı, apoplastta tuzun birikmesi ile mezofil hücrelerinin turgorunu kaybetmesi veya tuz iyonlarının doğrudan toksisitesi nedeniyledir.

Sultana ve ark. (1999) farklı tuz dozlarının çeltik (*Oryza sativa* L.) bitkisinde fotosentez ve kuru madde verimi üzerine etkisini araştırdıkları çalışmalarında, fotosentezin tuz stresi altında azaldığını ve bu azalmanın yalnızca stomaların kapanmasıyla azalan

yarayışlı CO₂'e bağlanamayacağını, yaprak ozmotik potansiyeli, stoma iletkenliği, transpirasyon oranı, yaprağın oransal su kapsamı ve pigmentler, karbonhidratlar ve proteinler gibi faktörlerin de bu olayda rol oynadığını ve toptan bir etkinin söz konusu olduğunu bildirmişlerdir. Tuz öncelikle yaşlı yapraklarda biriktiği için tüm yeşil aksamın fotosentezi, tuzdan zararlanma mekanizmasının genel bir tahmininin yapılmasında açıklayıcı bir bilgi sağlamaktadır.

Tuzluluk, bitkilerin klorofil içeriğinde ve fotosistem-II aktivitesinde azalmaya neden olmaktadır (Smillie ve ark., 1982). Tuz stresi altında büyüyen mısır fidelerinde toplam klorofil, klorofil-a ve klorofil-b içeriği önemli ölçüde azalmaktadır (Ganieva ve ark., 1997). Aynı araştırmada yeşermenin ilk 12 saatinde artış gösteren klorofil a/b oranı, 48 saat içinde önemli ölçüde düşüş göstermiştir. Ganieva ve ark.(1997), tuz stresi altında fotosistem-I'in fotosistem-II'ye göre daha stabil kaldığını göstermişlerdir. Araştırmacılar tuzun olası zararlarını ışık toplama kompleksinin ve tilakoid membranların azalmasına ve fotosistemler arasındaki koordinasyonun bozulmasına bağlamışlardır.

Öncel ve Keleş (2003) yaptıkları çalışmada tuz stresi koşullarında, klorofil-a, klorofil-b ve toplam klorofilin tüm buğday (*Triticum aestivum* L.) genotiplerinde önemli ölçüde azaldığını, fakat klorofil-a kaybına Seri-82 ve Ç-1252 genotiplerinin daha dirençli olduklarını gözlemlemişlerdir. Bu durumu, Seri-82 ve Ç-1252 genotiplerinde klorofil a/b oranının artmasına, diğer genotiplerde ise azalmasına bağlayıp, klorofil a/b oranı tuz dayanıklılığının belirlenmesinde önemli bir parametre olabilir, demişlerdir.

Lu ve Vonshak (1999) tuza adapte olmuş cyanobacterium *Spirulina platensis* hücrelerinde PSII fotokimyasını araştırdıkları çalışmalarında, tuz stresinin fotosentez ve PSII'nin işlerliğini sınırlandırdığını ve PSI aktivitesini ve karanlık solunumu arttırdığını saptamışlardır. Hansen ve ark. (1998) Norveç'te yetişen *Pinus pinea* genotiplerinde yaprakta tuz birikiminin fotosentez ve transpirasyonu azalttığını, respirasyonu ise arttırdığını bildirmişlerdir.

Tuzluluk ayrıca tuzlu ortamdaki respirasyonu sürdürmek için yüksek miktarda karbonhidrata gereksinim duyan köklerin de respirasyon oranını arttırabilmektedir. Bu yüksek karbonhidrat gereksiniminin, iyonların dağılımı, iyon salgılanması veya hücresel tahribatları onarmak için olduğu sanılmaktadır (Schwarz ve Gale, 1981).

2.2.2.5. Tuz Toksitesinde Protein Sentezi

Tuzlu topraklarda yetişen bitkide su noksanlığı ve spesifik iyonların toksik düzeyde fazlalığı nedeniyle yaprakların protein sentezi azalmaktadır. Alamgir ve Ali (1999) tuz stresinin çeltikte yaprak pigmentlerini, şeker ve protein konsantrasyonları ile kloroplast ATPase üzerine etkilerini araştırdıkları çalışmalarında, tuz stresi altında protein seviyelerinin azaldığını bildirmişlerdir. Düşük su potansiyeli olan ortamlarda veya tuzlu ortamlarda bitkilerin yapraklardaki protein sentezi sınırlanmaktadır. Ancak tuz stresi altındaki bu sınırlanma, tuz stresiyile ilişkili olmayan su stresinden daha değişik olmaktadır (Frota ve Tucker, 1978).

NaCl tuzluluğunun protein sentezi üzerine etkilerinin soya fasulyesi (*Glycina mas* L.) gibi duyarlı çeşitlerde, Cl toksisitesinden dolayı olduğu sanılmaktadır. Bununla birlikte, tuza karşı daha toleranslı olan arpa (*Hordeum vulgare*) yapraklarında, Na-K dengesizliği olasılıkla protein sentezinin inhibasyonundan sorumlu faktör olarak görülmektedir (Helal ve Mengel, 1979).

Arpada yüksek düzeyde uygulanan NaCl ile sonuçlanan ozmotik potansiyeldeki düşüşün ve ortamın Cl konsantrasyonundaki artışın protein sentezi üzerindeki olumsuz etkileri KCl ile dengelenebilmektedir. Arpa genotiplerinde K'un Na ile yer değiştirmesi, yapraklarda ozmotik düzenlemeye olanak tanırken, protein sentezinin sürdürülmesinde katkısı olmaktadır. Birkaç halofit dışında Na, K'un protein sentezindeki rolünü üstlenememektedir (Gibson ve ark., 1984).

2.2.2.6. Tuz Toksitesinde Fitohormonlar

Tuz stresi altındaki bitkilerde fitohormon düzeylerinde önemli değişimler ortaya çıkmaktadır. Kuraklık stresinde olduğu gibi, bitkilerin tuz stresine karşı tipik tepkisi, absisikasit (ABA) düzeylerinin artırılması, buna karşın sitokin (CYT) düzeylerini azaltmasıdır (Kuiper ve ark., 1990). Tuzluluğa karşı bir adaptasyon mekanizması olarak bilinen ABA düzeylerinin artışı, hem bireysel bitki hücreleri hem de tüm bitkiler için önemlidir (La Rosa ve ark., 1985). ABA uygulaması tuzluluğa hızlı adaptasyonda önemli olan

mekanizmaların teşvik edilmesi açısından önem taşımaktadır (El-Enany, 2000). Bellaire ve ark. (2000) tuz stresinin, pamuk bitkisi kallus dokusunun ABA miktarında hızlı bir artışa neden olduğunu, bitki dokularına yalnızca ABA uygulamasının oksidatif stresten korunmada önemli rol alan süperoksit dismutaz, katalaz, peroksidaz ve glutatyon redüktaz aktivitelerini arttırdığını bildirmişlerdir. Benzer bulgular El-Enany (2000) tarafından da saptanmıştır. Sorghumun yüksek NaCl koşullarında büyümesi, CYT'nin özellikle giberellik asit (GA) ile kombine edilerek uygulanması durumunda iyileştirilebilmektedir. (Amzallag ve ark., 1992). Tuzlu ortamlarda büyümenin iyileştirilmesi, aynı zamanda ortamdaki mineral besin elementleri konsantrasyonunun iki katına çıkmasıyla da sağlanabilmektedir. Dolayısıyla yüksek tuzluluk altında CYT ve GA hormonlarının düzeyindeki azalma, ya yetersiz besin elementi alımı veya kullanımı ya da her iki durumun birlikte olmasından dolayı olmaktadır.

Awad ve Boutros (1987) turuncgil fidelerinde GA'in tuz toleransına etkisini araştırdıkları çalışmalarında, özellikle düşük seviyede K içeren sulama suyuyla sulanması durumunda, GA uygulamasıyla, bitki büyümesinin hafifçe arttığını ve tuz stresinin oluşturduğu zararlı etkilerin onarıldığını vurgulamışlardır. Genel olarak bitkilerin tuza toleransında GA etkinliğinin, sulama suyundaki tuzun çeşit ve seviyesine bağlı olarak değiştiğini bildirmişlerdir.

Putrescine gibi poliaminler tuzluluk stresi koşullarında bitkide akümüle olurlar. Bu poliaminler bitki hücresi membranlarını stabilize etme ve protein sentezini teşvik etme etkilerine sahiptirler. Poliamin uygulaması tuzluluk koşullarında bitki büyümesini arttırabilir. Santa-Cruz ve ark. (1998) tuz stresinde putrescine miktarındaki artışın dayanıklı yabani domates genotipinde duyarlı genotipe göre daha yüksek düzeyde olduğunu bildirmişlerdir. Aziz ve ark. (1999), domates (*Lycopersicon esculentum* L.) yaprağında tuz stresinin, CaCl₂ ve KCl ile desteklenmesi durumunda prolin, tyramin, cadaverin ve agmatin birikiminin arttığını, poliamin miktarlarında ise azalmalar olduğunu kaydetmişlerdir. Tuzluluk ve fitohormon düzeyleri arasındaki interaksyonu gösteren bütün bu örneklerle rağmen içsel fitohormon düzeyinin tuz toleransı üzerindeki rolü hala açık değildir. Tuza farklı tolerans gösteren arpa (*Hordeum vulgare* L.) genotiplerinde CYT uygulaması, tuza dayanıklı genotipleri tuza duyarlı genotipler gibi davranmaya iterken (Kuiper ve ark., 1990), soya fasulyesi (*Glycina mas* L.) genotiplerinde tuz toleransındaki farklılıklar, içsel ABA veya CYT seviyelerindeki farklılıklarla ilişkili bulunmamıştır (Roeb ve ark., 1982). Bununla birlikte buğdayda (*Triticum aestivum* L.) tuz stresi altında yaprakların sararmasını araştıran Mumtaz ve ark., (1997), tuz

stresi altındaki buğday bitkisinde klorofil parçalanmasının CYT ile azaltıldığını bildirmişlerdir.

2.2.3. Tuza Toleransta Adaptasyon Mekanizmaları

2.2.3.1. Tuzdan Sakınım ve Tuza Tolerans

Tuzun bitkilerde zararlanmaya neden olan tek bir etkisi olmadığı gibi tuza toleransın da tek bir mekanizması yoktur. Tuzun neden olduğu strese karşı dayanıklılık, tuzdan sakınım ve /veya bünyede mevcut tuza tolerans mekanizmaları ile kontrol edilmektedir (Levitt, 1980; Tal, 1983). Sakınım mekanizmasında, bitkiler tuza karşı düşük geçirgenliğe sahip olup, tuzu bünyeden uzak tutabildiği gibi, Na'u hücrelerden dışarı pompalayarak tuzu bünyeden de ihraç edebilmektedir. Sakınımın bir diğer yolu ise, hızlı büyüme ile birim hacimde akümüle olan tuz miktarını azaltmak, yani tuzu bünyede seyreltebilmektir (Levitt, 1980; Lauchli, 1986). Bitki böylelikle iyonların aşırılığından korunabileceği gibi, iyon dengelerinin (K/Na, Na/Ca) bozulmasını da engelleyebilmektedir. İhraç yolu ile sakınımında ksilem parankima hücrelerinin absorpsiyonu ve ksilem-floem arasındaki değişim sisteminin varlığı kadar, akümüle olan iyonların vakuollerde tutularak, plazmadan uzaklaştırılması da önemlidir (Tattini ve ark., 1994).

Marschner (1995)'e göre de tuza tolerans iki şekilde gerçekleştirilmektedir. Tuzdan sakınım (exclusion) diye ifade edilen adaptasyon mekanizması bitkide su noksanlığının ortaya çıkışını engelleyen mekanizmaları gerektirmektedir. Tuza tolerans (inclusion) diye bilinen ikinci mekanizma ise ya bitkinin Na ve Cl'a yüksek doku toleransı göstermesiyle ya da dokuda yüksek Na ve Cl konsantrasyonlarından sakınımı ili ilişkilidir.

Hücre bazında pasif olarak tuzu uzak tutabilmek, hücrenin tuz ve iyonlara tamamen geçirimsiz olmasıyla mümkündür. Fakat böylesi bir geçirimsizlik ten söz etmek olanaklı değildir. Tuza dayanıklı bitkilerin kök hücrelerinin mümkün olduğunca yüksek bir geçirimsizliğe sahip olması beklenir. Ayrıca, bitkilerde hücreye giren tuz, akış hızından çok daha yüksek bir hızla dışarıya pompalanmalıdır ki birikim olmasın. Bu durumda tuzdan sakınımın sağlanmasında pasif uzaklaştırma yanında, enerji kullanımını gerektiren ihraç mekanizmasından da bahsedilmektedir (Levitt, 1980; Hasegawa ve ark., 1986).

Tuzdan sakınım ilk alım yeri olması nedeniyle köklerde başlamaktadır. Birçok bitkide tuza tolerans yüksek konsantrasyonlarda tuzlara karşı geçirimsiz olmaya bağlıdır (Cheeseman, 1988). Ancak bilindiği gibi hücrenin seçici geçirgenliğini koruyabilmesi monovalent (K, Na) ve divalent (Ca) katyonlar arasındaki dengeye (Na/Ca) bağlıdır. Bu denge, monovalent katyonların konsantrasyonunun artışıyla bozulduğunda, geçirgenlik artarak hücrenin zararlanmasına yol açmaktadır. Bu durumda “exclusion” ile tuzdan sakınan bir bitkinin nispeten yüksek tuz konsantrasyonlarında, Na tuzlarına karşı düşük bir geçirgenliğe sahip olması gerekmektedir (Yeo, 1983; Cheeseman, 1988). Ancak hücre geçirgenliğinde söz konusu dengenin korunması için Ca temel katyondur ve Na, Ca’un antagonistidir.

Halofitlerde yüksek tuz toleransı temel olarak, tuzların kabullenilmesine (inclusion) ve bitkinin turgor mekanizmasından yararlanmasına ya da çeşitli metabolik fonksiyonlarında Na’un K ile yer değiştirmesine dayandırılmaktadır. Birçok tarım ürünü kapsayan glikofitlerde ise genel olarak tuz alımı ve tuz toleransı arasında tersine bir ilişki vardır (Greenway ve Munns, 1980; Gorham ve ark., 1985). Glikofitlerin excluder (tuzu dışlayan) olarak sınıflanması sadece göreceli bir terimdir. Bu includerlarla (tuzu kabullenenlerle) karşılaştırıldığında daha az tuz anlamını ifade etmektedir.

Bitki türlerinin NaCl’e tepkileri yeşil aksamın büyümesi ve mineral element içeriği açısından çok farklılık göstermektedir. Şekerpancarı tuza toleranslı tipik bir “halofit includer” özelliği sergiler. Şekerpancarında büyüme NaCl tuzluluğu ile teşvik edilir ve özellikle yeşil aksamdaki Na ve Cl seviyeleri dış ortam tuzluluğu artışıyla artar. Diğer yandan bu bitkide katyon yarışı nedeniyle Ca ve K seviyeleri düşer. Mısır şekerpancarına oranla, tuza daha az toleranslı olup, tuz uygulanması durumunda büyüme sınırlandırılırken yeşil aksamdaki Cl ve özellikle Na seviyeleri daha düşük seviyede kalmaktadır (Marschner, 1995). Fasulye, diğer tuza duyarlı bitki çeşitleri gibi etkili bir Na ihraç mekanizmasına sahipken, Cl için etkili bir ihraç mekanizması yoktur (Lessani ve Marschner, 1978). Na ve Cl’un ihraç kapasitesindeki farklılıklar aynı türün genotipleri arasında da olabilmektedir. Örneğin; tuza yüksek tolerans gösteren bazı buğday (Greenway ve Munns, 1980), arpa ve turunçgil genotiplerinde (Maas, 1993) hem Na hem de Cl’un yeşil aksama taşınmasında etkili bir sınırlama mekanizması vardır. Yapılan araştırmalar, Cl ihraç yeteneğinin, dominant bir gen ile sağlandığını ve Na ihraç yeteneğinden bağımsız olduğunu göstermektedir (Sykes, 1992).

Bitkiler Na ve Cl'un köklerden yeşil aksama taşınımını kısıtlayarak da tuza tolerans gösterirler. Benzer şekilde tuza adaptasyonu iyi olan arpada Na ve Cl'un yeşil aksama transportu sınırlandırılmıştır. Bu sınırlandırma kök seviyesinde ve kökten yeşil aksama gidişte olabilmektedir. Çoğu halofitlerde tuzun pasif alımı ise kökte bariyerlerin oluşturulması ile sınırlandırılır. Bu bariyer kasparin şeridinin glikofitlere kıyasla 2-3 kez büyütülmesi ile olabilmektedir (Poljakoff ve Mayber, 1975). Glikofitlerin pasif membran geçirgenliğindeki veya plazma membranındaki effluks pompalarındaki değişiklikler, Na ve Cl alımını ve kökten yeşil aksama transportunu sınırlayan kök seviyesindeki temel mekanizmalardır. Kök hücresi membranlarının lipid bileşimi ile Na alımı ve transportu arasında bugüne kadar bir korelasyon bulunamamıştır (Hajibagheri ve ark., 1989). Mısır genotiplerinde tuzdan sakınım seviyesindeki farklılıkların, kök hücresi membranlarının pasif Na geçirgenliğindeki farklılıkla ilişkili olduğu sanılmaktadır (Schubert ve Lauchli., 1990). Bununla birlikte tuza tolerans gösteren mısır genotipleri stoplazmalarında düşük Na konsantrasyonunu sürdürecekt yüksek bir kapasiteye sahiptirler (Hajibagheri ve ark., 1989).

2.2.3.2. Vejetatif Kısımlarda Tuz Dağılımı

Tuzu tolere eden türlerde Na ve Cl'un yeşil aksamın çeşitli organlarında ve dokularındaki dağılımı çok büyük önem taşımaktadır. Tuz toleransı yüksek olan türlerde Na ve Cl'un genç yapraklara taşınımının sınırlandırılması karakteristik bir özelliktir. Genç yapraklarda yaşlı yapraklardan daha yüksek K ve daha düşük Na konsantrasyonu genelde Na ve K'un daha düşük ksilem transportu yanında, K'un yaşlı yapraklardan floemle taşınması nedeniyle olabilmektedir (Wolf ve ark., 1991). Dikotiledon halofit olan *Kosteletzkayav virginica* bitkisi 85 mM NaCl ortamında yetiştirildiğinde yaprak özsuyundaki Na konsantrasyonu yaşlı yaprakta 230 mM iken genç yaprağa doğru 100 mM'dan 320 mM'a yükselmiştir (Blits ve Gallagher, 1990).

2.2.3.3. Ozmotik Düzenleme

Ozmotik stres, temelde su noksanlığı ile oluşan bir stres çeşidi olduğundan iki şekilde tolere edilebilir (Pessarakli ve ark., 1989). Bunlardan birincisi dehidrasyondan sakınabilmek, ikincisi ise dehidrasyona tolerans gösterebilmektir. Dehidrasyona tolerans, turgor kaybına izin

verir. Ancak bu durumda hücre büyümesi engellenir. Dehidrasyondan sakınım ise, hücrede su alımının başlamasına ve turgorun yeniden kazanılmasına, dolayısıyla hücre bölünmesinin devam etmesine izin verir. Artan iyon alımı ile ozmotik stresin telafi edilerek hücre turgorunda devamlılığın sağlanması “ozmotik uyum” olarak tanımlanır (Rains, 1972). Tuza dayanıklı bir bitkinin dehidrasyon sakınımına, yani ozmotik uyum mekanizmasına sahip olması gereklidir. Tuz stresine maruz kalan bitkilerde ozmotik uyum ya tuz iyonlarının aktif alımıyla ya da çözünebilir organik maddelerin sentezlenerek hücrede akümüle olmasıyla sağlanır (Marschner, 1995). Bitki tuzun primer toksik etkilerine dayanıklıysa, ozmotik uyum daha çok iyon birikimi (Na, K, Cl,) ile sağlanır (Blumwald, 2000). Bitki tuzu bünyesinden uzak tutarak ya da ihraç ederek tuzdan sakınıyorsa, ozmotik uyum büyük ölçüde organik maddelerin (şekerler ve prolin) sentezine bağlı olmaktadır (Salisbury ve Ross, 1992). Meneguzzo ve ark. (2000) tuz stresi altındaki 2 farklı buğday (*Triticum aestivum* L.) genotipinde (Ofanto, Adamello), su potansiyeli ve ozmotik potansiyelin tuzlulukla azaldığını ve ozmotik uyumun Na, Cl ve K iyonlarının hücre özsuyunda birikmesiyle sağlanarak turgorun korunduğunu bildirmişlerdir.

Tuzlulukta ani bir artışta ozmotik uyum, bitki yapısında su miktarının azaltılmasıyla sağlanır. Tuz toleransı ve bitkinin tuzlu ortamda büyümeye devam etmesi, bitkinin bünyesinde ozmotik olarak aktif maddeleri arttırmasını gerektirir (Gorham ve ark., 1985). Exclusion mekanizmasının işlediği genotiplerde şeker ve aminoasit gibi organik bileşiklerin sentezi ve K, Ca ve NO₃ alım oranlarının artması gerekmektedir. Fakat bu olayın yüksek enerji gerektirmesi nedeniyle büyüme oranı doğal olarak düşmektedir. Inclusion mekanizmasının tuz toleransında temel mekanizma olduğu genotiplerde ozmotik tuzların (temel olarak NaCl) yaprak dokusundaki akümüasyonu ile sağlanır (Flowers, 1988; Blumwald, 2000). Natrofil bitki türlerinde Na, K'un sadece vakuoldeki ozmotik görevini değil aynı zamanda hücre metabolizmasındaki spesifik fonksiyonlarını da üstlenir (Marschner, 1995).

2.2.3.4. İyon Kompartıması ve Çözünebilir Organik Maddeler

Bir bitki bir elementi aşırı miktarda bulundurduğu halde bitkide zararlanma görülüyorsa, bu bitkide doku toleransından bahsedilebilir. Alınan Na sitozolde

biriktirildiğinde bitkideki su kullanılamaz ve bitki kurur. Apoplastta tuz birikimi de dehidrasyon ve turgor kaybına yol açarak bitki hücre ve dokularının ölmesine neden olur. Dayanıklı genotip ise tuzu vakuolünde biriktirmektedir. Genotipler iyonların kompartimentasyonunu yani iyonların farklı organellerde depolanması açısından farklıdır. Bazı bitkiler sodyumu ksilem parankimasında biriktirirler (Hasegawa ve ark., 1986).

Sodyum klorür uygulanarak tuz stresine maruz bırakılan ıspanaklarda sürgün ve köklerin taze ve kuru ağırlıklarının kontrol bitkilerine göre % 50 azaldığı, fotosentetik potansiyellerinde önemli bir azalma olduğu saptanmış, fakat bitkilerin zaman içinde büyümeye devam ettikleri gözlenmiştir. Bitkilerden izole edilen kloroplastlar analiz edildiğinde, Na ve Cl iyonlarının kloroplastlarda akümüle olmadığı belirlenmiştir. Tuz uygulamalarına karşı fotosentetik aktivitede gözlenen bu dayanım, kloroplast hücrelerinin Na ve Cl iyonlarına seçici davranıp bunları bünyelerinden uzak tutmalarına bağlanmıştır (Robinson ve ark., 1983).

Tuzlu koşullar altında belirli enzimler, örneğin; köklerdeki membran bağlı ATPaz enzimi, bulunduğu bitkinin tuza toleransına bağlı olarak aktive veya inhibe edilir. Böylece membran bağlı ATPazın da halofitlerde glikofitlere nazaran daha az hassas olduğu söylenebilir (Lerner ve ark., 1983). Bununla beraber, *Atriplex spongiosa* gibi halofit ve *Phaseolus vulgaris* gibi glikofit bitkilerin malat dehidrogenase ve aspartate transaminase enzimleri yüksek NaCl düzeylerine benzer şekilde hassastırlar (Greenway ve Osmond, 1972). Kural olarak ozmotik dengeyi sağlamak için yapraklarında yüksek miktarlarda Na ve Cl veya diğer inorganik iyonları biriktiren inclusion mekanizmasının işlediği genotipler, stoplazma ve kloroplastlardaki enzimlerini Na ve Cl'un vakuollerde kompartimentasyonu ile sağlamaktadır.

