

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

**FARKLI MISIR (*Zea mays* L.) ÇEŞİT VE
HATLARINDA KURAKLIK STRESİ ETKİLERİNİN
FİZYOLOJİK OLARAK İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Biyolog Nesrin ECEM

Enstitü Anabilim Dalı : BİYOLOJİ

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Ali DOĞRU

Haziran 2010

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FARKLI MISIR (*Zea mays* L.) ÇEŞİT VE
HATLARINDA KURAKLIK STRESİ ETKİLERİNİN
FİZYOLOJİK OLARAK İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Biyolog Nesrin ECEM

Enstitü Anabilim Dalı : BİYOLOJİ

Bu tez 07/06/2010 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.



Yrd. Doç. Dr.
E. Selcen DARÇIN
Jüri Başkanı



Yrd. Doç. Dr.
Ali DOĞRU
Üye



Yrd. Doç. Dr.
Uğursoy OLGUN
Üye

TEŐEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca her konuda yardımını ve desteğini gördüğüm, bilimsel anlamda gelişmem için büyük bir sabır göstererek emek harcayan ve en önemlisi hiçbir zaman hoş görüsünü esirgemeyen sevgili hocam ve tez danışmanım Sayın Yrd. Doç. Dr. Ali Doğru'ya teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam boyunca her konuda yanımda olup bilgi ve görüşleriyle her zaman yol gösterici olan Sayın Yrd. Doç. Dr. Kenan Tunç (Sakarya Üniversitesi Biyoloji Bölümü)'a, çalışmamda kullandığım perlit ve tohumların temin edilmesinde yardımlarını gördüğüm Sayın Yrd. Doç. Dr. E. Selcen Darçın (Sakarya Üniversitesi Biyoloji Bölümü)'a, analizlerim sırasında yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen sevgili arkadaşlarım Esin Gezer ve Zeynep Vural'a, yüksek lisans eğitimim süresince sağladığı eğitim bursuyla (2210 Yurt İçi Yüksek Lisans Bursu) maddi anlamda destek sağlayan TÜBİTAK (Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu)'a, tohumları temin ettiğimiz Sakarya Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğüne, Sakarya ilinin iklimsel verilerinin temin edilmesine yardımcı olan Sakarya Meteoroloji Müdürlüğüne teşekkürlerimi sunarım.

En önemlisi sadece yüksek lisans değil bütün eğitim hayatım boyunca maddi, manevi her zaman yanımda olan hiçbir zaman sevgi ve desteklerini esirgemeyen başta canım babam Mahmut Ecem ve annem Fatma Ecem olmak üzere bütün aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜRLER.....	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	vii
TABLolar.....	ix
ŞEKİLLER.....	x
ÖZET.....	xii
SUMMARY.....	xiii

BÖLÜM 1.

GİRİŞ	1
-------------	---

BÖLÜM 2.

GENEL BİLGİLER	5
2.1. Mısır Hakkında Genel Bilgiler	5
2.1.1. Mısır bitkisinin sınıflandırılması ve kökeni.....	5
2.1.2. Mısırın iklim ve toprak isteği.....	6
2.1.3. Dünyada ve Türkiye’de mısır	7
2.2. Bitkilerde Büyüme-Gelişme ve Stres Kavramı	8
2.3. Kuraklık Stresi.....	11
2.3.1. Kuraklık stresinin bitkilerde meydana getirdiği değişiklikler	11
2.3.1.1. Fizyolojik değişiklikler	13
2.3.1.2. Morfolojik değişiklikler	15
2.3.1.3. Metabolik değişiklikler	16
2.3.2. Kuraklığa karşı geliştirilen dayanıklılık mekanizmaları.....	17
2.4. Stres Koşullarında Oluşan Aktif Oksijen Türleri (AOT)	20
2.5. AOT'lere Karşı Geliştirilen Savunma Sistemleri.....	22

BÖLÜM 3.

MATERYAL VE METOD.....	26
3. 1. Bitki Materyali.....	26
3.2. Yöntemler	26
3.2.1. Tohum kabuk sterilizasyonu.....	26
3.2.2. Ekim yöntemi.....	26
3.3. Ölçüm ve Analizler.....	30
3.3.1. Kök boyu, gövde boyu ve toplam bitki boyunun belirlenmesi.....	30
3.3.2. Bitkilerin toplam taze ve kuru ağırlıklarının belirlenmesi.....	30
3.3.3. Yaprak dokularındaki fotosentetik pigment miktarının belirlenmesi.....	30
3.3.4. Yaprak dokularındaki iyon sızıntısının belirlenmesi.....	31
3.3. 5. Yaprak dokularındaki malondialdehit (MDA) miktarının belirlenmesi.....	31
3.3.6. Yaprak dokularındaki toplam fenolik madde miktarının belirlenmesi	32
3.3.7. Yaprak dokularındaki toplam çözünür karbohidrat miktarının belirlenmesi	32
3.3.8. Yaprak dokularındaki toplam çözünür protein miktarının belirlenmesi	33
3.4. İstatistiksel Analizler	33

BÖLÜM 4.