Stoplazma ve organellerindeki ozmotik dengenin sağlanması için glicinbetain ve prolin gibi toksik olmayan ve çözünebilir organik maddeler biriktirilir (Zhu, 2001). Su ve diğer çevresel streslere maruz kalan bitkilerde prolin akümüasyonu sıklıkla gözlenmektedir (Hanson ve Hitz, 1982). Artan prolin seviyesinin NaCl stresi altında ozmotik düzenlemede rol oynadığı düşünülmekte olup, C ve N için toksik olmayan bir değer sağlamaktadır. (Joyce ve ark., 1992). Lone ve ark. (1987) kültüre alınmış arpa embriyolarında prolin ve glicine-betainin tuz toleransı üzerine etkilerini araştırdıkları çalışmalarında, arpa embriyosuna dışarıdan prolin ve glicine-betain eklenmesiyle yeşil aksam büyümesinin tuzlu koşullarda arttığını

gözlemlenmişlerdir. Yüksek tuza maruz bitkide Na ve Cl vakuollerde biriktirilirken, kloroplastlardaki K miktarı fotosentezi sürdürebilmek için yüksek tutulur (Blumwald, 2000). Tuz stresi altındaki bitkilerde ozmotik dengenin sağlanması için kloroplastlarda artan konsantrasyonlarda çözünebilir maddeler biriktirilirken, tüm bitki bazında bu artış daha düşük oranda olmaktadır. Tuz stresindeki bitkide yapraktaki total glicine-betainin %30-40'ı kloroplastlarda lokalize olmuştur; kalan kısmın büyük bir oranı sitozolde lokalize olurken, vakuollerdeki oran çok düşüktür.

2.2.3.5. Tuz Salgılanması

Halofitler fotosentetik olarak aktif dokunun tuz içeriğini çeşitli mekanizmalarla azaltırlar. Bunlar; gutasyonla tuz salgılama, yaşlı yaprağın gölgelemesi ve diğer organlara retranslokasyon olarak sayılabilir (Waisel ve ark., 1986). Salgılama yüksek sıcaklığa bağlıdır ve genellikle Na⁺ ve Cl⁻ eşit miktarlarda salgılanır (Gorham, 1987; Ball, 1988).

2.2.3.6. Fizyolojik Mekanizmalar

Tuzluluk, tıpkı yüksek sıcaklık, kuraklık, düşük sıcaklık, herbisit uygulaması ve mineral element eksikliği stres faktörlerinde olduğu gibi, bitkilerde fotosentetik karbon metabolizmasını ve elektron transport aktivitesini sınırlandırmakta ve bozmaktadır. Tuz stresinde bitkilerin su kaybını azaltmak için stomalarını kapatmasıyla, CO₂ girişinin engellenmesi sonucu, CO₂ fiksasyonu azalmaktadır (Brugnoli ve Lauteri, 1991; Makela ve ark., 1999). Stres koşullarında oluşan ve son yıllarda üzerinde en çok durulan zarar işte bu aşamada başlamaktadır. CO₂ fiksasyonunda kullanılmayan elektronlar ile absorbe edilen ışık enerjisi O₂'nin aktivasyonunda yani radikallerin sentezlenmesinde kullanılmaktadır (Halliwell ve Gutteridge, 1985).

Mitokondriyal ve kloroplastik elektron taşınımı sırasında elektronlar süperoksit radikal (O₂⁻) ve hidroksil radikal (OH) gibi aktive olmuş oksijen türevlerini üretmek üzere oksijen ile reaksiyona girebilmektedir (Halliwell ve Gutteridge, 1985). Bir başka toksik O₂ türevi olan singlet oksijen (¹O₂) durağan oksijenin enerjisiyle (çoğunlukla ışık enerjisi) aktivasyonu ile sentezlenmektedir (Eltner, 1987). Bitkide artan düzeylerde sentezlenen serbest radikaller hücrelere zarar vermekte, özellikle yavaşlama sürecine giren fotosentez etkinliğini daha da sınırlamaktadır. Bu toksik oksijen türevleri, lipitleri (Fridovich, 1986; Wise ve Naylor, 1987;

Shalata ve Tal, 1998; Dionisio-Sese ve Tobita, 1998; Sreenivasulu ve ark., 1999; Ye ve ark., 2000), proteinleri (Halliwell ve Gutteridge, 1985; Davies, 1987) ve nükleik asitleri (Fridovich, 1986; Imlay ve Linn, 1988) oksidatif zarara uğratarak metabolizmayı ciddi şekilde tahrip ederler. Araştırmalar tuz stresi altında yetişen bitkilerde görülen nekrozların oksijen radikallerince gerçekleştirilen lipid tahribatından, klorozun ise oksijen radikallerinin klorofili parçalamasından kaynaklandığını göstermektedir (Heath and Packer, 1968; Salin, 1987; Gepstein, 1988; Gossett ve ark., 1994a; Streb ve Feierebend, 1996).

Oksijen konsantrasyonu fotosentez sırasında yüksek olduğu için (Steiger ve ark., 1977), kloroplastların aktif oksijen türevlerini üretmeye eğilimleri yüksektir (Asada ve Takahashi, 1987). Süperoksit radikal (O_2^-) bir kez üretilince enzimatik olarak ya da enzimatik olmayan yolla hızla $H_2O_2 + O_2$ ürününe dönüşür. Gerçekte süperoksit radikalının H_2O_2 'e dönüşmesi bitkiler için bir başka problem oluşturur. Çünkü H_2O_2 de toksiktir ve Calvin döngüsünün en güçlü inhibitörüdür. Buna ek olarak, H_2O_2 , O_2^- 'nin ve Fe ve Cu gibi bazı metal iyonlarının varlığında yüksek derecede reaktif OH radikalının oluşumunu katalize eder (Imlay ve Linn, 1988).

Bitkiler kendilerini toksik O_2 türevlerine karşı koruyan değişen miktarlarda antioksidantlara ve antioksidatif enzimlere sahiptirler (Asada ve Takahashi, 1987; Ye ve ark., 2000). Toksik oksijen türevlerine karşı kloroplastlar antioksidatif savunma sistemlerine sahip olup, bu antioksidantların başında; vitamin E, vitamin C, glutatyon, beta karoten ve zeaxanthin gelmektedir. Süperoksit dismutaz (SOD), askorbat peroksidaz (APx), glutatyon redüktaz (GR) ve katalaz (CAT) gibi enzimler ise bu radikallerin yok edilmesinde en etkin antioksidatif enzimler olarak bilinmektedir (Cakmak ve Marschner, 1992; Cakmak, 1994; Gossett ve ark., 1994a; Dionisio-Sese ve Tobita, 1998; Sreenivasulu ve ark., 1999, 2000). Süperoksit dismutaz enzimi, O_2^- 'nin yok edilmesinde belirleyici enzimdir ve SOD'un enzimatik işlevi H_2O_2 oluşumu ile sonuçlanır. Katalaz ve askorbat peroksidaz enzimleri H_2O_2 'nin inaktif hale gelmesini katalize ederler (Chang ve ark., 1984; Cakmak ve Marschner, 1992; Cakmak, 1994). Her ne kadar katalaz enzimi kloroplastlarda bulunmasa da, H_2O_2 kloroplastlarda yüksek seviyelerde bulunan bir askorbat-spesifikperoksidaz tarafından katalize edilen bir reaksiyonla detoksifike edilebilir (Chen ve Asada, 1989). Bu reaksiyon sırasında üretilen monodehidroaskorbat radikalleri kendiliğinden indirgenmiş askorbik asite (AsA) ve oksideaskorbikasite (DAsA) dönüşür veya enzimatik olarak NADPH-bağımlı monodehidroaskorbat radikal redüktaz tarafından indirgenmiş askorbik asite (AsA)

dönüştürülür (Hossain ve ark., 1984). Okside olmuş askorbik asit, enzimatik olmayan bir yolla glutatyonun (GSH) indirgenmesiyle tekrar AsA'ya dönüşür veya DAsA redüktaz tarafından işletilen bir reaksiyonla enzimatik olarak AsA'ya dönüşür (Polle ve ark., 1992). Sonuçtaki okside glutatyon (GSSG), NADPH-bağımlı glutatyon redüktaz ile (GR) tekrar indirgenmiş forma dönüşür. (Foyer ve ark., 1991). Askorbat ve glutatyonun her ikisi kloroplastlarda milimolar düzeylerinde bulunmaktadır (Halliwell, 1982). Askorbik asit (AsA), aynı zamanda süperoksit radikal ile direkt reaksiyona girerek onun detoksifikasyonunu sağlar ve okside α -tocopherolün indirgenmesi sürecine katılır (Foyer ve ark., 1991). α -Tocopherol (vitamin E) bilinen en önemli antioksidantlardandır.

Bitkiler yüksek ışık intensitesi, ekstrem sıcaklıklar, yüksek tuzluluk, kuraklık, herbisit uygulaması veya mineral element noksanlığı gibi çevresel stres koşullarına maruz kaldıklarında, reaktif oksijen türevlerinin üretimi ile antioksidantların ve antioksidatif enzimlerin bunları yok etme aktivitesi arasındaki denge bozulur ve bu olay sıklıkla oksidatif zarar ile sonuçlanır (Spsychalla ve Desborough, 1990; Cakmak ve Marschner, 1992; Polle ve ark., 1992; Guetadahan ve ark., 1997; Doinisio-Sese ve Tobita, 1998; Rodriguez-Rosales ve ark.,1999; Sreenivasalu ve ark., 1999,2000). Son yıllardaki araştırmalar, stres altında antioksidant miktarlarını ve antioksidatif enzim aktivitelerini daha fazla arttıran bitkilerin oksidatif zarara karşı daha dirençli olduğunu göstermektedir (Wise ve Naylor, 1987; Spsychalla ve Desborough, 1990). İster genetiksel olarak yüksek düzeylerde olsun, ister stresle yüksek oranlarda teşvik edilmiş olsun, artan düzeyde antioksidant ve antioksidatif enzim seviyelerine sahip bitkilerin bu oksidatif zarara karşı daha fazla dayanıklılığa sahip oldukları belirtilmiştir (Harper ve Harvey, 1987; Dhindsa ve Matowe, 1981; Wise vw Naylor, 1987; Monk ve Davies, 1989; Spsychalla ve Desborough, 1990).

Bu bağlamda, herhangi bir genotipin tuz stresine karşı toleransı, oluşan radikalleri hangi intensitede detoksifike ettiği ile ilişkilendirilmektedir. Son yıllarda tuz stresinin oksidatif zararları ile ilgili yapılan birçok araştırma toksik O₂ türevlerini yok etmeden sorumlu antioksidatif enzimlerin, tuz stresine dayanıklı genotiplerde duyarlı genotiplere göre daha yüksek düzeyde bulunduğunu ve tuz stresine dayanıklı genotiplerin daha az lipid ve protein tahribatına uğradıklarını göstermektedir. Luna ve ark. (2000) kontrollü koşullarda, tuz dozunun artışı ile tarla koşullarında tuza dayanıklılığı yüksek olan Katambora genotipinde lipid peroksidasyonunun tuza duyarlı Boma genotipinden daha düşük olduğunu saptamışlardır.

Çalışmada, tuzlu koşullarda canlılığını daha uzun süre koruyan varyetelerde lipit peroksidasyon düzeyinin daha düşük olduğu saptanmıştır.

Farklı bitkilerin tuz stresi altındaki lipit peroksidasyon düzeyleri ile ilgili yapılan araştırmalarda da benzer bulgular elde edilmiştir (Shalata ve Tal, 1998; Diolinio-Sese ve Tobita, 1998; Sreenivasulu ve ark., 1999; Ye ve ark., 2000). Tuz stresi altında aktif oksijen türevlerine karşı bitkileri koruyan enzim aktivitelerinin dayanıklı genotiplerde daha yüksek düzeyde olduğu birçok araştırmacı tarafından bildirilmiştir (Hernandez ve ark., 1995; Gosset ve ark., 1996; Meneguzzo ve ark., 1998; Diolinio-Sese ve Tobita, 1998; Sreenivasulu ve ark., 1999; Hernandez ve ark., 2000). Örneğin; Hernandez ve ark. (2000) 70 mM NaCl'e maruz bırakılan tuza toleransları farklı olan iki bezelye genotipinde toleransın antioksidatif savunma sistemi ile ilgisini incelemişlerdir. Araştırmacılar tuz stresi koşullarında dayanıklı Granada genotipinde APX, GR, MDHAR, Mn-SOD ve DHAR aktivitelerinin arttığını, CuZn-SOD aktivitesinin ise değişmediğini bildirmişlerdir. Duyarlı Challis genotipinde tuz stresinin APX, GR ve MDHAR aktivitelerinde belirgin bir değişikliğe yol açmadığını, sadece DHAR aktivitesinin arttığını ve CuZn-SOD aktivitesinin ise % 35 dolayında azaldığını saptamışlardır. Araştırmacılar total askorbatperoksidaz ve glutatyon miktarlarının her iki genotipte de azaldığı, bu azalmanın tuza duyarlı bitkide daha şiddetli olduğuna işaret etmişlerdir. Benzer şekilde Gosset ve ark. (1996), 150 mM NaCl uygulanması durumunda tuza dayanıklı pamuk genotipinin, duyarlı genotipe göre daha yüksek CAT (% 341), peroksidaz (% 319), GR (% 287), APX (% 450), gamma-glutamylcysteine sentaze (% 224) ve glutatyon S-Transferaze (% 500) aktivitelerine sahip olduğunu bildirmişlerdir. Çalışmada ayrıca, tuza dayanıklı genotiplerin daha aktif askorbat-glutatyon döngüsüne sahip olduğu vurgulanmıştır.

Tuz stresinin çeltik bitkisinde yarattığı antioksidatif enzim değişmelerini araştıran Diolinio-Sese ve Tobita (1998) ise, tuz stresi altında duyarlı Hitomebore genotipinin SOD aktivitesinde azalma, peroksidaz aktivitesinde, lipit peroksidasyon ve Na akümülyasyonunda ise artışların olduğunu saptamışlardır. Bunun yanında tuza dayanıklı Pokkali genotipinin SOD aktivitesinde hafif artışlar gözlenirken, peroksidaz aktivitesinde hafif düşmeler saptanmıştır. Tuz stresi altında duyarlı genotipin lipit peroksidasyonu ve Na akümülyasyonunda anlamlı değişmeler olmadığı bildirilmiştir.

2.3. Bitkide Su Stresi

2.3.1. Bitki-Su İlişkisi

Yeşil bitki bünyesinde en fazla su ihtiva eder. Bu yaprak ve etsi meyvelerde % 90, sap, kök ve yumrusu yoğun olanlarda % 75-85 ve olgunlaşmamış tohumlar ile sapta % 8-15 kadardır (Schilling, 1990). Biyokimyasal olaylara bir organ ne kadar sık katılır ise ondaki su miktarı o denli yüksek olur. Bu ise suyun yaşam için ne kadar önemli olduğunu gösterir. Su, bitkide yapı taşı, çözücü, serinletici ve kabartıcı olarak görev yapar.

- **Yapı Taşı:** su örneğin CO₂ asimilasyonu için gerekli H⁺ iyonunu verir ve biyokimyasal olaylara doğrudan katılır.

- **Çözücü ve Taşıyıcı:** Reaksiyonlar doğal olarak sulu ortamlarda gerçekleşir. Biyokimyasal olaylar için gerekli olan molekülü, örneğin fosfatı çözelti içinde reaksiyon noktasına (yaprağa) taşır.

- **Kabarma:** Bir çok hücrenin yapısı katı olduğundan ilgili biyokimyasal olayın gerçekleşebilmesi ancak hücre yapısının kabartılıp genişletilerek uygun ortamın hazırlanması ile mümkün olur.

Su stresi; bitkilerin ihtiyacı olan suyu alamamaları durumunda ortaya çıkan bir stres çeşididir. Buna “kuraklık stresi” de denilmektedir. Bunun çeşitli sebepleri vardır. En önemlisi ve bitkilerin en çok karşılaştıkları ise toprakta yeterli suyun bulunmayışıdır. Topraktaki su yetersizliği çeşitli sebeplerden kaynaklanabilir. Havanın sıcak ve kuru olmasında dolayı buharlaşmayla toprak gözeneklerindeki su azalır. Toprağın yapısı suyu tutmaya elverişli olmayabilir. Diğer taraftan toprakta aşırı suyun bulunması da bitkinin su almasını engeller ki buna **fizyolojik kuraklık** denir. Bir başka sebep de topraktaki tuzun fazla olmasından dolayı serbest suyun bağlı hale geçmesinden kaynaklanan kuraklık durumudur ki buna da “tuz stresi” denir.

Esasen bitkiyi strese sokan en önemli etken; topraktaki su potansiyelinin azalmasıdır. Çünkü transpirasyonla olan su kaybı, eğer toprakta yeterli su varsa telafi edilebilir. Ancak toprakta yeterli su bulunmaz ve bitki buna karşı tolerans mekanizmalarını çalıştırmayıp su

kaybederse, bitkide su stresi görülür. Topraktaki su potansiyeli daimi solma noktasına geldiğinde (-1.5 Megapaskal) yaprakların su potansiyeli, kökün ve toprağın su potansiyelinin aşağısındadır. Yani bir su potansiyeli farkı olmasına rağmen bitki su alamaz ve solmaya başlar. Bu uzun süre devam ederse bitki kuruyarak ölür. Toprakta su çok azaldığında, toprak kolloidlerince daha fazla çekildiğinden köklerin emme gücü kolloidlerin emme gücünü yenemez ve su alımı durur. Yaprak ve köklerde daimi solma noktasında solma gerçekleşir.

2.3.2. Su Stresinin Bitkideki Etkileri

Su stresinin, bitkide meydana getirdiği değişiklikler genel olarak su noksanlığı ve kuruma olarak iki tipe ayrılabilir (Smirnov, 1993). Buna göre:

1. Su noksanlığı, stomalarda kapanmaya ve gaz değişiminde kısıtlamaya neden olan orta düzeydeki su kaybıdır. Oransal su kapsamının yaklaşık %70'te kaldığı hafif su noksanlığına maruz kalan bitkilerde stomaların kapanmasına bağlı olarak karbondioksit alımı kısıtlanmaktadır.

2. Kuruma, metabolizma ve hücre yapısının tamamen bozulmasına ve sonunda enzimle katalizlenen reaksiyonların durmasına neden olabilecek potansiyele sahip olan aşırı miktardaki su kaybı olarak tanımlanabilir. Genel bir kural olarak, kurumaya duyarlı bitkilerin çoğunda vejetatif doku, %30'un altındaki oransal su kapsamında iyileşme sürecine giremez (Smirnov, 1993).

Bitkilerde meydana gelen bu değişiklikler sonucu su stresi, bitkiler üzerinde mekanik etki, metabolik etki ve oksidatif etki olmak üzere üç tip etkide bulunmaktadır:

a- Mekanik Etki: Bitki hücrelerinden belirgin su yitimi gerçekleştiği zaman bitkide turgor kaybıyla kendini gösteren birincil stresdir (Levitt, 1980). Plazma membranının yapısı hücredeki sulu ortamın bir sonucudur; bu yapı membrandaki hidrofobik fosfolipid kuyruklarının su tarafından itilmesi ile oluşur (Sıvı-katı faz). Hücreden su kaybıyla beraber, membran yapısı değişikliğe uğrar; fosfolipidlerin hidrofilik baş kısımları birbirine yaklaşır ve membranlar kompakt bir görünüm alır (Jel fazı). Bu yeni yapıda membran lipidleri sıvı-katı fazında

olduğundan daha az kinetik enerji ile lateral ve rotasyonel harekete sahiptir. Su kaybına bağlı olarak hücrede hacim de azalır ve plazma membranı hücre duvarından ayrılarak yalnız plazmodezmler aracılığıyla ilişkisini sürdürür (plazmoliz). Gerilim altındaki plazma membranı ve tonoplastta gerçekleşen çökme, yırtılmalara yol açabilir (McKersie, 1994) ve bu durum, zarlar üzerinde yerleşmiş olan hidrolitik enzimlerin serbest kalması ve dolayısıyla sitoplazmanın otoliziyle sonuçlanabilir (Salisbury, 1992). Bu zarar, normal hücresel metabolizmayı genelde kalıcı olarak bozar.

b- Metabolik Etki: Hücre içeriğinin büyük bir kısmını oluşturması, taşıyıcı olması, hücresel reaksiyonlar ve işlevler için çözücü rolü oynaması gibi fonksiyonel özelliklerinden dolayı suyun, hücreden kaybı durumunda, normal regülasyon devam edemez ve metabolizma bozulur. Su kaybına bağlı olarak gerçekleşen iyon-birikimi, membran bütünlüğünün ve proteinlerin yapısının bozulmasına yol açarak hücreye zarar verebilir. Su kaybı sonucunda; proteinlerin yapısında bulunan hidrofobik ve hidrofilik amino asitlerin su ile etkileşimleri bozulur (Campbell, 1991) ve bu durum da protein denatürasyonlarına ve enzim inhibisyonlarına neden olur (Bray, 1997). Su stresi sırasındaki hasarda bir başka faktör, DNA ve RNA gibi nükleik asitlerin degradasyonudur. Kessler'e göre (Kessler, 1961), su stresine maruz kalmış olan yapraklarda RNAaz aktivitesi artmakta ve bu da enzimin bağlı durumdan serbest duruma geçmesinden kaynaklanmaktadır. Nükleik asitlerin yıkımından sorumlu diğer moleküller ise serbest radikaller olabilir.

c- Oksidatif Etki: Serbest radikallerin, özellikle aktif oksijen türlerinin [süperoksit molekülü (O_2^-), singlet oksijen ($*O$), hidrojen peroksit (H_2O_2) ve hidroksil radikallerini $[(OH\cdot)]$ oluşumunu içerir. Serbest radikaller, eşleşmemiş elektron içeren moleküller olup oldukça reaktiftirler. Bu radikaller; plazma membranı, mitokondri, ER membranlarında da oluşabilir (McKersie, 1994). Bununla beraber, suyun kısıtlı olduğu periyotlarda, vejetatif bitki dokularında oksidatif stresin en yaygın nedeni kloroplastta gerçekleşen ışık-klorofil etkileşimleri diye düşünülmektedir (Farrant, 2000). Su kısıtlı hale gelirken, bitki daha fazla su kaybetmemek için, genelde, stomalarını kapatır; bu da fotosentezle fiksasyon için gerekli CO_2 'nin alımının kısıtlanmasına neden olur. Bu durum; fotosentetik aparatın reaksiyon merkezlerindeki enerjinin aşırılığına neden olur (Stuhfauth, 1990). Bu durumda; $NADP^+$ (fotosentezdeki e- akseptörü) kısıtlı hale gelir ve ferrodoksin $NADP^+$ yerine oksijeni redükler; böylece, fotosistem I (PSI)'in elektronları O_2 'ye transferi sonucunda reaktif O_2^- radikali üretilir (Mehler reaksiyonu) (Tambussi, 2000). Birçok türde su stresi altında artan O_2^- oluşum

hızı; lipid peroksidasyonuna, yağ asidi doymunluğuna ve sonuçta membranların bütünüyle zarar görmesine neden olur (Sgherry, 1996). Süperoksitin kendisi fazla reaktif değildir ve daha çok H₂O₂ ve daha sonra OH[•] oluşturmak suretiyle etkili olur (Halliwell, 1989). Hidrojen peroksit Calvin döngüsünün birçok enziminin inaktivasyonuna yol açmaktadır (Charles, 1980; Kaiser, 1979). Süperoksit ve hidrojen peroksitin OH[•] radikalini oluşturmak üzere tepkimesi sırasında (Haber-Weiss reaksiyonu), artan demir ya da bakır gibi diğer geçiş metalleri, bu reaksiyonları hızlandırmak suretiyle oksidatif hasarı daha da arttırabilir (Fenton reaksiyonu) (Smirnoff, 1993). Bunların yanı sıra, fotosistem II (PS II)'deki suyu parçalayan bölgede de serbest radikal oluşabilir. Bitkilerde, oksidatif zararın yol açtığı yıkıcı etkilerle mücadele etmek için; yağda çözünen ve membrana bağlı antioksidantlar [doğrudan lipid peroksidasyonunun serbest radikallerini (triplet klorofil ve ¹O₂) gideren α-tokoferol, β-karoten], suda çözünen antioksidantlar [O₂⁻ ve H₂O₂'nin detoksifikasyonunda rol oynayan glutasyon ve askorbat] ve enzimatik antioksidantlar [süperoksit dismutaz (SOD), katalaz (CAT), peroksidaz (POX), askorbat peroksidaz (APX) ve glutasyon redüktaz (GR)]'dan oluşan karmaşık bir antioksidant koruyucu sistemine sahiplerdir. Su stresine maruz kalan bitkiler antioksidant savunma sistemlerin bazılarının ya da tamamının aktivasyonu ile oksidatif stresin üstesinden gelebilirler (Jung, 2004; Srivalli, 2003; Ramachandra, 2004; Pinheiro, 2004). Bununla beraber, uzun süreli ve akut; hatta bazen kısa süreli stres durumunda bile, savunma mekanizmalarının kapasiteleri aşılır ve bu durum, gözle görülür zararlara ve hatta bitki ölümüne neden olabilir (Alexieva, 2003).

2.3.2.1. Su Stresinin Büyüme ve Verim Üzerine Etkisi

Su stresi sonucunda bitki hücrelerinde oluşan değişiklikler sırasına göre şöyledir:

- a- Hücrede su potansiyeli azalır.
- b- Turgor basıncı azalır.
- c- Hücrede moleküller konsantre olur.
- d- Plazmalemma, tonoplast ve organel zarlarının yapısı bozulur.
- e- Makromoleküllerin üç boyutlu yapısında değişme olur.

Hücre içerisindeki bu değişiklikler sonucu tüm şu değişiklikler görülür:

- 1- Büyüme hızı,

- 2- Gövde uzaması,
- 3- Yaprak genişlemesi,
- 4- Stoma açıklığı azalır.

Stres arttıkça su için bitkideki organlar arasında rekabet artar.

2.3.2.2. Su Stresinin Hücre İçi Yapılarına Etkisi

a- Vejetatif Organlar

1- Farklı bitki kısımlarının büyüme ve gelişme safhası bir faktördür. Mesela; meristemler su için rekabete girer. Çünkü bu hücrelerde mitoz bölünme olabilmesi için protein sentezi fazladır. Bu da matriks potansiyelini artırır. Böylece meristem hücrelerinin su potansiyeli düşer ve su potansiyelinin yüksek olduğu dokulardan su alırlar.

2- Bitkinin solut (çözünen madde) miktarında artış olan kısımlarının (yapraklar) ozmotik potansiyeli azaldığından su potansiyeli de azalır ve su almada rekabete girerler. Bitkilerin üst yaprakları genç olduğu için daha fazla suya ihtiyaç gösterirler ve daha fazla su emerler.

3- Suda çözünmeyen organik maddelerin (nişasta, protein) çözünür hale dönüştürüldüğü organlar da stres durumunda bu rekabete katılırlar. Örneğin; erken ilkbaharda toprak altındaki kökler, yumrular ve rizomlar.

b- Üreme Organları

Su stresi özellikle üreme organlarını gelişimi sırasında önemlidir. Çünkü stres durumunda meyveler ile daneler büyüyemez. Hızlı transpirasyon sonucu ksilemden su potansiyeli düşer. Bu durum meyvelerin su kaybetmesine neden olur. Tahıllarda suyun eldesi, dane dolumu zamanında kritik bir öneme sahiptir.

Su stresi altında bitkide bir organın etkilenmesiyle diğer organlar da etkilenmekte ve sonuçta verim azalmaktadır.

2.3.2.3. Su Stresinin Hücre İçi Yapılarına Etkisi

İlımlıdan şiddetli strese doğru gidildikçe hücre kompartmantasyonunda bir bozulma olur. Bunun sonucu koful, lizozom, peroksizom, glioksizom gibi hücre organellerinde hapsedilmiş olan hidroliz enzimleri açığa çıkar ve substratları ile etkileşirler. Örneğin; lipaz enzimleri salgılandığında hücre zarları su stresine hassas bitkilerde tahrip edilirken, dirençli bitkilerde zarlar sağlam kalır veya biraz hasar görmüşse hemen tamir edilir. Bununla beraber hem hassas hem de dirençli bitkilerde dönüşümsüz bir nokta vardır ki stres bu noktayı aşarsa sonuç ölüm olur. Bu noktaya ulaştıktan sonra hidrasyon olması hasarı iyice arttırır.

2.3.2.4. Su Stresinin Fotosenteze Etkileri

Su stresi altında stomalar kapanır, fakat yapraklar tarafından ışık enerjisi emilmeye devam eder. Fotosentezde kullanılan CO₂'in yapraklara girişi engellenir veya sınırlanır. Bu durumda ne olduğuna dair çalışmalar yapılmış olmasına rağmen çok net sonuçlar ortada yoktur. Muhakkak ki bu durumda, fotosentezin ışık reaksiyonları devam ederken CO₂ fiksasyon safhası engellenmekte ve sınırlanmaktadır.

Su stresi sırasında fotosentezin gerilemesi büyük ölçüde iki nedene bağlı olarak gerçekleşmektedir; orta düzeydeki su noksanlığı koşulları altında stomaların kapanmasına bağlı olarak gerçekleşen stomatal sınırlamalar ve genellikle daha uzun süreli ve daha şiddetli streslerde ortaya çıkan stomatal olmayan sınırlamalar.

a- Stomatal Sınırlamalar: Su stresine karşı oluşturulan en erken tepkilerden biri, kloroplastlara CO₂ difüzyonunu kısıtlayan stoma kapanması olayıdır (Lima, 2002; Muller, 1996). Su stresi sırasında bitkilerin stomalarını kapatmalarına neden olan iki temel etken, hidrolik sinyaller (yaprak su potansiyeli, hücre turgoru) ve kimyasal sinyaller (absisik asit)'dir. Köklerde sentezlenen ve transpirasyon akıntısıyla bekçi hücrelerine taşınan absisik asit (ABA), bekçi hücrelerindeki ABA reseptörüne bağlanarak, su stresi koşulları altında stomaların kapanmasını sağlar (Teiz, 1998). Önceleri stomaların kapanmasında, yapraktaki su potansiyelinin ve hücre turgorunun azalmasının etkili olduğu düşünülürken; yaprak su potansiyelinde bir düşme olmaksızın stomatal iletkenliğin azaldığı örneklerin görülmesi üzerine; stoma kapanmasının yapraktaki su potansiyelinden çok, toprağın su potansiyeline

bağlı olduğu görülmüştür. Son zamanlarda birçok araştırmacı tarafından; aynı anda ya da farklı zamanlarda gerçekleşen hidrolik ve kimyasal sinyal tipleri arasında bir kombinasyon olduğuna dair kanıtlar öne sürülmektedir (Asama, 2002; Comstock, 2002).

b- Stomatal Olmayan Sınırlamalar: Şiddetli su noksanlığına maruz bırakılan bitkilerden izole edilen kloroplastlarda fotosentetik elektron transportu ve fotofosforilasyon kapasitelerinin azaldığı gösterilmiştir (Smirnoff, 1993). Fotosentetik elektron zincir reaksiyonlarının inhibisyonu, fotoindirgeyici ya da fotooksidatif hasara neden olabilecek aktif oksijen türlerinin oluşumuna neden olabilir (Asada, 1999). İzole edilen kloroplastlardaki çalışmalar iki fotosistemin ve özellikle de PSII'nin kuraklık stresi ile etkilendiğini göstermiştir (He, 1995). PSII'nin reaksiyon merkezinde yer alan D1 ve D2 proteinleri fotoinhibisyonun en etkili olduğu bölgelerdir (Baker, 1991). Bitkiler stres durumunda D1 proteininin içeriğini sabit tutacak bir onarım sistemine sahiptir ve yapım hızının yıkım hızına yakın olması nedeniyle hafif şiddetli stres koşullarında PSII'nin D1 içeriğinde büyük bir değişiklik meydana gelmez. Stresin yeterince güçlü olması durumunda D1 proteininin sentezi sınırlı hale gelir ve PSII'nin reaksiyon merkezinde D1'in degradasyonu kaçınılmaz olur. Bunun sonucunda ikinci reaksiyon merkezi polipeptidi olan D2 proteini ve son olarak da tüm PSII parçalanır (He, 1995). Yapraklardaki klorofilin büyük bir kısmı, tilakoit membranlarda en çok bulunan protein olan ışık tutucu kompleks (ITK) II'ye bağlıdır ve bu nedenle stres koşulları altında bu klorofil-protein kompleksinde büyük miktarlarda singlet oksijen üretilebileceği düşünülmüştür. Bununla beraber, ITK II'deki pigment molekülleri O₂ geçirmez bir bariyer ile O₂'den ayrılmış gibi görünmektedir ve böylece ITK II tarafından reaktif oksijen türlerinin üretimi sınırlanmıştır (Siefermann-Harms, 1998). Bu bariyer, ITK II'yi tilakoit membranın diğer kısımlarında oluşan reaktif oksijen türlerinden de koruyor olabilir (Tambussi, 2000). ITK II'nin etrafında yer alan lipid özelliğindeki yapı da oksijen ve oksijen radikallerinin bu klorofil-protein kompleksine girişini sınırlıyor olabilir (Siefermann-Harms, 1998). Her durumda ITK II oksidatif hasara oldukça dirençli gibi görünmektedir.

Fotosentezin stomatal olmayan sınırlanması; kloroplast lipidlerinin, pigmentlerinin ya da proteinlerinin oksidatif olarak hasar görmesiyle ilişkili olabilir (Tambussi, 2000). Bitkilerde fotosentetik kapasite, ortamın ışık yoğunluğu ve oransal su kapsamının (OSK) değişimine bağlı olarak da etkilenmektedir.

2.3.2.5. Su Stresinin Azot Metabolizmasına Etkileri

Stres altında olmayan bitkilerde CO₂'deki karbonlar, aminoasitlerden ziyade, organik asitlerin ve şekerlerin yapısına girer. Halbuki stres durumunda daha çok aminoasitlerin ve proteinlerin yapısına katılırlar. Yani alınan CO₂, netice olarak aminoasitlerin sentezinde kullanılır. Su stresi altındaki yapraklarda nitrat redüktaz enzimi aktivitesi azalır. Bunun nedeni nitratların ksilemde taşınmasının azalmasıdır. NH₄⁺ seven bitkiler su stresinden daha az etkilenirler. Çünkü nitrat indirgenmesine ihtiyaç duymadan aminoasit sentezi yaparlar.

2.3.3. Fizyolojik Kuraklık

Çeşitli edenlerden ötürü toprakta aşırı miktarda su bulunması, fakat buna rağmen bitkinin su alamamasından kaynaklanan kuraklıktır. Örneğin; su baskımına bağlı olarak bitkilerde meydana gelen değişmeler;

- a- Bitkinin aşağısından tepesine doğru yapraklarda sararma,
- b- Bitki turgorda olduğu halde petiollerin dökülmesi (senesens),
- c- Yaprak epinastisi (yaprağın kendisinin sarkması),
- d- Yaprak hipertrofisi (şişmesi),
- e- Gövdelerden yeni köklerin oluşması (adventif kökler),
- f- Şiddetli su baskınlarında solma ve kurumadır.

Bu semptomların çoğuna stresin etkisiyle oluşan etilen hormonu neden olmaktadır. Bu da bir savunma mekanizması olarak nitelendirilmektedir.

2.3.4. Su Stresine Adaptasyon Mekanizmaları

Su stresi bitkilerde sınırlı çevresel koşullara adapte olmayı sağlayacak birçok fizyolojik, biyokimyasal ve moleküler cevabı indüklemektedir (Arora, 2002). Vejetatif dokularda su stresine karşı geliştirilen iki ana savunma mekanizması stresten kaçınma ve stres toleransıdır. Stresten kaçınma mekanizmalarından ilki efemerlerde görülen kaçıştır. Çöl efemerleri kurak mevsim sırasında yalnızca dormant tohumlar olarak varlık göstermek suretiyle

kuraklıktan kaçan tek yıllık bitkilerdir. Protoplazmaları hiçbir zaman şiddetli negatif su potansiyellerine maruz kalmaz (Salisbury, 1992).

Diğer bir kaçınma mekanizması ise sukkulent bitkilerde görülür. Bu bitkiler, su stresine karşı, sukkulent dokularında su depolayarak direnir ve su kaybı oranlarının son derece düşük olmasından dolayı nem almaksızın uzun periyotlarda canlılıklarını sürdürebilirler (Salisbury, 1992). Protoplazmaları aşırı derecede negatif su potansiyellerine maruz kalmadığından gerçek anlamda su stresine-toleranslı değildirler. Çöl herdem yeşil bitkileri ise su noksanlığı boyunca dokularındaki turgoru sürdürmek için osmotik koruyucular sentezleyerek kuraklıktan kaçınırlar (Mundree, 2002).

Stresten kaçınan bitkiler yalnızca orta şiddetteki su stresi durumunda hayatta kalırken strese toleranslı bitki grupları ise koruyucu mekanizmalarını çalıştırmak suretiyle çok daha şiddetli su stresi durumunda hayatta kalabilirler. Su stresine toleranslı olan bitki grupları içerisinde yer alan dirilen (resurrection) bitkilerde, suyun kısıtlı olduğu periyotlarda vejetatif dokulardaki bağıl su içeriğinin %5'ine kadar kaybedilebildiği ve suyun yeniden alınabilir olması durumunda rehidrasyonun gerçekleşebildiği oldukça farklı bir strateji izlenir (Mudree, 2002). Bu bitkilerin vejetatif dokuları ışık varlığında gerçekleşen aşırı kuraklıkla ilişkili streslerle mücadele edebilme yeteneğine sahiptir (Sherwin, 1998). Fotooksidatif stresten kaçınmak için geliştirdikleri stratejiye göre 2 gruba ayrılırlar:

1. Klorofil Alıkoyucu Dirilen Bitkiler: (Homiochlorophyllous Resurrection Bitkiler):

Kuruma sırasında klorofillerini alıkoyarlar. Klorofil-ışık etkileşimlerinin tehlikeleri ise klorofilin saklanması ile önlenir. Yaprakların kıvrılma ve katlanması ışık stresinden kaçınmada önemli bir mekanizmadır (Sherwin, 1998).

2. Klorofil Kaybeden Dirilen Bitkiler: (Poikilochlorophyllous Resurrection Bitkiler):

Tüm klorofilleri yıkarlar ve kloroplastların tilakoit membranlarını parçalarlar (Sherwin, 1998). Böylece, kloroplastta serbest radikal oluşturan reaksiyonlar gerçekleşemezler. Suyun tekrar alınmasıyla beraber, fotosentetik aparat tekrar oluşur ve fotosentez yeniden başlar. Bunu başarmak için; bitki tarafından rehidrasyon sırasında onarım proteinleri sentezlenir. Kurumaya karşı duyarlı olan bitkilerde turgor kaybıyla beraber, hücre

membranlarına ve hücre çeperine uygulanan mekanik basınç ortadan kalkar ve bunun sonucunda genellikle hücre çeperi çöküşü ve membran zararı gerçekleşir; bu zararlar onarılamaz (Vander Willigen, 2002). Bununla beraber, dirilen bitkilerde, hücre hacmindeki azalmayla ilişkili olan mekanik stres çeşitli koruma mekanizmaları aracılığıyla engellenir. *Myrothamnus flabellifolius*, *Craterostigma wilmsii* (Farrant, 2000; Vire, 1999) ve *Eragrostis nindensis* (Vander Willigen, 2001) gibi bazı türlerde mezofil hücreleri, hücre duvarlarındaki katlanmayla ilişkili olarak hücre hacminde belirgin bir azalma gösterir. *Xerophyta humilis*, *Xerophyta viscosa* (Farrant, 2000; Mundree ve ark., 2000) ve *Eragrostis nindensis* (Mundree, 2002) gibi diğer bir grup dirilen bitkilerde ise demet kını hücreleri, çok sayıda (küçük) vakuol oluşturmak suretiyle hücre hacminin değişmeden kalmasını sağlar. Bu vakuollerde su, prolin gibi ozmotik düzenleyiciler aracılığıyla yeniden kazanılır (Vander Willigen, 2002).

2.3.4.1. Kuraklık Rezistansı

Dehidrasyon avoidansı ve dehidrasyon toleransı olmak üzere ikiye ayrılabilir. Su stresi altındaki bitkilerde fizyolojik değişikliklerden birisi ve en önemlisi ozmotik ayarlamadır. Yani hücrelerde çeşitli yollarla su potansiyelinin yeterli düzeyde tutulmasıdır. Bu şekilde bitkilerdeki turgor kaybı mümkün olduğu kadar azalmış ve engellenmiş olur.

Bitkilerde turgor durumunun korunmasına yardımcı olan faktörler şunlardır:

- a- Ozmotik potansiyelin düşürülmesi,
- b- Çözünen madde miktarının aktif olarak artırılması,
- c- Hücre ve dokuların yüksek elastikiyet yeteneği,
- d- Hücrelerde küçülme (küçük hücreler)dir.

Su stresinin başlangıcında ozmotik ayarlama yolu ile tam bir turgor meydana gelebilir. Fakat stres devam ettikçe ozmotik ayarlama bir azalma görülür.

Ozmotik ayarlama yani **ozmoregülasyon** iki yolla sağlanır:

- 1- **Avoidans Yolu:** Su kaybını azaltarak (stomaların kapanması, kalın-mumsu kutikula, yaprak tüylerinde artış).

- 2- Tolerans Yolu:** Suda çözünmeyen (nişasta gibi) maddeler enzimler tarafından hidrolize edilerek ozmotik basınç arttırılır ve böylece hücrenin su alması sağlanır.

2.3.4.2. Kuraklık Toleransı ve AVOIDANSI

Dokuların kuraklığa toleransı ya su kaybının azalmasından ya da su alımının artmasından kaynaklanır. Su kaybındaki azalma stomaların kapanması ve kutikula kalınlığı ile ilgilidir.

Güneşten gelen kuvvetli ve direkt ışınlar yaprağın ısınmasına ve su kaybına neden olur. Böylece su stresini arttırır. Buna karşı yaprakta yukarıda belirtilen tolerans ve avoidans mekanizmaları devreye girer.

Yaprakların ışık zararından korunması dört yolla gerçekleştirilir:

- 1- Yaprakların ışığa karşı pozisyon değiştirmesi,
- 2- Yaprak yüzeyini yalıtan tüylerin çoğalması,
- 3- Yaprak yüzeyinde mum tabakasının artması,
- 4- Yaprak yüzeyinin küçülmesi.

Su stresine yaprakların morfolojik adaptasyonu; ya yaprakların gelişimi sırasında ya da gelişim tamamlandıktan sonra olabilir. Turgor azalması sonucu olarak yaprak alanındaki azalma, stoma açıklığındaki ve fotosentezdeki azalmadan daha önce meydana gelir. Yaprak alanındaki azalma bitkide su kaybını azaltmaya yönelik bir koruma şeklidir.

3.MATERYAL VE METOD

3.1. Materyal

Bu araştırma DKC 647 hibrit mısır çeşidi üzerinde sera koşullarında, hidrofonic ortamda 6 konu ve 3 tekerrürlü toplam 18 saksı ile yapılan bir denemedir.

Çalışma su ve tuz stresi altındaki mısır bitkisinin (*Zea mays* L.cv DKC647) prolin birikim düzeyleri ve bitki gelişiminin araştırılması ve stres parametrelerinin stres toleransına etkilerini incelemek amacıyla yapılmıştır.

Mısır bitkisinde stres koşullarının prolin birikimi ve gelişme üzerine etkilerinin araştırıldığı bu çalışmada, kontrol, düşük tuz (5 ds/m NaCl) ve yüksek tuz (10ds/m) içeren ortamlar oluşturulmuştur. Oluşturulan her 3 ortam da kendi arasında normal sulama ve PEG6000 uygulaması olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Su stresi yaratmak amacıyla -1 MPa basınç oluşturacak derecede PEG6000 uygulanmıştır. Kontrol olarak normal sulama suyu+besin çözeltisi kullanılmıştır. 3 tekrarlamalı bir saksı denemesi şeklinde kurulan denemede, yapraklarda meydana gelen prolin birikim düzeyleri araştırılmış ve stres koşullarına maruz bırakılan bitkilerde meydana gelen değişimler direkt olarak gözlemlenmiş ve gelişimi nasıl etkilediği araştırılmıştır.

Araştırmamızda kullanılan Hoagland çözeltisi; 1950'li yıllarda Hoagland ve Arnon tarafından geliştirilmiştir. Bitkilerin topraksız ortamda da büyüebileceğini göstermelerinden sonra bu çözelti azot, fosfor, potasyum, mangan, demir, bakır, çinko, bor, magnezyum, kükürt gibi bitkiler için önemli olan 11 adet mineral içermektedir. Uzun yıllar su kültüründe (hidrofonic ortam) bitki yetiştirmede kullanılmıştır ve günümüzde de topraksız tarımda da kullanılmaktadır (Babaoğlu; 2005).

Hoagland besin çözeltisindeki mineral maddelerin bulunma oranları şöyledir: 270 ppm azot, 30 ppm fosfor, 240 ppm potasyum, 200 ppm kalsiyum, 60 ppm kükürt, 50 ppm magnezyum, 3 ppm demir, 0.5 ppm mangan, 0.5 ppm bor, 0.02 ppm bakır, 0.05 ppm çinko.

3.2. Metod

Mısır tohumları denemeden önce perlit dolu viyolelerde çimlendirilip hidrofonic saksılara alınmıştır. Saksılara adaptasyon döneminde (10 gün) herhangi bir uygulama yapılmamıştır. 10 gün sonunda uygulamalara başlanmıştır. Her bir saksıda 6 adet mısır bitkisi olacak şekilde dizayn edilen denemede 1) Kontrol, 2) Düşük tuz (EC=5 ds/m), 3) Yüksek tuz (EC=10 ds/m), 4) Kontrol + su stresi, 5) Düşük tuz + su stresi (PEG6000 uygulaması) ve 6) Yüksek tuz + su stresi (PEG6000 uygulaması) grupları yer almıştır. Besin solusyonunun EC'si 1.8 ds/m'yi geçmeyecek şekilde ayarlanmıştır. 60 günün sonunda mısırlar hasat edilip kök, gövde ve yaprak ağırlıkları saptanmıştır.

Deneme deseni aşağıdaki şekildedir:

- 1- Kontrol: Sadece besin çözeltisi uygulanmıştır.
- 2- Su stresi (SS): Besin çözeltisi + PEG6000 uygulaması.
- 3- Düşük tuz: Besin çözeltisi + EC= 5 ds/m olacak şekilde tuz uygulaması.
- 4- Düşük tuz + Su stresi: Besin çözeltisi + EC= 5 ds/m olacak şekilde tuz uygulaması + PEG6000 uygulaması.
- 5- Yüksek tuz: Besin çözeltisi + EC= 10 ds/m olacak şekilde tuz uygulaması.
- 6- Yüksek tuz + Su stresi: Besin çözeltisi + EC= 10 ds/m olacak şekilde tuz uygulaması + PEG6000 uygulaması.

Deneme başlangıcından itibaren düzenli aralıklarla fiziksel gözlemler yapılarak bitki gövde ve yapraklarının boy, çap vs. ölçülmüştür. Deneme sonucunda kök, gövde ve yaprakların kuru madde içerikleri belirlenip, tüm diğer analizler yapılmıştır.

Genel olarak; membran geçirgenliği, bağıl su içeriği, klorofil ve karotenoid tayini, kuru ağırlık, bitki boyu ve gövde çapı, toprak üstü ve toprak altı aksamının makro element analizleri, yaprakların protein ve antioksidatif enzim (SOD, PPO ve POX) analizleri gibi laboratuvar çalışmaları yapılmıştır.

Membran Permeabilitesi:

Hasat sonrası laboratuara getirilen her bir bitkinin yapraklarından 1 cm çapında diskler alınır. Diskler saf su ile yıkanır. Yaprak örnekleri kahverengi cam şişelere 20'şer tane konulur. Üzerlerine 10'ar ml saf su ilave edilir. 12 şişe hazırlanır. Her örnekten 2 denek hazırlanır. Hazırlanan şişeler 24 saat çalkalayıcıda bırakılır. 10 ml saf su tüpe boşaltılıp EC metrede EC1 değeri ölçülür. Ardından su şişelere geri boşaltılır. 120°C'de 20 dakika otoklavlanır. Daha sonra EC2 değeri ölçülür ve $EC1/EC2 \times 100$ formülünden % EC değeri hesaplanır (Lutts ve Kinet, 1996).

Klorofil ve Karotenoid Tayini:

Hasat sonrası he bir bitkinin yapraklarından 0.5'er gr alınır, kıyılır ve tartılır. Havana alınır. Spatül ucuyla $CaCO_3$ konulur ve üzerine 15 ml % 80'lik aseton ilave edilir, tokmakla ezilir ve ekstraktı çıkartılır. Karışım santrifüj tüpüne konur ve üzerine 5 ml aseton konarak 5 dakika santrifüj edilir. Üst fazdan 4 ml çekilir, üstüne 12 ml aseton konulur. Tüp çalkalanır ve 645 ile 663 nm'de ayrı ayrı spektrofotometrede okuma yapılır. Sıfır ayarı % 80'lik aseton ile yapılır. Karotenoid tayini için de 450 nm'de okuma yapılır (Strain ve Svec, 1966).

Kuru Ağırlık:

Hasat sonrası bitki örnekleri etüvde 48 saat 70°C'de bekletilir. Son iki tartım eşit olduğunda etüvden çıkarılıp kuru ağırlıklar hesaplanmıştır.

Toprak üstü ve Toprak altı Aksamın Makro Element Analizleri:

Toprak üstü ve toprak altı aksamın makro element analizi Kacar (1992)'ye göre yapılmıştır.

Bitki Boyu ve Gövde Çapı Ölçümleri:

Bitki boyu toprak seviyesinden itibaren metre ile gövde çapı da üçüncü internodyumdan yukarı doğru kumpasla ölçülüp, hesaplamaları yapılmıştır.

Prolin Analizi:

0.5 gr yaş bitki örneği alınarak % 3'lük sülfosalisilik asit ile parçalanmış ve daha sonra filtre edilmiştir. Filtre edilen örnekten 2 ml alınmış üzerine 2 ml asetik asit ve 2 ml ninhidrin reagent konulmuştur. Ninhidrin reagent; ninhidrin, asetik asit ve ortofosforik asit kullanılarak hazırlanmıştır. Daha sonra tüplere konulan örnekler 1 saat 100°C'de su banyosunda tutulmuş, reaksiyon buzda sonlandırılmıştır. Soğuyan örneklerin üzerine 4 ml toluen eklenmiş, vortekslenmiş ve 520 nm'de spektrofotometrede okunmuştur. Daha sonra prolin standartlarıyla hesaplama yapılmıştır (Bates ve ark., 1973).

Çözünabilir Protein Analizi:

Bradford (1976) tarafından tanımlanan hızlı ve hassas protein belirlenmesi metodu kullanılmıştır. 100 mg Coomassie Brilliant Blue G-250 50 ml % 95'lik etanolde çözülmüş ve daha sonra 100 ml % 85'lik H₃PO₄ eklenmiştir. Boya tamamen çözüldükten sonra, solusyonun son hacmi 1000 ml olacak şekilde distile su ilave edilmiştir. Bu karışım oda sıcaklığında, en azından iki hafta bozulmadan kalabilmektedir. 10-100 mg protein içeren 100 mikrolitre örnek 5 ml Coomassie blue karışımı ile karıştırılmış ve 10 dakika bekletildikten sonra 595 nm'deki absorbanslar kaydedilmiştir. Toplam hacim 5.1 ml'dir. Kalibrasyon eğrisi, standart protein olarak kullanılan Bovine Serum Albumin (BSA)'e göre hazırlanmıştır ve ekstraktaki protein miktarı bu eğriden belirlenmiştir.

Enzim Ekstraksiyonu ve Analizi:

1 g dondurulmuş (- 40°C'de) bitki yaprak materyali % 1 polivinil piroldine (PVP) içeren 50 mM fosfat buffer (pH=7.0)da homojenize edildi. Homojenat filtre edildi ve soğuk santrifüjde (4°C'de) 12.000×g'de 15 dakika santrifüj edildi. Elde edilen süpernatant enzim kaynağı olarak kullanıldı. Enzim ekstraktının preparasyonuundaki tüm adımlar 4°C'de gerçekleştirildi. Aynı zamanda ekstrakt kullanılabildiği kadar - 40°C'de saklandı.

Süperoksit Dismütaz (SOD) Aktivitesi Belirlenmesi:

Süperoksit dismütaz aktivitesi Beauchamp ve Fridovich (1971) tarafından belirlen, nitroblue tetrazoliumun fotokimyasal azalmayı inhibe etme yeteneğinin ölçümü ile analiz edildi. Reaksiyon karışımı (3.0 ml) 50 mM fosfat buffer (pH=7.8), 13 mM L-methionine, 75 mikromol nitroblue tetrazolium, 0.1 mM EDTA, 2 mikromol riboflavin ve 0.1 ml enzim ekstraktı içermektedir. Riboflavin en son eklenmiştir ve test tüpleri çalkalanıp, bir ışık kaynağına 30 cm aşağıda olacak şekilde yerleştirilmiştir. (30 W floresan lambaları). Reaksiyon lambaların açılmasıyla başlatılmış ve 30 dakika sonra lambalar kapatılmıştır. Tüpler ışık almayacak şekilde kaplanmıştır. Işığa maruz bırakılmayan ve renk değişimi olmayan reaksiyon karışımı blank (kontrol) olarak kullanılmıştır. Absorbans Shimadzu 1601 UV-Vis spektrofotometrede 560 nm'de ölçülmüştür. Log A560 reaksiyon karışımında kullanılan enzim ekstraktının miktarının fonksiyonu olarak işaretlenmiştir. Sonuç grafiğinden, reaksiyon inhibasyonunun % 50'ye uygun olduğu enzim ekstrakt miktarı okunmuş ve bir enzim uniti göz önünde bulundurularak unit mg (protein) biriminde enzim miktarı hesaplanmıştır (Sudhakar ve ar., 2001).

Peroksidaz (POX) Aktivitesi Belirlenmesi:

Peroksidaz aktivitesi Chance ve Maehly (1995) metoduna göre guaiacol oksidasyonu kullanılarak belirlenmiştir. 50 mM fosfat buffer (pH=6.5), 13 mM guaiacol, 100-200 ml enzim ekstraktı ve 5 mM H₂O₂ içeren 3 ml reaksiyon karışımı kullanılmıştır. H₂O₂ eklendikten (Lee ve Lin, 1995) sonra 30 saniye içerisinde, 2 dakika boyunca 470 nm'deki absorbans yükselişi kaydedilmiştir. Bir unit peroksidaz aktivitesi dakikada gerçekleşen absorbans değişikliğine göre ve spesifik enzim aktivitesi de enzim unit / çözünebilir protein cinsinden belirlenmiştir.

Polifenol Oksidaz Aktivitesi Belirlenmesi:

Polifenol oksidaz (PPO) aktivitesi; Zaubermann ve ark. (1991)'lerinin metoduna göre 4- metilkatekol substrat olarak kullanılarak analiz edilmiştir. 12.000g'de 20 dakika santrifüjden sonra, süpernatant ham enzim ekstraktı olarak elde edilmiştir. Enzim aktivitesinin analizi 1 ml sodyum fosfat buffer (pH= 6.8), 0.5 ml 100 mM/l 4-metil katekol ve 0.5 ml enzim solusyonu kullanılarak belirlenmiştir. 5 dakika boyunca 25°C'de 410 nm'deki

absorbans yükselişini kayıt edilmiştir. Bir unit enzim aktivitesi dakikada gerçekleşen 0.01 absorbans yükselişine göre belirlenmiştir. Enzim miktarının belirlenmesinden önce; ekstrakt, ekstraksiyon bufferi ile 5-10 kat seyreltilmektedir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

DKC çeşidi hibrid mısır bitkisi (*Zea mays* L.) sera koşullarında ve hidrofonic ortamda kontrol, düşük tuz, su stresi, düşük tuz + su stresi, yüksek tuz, yüksek tuz + su stresi grupları oluşturularak yetiştirilip hasat edilmiştir. Hasat edildikten sonra laboratuvar koşullarında gerekli analizler (membran permeabilitesi (EC), prolin tayini, klorofil ve karotenoid tayini, gövde ve kök yaş ve kuru ağırlıkları, yaprak ve kök makro element içeriği, çözünebilir protein tayini, SOD, POX, PPO antioksidatif enzim aktivitelerinin tayini) yapılan mısır bitkisinde analizler sonucu bulunan araştırma bulguları aşağıdaki tablolarda sunulmuştur.

	Prolin (μ M/g. YA.)	EC (%)	Klorofil a (mg/g) Y.A.	Klorofil b (mg/g) Y.A.	Karotenoid (mg/g) Y.A.
Kontrol	1.02e	24d	3.44a	1.92a	2.15a
SS	0.51e	51c	3.24a	1.73b	2.13a
DT	5.30d	55c	2.81b	1.60c	1.82b
DT+SS	8.81c	62b	2.45c	1.23d	1.81b
YT	12.4b	64b	2.30c	1.30d	1.82b
YT+SS	21.4a	71a	2.15c	1.02e	1.63c

Tablo 1: Tuz ve su stresi altındaki mısır bitkisinde prolin, EC (%), klorofil a, klorofil b ve karotenoid miktarları.

* LSD50 testine göre aynı sütundaki farklı harfler, elde edilen sonuçların istatistiki açıdan birbirinden farklı olduğunu göstermektedir.

Tablodan da incelenebileceği gibi prolin miktarının kontrol grubunda en düşük olduğu; fakat su stresi ve tuz grubunda kontrole göre oldukça yüksek bir artış gösterdiği gözlenmiştir. Kültür bitkilerinde tuz ve su stresi koşullarında stresin ilk adımlarından itibaren oldukça yüksek değerlere çıkan parametrelerden birisi prolindir. Bir aminoasit olan prolin, oldukça uzun zamandan bu yana araştırılmaktadır ve stres altındaki bitkilerde hücre ve dokuların en azından ilk zamanlarda zarar görmesini önlemek amacıyla bitki tarafından içsel olarak salgılanan bir organik bileşiktir (Hare ve Cress, 1997). Stres koşulları sona erdiğinde kendiliğinden ve geriye bir hasar bırakmaksızın normal değerlere dönmektedir.

Bitki savunma mekanizmasının bir nevi tetikleyicisi olan prolin, tuz ve su stresi altındaki kültür bitkilerinde artış gösterdiğine ilişkin birçok çalışma mevcuttur. Gadallah

(1999), bakla bitkisinde, Bokhari ve Trent (1985), çim bitkisinde, Kafi ve ark. (2003), buğdayda tuz ve su stresi altında prolin miktarlarının arttığını belirtmişlerdir.

Demir ve Kocaçalışkan (2002)'ın in vitro koşullarda kültüre edilen fasulye tohumları üzerine NaCl ve prolinin etkisi isimli çalışmalarında; NaCl, prolin ve bunların kombinasyonlarının büyüme, klorofil ve fasulye tohumlarının protein miktarı üzerine etkileri araştırılmış, tohum büyümesinin değişmediği, klorofil miktarının azaldığı ve protein miktarının arttığı belirlenmiştir. Tuz grubuna prolin eklendiğinde ise tohum büyümesinde artış gözlenmiştir. Böylece prolinin; fasulye tohumlarında tuz stresinin olumsuz etkilerinin azalttığı sonucuna varılmıştır.

Hsu ve ark.'larının yaptıkları çalışmada (2003), polyethylene glycol (PEG, - 1,5 MPa) uygulanan pirinç yapraklarındaki prolin akümüasyonu araştırılmış, PEG uygulamasının relatif su içeriğini azalttığı, su stresine neden olduğu ve protein hidrolizine bağlı olarak prolin miktarını arttırdığını belirlemişlerdir.

Gadallah (1999)'ın yaptığı çalışmada tuz stresi altındaki *Vicia faba* bitkisine prolin ve glycinebetainenin etkileri araştırılmış ve her iki çözünebilir bileşiğin de tuz stresi koşullarında oluşan membran zararını azalttığı, K⁺ alımını, büyümeyi ve klorofil içeriğini arttırdığını belirlemişlerdir.

Avcıoğlu ve ark.(2003)'larının yaptıkları çalışmada ozmotik basıncın bazı kültür bitkilerinin erken gelişme dönemindeki etkileri, prolin, klorofil birikimi ve zar dayanıklılığı incelenmiş, tuz stresiyle beraber bitkilerde prolin miktarlarında artış olduğu bildirilmiştir. Araştırma sonucunda prolin miktarını arttırabilen bitkilerin ve çeşitlerinin daha sağlıklı büyümesi ve strese dayanmasının (direnmesi) söz konusu olduğu belirtilmiştir. Aynı çalışmada tuz konsantrasyonu arttıkça tüm bitki çeşitlerinde klorofil-a miktarında hızlı bir azalış olduğunu, klorofil-b miktarının ise bitki çeşiti ve genotipe göre değişiklik gösterdiğini tespit etmişlerdir.

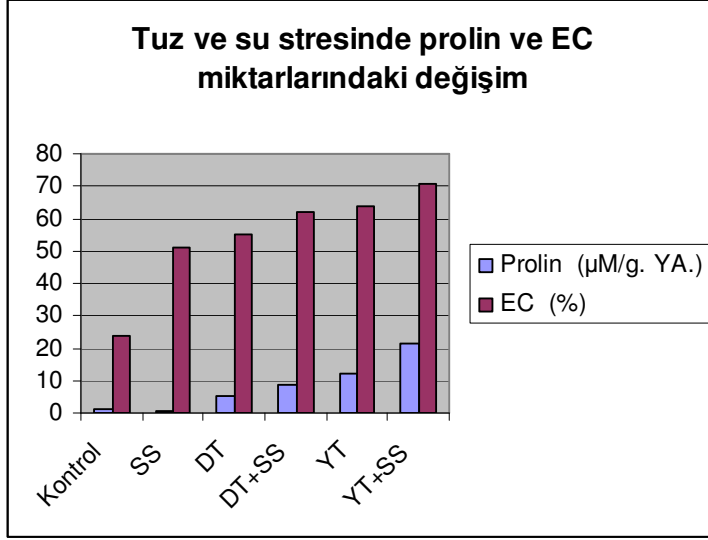
Özcan ve ark(1999)'da yaptıkları çalışmada; tuz stresinde bazı nohut (*Cicer aietinum* L. cvs.) çeşitlerinin gelişimi ve prolin, sodyum, klor, fosfor ve potasyum konsantrasyonlarındaki değişimler incelenmiş ve bitkilerin stres koşullarına dayanabilmek için prolin konsantrasyonlarını arttırdıkları belirlenmiştir.

İnal (2002)'ın yaptığı bir çalışmada da, NaCl ve Na₂SO₄ tuzları domates bitkisinde iyon aktivitesini azaltmış, Na⁺ ve Cl⁻ iyonlarının bitki besin elementlerinin oranını azalttığı ve ardından bitki büyümesini bastırıldığı kaydedilmiştir. Bizim çalışmamızda da bu çalışmalara paralel olarak tuzluluk ve su stresiyle bitki gelişimi azalmış ve prolin miktarı artmıştır.

Çalışmamızda incelenen diğer bir parametre olan membran permeabilitesi veya elektriksel geçirgenliğin (EC) kontrol grubunda en düşük olduğu; su stresi ve düşük tuz grubunda kontrole göre 2 kat artış gösterdiği ve bu artışın yüksek tuz ve su stresi grubunda 3 katına çıktığı tespit edilmiştir. Membran permeabilitesi veya geçirgenliği olarak da ifade edilebilen EC değerleri, tuz ve su stresi altındaki glikofit bitkilerde, hücre içi ozmotik basıncın artmasına bağlı olarak artış göstermektedir. EC değerinin artmasıyla birlikte hücre içi elektrolitlerinden başta Ca ve K olmak üzere bazı iyonlar bitki dışına çıkmaktadır. Bu durum hücrede Na/K ve Na/Ca dengesizliklerine ve genel iyon balansında düzensizlikler yol açmaktadır (Shannon ve Grieve, 1999; Ghoulam ve ark., 2002).

Büyüme ortamında tuz birikimine bağlı olarak su potansiyelinin düşmesi sonucu bitkide meydana gelen iyon dengesizliklerinin, genel metabolizmayı etkilediğine ve bitki gelişimini sınırlandırdığına dair birçok çalışma mevcuttur (Girija ve ark., 2002).

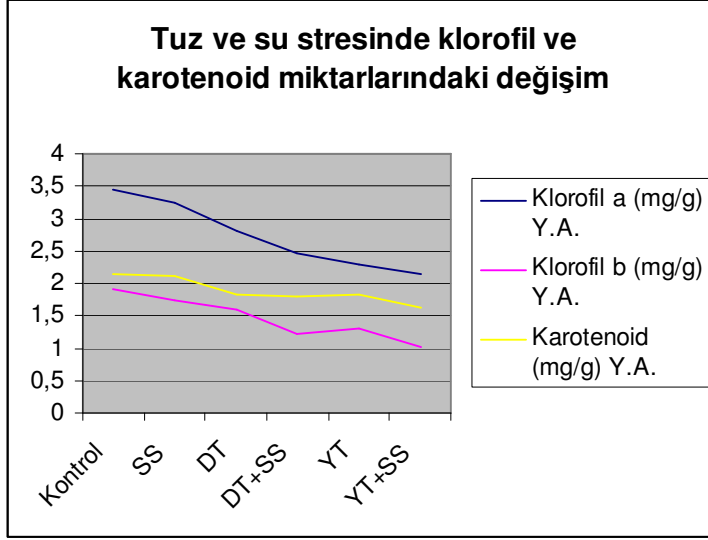
Bu çalışmada da önceki çalışmalara paralel olarak tuz miktarının artması ve su stresi koşullarıyla birlikte bitkide, kontrole göre prolin ve EC miktarlarında kontrole göre belirgin bir artış gözlenmiştir. Kontrol ile karşılaştırıldığında prolin ve EC miktarlarında değişimler şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3: Su ve tuz stresi altındaki mısır bitkisinde prolin ve EC miktarlarının değişimi.

Stres altındaki bitkilerde; ozmotik uyumsuzluk, iyon balansında dengesizlik ve genel metabolizma bozuklukları, yaprak klorofil ve karotenoid miktarı üzerine de olumsuz etki yapmaktadır. Bu olumsuz etki klorofil sentezinde gerileme ve klorofil parçalanması şeklinde ortaya çıkmaktadır. Stres altındaki bitkilerde klorofil miktarlarında düşme olduğu birçok araştırmacı tarafından rapor edilmiştir. Kaya ve Higgs (2003b) biberde, Zayed ve Zeid (1997) fasulyede ve Gadallah (1999) bakla bitkisinde tuz stresi nedeniyle klorofil içeriklerinde düşüş olduğunu bildirmişlerdir.

Bu çalışmada da benzer sonuçlar elde edilmiş olup tuzluluk ve su stresiyle bitkideki klorofil-a, klorofil-b ve karotenoid değişimi şekil 4'te gösterilmiştir.



Şekil 4: Tuz ve su stresi altındaki mısır bitkisinde klorofil-a, klorofil-b ve karotenoid miktarlarındaki değişim.

Şekilden de görüldüğü gibi uygulamalar sonunda klorofil-a, klorofil-b ve karotenoid en düşük yüksek tuz + su stresi uygulamasındadır. Kontrole göre diğer tüm uygulamalarda klorofil-a, klorofil-b ve karotenoid miktarlarında bir azalış söz konusuysen, klorofil-a ve karotenoid miktarındaki azalış su stresi grubunda istatistiki açıdan önemli bulunmamıştır. Yine düşük tuz + su stresi uygulamasından yüksek tuz uygulamasına geçişte üç parametredeki azalış yine istatistiki açıdan önemsizdir. Klorofil-a miktarındaki kontrole göre azalış düşük tuz + su stresi, yüksek tuz ve yüksek tuz + su stresi uygulamalarında birbirleriyle yakın oranlarda belirlenmiştir.

Stres altındaki bitkilerde etkilenen diğer bir parametre de, kök ve gövde kuru ağırlıkları ile bitki boyu, gövde çapı değerleridir. Tuz ve su stresi altındaki bitkilerde köklerin su alma yeteneklerinde önemli ölçüde azalmalar meydana geldiğinden, kök gelişimi ve gövde uzaması gibi faaliyetlerde gerileme görülmektedir. Stres altındaki bitkilerin gövde çapları azaldığı gibi boyları da kontrole göre küçük kalmaktadır. Aynı şekilde yaprak alanı ve generatif evreye geçişte çiçeklenme ve meyve verimi de olumsuz etkilenir. Tuz ve su stresinin yukarıda sayılan sonuçları uzun dönemde ortaya çıkan arazlardır.

Stres altındaki bitkilerde toprak altı ve toprak üstü organlarda kuru madde ve yaş ağırlıklarında önemli ölçüde azalmalar olduğu birçok bitkide farklı araştırmacılar tarafından

rapor edilmiştir (Irshad ve ark., 2002; Ghoulam ve ark., 2002; Dasgan ve ark., 2002). Bizim çalışmamızda da benzer sonuçlar elde edilmiştir.

Bu çalışmada elde edilen toprak üstü aksam ve kök kuru ağırlık, bitki boyları ve gövde çaplarını gösteren veriler tablo 2’de verilmiştir.

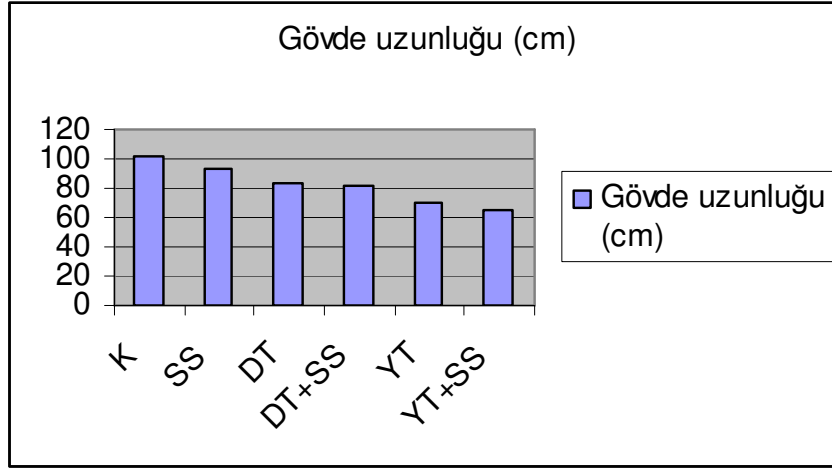
	Gövde uzunluğu (cm)	Gövde çapı (mm)	Gövde yaş ağı. (g)	Gövde kuru ağı. (g)	Kök yaş ağı. (g)	Kök kuru ağı. (g)
K	101a	3.4a	250a	20a	80a	7.5a
K+SS	94b	2.9b	203b	19a	75a	6.1b
DT	84c	2.3c	195b	14b	75a	5.3c
DT+SS	82c	1.9d	134c	11c	59b	4.2d
YT	70d	1.9d	94d	9d	54b	4.1d
YT+SS	65e	1.7d	90d	9d	50b	3.2e

Tablo 2: Tuz ve su stresinin mısır bitkisinin toprak üstü aksam kuru ve yaş ağırlık, kök kuru ve yaş ağırlık, bitki boyu ve gövde çapına etkisi.

* LSD50 testine göre aynı sütundaki farklı harfler, elde edilen sonuçların istatistiki açıdan birbirinden farklı olduğunu göstermektedir.

Tabloya bakıldığında toprak üstü aksam kuru ve yaş ağırlıkları ile kök kuru ve yaş ağırlığı ile bitki boyu, gövde çapının kontrol grubunda en yüksek olduğu; su stresi ve tuz ve su stresi gruplarında giderek azaldığı gözlenmektedir.

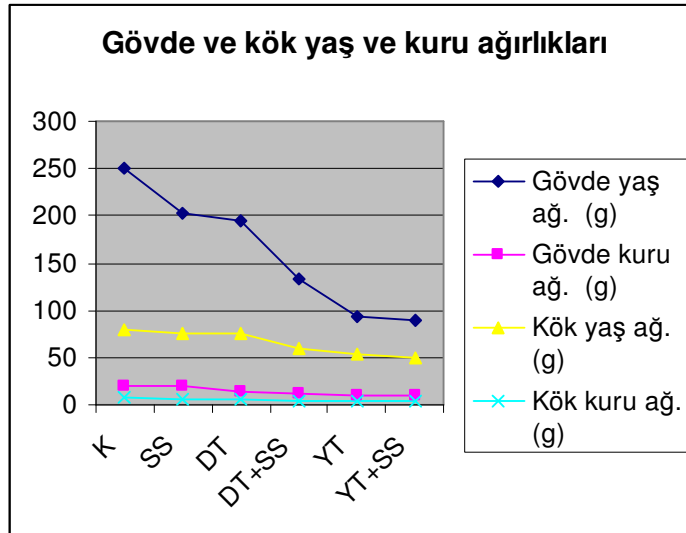
Çalışma sonucu elde edilen bitki gövde uzunluğunun tuz ve su stresiyle değişimi aşağıdaki grafikte gösterilmektedir.



Şekil 5: Tuz ve su stresi altındaki mısır bitkisinde gövde uzunluğunun değişimi.

Grafikten de anlaşılacağı gibi, gövde uzunluğu en fazla kontrol grubunda görülürken su stresi, tuz ve su stresiyle beraber tuz uygulamalarında kontrole göre önemli oranlarda azalma tespit edilmiştir. En düşük gövde uzunluğu yüksek tuz + su stresi uygulamasında belirlenmiştir.

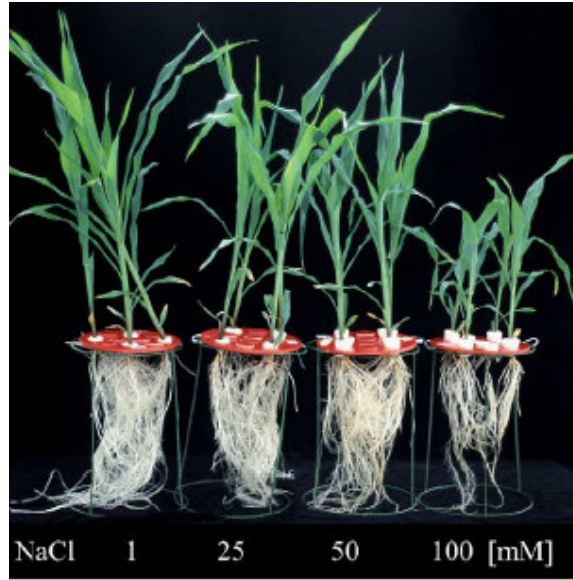
Benzer şekilde tuz ve su stresi koşulları yaratılan mısır bitkisinin gövde ve kök yaş ve kuru ağırlıkları da kontrole göre azalma göstermişlerdir.



Şekil 6: Tuz ve su stresi altındaki mısır bitkisinin gövde ve kök kuru ve yaş ağırlıklarının değişimi.

Grafiğe bakıldığında gövde yaş ağırlığının yüksek tuz ve su stresinden en fazla etkilenen parametre olduğu dikkati çekmektedir. Yine gövde kuru ağırlığı, kök kuru ve yaş ağırlıkları da kontrole göre su stresi, düşük tuz, düşük tuz + su stresi, yüksek tuz, yüksek tuz + su stresi uygulamalarında azalma göstermişlerdir.

Zörb ve ark. (2004)'larının yaptıkları çalışmada NaCl'ün farklı konsantrasyonlarının (25, 50, 100 mM) mısır bitkisinin yaş ve kuru ağırlığı, çözünebilir protein miktarı ve antioksidatif enzim aktiviteleri araştırılmıştır. Çalışma sonucunda 100 mM NaCl uygulamasının mısır bitkisinin kök ve gövde yaş ağırlığını azaltarak, bazı morfolojik değişikliklere yol açtığı gözlenmiştir. Büyümedeki azalma ile birlikte, kökler sararmış ve yapraklar koyu yeşil hale gelmiştir. (Şekil 7).



Şekil 7: Hidrofonik ortamda yetiştirilen mısır bitkisinde farklı tuz konsantrasyonlarının gövde ve kök uzunluğuna etkileri (Zörb, C. Ve ark., 2004).

Özcan ve ark(1999)'da tuz stresinde bazı nohut (*Cicer aietinum* L. cvs.) çeşitlerinin gelişimi ve prolin, sodyum, klor, fosfor ve potasyum konsantrasyonlarındaki değişimleri inceledikleri çalışmada tuz uygulamasının nohut çeşitlerinin kuru ağırlığını önemli ölçüde azalttığını belirlemişlerdir.

Tuzlu ve alkali topraklar bitkinin su almasını engeller. Bitkinin topraktan su ve besinleri yeterli miktarda alamaması stres yaratır. Bitkide stres durumu bitki gelişimi, verimlilik ve ürün kalitesinde önemlidir.

Bitkiye tek başına NaCl uygulandığında bitkideki stres arttığından topraktan su ve besin maddelerinin alınımı, dolayısıyla da büyüme ve gelişme azalmaktadır. Tuz stresine ilaveten su stresi koşullarında ise bu durum giderek daha ciddi boyutlara ulaşmaktadır. Bu sebeplerdir ki; en kısa bitki boyu yüksek tuz ve su stresi grubunda görülmüştür.

Yine stres altındaki bitkilerde önemli ölçüde azalma kaydeden diğer bir özellik de bitki gövde çapıdır. Özellikle köklerde alınan iyonların birbirine olan dengesizliği ve dokularda fazla miktarda toksik iyon birikimi sonucu gövde yeterince gelişme gösterememektedir. Bu durum hem boyuna hem de enine büyüme için geçerlidir.

Daha önce de belirtildiği gibi, tuz ve su stresinde, stresin dolaylı bir etkisi olarak ortaya çıkan en önemli aksaklıklardan birisi de kök bölgesi iyon dengesizliğidir. Bu durum özellikle Na iyonlarındaki artışa bağlı olarak Na/K ve Na/Ca oranlarındaki dengesizlikle kendini göstermektedir. Tuz stresi, bazı deneysel koşullarda bitkilerin besin alımını azaltıcı veya artırıcı etki yapabilmektedir. Tuzların ve besin elementlerinin aynı ortamda eş zamanlı bulunmaları, bitkiler tarafından besin elementi alınımını etkileyebildiği gibi onların kimyasal kompozisyonlarını da etkileyebilmektedir. Sinergitik ve antogonistik etkileşim bu prosesin yoğunluğunu artırabilir veya azaltabilir.

Tuz ve su stresi genellikle elektrolitik dengeyi bozarak bitkilere zarar vermekte, bu da bazı gerekli besin elementlerinin noksanlığıyla sonuçlanmakta ve bitki dokularında istenmeyen bazı tuzların birikimine neden olmaktadır. Bu şartlar altında tuz toleransı, genellikle bitki kökleri vasıtasıyla Na ve Cl alınımının düzenlenmesi ve sonrasında gövdeye taşınması ile ilişkilidir. Çünkü bu iyonlar tuzluluk ile yakından ilişkilidir.

Tuzlu ortamlarda, bitkiler K ve K'un aşırı miktarlarını adsorbe etmektedir. Tuzlu yetiştirme ortamında yüksek Na/Ca ve Na/K oranları, kök membranlarının seçiciliğini bozarak Na'un köklerde ve gövdede pasif akümülyasyonuna neden olabilmektedir. Bitki köklerinde Na'un yüksek oranlı akümülyasyonu, kök içerisinde bulunan bazı özel yörelerin düzenleyici mekanizmalarına bağlı olabilmekte, bu da örneğin Na'un köklerden toprak üstü organlara

taşınımının önlenmesine ve dolayısıyla köklerde Na birikimine neden olmaktadır. Bitki köklerinde lokalize olan bu Na, aynı zamanda Na'un floemdeki yüksek mobilitesine bağlıdır.

Na miktarındaki artış, genellikle ozmotik regülasyonu ve besin dengesini bozarak spesifik iyon toksitesine neden olmaktadır. Bu durum yetiştirme ortamının iyonik dengesinden ziyade net Na oranına bağlı olup, bitkilerin tuza toleransını belirlemektedir. Artan Na içeriği genellikle K miktarında azalmaya neden olmakta, bu durum Na ile K arasındaki antogonizm nedeniyle desteklenmektedir. Benzer şekilde, dış ortamda bulunan yüksek seviyedeki Na oranları, toprak çözeltisindeki Ca'un aktivitesinde büyük oranda azalmaya neden olmakta, kök hücrelerinin plazmalemmalarından Ca'u çıkartarak onun yerine geçebilmektedir (Alam, 1999; Ghoulam ve ark., 2002; Çiçek ve Çakırlar, 2002).

Bizim çalışmamızda da benzer sonuçlar elde edilmiştir. Tuz ve su stresi altındaki mısır bitkisinin besin elementi alımında gerileme saptanmıştır. Hasattan hemen sonra yapraklarda P, K, Ca, Mg ve Na element içerikleri belirlenmiştir. Bulunan sonuçlar Tablo-3'de verilmiştir.

	Ca	K	Mg	Na	P
Kontrol	0.65a	5.43a	0.37a	0.045c	0.74a
SS	0.51b	5.20a	0.29b	0.031c	0.73a
DT	0.42c	4.07b	0.29b	0.88b	0.64b
DT+SS	0.45c	3.02c	0.28b	0.77b	0.61b
YT	0.36d	2.52c	0.23c	4.01a	0.62b
YT+SS	0.33d	2.49c	0.21c	4.65a	0.57c

Tablo 3: Tuz ve su stresi altındaki mısır bitkisinde yaprak makro element içerikleri (%).

* LSD50 testine göre aynı sütundaki farklı harfler, elde edilen sonuçların istatistiki açıdan birbirinden farklı olduğunu göstermektedir.

Yapraklarda makro elementlere bakıldığında P, K, Mg ve Ca içerikleri en düşük yüksek tuz+su stresi grubunda görülmüştür. Bununla beraber yüksek tuz grubu ile yüksek tuz+su stresi grubu incelendiğinde makro elementlerdeki azalma P hariç diğer makro elementlerde istatistiki açıdan birbirinden farklı bulunmamıştır.

Genel olarak bakıldığında, NaCl uygulanan gruplarda bütün elementlerde azalma görülmüş, ortamda yaratılan su stresi koşulları bu düşüşü arttırmamıştır.

Na ile makro ve mikro elementler arasında zıt ilişki olabilir. Bu Na'un N, P, K, Ca ve Mg elementlerinin antagonist olduğunu gösterir. Membranlarda element bağlama yörelerinde Na ile özellikle diğer katyonik elementler rekabete girdiğinden ve hücre içi elektrolit dengesinin bozulmasından dolayı tuz stresi altındaki bitkilerde başta Ca ve K olmak üzere diğer bazı elementlerin alımı ve taşınımı azalmaktadır.

Köklerde de yapraklardakine benzer bir element trendi belirlenmiştir. Köklerde yine P, K, Ca, Mg ve Na makro elementleri belirlenmiş ve bulunan sonuçlar Tablo 4'te verilmiştir.

	Ca	K	Mg	Na	P
Kontrol	2.92a	1.51a	0.54a	0.26d	2.24a
SS	2.83a	1.15b	0.52a	0.17d	2.32a
DT	1.60c	0.82c	0.46b	1.37c	1.56b
DT+SS	1.98b	0.79c	0.45b	2.03b	1.58b
YT	1.51c	0.49d	0.36c	2.09b	1.44c
YT+SS	1.34c	0.43d	0.30c	3.85a	1.33d

Tablo 4: Tuz ve su stresi altındaki mısır bitkisinde kök makro element içerikleri (%).

* LSD50 testine göre aynı sütundaki farklı harfler, elde edilen sonuçların istatistiki açıdan birbirinden farklı olduğunu göstermektedir.

Köklerde yapılan makro element analiz sonuçlarına bakıldığında; tuz ve su stresiyle beraber Na elementindeki artışa paralel olarak incelenen diğer tüm makro elementlerde azalma saptanmıştır. Yapraklardakine benzer şekilde, P hariç diğer tüm makro elementlerde tuz stresine ilaveten su stresi koşulları azalma istatistiki açıdan önemli bulunmamıştır. Bu da su stresinin, tuzlu koşullarda makro elementlerde meydana gelen azalmayı arttırmadığını göstermektedir.

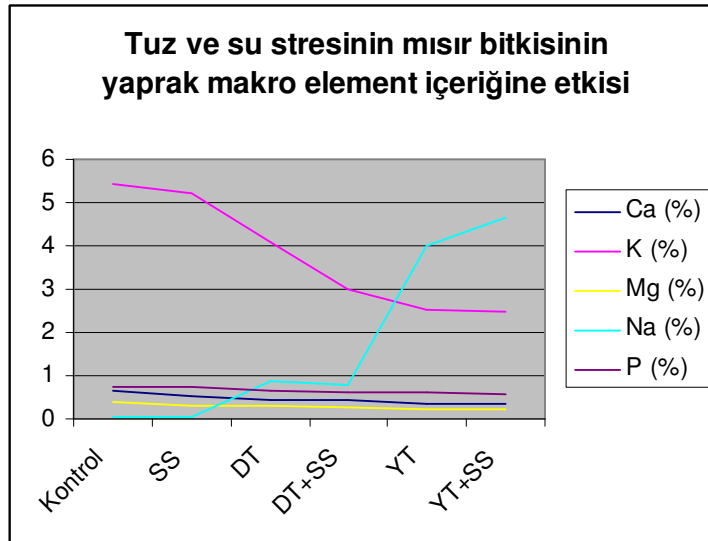
Tuz stresi genellikle elektrolitik dengeyi bozarak bitkilere zarar vermekte, bu da bazı gerekli besin elementlerinin noksanlığıyla sonuçlanmakta ve bitki dokularında istenmeyen bazı tuzların birikimine neden olmaktadır. Bu şartlar altında tuz toleransı, genellikle bitki kökleri vasıtası ile Na ve Cl alımının düzenlenmesi ve sonrasında gövdeye taşınması ile ilişkilidir.

Tuzlu ortamlarda, bitkiler K ve Ca'un zararına neden olacak şekilde Na'un aşırı miktarlarını adsorbe etmektedir. Tuzlu yetiştirme ortamında yüksek Na/Ca ve Na/K oranları,

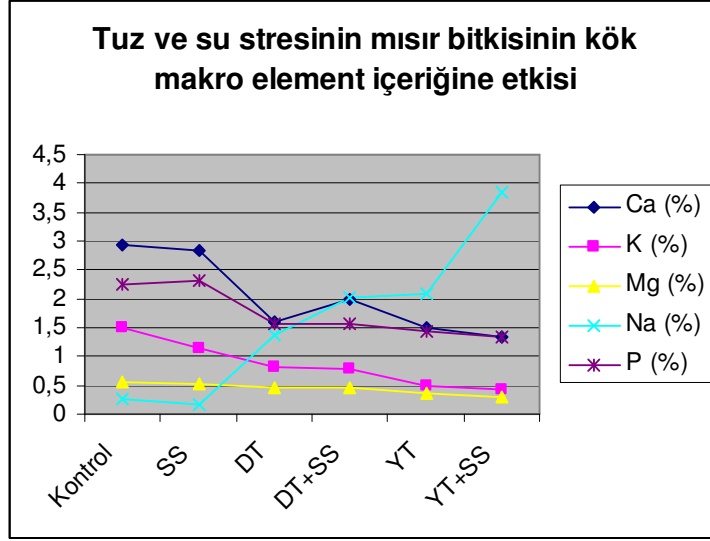
kök membranlarının seçiciliğini bozarak Na'un köklerde ve gövdede pasif akümülyasyonuna neden olabilmektedir. Bitki köklerinde Na'un yüksek oranlı akümülyasyonu, kök içerisinde bulunan bazı özel yörelerin düzenleyici mekanizmalarına bağılı olabilmekte, bu da örneğin Na'un köklerden toprak üstü organlara taşımının önlenmesine ve dolayısıyla köklerde Na birikimine neden olmaktadır. Bitki köklerinde lokalize olan bu Na, aynı zamanda Na'un floemdeki yüksek mobilitesine bağılıdır.

Na miktarındaki artış, genellikle ozmotik regülyasyonu ve besin dengesini bozarak spesifik iyon toksitesine neden olmaktadır. Bu durum, yetiştirme ortamının iyonik dengesinden ziyade net Na oranına bağılı olup, bitkilerin tuza toleransını belirlemektedir. Artan Na içeriği genellikle K miktarında azalmaya neden olmakta, bu durum Na ile K arasındaki antogonizm nedeniyle desteklenmektedir. Benzer şekilde, dış ortamda bulunan yüksek seviyedeki Na oranları, toprak çözeltisindeki Ca'un aktivitesinde büyük oranda azalmaya neden olmakta, kök hücrelerinin plazmalemmalarından Ca'u çıkartarak onun yerine geçebilmektedir (Alam, 1999; Ghoulam ve ark., 2002; Çiçek ve Çakırlar, 2002).

Bizim çalışmamızda da benzer sonuçlar elde edilmiştir. Tuz ve su stresi altındaki mısır bitkisinin besin elementi alımında gerileme saptanmıştır. Hasattan hemen sonra yaprak ve köklerde P, K, Ca, Mg ve Na element içerikleri belirlenmiştir. Bulunan sonuçların değişimi şekil 8 ve şekil 9'da gösterilmektedir.



Şekil 8: Tuz ve su stresi altındaki mısır bitkisinin yaprak makro element içeriğindeki değişiklikler.



Şekil 9: Tuz ve su stresi altındaki mısır bitkisinin kök makro element içeriğindeki değişiklikler.

Grafiklerden de görüldüğü gibi çalışma sonuçlarına göre tuz ve su stresi altında bulunan mısır bitkisinde, kök ve yapraklarda artan Na içeriğine paralel olarak diğer makro elementlerde belirli oranlarda azalmalar meydana gelmiş ve bu sonuçlar önceki çalışmalarla örtüşmüştür.

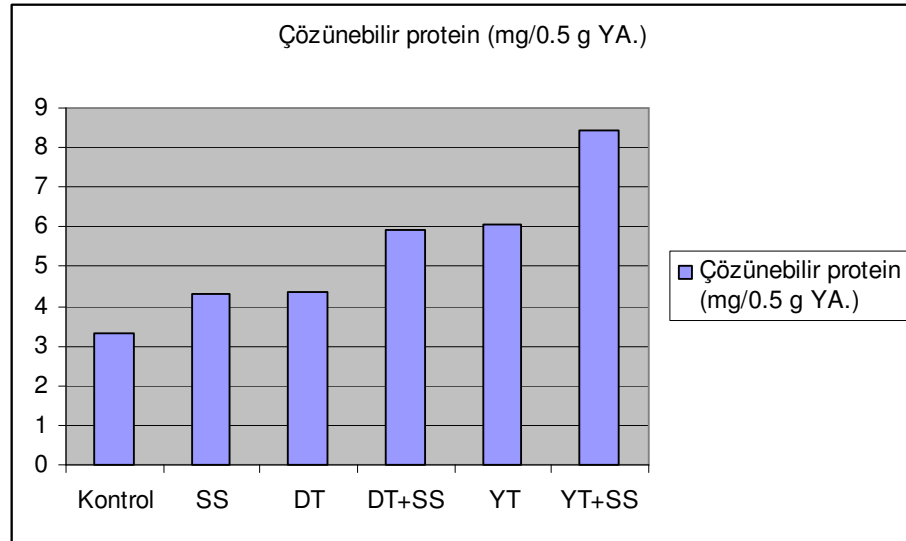
Bu çalışmada tüm bu parametrelere ilave olarak, tuz ve su stresi koşullarındaki mısır bitkisinde çözünebilir protein miktarı ve antioksidatif enzimlerden süperoksit dismutaz (SOD), peroksidaz (POX) polifenol oksidaz (PPO) aktiviteleri saptanmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 5'te verilmiştir.

	Çözünebilir protein (mg/0.5 g YA.)	POX enzim aktivitesi ($\Delta A_{470}/\text{min}/\text{mg}$ protein)	PPO enzim aktivitesi (Unit $\times 100/\text{mg}$ protein)	SOD enzim aktivitesi (Unit/mg protein)
Kontrol	3.33d	10.08c	8.3e	47.05e
SS	4.33c	11.43c	8.5e	62.74d
DT	4.35c	14.88b	10.5d	72.31c
DT+SS	5.92b	16.64b	11.9c	86.48b
YT	6.05b	17.45b	12.9b	90.14b
YT+SS	8.43a	21.07a	33.7a	110.34a

Tablo 5: Tuz ve su stresi altındaki mısır bitkisinde çözünebilir protein miktarı ve süperoksit dismutaz (SOD), peroksidaz (POX) polifenol oksidaz (PPO) aktiviteleri.

* LSD50 testine göre aynı sütundaki farklı harfler, elde edilen sonuçların istatistiki açıdan birbirinden farklı olduğunu göstermektedir.

Tablo incelendiğinde çözünebilir protein miktarı kontrole göre su stresi, düşük tuz+su stresi, yüksek tuz ve yüksek tuz+su stresi gruplarında giderek artış göstermiştir. Bu artışın nedeni; bitkinin azalan su potansiyelini dengelemeye sağlamak amacıyla hücre içi ozmotik basıncı arttırmaya çalışması olarak nitelendirilebileceği gibi prolin gibi bazı amino asitlerin artışına da bağlanabilmektedir. Tuz ve su stresinin mısır bitkisinin çözünebilir protein miktarına olan etkisi şekil 10'de verilmiştir.



Şekil 10: Tuz ve su stresi altındaki mısır bitkisinin çözünebilir protein miktarındaki değişimler.

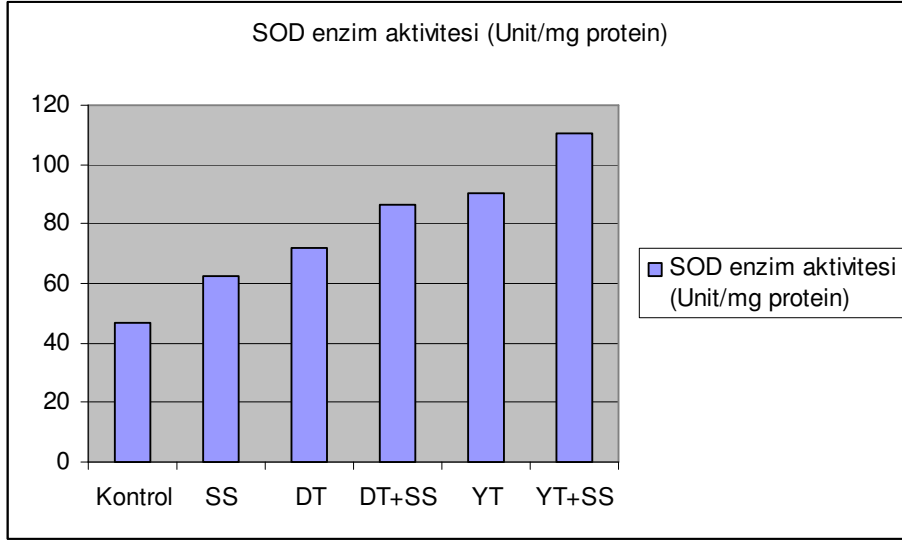
Grafikten de görüldüğü gibi tuz ve su stresi altındaki mısır bitkisinde, kontrole göre diğer tüm uygulamalarda çözünebilir protein miktarında belirli oranlarda artış meydana gelmiş ve bu artış istatistiki açıdan su stresi ve düşük tuz uygulaması ile düşük tuz + su stresi ve yüksek tuz uygulamalarında benzer oranlarda oluşmuştur. .

Stres koşullarında oluşan oksijen radikallerini detoksifike eden antioksidatif enzimler tuz ve su stresi altındaki mısır bitkisinde artan tuz oranı ve su stresi koşullarıyla beraber artış göstermiştir. Elde edilen bu sonuç daha önce yapılan birçok çalışma ile uyum göstermektedir.

Serbest radikallerin, özellikle aktif oksijen türlerinin [süperoksit molekülü (O_2^-), singlet oksijen ($*O$), hidrojen peroksit (H_2O_2) ve hidroksil radikallerini (OH^*)] oluşumunu içerir. Serbest radikaller, eşleşmemiş elektron içeren moleküller olup oldukça reaktiftirler. Bu radikaller; plazma membranı, mitokondri, ER membranlarında da oluşabilir (McKersie, 1994).

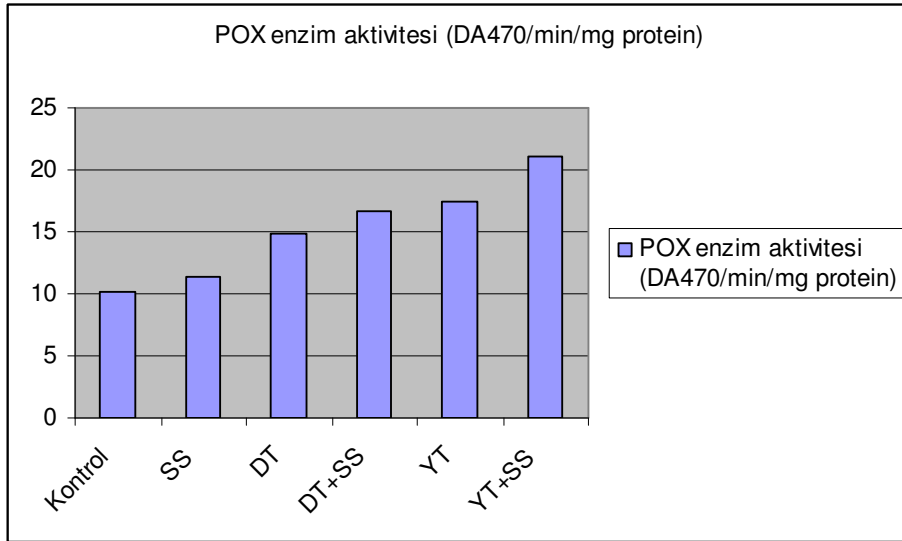
Bitkiler kendilerini toksik O_2 türevlerine karşı koruyan değişen miktarlarda antioksidantlara ve antioksidatif enzimlere sahiptirler (Asada ve Takahashi, 1987; Ye ve ark., 2000). Toksik oksijen türevlerine karşı kloroplastlar antioksidatif savunma sistemlerine sahip olup, bu antioksidantların başında; vitamin E, vitamin C, glutatyon, beta karoten ve zeaxanthin gelmektedir. Süperoksit dismutaz (SOD), askorbat peroksidaz (APX), glutatyon redüktaz (GR), polifenol oksidaz (PPO), peroksidaz (POX) ve katalaz (CAT) gibi enzimler ise bu radikallerin yok edilmesinde en etkin antioksidatif enzimler olarak bilinmektedir (Cakmak ve Marschner, 1992; Cakmak, 1994; Gossett ve ark., 1994a; Dionisio-Sese ve Tobita, 1998; Sreenivasulu ve ark., 1999, 2000).

Bu çalışmada SOD, POX ve PPO enzimlerinin aktiviteleri belirlenmiştir. Bu üç enzim de reaktif oksijen türevlerinin zararlarını yok etmek veya en aza indirmek amacıyla bitkiler tarafından bitkiler tarafından geliştirilen antioksidatif savunma mekanizmalarının önemli elemanları olup tuz ve su stresi koşulları ile oluşan antioksdatif zararın giderilmesinde etkilidirler. Antioksidatif stres sonucu oluşan toksik oksijen radikallerini su ve oksijene kadar parçalayarak detoksifike ederler. Bizim çalışmamızda da tuz ve su stresi sonucu mısır bitkisinde bu üç enzimin de aktivitelerinde artışlar gözlenmiştir. Sonuçlar aşağıdaki grafiklerde gösterilmiştir.



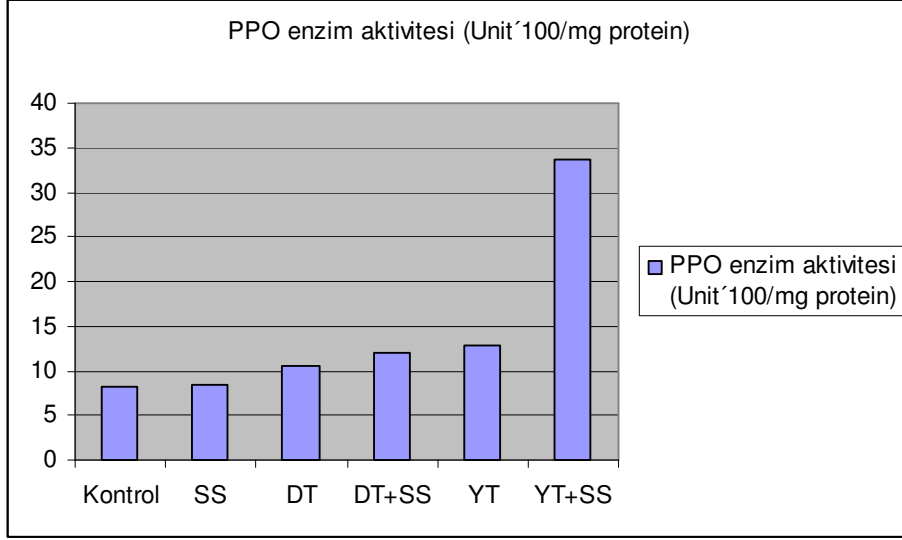
Şekil 11: Tuz ve su stresi altındaki mısır bitkisinde süperoksit dismutaz (SOD) aktivitesindeki değişiklikler.

Grafikten incelenebileceği gibi SOD aktivitesi kontrol grubundan yüksek tuz + su stresi uygulamasına doğru giderek artış göstermektedir. En yüksek aktivite ise yüksek tuz + su stresi uygulamasında belirlenmiştir.



Şekil 12: Tuz ve su stresi altındaki mısır bitkisinde peroksidaz (POX) aktivitesindeki değişiklikler.

POX aktivitesi; tuz ve su stresi koşullarıyla birlikte kontrole göre yine artan değerler göstermiştir ve en yüksek değerini yüksek tuz + su stresi uygulamasında almıştır.



Şekil 13: Tuz ve su stresi altındaki mısır bitkisinde polifenol oksidaz (PPO) aktivitesindeki değişiklikler.

PPO enzimi; genel olarak su stresi, düşük tuz, düşük tuz + su stresi, yüksek tuz uygulamalarında artış göstermekle beraber, kontrole ve diğer uygulamalara göre en yüksek değerini yüksek tuz + su stresi uygulamasında göstermiştir.

Reaktif oksijen türleri tarafından oluşturulan oksidatif zararı yok edebilmek için bitkiler, kompleks antioksidatif savunma mekanizmaları geliştirirler. Bu savunma mekanizmasının en önemli elemanları; antioksidatif enzimlerdir ki bu enzimlerin başında SOD gelir. SOD süperoksit radikali hidrojen peroksit ve oksijen formuna çeviren ana enzimdir. Daha sonra hidrojen peroksit, katalaz ve peroksidaz enzimin birkaç formu tarafından suya kadar parçalanır. Askorbat peroksidaz (APX), hidrojen peoksitin detoksifikesinde askorbati elektron donörü olarak kullanan önemli bir enzimdir. GPX (guiacol perokidaz) ise hidrojen peroksitin oksidasyonunda daha az spesifik bir elektron donör substratıdır (Neto, A.D.A. ve ark., 2004).

PPO ise oksidoredüktaz grubu bir enzim olup, birçok meyve ve sebzelerde gerek hasat veya taşıma sırasında mekaniki zedelenme sonucu, gerekse bunların herhangi bir ürüne işlenmesi aşamasında uygulanan doğrama, parçalama ve ezme gibi işlemler sırasında renkte esmesleşme ve bozulmalar anlamına gelen enzimatik esmerleşme olayından sorumludur. Fakat aynı zamanda, bitkilerde stres koşulları (özellikle sıcaklık ve tuz stresi) ile miktarlarında artış olduğu gözlenmiştir. Enzim aktivitesi sebebiyle stres koşullarında, stresin verdiği zararı

önleme yeteneğine sahip olan fenolik bileşiklerin ve antioksidantların oluşumunu gerçekleştirmektedir (Yemenicioğlu ve ark., 1998). Bu açıdan bu tez çalışmasında da tuz ve su stresi koşullarında aktivitesindeki değişim incelenmiş ve tuzluluk ve su stresi koşullarıyla birlikte mısır bitkisinde miktarında artış gözlenmiştir.

Son yıllardaki araştırmalar, stres altında antioksidant miktarlarını ve antioksidatif enzim aktivitelerini daha fazla arttıran bitkilerin oksidatif zarara karşı daha dirençli olduğunu göstermektedir (Wise ve Naylor, 1987; Spychalla ve Desborough, 1990). İster genetiksel olarak yüksek düzeylerde olsun, ister stresle yüksek oranlarda teşvik edilmiş olsun, artan düzeyde antioksidant ve antioksidatif enzim seviyelerine sahip bitkilerin bu oksidatif zarara karşı daha fazla dayanıklılığa sahip oldukları belirtilmiştir (Harper ve Harvey, 1987; Dhindsa ve Matowe, 1981; Wise ve Naylor, 1987; Monk ve Davies, 1989; Spychalla ve Desborough, 1990).

Bu çalışmada da daha önceki çalışmaların sonuçlarına paralel olarak incelenen antioksidatif enzim aktivitelerinde, tuzluluğun ve su stresi koşullarının artmasıyla beraber önemli artışlar saptanmıştır. Bu enzimlerin en önemlilerinden olan ve toksik oksijen radikallerinin bitkiye vereceği hasarı engellemek için oluşan radikalleri parçalamakta birinci adımda yer alan SOD miktarında tuz ve su stresiyle meydana gelen artış belirgindir. Yine toksik oksijen radikallerinin detoksifike edilmesinde etkili ikincil enzim olan POX aktivitesi de stres koşullarıyla beraber belirgin artış göstermiştir. PPO enzimi aktivitesi de yine stres koşullarına bir cevap niteliğinde artış göstermiştir. Bu bağlamda, artan antioksidatif enzim aktivitelerinin, mısır bitkisinin tuz ve su stresi koşullarına dayanıklılık göstermek amacıyla oluşturduğu hücre içi bir cevap veya bir tolerans mekanizması olarak nitelendirilebilir.

5. SONUÇ

Bu çalışma, tuz ve su stresi altındaki mısır bitkisinde (*Zea mays* L.) prolin birikim düzeyleri ve diğer tüm stres parametrelerinin (EC, klorofil-a, klorofil-b, karotenoid, gövde yaş ve kuru ağırlık, kök yaş ve kuru ağırlık, çözünebilir protein miktarı, antioksidatif enzimler – SOD,POX,PPO-) araştırılması amacıyla gerçekleştirilmiştir.

Bu amaçla DKC 647 hibrit mısır çeşidi üzerinde sera koşullarında, hidrofonic ortamda 6 konu ve 3 tekerrürlü toplam 18 saksı ile yapılan bir deneme oluşturulmuştur.

Mısır bitkisinde stres koşullarının prolin birikimi ve gelişme üzerine etkilerinin araştırıldığı bu çalışmada, kontrol, düşük tuz (5 ds/m NaCl) ve yüksek tuz (10ds/m) içeren ortamlar oluşturulmuştur. Oluşturulan her 3 ortam da kendi arasında normal sulama ve PEG6000 uygulaması olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Su stresi yaratmak amacıyla -1 MPa basınç oluşturacak derecede PEG6000 uygulanmıştır. Kontrol olarak normal sulama suyu+besin çözeltisi kullanılmıştır. 3 tekrarlamalı bir saksı denemesi şeklinde kurulan denemede, yapraklarda ve köklerde meydana gelen prolin birikim düzeyleri araştırılmış ve stres koşullarına maruz bırakılan bitkilerde meydana gelen değişimler direkt olarak gözlemlenmiş ve gelişimi nasıl etkilediği araştırılmıştır.

Hasattan hemen sonra mısır bitkisinin yaprak ve köklerinden yapılan analizler sonucu; tuz ve su stresi uygulamalarıyla prolin, EC miktarlarında ve antioksidatif enzimlerin (SOD, POX, PPO) aktivitelerinde artış gözlenirken, klorofil a, klorofil b, karotenoid, gövde ve kök yaş ve kuru ağırlık miktarlarında azalma tespit edilmiştir. Yaprak ve kök makro element analiz sonuçlarında ise genel olarak artan Na miktarına paralel olarak makro element içeriklerinin azaldığı saptanmıştır.

Kültür bitkilerinde tuz ve su stresi koşullarında stresin ilk anlarından itibaren oldukça yüksek değerlere çıkan parametrelerden birisi prolindir. Bir aminoasit olan prolin, stres altındaki bitkilerde hücre ve dokuların en azından ilk zamanlarda zarar görmesini önlemek amacıyla bitki tarafından içsel olarak salgılanan bir organik bileşiktir. Stres koşulları sona erdiğinde kendiliğinden ve geriyeye bir hasar bırakmaksızın normal değerlere dönmektedir.

Analiz sonuçlarına bakıldığında genel olarak; aşırı tuz uygulaması ve buna ilaveten su stresi koşullarının oluşturulması ile birlikte bitkide prolin miktarları önemli ölçüde artmıştır. Bu durum prolin birikiminin tuz zararlarını ortadan kaldırmaktan çok su eksikliğinin zararlarından korunmak amacıyla yönelik olduğunu düşündürmektedir.

Bitkilerin tuz stresi koşullarında, sekonder metabolitler, farklı kimyasallar ve özellikle stres proteinleri (prolin vb.) üreterek hücrel basınçlarını yükselttikleri, bu sayede de besin ortamında ortaya çıkan yüksek ozmotik basıncı dengeleyip, yaşamlarını sürdürdükleri bilinmektedir. Bu açıdan değerlendirildiğinde bizim çalışmamız sonucunda da elde edilen prolin artışı, mısır bitkisinin, stres koşulları (özellikle su ve tuz stresi) sonucu oluşan zarara karşı metabolizmasında oluşturduğu bir savunma mekanizması olarak nitelendirilebilmektedir. Bu da ülkemizde ve tüm dünyada kültür bitkileri arasında önemli yer tutan mısırın, tarım topraklarında artan tuzlulukla başa çıkıp, tarımsal üretimi arttırmak amacıyla kullanılacak bir bitki olduğu yorumunu getirebilmektedir.

Yüksek tuzluluk ve su stresi koşulları ile beraber, bitkide klorofil a, klorofil b ve karotenoid miktarlarında azalmalar gözlenmiştir. Stres altındaki bitkilerde; ozmotik uyumsuzluk, iyon balansındaki dengesizlik ve genel metabolizma bozuklukları, yaprak klorofil ve karotenoid miktarı üzerine de olumsuz etki yapmaktadır. Bu olumsuz etki klorofil sentezinde gerileme veya klorofil parçalanması şeklinde olmaktadır.

Bilindiği gibi klorofil oluşumu; bitkilerin ototrofik yapılarını ortaya koyabilmelerinin, yani inorganik maddelerden organik madde üreterek büyüyüp gelişebilmelerinin temel taşıdır. Tuz stresi koşullarında Na, klorofil moleküllerindeki Mg'la yer değiştirerek klorofilin yapısını bozmakta, hatta parçalamakta ve dolayısıyla bitki gelişimini de etkilemektedir. Stres koşullarında artan Na'la klorofilin yapısındaki Mg'un yer değiştirmesini engelleyebilen ve klorofil miktarlarını giderek arttırabilen bitkiler tuz stresine karşı dayanıklı bitkiler olarak değerlendirilebilmektedir.

Çalışmamızda kullandığımız mısır bitkisinde, tuzluluk ve su stresiyle birlikte; klorofil-a, klorofil-b ve karotenoid miktarlarında azalmalar saptanmış ve bu azalmanın tuz ve su stresi koşullarının kombine olarak yaratıldığı uygulamada maksimum seviyeye ulaştığı gözlenmiştir. Aynı zamanda NaCl ve PEG6000 kombinasyonunun mısır bitkisi klorofil

miktarı üzerindeki etkisinin, sadece NaCl uygulamasına oranla daha olumsuz olduğu tespit edilmiştir.

Tuz ve su stresi; mısır bitkisinde yaş ve kuru ağırlık, bitki boyu ve gövde çapı üzerine de olumsuz etki yapmıştır. Ortam tuzluluğu bitkinin su almasını zaten engellerken, buna ilaveten yaratılan su stresi koşulları, bitkinin besin çözeltilisinden su ve gerekli mineral maddeleri yeterli miktarda alamamasına neden olmuş ve bu durum bitki gelişimini geriletmiştir. Aynı zamanda bu koşullar birçok bitkide büyümede gerileme yanında, verimlilik ve ürün kalitesi üzerine de olumsuz etki yaratmaktadır.

Ayrıca mısır bitkisinde tuza bağılı olarak kuru ağırlıkta meydana gelen azalma, yetiştirme ortamının ozmotik basıncının tuzdan dolayı artmasıyla su yarayırlılığının azalması, buna ilaveten su stresi koşullarının yaratılması ve bitkilerin iyon dengesindeki bozulmalardan ileri gelmesiyle açıklanabilir.

Yüksek miktarda uygulanan tuz, yaprak ve köklerin makro element miktarlarını da etkilemiştir. Tuz uygulamasında yaprak ve köklerdeki makro elementlere bakıldığında artan Na miktarlarına paralel olarak P, K, Ca, Mg miktarlarında azalmalar saptanmıştır.

Tuzlu ortamlarda, bitkiler K ve Ca'un zararına neden olacak şekilde Na'un aşırı miktarlarını adsorbe etmektedir. Tuzlu yetiştirme ortamında yüksek Na/Ca ve Na/K oranları, kök membranlarının seçiciliğini bozarak Na'un köklerde ve gövdede pasif akümülyasyonuna neden olabilmektedir. Bitki köklerinde Na'un yüksek oranlı akümülyasyonu, kök içerisinde bulunan bazı özel yörelerin düzenleyici mekanizmalarına bağılı olabilmekte, bu da örneğin Na'un köklerden toprak üstü organlara taşınımının önlenmesine ve dolayısıyla köklerde Na birikimine neden olmaktadır. Bitki köklerinde lokalize olan bu Na, aynı zamanda Na'un floemdeki yüksek mobilitesine bağılıdır

Na miktarındaki artış, genellikle ozmotik regülyasyonu ve besin dengesini bozarak spesifik iyon toksitesine neden olmaktadır. Bu durum yetiştirme ortamının iyonik dengesinden ziyade net Na oranına bağılı olup, bitkilerin tuza toleransını belirlemektedir. Artan Na içeriği genellikle K miktarında azalmaya neden olmakta, bu durum Na ile K arasındaki antogonizm nedeniyle desteklenmektedir. Benzer şekilde, dış ortamda bulunan yüksek seviyedeki Na

oranları, toprak çözültisindeki Ca'un aktivitesinde büyük oranda azalmaya neden olmakta, kök hücrelerinin plazmalemmalarından Ca'u çıkartarak onun yerine geçebilmektedir

Tuz stresi genellikle elektrolitik dengeyi bozarak bitkilere zarar vermekte, bu da bazı gerekli besin elementlerinin noksanlığı ile sonuçlanmakta ve bitki dokularında istenmeyen bazı tuzların birikimine neden olmaktadır. Bu şartlar altında tuz toleransı, genellikle bitki kökleri vasıtasıyla Na ve Cl alımının düzenlenmesi ve sonrasında gövdeye taşınması yeteneğiyle ilişkilidir.

Bu tez çalışmasında elde edilen sonuçlara göre, yapraklardaki Na miktarı, köklerdeki Na miktarına göre daha yüksektir. Esas itibariyle yüksek tuz içeren yetiştirme ortamında gelişen bitkilerin strese karşı toleransları Na'u gövdeye ve yapraklara ne oranda taşıdığına bağlıdır. Na'u köklerde yüksek oranda biriktirerek, gövde ve yapraklara daha az ileten bitkiler stres koşullarına daha toleranslıdır. Bizim çalışmamızda ise yapraklardaki Na oran, köklerden daha yüksek bulunmuştur. Bu da mısır bitkisinin tuz stresine daha az toleranslı olduğu sonucunu doğurmaktadır.

Çalışma sonucu yapılan analizlerde artan tuzluluk ve su stresi koşulları ile beraber çözünebilir protein miktarında da gözle görülür artışlar saptanmıştır. Bu artış bitkinin hücre içi ozmoregülasyonu sağlaması amacına ve tuz stresinde koruyucu rol oynayan bazı proteinlerin sentezine neden olan aminoasitlerin artışa bağlanabilir. Stres proteinleri olarak değerlendirilen bu proteinlerin sentezini arttıran aminoasitlerin başında prolin gelmektedir. Bizim çalışmamızda da tuz ve su stresi koşulları ile beraber prolin miktarında belirgin artışlar gözlenmiştir. Buna bağlı olarak çözünebilir protein miktarında da artış olduğu söylenebilmektedir. Fakat şunu da belirtmek gerekir ki; bitkilerde stres koşullarında, özellikle de tuz ve su stresinde protein sentezinde gerileme meydana gelmektedir.

Ayrıca bitkileri su ve tuz stresinin oksidatif zararından koruyan oksidatif enzimlerin miktarlarında da artışlar mevcut olup, bu enzimlerin de protein tabiatında olması çözünebilir protein miktarında meydana gelen artışı açıklamaktadır.

Tuz ve su stresi koşullarında bitkide meydana gelen zararlardan bir tanesi de oksidatif zarardır. Bitkinin fotosentez için yeterli miktarda su ve mineral maddeleri alamaması sonucunda, CO₂ fiksasyonunda kullanılmayan elektronlar toksik oksijen radikallerin

sentezlenmesinde kullanılmaktadır. İŖte bitkide tuz ve su stresi koŖullarında meydana gelen hücre tahribatı ve hasar bu noktada kendini göstermektedir. Bitkinin stres koŖullarıyla baŖ edebilmesi için bu toksik oksijen radikallerini parçalaması gerekmektedir. Stres koŖullarında bitkide sentezlenen antioksidantlar ve antioksidatif enzimler bu radikallerin parçalanmasında görev almakta ve bu da strese karŖı bir tolerans mekanizması olarak nitelendirilebilmektedir.

Serbest radikallerin, özellikle aktif oksijen türlerinin [süperoksit molekülü (O_2^-), singlet oksijen ($*O$), hidrojen peroksit (H_2O_2) ve hidroksil radikallerini (OH^\cdot)] oluşumunu içerir. Serbest radikaller, eşleşmemiş elektron içeren moleküller olup oldukça reaktiftirler. Bu radikaller; plazma membranı, mitokondri, endoplazmik retikulum membranlarında da oluşabilir.

Bitkiler kendilerini toksik O_2 türevlerine karŖı koruyan değişen miktarlarda antioksidantlara ve antioksidatif enzimlere sahiptirler. Toksik oksijen türevlerine karŖı kloroplastlar antioksidatif savunma sistemlerine sahip olup, bu antioksidantların baŖında; vitamin E, vitamin C, glutatyon, beta karoten ve zeaxanthin gelmektedir. Süperoksit dismütaz (SOD), askorbat peroksidaz (APX), glutatyon redüktaz (GR), polifenol oksidaz (PPO), peroksidaz (POX) ve katalaz (CAT) gibi enzimler ise bu radikallerin yok edilmesinde en etkin antioksidatif enzimler olarak bilinmektedir

Bu çalışmada SOD, POX ve PPO enzimlerinin aktiviteleri belirlenmiştir. Bu üç enzim de reaktif oksijen türevlerinin zararlarını yok etmek veya en aza indirmek amacıyla bitkiler tarafından bitkiler tarafından geliştirilen antioksidatif savunma mekanizmalarının önemli elemanları olup tuz ve su stresi koŖulları ile oluşan oksidatif zararın giderilmesinde etkilidirler. Oksidatif stres sonucu oluşan toksik oksijen radikallerini su ve oksijene kadar parçalayarak detoksifike ederler.

Bu çalışmada da incelenen antioksidatif enzimlerden SOD, POX ve PPO aktivitelerinden artan tuzluluk ve su stresi ile beraber önemli oranda artışlar belirlenmiştir. Bu bağlamda mısır bitkisinde, artan tuzluluk ve su stresi ile aktivitelerinde artış gözlenen bu enzimlerin, strese karŖı bir tolerans mekanizması olduğu yorumu yapılabilir.

Sonuç olarak bu tez çalışmasında, tuz ve su stresi altındaki mısır bitkisinin prolin birikim düzeyleri ve diğer tüm stres parametreleri incelenmiş, stres koŖullarında bu

parametrelerin değişimi gözlenerek mısır bitkisinin stres koşullarına karşı verdiği cevaplar değerlendirilmiştir.

Kontrol grubu dışında düşük tuz ve yüksek tuz uygulamalarına ilaveten hidrofonik ortamda PEG6000 uygulamasıyla su stresi koşulları da yaratılmıştır. Elde edilen sonuçlara bakıldığında; mısır bitkisinin stres koşullarının zararlarından daha az etkilenebilmek amacıyla prolin miktarını arttırarak ozmotik dengeyi sağladığı, oksidatif zarardan korunmak amacıyla antioksidatif enzim aktivitesini arttırdığı gözlenmiştir. Tüm bunlara rağmen, mısır bitkisinde stres koşulları ile klorofil-a, klorofil-b, karotenoid miktarlarında azalma meydana geldiği ve buna bağlı olarak bitki gelişiminin engellendiği tespit edilmiştir.

Tuz ve su stresinin mısır bitkisinin gövde ve kök yaş ve kuru ağırlığında da azalmalara neden olduğu, bu azalmanın tuz uygulamasına ilaveten su stresi koşulları yaratılmasıyla en yüksek düzeye ulaştığı gözlenmiştir.

Artan Na miktarına paralel olarak bitkinin yaprak ve kök makro element içeriğinde de azalmalar meydana gelmiştir. Bu da bitki gelişimini engelleyen önemli bir etkidir. İyon toksitesi olarak da nitelendirilebilecek bu sonuç; mısır bitkisinde büyüme ve gelişim dışında, klorofil miktarını da etkilemiştir.

Mısır bitkisinde tuz ve stresine karşı tüm bu parametrelerdeki değişimler, bitkinin stres koşullarının oluşturduğu zararlardan korunmak amacıyla geliştirdiği savunma mekanizmaları olarak nitelendirilebilir. Özellikle prolin miktarındaki artış ve antioksidatif enzim aktivitelerinin tuz uygulaması ve su stresi koşullarıyla artışı bunun önemli göstergesidir. Bu özellikler incelenerek seçilecek bitki çeşitleri, tuz zararına ve su stresi koşullarına hassas olan kültür bitkileri arasında mısırı ön plana çıkarmaktadır. Çünkü ülkemizde ve tüm dünyada tuzluluk sorunu giderek artmakta ve bu bölgelerde bu tarz bitkilerin denenmesi ve yetiştirilmesinin tarımsal üretime önemli katkılar sağlayacağı düşünülmektedir. Bu açıdan ilk aşamada mısır üzerinde durulması önem taşımaktadır.

KAYNAKLAR:

Abbas, M.A. Younis, M.E. and Shukry, W.M., 1991. Plant growth, metabolism and adaptation in relation to stress condition. XIV. Effect of salinity on the internal solute concentrations in *Phaseolus vulgaris*. J. Plant Physiol., 138:722-727

Akgül, H., 2002. Tuzluluk. <http://www.ebkae.cjb.net>

Alam, S.M., 1999. Nutrient uptake by plants under stress conditions. Handbook of Plant and Crop Stress, Edited by; M., Pessrakli, pp:227-247.

Alamgir, A.N.M. and ALI, M.Y., 1999. Effect of salinity on leaf pigments, sugar and protein concentrations and ATPase activity of rice (*Oryza sativa* L.). Bangladesh J. Bot., 28: 145-149.

Alexieva, V., Ivanov, S., Sergiev, I. and Karanov, E., “ Interaction between stresses”, *Bulg. J. Plant Physiol.*, Special Issue, 1-17 (2003).

Amacher, J.K., Koenig, R., Kitvhen, B., 1997. Salinity and Plant tolerance, Utah state Univ., Analytical Lab. EP/DF/04-98.

Amzallag, G.N., Lerner, H.R. and Poljakoff-Mayber, A., 1992. Interaction between mineral nutrients, cytokinin and gibberellic acid during growth of Sorghum at high NaCl salinity. J. Exp. Bot., 43:81-87.

Asada, K. and Takahashi, 1987. Production and scavenging of active oxygen radicals in photosynthesis. In D.J. Kyle et al. (ed) Photoinhibition. Elsevier, Amsterdam, 227-297.

Asada, K., “The water-water cycle in chloroplasts: scavenging of active oxygens and dissipation of excess photons”, Annu. Rev. Plant Physiol., *Plant Mol. Biol.*, 50: 601-639 (1999).

Asamaa, K., Sober, A., Hartung, W. and Niinemets, U., "Rate of stomatal opening, shoot hydraulic conductance and photosynthetic characteristics in relation to leaf abscisic acid concentration in six temperate deciduous trees", *Tree Physiol.*, 22: 267-276 (2002).

Ashraf, M. And O'Learly, J.W., 1997. Responses of a salt-tolerant and a salt sensitive line of sunflower to varying sodium/calcium ratios in saline culture. *J. Plant Nutr.*, 20: 361-377.

Avcıoğlu, R., Demiroğlu, G., Khalvati, M.A., Geren, H., 2003. Ozmotik basıncın bazı kültür bitkilerinin erken gelişme dönemlerindeki etkileri. *Ege Üni. Ziraat Fak. Derg.*, 40 (2):9-16.

Awad, F. And Boutros, N.B., 1987. the influence of gibberellin on the resistance of sour orange seedlings to salinity. *Egypt. J., Soil Sci.*, 27:289-302.

Awang, Y.B, Atherton, J.G. and Taylor, A. J., 1993. Salinity effects on strawberry plants grown rockwool. I. Growth and leaf water relations. *J. Hort. Sci.*, 68:783-790.

Ayyıldız, M., 1990. Sulama Suyu Kalitesi ve Tuzluluk Problemleri. Ankara Üniv. Ziraat Fakültesi Kültürteknik Bölümü, Ankara Üniv. Ziraat Fak. Yayınları: 1196, Ders Kitabı: 344, Ankara, 282s.

Aziz, A., Martin-Tanguy, J., and Larher, F., 1999. Salt stress-induced proline accumulation and changes in tyramine and polyamine levels are linked to ionic adjustment in tomato leaf discs. *Plant Sci.*, 145:83-91.

Baker, N.R., "A possible role for photosystem II in environmental perturbations of photosynthesis", *Physiol. Plant.*, 81: 563-570 (1991).

Ball, M.C., 1988. Salinity tolerance in the mangroves *Aegiceras corniculatum* and *Avicennia marina*. I. Water use in relation to growth, carbon partitioning, and salt balance. *Aust. J. Plant Physiol.*, 15:447-464.

Banuls, J. and Primo-Millo, E., 1992. Effects of chloride and sodium on gas exchange parameters and water relations of citrus plants. *Physiol. Plant.*, 78: 238-246.

Barr, H.D.; Weatherley, P.E., 1962, A re-examination of the relative turgidity technique for estimating water deficit in leaves. *Aust. J. Biol. Sci.*, 15: 413-428.

Bates, L.S.; Waldren, R.P.; Teare, I.D., 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant Soil.*, 39: 205-207.

Bayraklı, F., 1998. Toprak Kimyası. O.M.Ü. Ziraat Fakültesi Ders Kitabı No: 26, 1. Baskı, Samsun, 214s.

Bellaire, B.A., Carmody, J., Braud, J., Gosset, D.R., Banks, S.W., Lucas, M.C. and Fowler, T.E., 2000. Involvement of abscisic acid-dependent and independent pathways of antioxidant enzyme activity during NaCl stress in cotton callus tissue. *Free Radical Res.*, 33: 531-545.

Ben-Gal, A.; Shani, U; 2002. Yield transpiration and growth of tomatoes under combined excess boron and salinity stress, *Plant and Soil*, 247 (2): 211-221.

Bergmann, W., 1992. Nutritional Disorders of Plants- Development, Visual and Analytical Diagnosis. Fischer verlag, Jena.

Bilgin, N., 2002. Besin kültüründe yetiştirilen farklı domates çeşitlerinin (*Lycopersicum esculantum*) artan NaCl uygulamalarına toleransı ve tuzluluk stresinin kuru madde miktarı ile bitki mineral içeriğine etkisi. Yüksek lisans tezi, 52s.

Binsel, M.L., Hasegawa, P.M., Handa, A.K. and Bressan, R.A., 1985. Adaptation of tobacco cells to NaCl. *Plant Physiol.*, 79: 118-125.

Blits, K.C. and Gallagher, J.L., 1990. Salinity tolerance of *Kosteletzkyia virginica*. I. Shoot growth, ion and water relations. *Plant Cell Environ.*, 13: 409-418.

Blumwold, E., 2000. Sodium transport and salt tolerance in plants. *Current Opinion in Cell Biology*, 12: 431-434.

Blumwold, E., Aharon, G.S. and Apse, M.P., 2000. Sodium transport in plant cells. *Biochimica et Biophysica Acta*, 1465: 140-151.

Brugnoli, E. And Lauteri, M., 1991. Effects of salinity on stomal conductance, photosynthetic capacity, and carbon isotop discrimination of salt tolerant (*Gossipium hirsutum L.*) and salt-sensitive (*Phaseolus vulgars L.*) C₃ nonhalophytes. *Plant Physiol.*, 95: 628-635.

Bray, E.A, "Plant Responses to Water Deficit", *Trends Plant Sci.*, 2: 48-54 (1997).

Cakmak, I. And Marschner, H., 1992. Magnesium defficiency and high-light intensity enhance activities of superoxide dismutase, ascorbate peroxidase and glutathione reductase in bean leaves. *Plant Physiol.*, 98: 1222-1227.

Cakmak, I., 1994. Activity of ascorbate-dependent H₂O₂-scavenging enzymes and leaf chlorosis are enhanced in magnesium -and potasium- deficient leaves, but not in phosphorus-deficient leaves. *J. Exp. Bot.*, 45: 1259-1266.

Campbell, M.K., *Biochemistry, Harcourt Brace Jovanovich College Publishers*, Fort Worth, USA, (1991).

Chang, H., Siegel, B.Z. and Siegel, S.M., 1984. Salinity induced in isoperoxidase in taro. *Colocasia esculenta*. *Phytochem.*, 23:233-235.

Charles, S.A. and Halliwell B., "Effect of hydrogen peroxide on spinach (*Spinacia oleraceae*) chloroplast fructose biphosphatase", *Biochem. J.*, 189: 373-376 (1980).

Chartzoulakis, K.S., 1994. Egg-plant response to NaCl salinity. Abstracts. XXIVth Int. Hort. Congress. 21-27 August 1994, Kyoto-Japan ISHS, 15-9.

Cheeseman, J., 1988. Mechanism of salinity tolerance in plants. *Plant Physiol.*, 7: 547-550.

Chen, G. And Asada, K., 1989. Ascorbate peroxidase in tea leaves: occurrence two isoenzymes and the differences in their enzymatic and molecular properties. *Plant Cell Physiol.*, 30: 987-998.

Chirachint, W. And Turner, D.W., 1988. Shade reduced the foliar symptoms of "Fuerte" avocado affected by salt, without significantly changing the concentration of Na, K or Cl in leaves. *Sci. Hort.*, 36: 1-15.

Çiçek, N., Çakırlar, H., 2002. The effect of salinity on some physiological parameters in two maize cultivars, *Bulg. J. Plant Physiol.*, 28 (1-2): 66-74.

Comstock, J.P., "Hydraulic and chemical signalling in the control of stomatal conductance and transpiration", *J. Exp. Bot.*, 53: 195-200 (2002).

Cramer, C.R. and Nowak, R.S., 1992. Supplemental manganese improves the relative growth, net assimilation and photosynthetic rates of salt-stressed barley. *Physiol. Plant.*, 84: 600-605.

Cramer, C.R., Epstein, E. And Lauchli, A., 1988. Kinetics of root elongation of maize in response to short-term exposure to NaCl and elevated calcium concentration *J. Expt., Bot.*, 39: 1573-1582.

Davies, K.J.A., 1987. Protein damage and degradation by oxygen radicals. I. General aspects. *J. Biol. Chem.*, 262: 9895-9901.

Dawenport, R.J., Reid, R.J. and Smith, F.A., 1997. Sodium-calcium interactions in two wheat species differing in salinity tolerance. *Physiol. Plant.*, 99: 323-327.

Demir, Y., Kocaçalışkan, İ., Effect of NaCl and proline on bean seedlings cultured in vitro. *Biologia Plantarum*, 45 (4): 597-599, 2002.

Dionisio-Sese, M.L. and Tobita, S., 1998. Antioxidant responses of rice seedlings to salinity stress. *J. Plant Sci.*, 135:1-9.

Dionisio-Sese, M.L. and Tobita, S., 2000. Effects of salinity on sodium content and photosynthetic responses of rice seedlings differing in salt tolerance. *J. Plant Physiol.*, 157: 54-58.

Ebrahimzadeh, H., Meighany, F., Rahimian, H., 2000. Role of mineral ions in salt tolerance of two wheat cultivars. *Pakistan Journal of Botany*, 32 (2): 265-271.

El-Enany, A.E., 2000. Abscisic acid-responsive proteins induce salinity tolerance in wheat seedlings. *Acta Physiol. Plant*, 22: 53-59.

Elstner, E.F., 1987. Metabolism of activated oxygen species. In D.D. Davies (ed.) *The Biochemistry of Plants. Biochemistry of Metabolism*. Academic Press. San Diego. CA., 2: 252-315.

Essa, T.A., 2002. Effect of salinity stress on growth and nutrient composition of three soybean cultivars, *J. Agronomy and Crop Sci.*, 188 (2): 86-93.

Fageria, N.K., 1983. Ionic interactions in rice plants from dilute solutions. *Plant Soil*, 70, 309.

FAO, 1976. *Water Quality for Agriculture*. Irrigation and Drainage Paper, No: 29, Rome.

Farrant J.M., "A comparison of mechanisms of desiccation tolerance among three angiosperm resurrection plant species", *Plant Ecol.*, 151: 29-39 (2000).

Flowers, T.J., 1988. Chloride as a nutrient and as an osmoticum "advances in plant nutrition", (B. Tinker and A. Lauchli, Eds.), Praeger, New York, 3: 55-78.

Foyer, C.H., Lelandais, M., Edwards, E.A. and Mullineaux, P.M., 1991. The role of ascorbate in plants, interactions with photosynthesis and regulatory significance. In E. Pell

and K. Steffen (ed). Active oxygen/oxidative stress and plant metabolism. Am. Soc. Plant Physiol., Rockville, MD., 131-144.

Franco, J.A., Esteban, C. And Rodriguez, C., 1993. Effects of salinity on various growth stages of muskmelon cv. Revival. J. Hort. Sci., 68: 899-904.

Fridovich, I., 1986. Biological effects of the superoxide radical. Arch. Biochem. Biophys., 247: 1-11.

Frota, J.N.E. and Tucker, T.C., 1978. Salt and water stress influences nitrogen metabolism in red kidney beans. Soil Sci. Soc. Am.J., 42: 743-746.

Gadallah, M.A.A., Effects of proline and glycinebetaine on *Vicia faba* responses to salt stress. Biologia Plantarum, 42 (2): 249-257, 1999.

Garcia, M., Fallot, J., Charbaji, T., Roson, R.J., 1993. Influences of sodium chloride on the compositions of berries in hydroponically grown grapevines. Vitis, 32: 215-221.

Gepstein, S., 1988. Photosynthesis, In: L.D. Nooden, A.C. Leopold (Eds.). Senescence and Aging in Plants, Academic Press, 85-109.

Ghoulam, C., Foursy, A., Fores, K., 2002. Effects of salt stress on growth inorganic ions and proline accumulation in relation to osmotic adjustment in five sugar beet cultivars, Environmental and Experimental Botany, 47: 39-50.

Gibson, T.S., Speirs, J. And Brady, C.J., 1984. Salt-tolerance in plants. II. *In vitro* translation of m-RNAs from salt-sensitive plants on wheat germ ribosomes. Response to ions and compatible organic solutes. Plant. Cell and Environ., 7: 579-587.

Glenn, E.P., Brown, J.J. and Blumwald, E.J., 1999. Salt tolerance and crop potential of halophytes. Free Radical Research, 227-255.

Gorham, J., McDonnell, E. And Wyn Jones, R.G., 1985. Salt tolerance in the Triticeae; Growth and Solute accumulation in leaves of *Thinopyrum bessarabicum*. J. Expt. Bot., 36: 1021-1031.

Gorham, J., 1987. Analysis of inorganic anions and cations in plant tissues by ion chromatography. In recent developments in ion Exchange, Eds. P.A. Williams and M.J. Hudson. Elsevier Applied Science, London and New York, 14-21.

Gosset, D.R., Millhollon, E.P. and Lucas, C., 1994a. Antioxidant response to NaCl stress in salt-tolerant and salt-sensitive cultivars of cotton. Crop Sci., 34: 706-714.

Gosset, D.R., Banks, S.W., Millhollon, E.P. and Lucas, C., 1996. Antioxidant response to NaCl stress in a control and an NaCl-tolerant cotton cell line grown in the presence of paraquat, buthionine, sulfoximine and exogenous glutathione. Plant Physiol., 112: 803-804.

Greenway, H. And Osmond, C.B., 1972. Salt responses of enzyme from species differing in salt tolerance. Plant Physiol., 49,256-259.

Grive, C.M., Shannon, M.C. and Dierig, D.A., 1999. Salinity Effects on Growth, Shoot-ion Relations and Seed Production of *Lesquerella fendleri*. Reprinted from: Perspectives on new crops and new uses. J. Janick (ed.), ASHS. Press, Alexandria, VA.

Guetahdan, Y., Yanıv, Z., Zlinslas, B.A and BenHayyim, G., 1997, Salt oxidative stress: similar and specific responses and their relation to salt tolerance in citrus. *Planta*, 203:460-469

Güngör, Y., Artık, N. ve Yurtseven, E., 1993. Sulama Suyu Tuzluluğunun Soya Kimyasal Bileşimi Üzerine Etkisi. *Doğa Tr. J. of Agricultural and Forestry*, 17:443-449.

Güngör, Y. ve Erözel, Z., 1994. Drenaj ve Arazi Islahı. Ankara Üniv., Ziraat Fak. Yayınları No:1341, Ders Kitabı:389, Ankara, 232s.

Hajibagheri, M. A., Yeo, A.R., Flowers, T.J. and Collins, J.C., 1989. Salinity resistance in Zea mays: fluxes of potassium, sodium, and chloride, cytoplasmic concentrations and microsomal membrane lipids. *Plant, Cell and Environ.*, 12:753-757

Halliwell, B. and Gutteridge, J.M.C., 1985. *Free Radicals in Biology and Medicine*. Clarendon Press, Oxford.

Halliwell B. and Gutteridge J.M.C., *Free Radicals in Biology and Medicine, Oxford: Clarendon Press*. (1989).

Hansen, J.K., Saxe, H., Raebild, A., Nielsen, C.N., Simonsen, J.P., Larsen, J.B. and Wallendorf, H., 1998. Decline and Physiological response of foliar-deposited salt in Norway spruce genotypes: a comparative analysis. *Can. J. Forest Res.*, 28:1879-1889.

Harper, D.B. and Harvey, B.M.R., 1978. Mechanism of paraquat tolerance in perennial ryegrass II. Role of superoxide dismutase, catalase and peroxidase. *Plant cell environ.*, 1:211-215.

Hasegawa, P.M., Bresson, R.A. and Handa, A.V., 1986. Cellular mechanisms of salinity tolerance. *Hort. Sci.*, 21:1317-1324.

He, J.X., Wang, J. and Liang H.G., "Effects of water stress on photochemical function and protein metabolism of photosystem II in wheat leaves", *Physiol. Plant.*, 93: 771-777 (1995).

Heath, R.L. and Packer L., 1968. Photoperoxidation in isolated chloroplasts. I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. *Arc. Biochem. and Biophys.*, 125:189-198.

Heimler, D., Tattini, M., Ticci, S., Coradeschi, M.A., and Travercci, M.L., 1995. Growth, Ion Accumulation, and Lipid Composition of two Olive Genotypes under salinity. *J. Plant Nutr.*, 18:1723-1734.

Helal, H. and Mengel, K., 1979. Nitrogen metabolism of young barley plant as affected by NaCl-salinity and Potassium. *Plant Soil.*, 51:457-462.

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.

Hernandez,J.A.,Jimenez, A., Mullineaux,P. And Sevilla, F., 2000.Tolerance of pea (*Pisum Sativum L.*) to long –term salt stres in asociated with induction of antioxidant defence.Plant cell &Env.,23:853-862.

Hoffman,R.,Tufariello,J.and Bisson, M.A., 1989. Effect of Divalent cations on the sodium Permaability of Chara coraline and fresh water grown Chara Buckelli.Journal of Exp. Bot ., 40:875-881.

Hossain,M., Nakano,K. and.Asada, K., 1984.Monodehydroascorbate reductase in spinach choroloplast and its partici pation in the regenation of ascorbate for scaveging hydrogen peroxide.Plant cell Physiol., 61:385-395.

Hsu, S.Y., Kao, C.H., The effect of polyethylene glycol on proline accumulation in rice leaves. Biologia Plantarum, 46 (1): 73-78, 2003.

Imlay,J.A. and Linn,S., 1988. DNA damage and oxygen radical toxicity.Science,240:1302-1309.

Ioneva,Z.S., 1988. Effect of Potassium Ions in Na uptake by plants in conditions of chloride salinity.Horth Abst, 58:8898.

J.F. Moran, M. Becana, I. Iturbe–Ormaetxe, S. Frechilla, R.V. Klucas, P. Aparicio–Tejo, *Planta* 1994, 194, 346–352.

Johnston.M.,Grof, C.P.L. and Brownell. T.F., 1988. The Effect of Na nutrition on the pool size of intermediate of the C4 Photosyntetic Pathway.Aust.J.Physiol., 15:749-760.

Joyce.P.A., Aspinall,D. And Palley. L.G., 1992.Photosynthesis and the acumulation of proline in responce to water deficit.Aust.J.Plant.Physiol.,19:249-261.

Jung, S., "Variation in antioxidant metabolism of young and mature leaves of *Arabidopsis thaliana* subjected to drought", *Plant Sci.*, 166: 459-466 (2004).

Kacar, B., 1972. Toprağın ve bitkinin kimyasal analizleri. Ankara Üniv. , Ziraat Fak. Yayınları, No:53, A. Ü. Basımevi, Ankara.

Kacar.B.,1984. Bitki gelişmesinde Sodyumun Önemi.Bitki Besleme Kitabı.A.Ü.Ziraat Fakültesi Yayınları,II. Basım,301-302.

Kafkafi,U.1991.Root growth under stress.Salinity.In the plant roots:'The Hidden Half'(E.Waisel,A. Eshel and U.Kafkafi.Eds.).Marcel Dekker, New York, 375-391.

Kaiser, W.M., "Reversible inhibition of the Calvin cycle and activation of the oxidative isolated intact chloroplasts by hydrogen peroxide", *Planta*, 145: 377-382 (1979).

Kanber, R., Kırdar, C. ve Tekinel, O., 1992. Sulama Suyu Niteliği ve Sulamada Tuzluluk Sorunları. Ç.Ü. Ziraat Fakültesi Genel Yayın No:21, Ders Kitapları Yayın No:6, Adana.

Kara, T. ve Apan . M., 2000. Tuzlu Taban Suyunun Sulamalarda Kullanımı İçin Bir Hesaplama Yöntemi. O.M.Ü. Ziraat Fakültesi Dergisi 15(3):62-67.

Kaya, C., Higgs, D., 2002. Calcium nitrate as a remedy for salt stressed cucumber plants. J. Plant Nutr., 25(4): 861-871.

Kaya, C., Higgs, D., Kirnak, H., Tas, I., 2003a. Ameriolative effect of calcium nitrate on cucumber and melon plants drip irrigated with saline water. J. Plant Nutr., 26(8): 1665-1681.

Kaya, C., Higgs, D., 2003b. Supplementary potassium nitrate improves salt tolerance in bell pepper plants. J. Plant Nutr., 26(7):1367-1382.

Kaya, C., Ak BE, Higgs, D., 2003c. Response of salt stressed strawberry plants to supplementary calcium nitrate and/ or potassium nitrate. *J.Plant Nutr.*, 26(3): 543-560.

Kessler, B., “ Nucleic acids as factors in drought resistance of higher plants”, *Recent Advan. Bot.* , 1153-1159, (1961).

Kotuby, J., Koenig, R. and Kitchen, B., 1997. Salinity and Plant Tolerance. Utah State University Extension. AG-SO-03., Utah.

Kramer.D., Lauchli,A., Yeo, A.R. and Gulasch,J., 1997.Transfer cells in roots of *Phaseolus coccineus*:Ultrastructure and possible function in exclusion of Sodium from the Shoot.*Ann.Bot.*, 41:1031.

Kuiper, D., Schuit, J. And Kuiper, P.J.C., 1990. Actual cytokinin concentrations in plant tissue as an indicator for salt resistance in cereals. *Plant and Soil*, 123: 243-250.

LaRosa, P.C., Handa, A.K., Hasegawa, P.M. and Bressan, R.A., 1985. Abscisic acid accelerates adaptation of cultured tobacco cells to salts. *Plant. Physiol.*, 79: 138-142.

Lauchli, A., 1986. Responses and adaptation of crops to salinity. *Acta. Hort.*, 192:243-246.

Lauchli, A., 1990. Calcium, salinity and plasma membrane. In: *Calcium in Plant Growth and Development* (R.J.Leonard and P.K: Hepler Eds.), The American Society of Plant Physiologists Rockville, M.D., 26: 35.

Leonard, J.D. and Bear, F.E., 1950. Sodium as a fertilizer for New Jersey Soils. *New Jersey Agr. Exp. Sta. Bull.*, 752: 24.

Lerner, H.R., Reinhold, L., Guy, R., Braun, Y., Hasidim., M. And Poljakoff-Myber, A., 1983. Salt activation and inhibition of membrane ATPase from Roots of *Atriplex nummularia*. *Plant. Cell Environ.*, 6: 501-506.

Levitt J., *Responses of Plants to Environmental Stresses*, Vol 1, **Academic Press**, New York, (1980).

Levitt, J., 1980. Responses of plants to environmental stresses 2nd ed. Academic Pres, New York, 2: 607.

25. Lima, A.L.S., DaMatta, F.M., Pinheiro, H.A., Totola, M.R. and Loureiro, M.E., “Photochemical responses and oxidative stress in two clones of *Coffea canephora* under water deficit conditions”, *Environ. Exp. Bot.*, 47: 239-247 (2002).

Lone, M.L., Kueh, S.H., Wyn Jones, R.G. and Bright, S.V.J., 1987. Influence of proline and glycinebetaine on salt tolerance of cultured barley embryos. *J. Experimental Botany*, 38: 479-490.

Lopez, M.V., and Satti, S.M.E., 1996. Calcium and potassium enhanced growth and yield of tomato under sodium chloride stress. *Plant Sci.*, 114: 19-27.

Lopez, M.V., and Satti, M.E., 1997. The potential of using K/Na ratio as index of salinity tolerance in tomato. *Pakistan J. Bot.*, 29: 313-318.

Lu, C.M., and Vonshak, A., 1999. Characterization of PII Photochemistry in salt-adapted Cells of cyanobacterium *Spirulina platensis*. *New Phytologist*, 141: 231-239.

Luna, C., Sefino, L.G, Arias, C., and Taleisnik, E., 2000. Oxidative stress indicators as selection tools for salt tolerance in *Chloris gayana*. *Plant Breeding*, 119: 341-345.

Lutts, S., Kinet, J.M., Bouharmont, J., 1996. NaCl-induced senescence in leaves of rice cultivars differing in salinity resistance. *Ann. Bot.*, 78: 389-398.

Lynch, J. And Lauchli, A., 1985. Salt stress disturbs the calcium nutrition of barley (*Hordeum vulgare L.*). *New Phytologist*, 99: 345-354.

Maas, E. V., 1993. Salinity and citriculture. *Tree Physiol.*, 12: 195-216.

Makela, P., Kontturi, M., Pehu, E., and Somersalo, S., 1999. Photosynthetic response of drought and salt-stressed tomato and turnip rape plants to foliar-applied glycinebetaine. *Physiologia Plantarum*, 105: 45-50.

Malkoç, M., 2002. Mısır ve fasülye bitkilerinin gelişimi ve mineral içeriği üzerine farklı tuz çeşitlerinin etkisi. Yüksek lisans tezi, 41s.

Mangal, J. L., Lal, S., 1990. Salt tolerance behaviour of Khorif onion variety N. 53. *Hort. Abst.*, 53: 5129.

Marschner, H., 1995. *Mineral Nutrition Higher Plants* and Academic Pres, 657-680.

McKersie, B.D. and Leshem, Y., *Stress and Stress Coping in Cultivated Plants*, **Kluwer Academic Publishers**, Netherlands, (1994).

Meneguzzo, S., Navari-İzo, F. And İzo, R., 2000. NaCl effect on water relations and accumulation of mineral nutrients in shoots, roots and cell sa of wheat Seedlings. *J. Plant Physiol.*, 156: 711-716.

Mer, R.K., Prajith, P.K., Pandya, D.H. and 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*. *J. Argon. Crop. Sci.*, 85: 209-217.

Mong, L.S. and Davies, H.V., 1989. Antioxidant status of the potato tuber and Ca deficiency as a Physiological stres. *Physiol. Plant.*, 75: 411-416.

Muller, J.E. and Whitshitt, M.S., “Plant cellular responses to water deficit, ***Plant Growth Regul.***, 20: 41-46 (1996).

Mumtaz, S., Naqvi, S.S.M., Shereen, A., and Khan, M.A., 1997. Salinity stres and senescence process in wheat (*Triticum Aestivum L.*). *Pakistan J. Bot.*, 29: 299-303.

Mundree, S.G. and Farrant, J.M., “ Some physiological and molecular insights into the mechanisms of desiccation tolerance in the resurrection plant *Xerophyta viscosa* Baker. In

Cherry, J.H., Ryther, A. and Locy, R.D (eds)., *Plant Tolerance to Abiotic Stresses in Agriculture: Role of Genetic Engineering*, **Kluwer Academic Publishers**, Dordrecht, Netherlands, pp 201-222 (2000).

Mundree, S.G, Baker, B., Mowla, S., Peters, S., Marais, S., Willigen, C.V., Govender, K., Maredza, A., Muyanga, S., Farrant, J.M. and Thomson J.A., "Physiological and molecular insights into drought tolerance", *Afr. J. Biotechnol.*,1: 23-38 (2002).

Munns, R. And Termaat, A., 1986. Whole-plant responses to salinity. *Aust. J. Plants. Physiol.*, 13: 143-160.

Navarro, J.M., Martines, V., and Carvajal, M., 2000. Ammonium, bicarbonate and calcium effects on tomata plants grown under saline conditions. *Plant Sci.*, 157: 89-96.

Nieves, M., Cerda, A., Botella, M., 1991. Salt tolerance of 2 Lemon scions measured by leaf chloride and sodium accumulation. *J. Plant Nutrition.*, 14: 623-636.

Nishikawa, T., Aiba, H., and Mizuno, T., 1999. The *cta3* gene that encodes a cation-transporting P-type ATPase is induced by salt stress under control of the Wis1-Styl Mapk-mapk cascade in fission yeasts. *Febs letters*, 455: 183-187.

Özcan, H., Turan, M.A., Koç, Ö., Çıkkılı, Y., Taban, S.,. Tuz stresinde bazı nohut (*Cicer aietinum* L. cvs.) çeşitlerinin gelişimi ve prolin, sodyum, klor, fosfor ve potasyum konsantrasyonlarındaki değişimler, *Turk. J. Agric. For.*, 24 (2000) 649-654.

Perassakli, M., Huber, J.T., and Tucker, 1987. Dry Matter Yield, Nitrogen Absorption, and water uptake by sweet corn under salt stress. *J. Plant Nutr.*, 12: 279-290.

Pinheiro, H.A., DaMatta, F.M., Chaves, A.R.M., Fontes, E.P.B. and Loureiro, M.E., "Drought tolerance in relation to protection against oxidative stress in clones of *Coffea canephora* subjected to long-term drought", *Plant Sci*, 167, 1307-1314 (2004).

Polle, A., Chakrabarti, K., Chakrabarti, S., Seiferd, F., Schramel, P. And Reeneberg, P., 1992. Antioxidants and manganese deficiency in needles of Nor Way Spruce (*Picea ağabeyes L.*) trees. *Plant Physiol.*, 99: 1084-1089.

Qian, Y.L., Engelke, M.C., Foster, M.J.V., 2000. Salinity effects on zoysiagrass cultivars and experimental lines. *Crop Sci.*, 40: 488-492.

Querghi, Z., Cornic, G., Roudani, M., and Ayadi, A., 2000. *J. Plant Physiol.*, 156: 335-340.

R. Tıprıdamaz, H. Çakırlar, *Tr. J. Biology* 1990, 14, 125–148.

R. Smillie, R. Nott, *Plant Physiol.* 1982, 70, 1049-1054.

R. Ganieva, S. Allakhverdiev, S. Bayramova, S. Nafisi, *Tr. J. Botany* 1997, 21, 253-257.

Rains, D.W., 1972. Salt transport by plants in relation to salinity. *Annu. Rev. Plant Physiol.*, 23: 367.

Ramachandra Reddy, A., Chaitanya, K.V., Jutur, P.P. and Sumithra, K., “Differential antioxidative responses to water stress among five mulberry (*Morus alba L.*) cultivars”, *Environ. Exp. Bot.*, 52: 33-42 (2004).

Reid, R.J., and Smith, F.A., 2000. The limits of sodium/calcium interactions in plant growth. *Aust. J. Plant Physiol.*, 27: 709-715.

Roberts, J.K.M., Linker, C.S., Benoit, A.G., Jardetzky, O. And Nieman, R.H., 1984. Salt stimulation of phosphate uptake in maize root tips studied by ³¹P nuclear magnetic resonance. *Plant Physiol.*, 75: 947-950.

Robinson, S.P., Downton, W.J.S. and Millhouse, J.A., 1983. Photosynthesis and ion content of leaves and isolated chloroplast of salt-stressed spinach. *Plant Physiol.*, 73: 238-247.

Rodriguez-Rosales, M.P., Kerkeb, L., Bueno, P. And Donaire, J.P., 1999. Changes induced by NaCl in lipid content and composition, lipoxigenase, plasma membrane H⁺-ATPase and antioxidant enzyme activities of tomato (*Lycopersicon esculentum. Mill*) cali. Plant Sci., 143: 143-150.

Roeb, G.W., Wieneke, J. And Fuhr,F., 1982. Effect of high NaCl concentration in the nutrient medium on transpiration and on content of abscisic acid, Cytokinins and proline of two soybean varieties. Z. Fur Pflanzenernahrung und Bodenkunde, 145: 103-116.

Romero-Aranda, R., Soria, T., Cuartero, J., 2001. Tomato plant water uptake and plant water relationships under saline growth conditions. Plant Sci., 160: 265-272.

Salin, M.L., 1987. Toxic oxygen species and protective systems of the chloroplast. Physiol Plant, 72:681-689.

Salisbury, F.B. and Ross, C.W., 1992. Plant Physiology. 4th ed. Wadsworth Publishing Com. Belmont, California, 82.

Santa-Cruz, A., Perez-Alfocea, F., Caro, M. And Acosta,M., 1998. Polyamines as Short-term salt tolerance traits in tomato. Plant Sci., 138: 9-16.

Santa-Maria, G.E. and Epstein, E., 2001. Potassium/sodium selectivity in wheat and the amphiploid cross wheat X *Lophopyrum elongatum*. Plant Sci., 160: 523-534.

Scardaci, S.C., Eke, A.U., Hill, J.E., Shannon, M.C. and Rhoades, J.D., 2002. Water and Soil Salinity Studies on California Rice. U.S. Salinity Lab., USDA, 450w. CA, 92507, California.

Schubert, S. And Lauchli, A., 1990. Sodium exclusion mechanism at the root surface of two maize cultivars. Plant and Soil, 123: 205-209.,

Schwarz, M. And Gale, J., 1981. Maintenance respiration and carbon balance of plants at low levels of sodium chloride salinity. *J. Exp. Bot.*, 32: 933-941.

Sgherry, C.L.M., Pinzino C. and Navari-Izzo, F., “Sunflower seedlings subjected to increasing water stress by water deficit: changes in O₂ - production related to the composition of thylakoid membranes”, *Physiol Plant*, 96: 446-452 (1996).

Shalata. A. And Tal, M., 1998. The effect of salt stress on lipid peroxidation and antioxidants in the leaf of the cultivated tomato and its wild salt-tolerant relative *lycopersicon pennellii*. *Physiologia Plantarum*, 104: 169-174.

Shannon, M.C. and Grieve, C.M., 1999. Tolerance of vegetable crops to salinity. *Scientia Horticulturae*, 78: 5-38.

Sherwin, H.W. and Farrant J.M., “Protection mechanisms against excess light in the resurrection plants *Craterostigma wilmsii* and *Xerophyta viscosa*”, *Plant Growth Regul.*, 24: 202-210 (1998).

Siefermann-Harms, D. and Angerhofer, “A. evidence for an O₂-barrier in the light-harvesting chlorophyll-*a/b*-protein complex LHC II”, *Photosynth Res.*, 55: 83-94 (1998).

Sivritepe, N., 1995. Asmalarda tuza dayanıklılık testleri ve tuza dayanımda etkili bazı faktörler üzerinde araştırmalar. Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bahçe Bitkileri ana Bilim Dalı (Doktora tezi), Bursa, 167s.

Smirnoff, N., “The role of active oxygen in the response of plants to water deficit and desiccation”, *New Phytol.*, 125: 27-58 (1993).

Soil Quality Test Kit Guide, 1999. USDA, United States Department of Agriculture, Agricultural Research Service. <http://soils.usda.gov/sqi/files/kitcover.pdf>

Sönmez, B. ve E. Yurtseven, 1995. Değişik Tuzluluk ve SAR Değerlerine Sahip Suların Toprak Tuzluluğu ve Sodyumluluğu İle Domates Bitkisinin Gelişimine ve Verimine

Olan Etkilerinin Belirlenmesi. Köy Hizmetleri Gn. Md., Toprak ve Gübre Araşt. Enst. Md. Yayınları, 202/R119, Ankara.

Speer, M. And Kaiser, W.M., 1991. Ion relations of symplastic and apoplastic space in leaves from *Spinacia oleraces* L. And *Pisum sativum* L. Under salinity. *Plant Physiol.*, 97: 990-997.

Spychalla, J.P. and Desborough, S.L., 1990. Superoxide dismutase, catalase, and alpha-tocopherol content of stored potato tubers. *Plant Physiol.*, 94: 1214-1218.

Sreenivasulu, N., Ramanjulu, S., Ramachandra-Kini, K., Prakash, H.S., Shekar-Shetti, H., Savithri, 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.

Sreenivasulu, N., Grimm, B., Wobus, U. And Weschke, W., 2000. Differential response of antioxidant compounds to salinity stress in salt-tolerant and salt-sensitive seedlings of fox-tail millet (*Setaria italica*). *Physiol. Plant.*, 109: 435-442.

Srivalli, B., Sharma, G. and Khanna-Chopra, R., “Antioxidative defence system in upland rice cultivar subjected to increasing intensity of water stress followed by recovery”, *Physiol. Plant.*, 119: 503-512 (2003).

Stawarek, S.J., and Rains, D.W., 1984. The development of tolerance to mineral stress. *Hort. Sci.*, 19: 13-19.

Steiger, H.M., Besk, E. And Beck, R., 1977. Oxygen concentration in isolated chloroplasts during photosynthesis. *Plant Physiol.*, 60: 903-906.

Strain, H.H., Svec, W. A., 1966. Extraction, Separation, estimation and isolation of chlorophylls. In the chlorophylls, Bernon, V.P.; Seely, G.R. Academic Press, N.Y. , 21-66.

Streb, P. And Feierabend, J., 1996. Oxidative stress responses accompanying photoinactivation of catalase in NaCl-Treated rye leaves. *Bot. Acta.*, 109: 125-132.

Stuhlfauth, T., Scheuermann, R. and Fock, H.P., "Light energy dissipation under water stress conditions", *Plant Physiol.*, 92: 1053-1061, (1990).

Sultana, N., Ikeda, T. And Itoh, R., 1999. Effect of NaCl salinity on photosynthesis and dry matter accumulation in developing rice grains. *Env. & Exp. Bot.*, 42: 211-220.

Sykes, S.R., 1992. The inheritance of salt exclusion in woody perennial fruit species. *Plant Soil*, 146: 123-129.

Taban, S., Günefi, A., Alpaslan, M., Özcan, H., 1999. Değişik mısır çeşitlerinin tuz stresine duyarlılıkları, *Tr. J. Of Agriculture and Forestry*, Ek Sayı, 3, 625-633.

Tal, M., 1983. Selection for stress tolerance. In "Handbook of Plant Cell Culture, Volume I" (D.E. Evans, W.R. Sharp, P.V. Ammirato, Y. Yamada eds.), Collier Macmillan Publishers, London, 461-487.

Tambussi, E.A., Bartoli, C.G, Beltrano, J., Guiamet, J.J. and Araus, J.L., "Oxidative damage to thylakoid proteins in water-stressed leaves of wheat (*Triticum aestivum*)", *Physiol. Plant.*, 108: 398-404 (2000).

Tattini, M., Coradeschi, M.A., Ponzio, C. And Traversi, L., 1994. Responses of olive plants to salt stress. Abstracts. XXIVth Int. Hort. Congress. 21-27 August 1994, Kyoto-Japan ISHS.

Teiz, L. and Zeiger, S.C.E., *Plant Physiology*, University of California, Los Angeles Sinauer Associates, Inc., Publisher, 726-735 (1998).

Termaat, A. And Munns, R., 1986. Use of Concentrated macronutrients solutions to separate osmotic from NaCl Specific effects on plant growth. *Australian J. Plant Physiol.*, 13: 509-522.

Tinker, P.B., 1967. Toprakta sodyum ve potasyumun özelliklerinin mukayesesi. Chilean Nitrate Agricultural Services, Information 97. Çeviren B., Kacar, A.Ü.Z.F. Yıllığı, 17: 728-742.

Vander Willigen, C., Pammenter, N.W., Mundree S.G. and Farrant J.M., "Some physiological comparisons between the resurrection grass, *Eragrostis nindensis*, and the related desiccation-sensitive species, *Eragrostis curvula*", *Plant Growth Regul.*, 35: 121-129 (2001).

Vander Willigen, C., Mundree S.G. and Farrant J.M., "Tonoplast intrinsic proteins in the resurrection grass, *Eragrostis nindensis*", Gordon Conference, Oxford, UK (2002).

Vicré, M., Sherwin, H.W, Driouich, A., Jaffer, M., Jauneau, A. and Farrant J.M., "Cell wall properties of hydrated and dry leaves of the resurrection plant *Craterostigma wilmsii*", *J. Plant Physiol.*, 155: 719-726 (1999).

Vose, P.B., 1983. Rationale of selection for specific nutritional characters in crop improvement with *Phaseolus vulgaris L.* As a case of study. *Plant Soil*, 72: 351-364.

Waisel, Y., Esel, A. And Agami, M., 1986. Salt balance of leaves of the mangrove *Avicennia marina*. *Physiol. Plant.*, 67: 67-72.

Wise, R.R. and Naylor, A.W., 1987. Chilling-enhanced photooxidation: Evidence for the role of singlet oxygen and endogenous antioksidant. *Plant Physiol.*, 83: 278-282.

Wolf, O., Munns, R., Tonnet, M.L. and Jeschke, W.D., 1991. The role of the stem in the partitioning of Na⁺ and K⁺ in salt-treated barley. *Journal of Experimental Botany*, 42: 697-704.

Wybenga, J.M., 1957. A contribution to the knowledge of the importance of sodium for plant life. Inaug. Diss. Landw. Hochsch., Wageningen, Neiderlande.

Wyn Jones, R.G. and Lunt, O.R., 1967. The function of calcium in plants. *Bot. Rev.*, 33:407.

Ye, Z., Rodriguez, R., Tran, A., Hoang, H., Los Santos, D.D., Brown, S. And Vellanoweth., 2000. The developmental transition to flowering represses ascorbate peroxidase activity and induced enzymatic lipid peroxidation in leaf tissue in *Arabidopsis thaliana*. Plant Sci., 158: 115-127.

Yemenicioğlu, A., Cemeroglu, B., 1998. Hale haven şeftalilerinde polifenol oksidaz enzimlerinin bazı nitelikleri. Tr. J. of Agriculture and Forestry, 22 (1998), 261-265.

Yeo, A.R., 1983. Salinity resistance: Physiologies and prices. Physiologia Plantarum, 58: 214-222.

Yu, B., Gong, H. And Liu, Y., 1998. Effects of calcium on lipid composition and function of plasma membrane and tonoplast vesicles isolated from roots of barley seedlings under salt stres. J. Plant. Nutr., 21: 1589-1600.

Yurtseven,E., Öztürk, A., Kadayıfçı, A. Ve Ayan, B., 1996 Sulama Suyu Tuzluluğunun Biberde (*Capsium annuum*) Farklı Gelişme Dönemlerinde Bazı Verim Parametrelerine Etkisi. Tarım Bilimleri Dergisi, 2(2): 5-9.

Yurtseven, E. ve Bozkurt, 1997. Sulama Suyu Kalitesi ve Toprak Nem Düzeyinin Marulda Verim ve Kaliteye Etkisi. Tarım Bilimleri Dergisi, 3(2) 44-51.

Yurtseven, E., 1999. Sürdürülebilir Tarım ve Tuzluluk Etkileşimi. VII. Kültürteknik Kongresi Bildirileri, 11-14 Kasım 1999, Kapadokya, 237-245.

Yurtseven, E. ve Baran, H. Y., 2000. Sulama Suyu Tuzluluğu ve Su Miktarlarının Brokkolide (*Brassiva oleracea botrytis*) Verim ve Mineral Madde İçeriğine Etkisi. Turk. J. Agric. For 24(2):185-190, 2000, 185-190.

Yurtseven, E., 2000. Patlıcanda (*Solunum melongena L.*) Su Tüketimine Tuzluluğun Etkisi. TOPRAKSU DERGİSİ, Sayı: 2, Ankara.

Yurtseven, E., Ünlükara, A., Top, A. ve Tek, A., 2001a. Tuzluluğun ve Sulama Aralığının Kolzada (*Brassica napus oleifera*) Verime ve Gelişmeye Etkisi. 8-11 Kasım I. Ulusal Sulama Kongresi, Bildiriler Kitabı, 215-219., Belek/Antalya.

Yurtseven, E., Öztürk, H. S., Demir, K. ve Kasım, M.U., 2001b. Sulama Suyu Tuzluluğunun Tınlı Toprakta Profil Tuzluluğuna Etkisi. Ankara Üniv. Tarım Bilimleri Dergisi. 7:3:1-8 .

Zhu, J.K., 2001. Plant salt tolerance. Trends in Plant Sci., 6: 66-71.

Zörb, C., Schimitt, S., Neeb, A., Karl, S., Linder, M., Schubert, S., 2004. The biochemical reaction of maize (*Zea mays* L.) to salt stres is characterized by a mitigation of symptoms and not by a specific adaptation, 2004. Plant Science, 167 (2004), 91-100.

ÖZGEÇMİŞ

11/10/1981 tarihinde Osmaniye’de doğdu. İlkokul ve ortaokulu Adana’da, liseyi Silifke Lisesi’nde tamamladı. 1998 yılında Muğla Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Biyoloji Bölümü’ne girdi. 2003 yılında fakülte ikincisi olarak mezun olup, yine aynı yıl Muğla Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyoloji Bölümü’nde yüksek lisans eğitimine başladı. 2005 yılında Muğla Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Biyoloji Bölümü’nde “Araştırma Görevlisi” olarak göreve başladı. Halen Muğla Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Biyoloji Bölümü’nde araştırma görevlisi olarak görev yapmaktadır.