BULGULAR.....	34
4.1. Kuraklık Stresinin Mısır Çeşit ve Hatlarının Kök Boyu Üzerine Etkisi .	34
4.2. Kuraklık Stresinin Mısır Çeşit ve Hatlarının Gövde Boyu Üzerine Etkisi	34
4.3. Kuraklık Stresinin Mısır Çeşit ve Hatlarında Toplam Bitki Boyu Üzerine Etkisi.....	36
4.4. Kuraklık Stresinin Mısır Çeşit ve Hatlarının Toplam Taze Ağırlığı Üzerine Etkisi	37
4.5. Kuraklık Stresinin Mısır Çeşit ve Hatlarının Toplam Kuru Ağırlığı Üzerine Etkisi	37

4.6. Kuraklık Stresinin Mısır Çeşit ve Hatlarının Toplam Gerçek Su miktarı (%) Üzerine Etkisi	39
4.7. Kuraklık Stresinin Mısır Çeşit ve Hatlarının Yapraklarındaki Klorofil a Miktarı Üzerine Etkisi	40
4.8. Kuraklık Stresinin Mısır Çeşit ve Hatlarının Yapraklarındaki Klorofil b Miktarı Üzerine Etkisi	41
4.9. Kuraklık Stresinin Mısır Çeşit ve Hatlarının Yapraklarındaki Toplam Klorofil Miktarı Üzerine Etkisi	42
4.10. Kuraklık Stresinin Mısır Çeşit ve Hatlarının Yapraklarındaki İyon Sızıntısı Üzerine Etkisi	43
4.11. Kuraklık Stresinin Mısır Çeşit ve Hatlarının Yaprak Dokularındaki Malonodialdehit (MDA) Miktarı Üzerine Etkisi	44
4.12. Kuraklık Stresinin Mısır Çeşit ve Hatlarının Yapraklarındaki Toplam Fenolik Madde Miktarı Üzerine Etkisi	45
4.13. Kuraklık Stresinin Mısır Çeşit ve Hatlarının Yapraklarındaki Toplam Çözünür Karbohidrat Miktarı Üzerine Etkisi	46
4.14. Kuraklık Stresinin Mısır Çeşit ve Hatlarının Yapraklarındaki Toplam Çözünür Protein Miktarı Üzerine Etkisi	47

BÖLÜM 5.

TARTIŞMA VE SONUÇ	49
5.1. Kuraklık Stresinin Mısır Çeşit Ve Hatlarındaki Bazı Büyüme Parametreleri Üzerindeki Etkileri	50
5.2. Kuraklık Stresinin Mısır Çeşit Ve Hatlarının Yapraklarındaki Fotosentetik Pigment Miktarı Üzerindeki Etkileri	52
5.2. Kuraklık Stresinin Mısır Çeşit Ve Hatlarının Yapraklarındaki Membran Bütünlüğü ve Geçirgenliği Üzerindeki Etkileri	53
5.3. Kuraklık Stresinin Mısır Çeşit Ve Hatlarının Yapraklarındaki Toplam Çözünür Karbohidrat Miktarı Üzerindeki Etkileri	55
5.4. Kuraklık Stresinin Mısır Çeşit Ve Hatlarının Yapraklarındaki Toplam Fenolik Madde Miktarı Üzerindeki Etkileri	56
5.5. Kuraklık Stresinin Mısır Çeşit Ve Hatlarının Yapraklarındaki Toplam Çözünür Protein Miktarı Üzerindeki Etkileri	57

KAYNAKLAR	61
ÖZGEÇMİŞ	77

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

ABA	: Absisik Asit
O ₂	: Moleküler oksijen
O ₂ ⁻	: Süperoksit radikali
OH ⁻	: Hidroksil radikali
H ₂ O ₂	: Hidrojen Peroksit
¹ O ₂	: Singlet oksijen
AOT	: Aktif oksijen radikali
SOD	: Süperoksit dismutaz
APOD	: Askorbat Peroksidaz
MDHAR	: Monodehidro askorbat redüktaz
DHAR	: Dehidroaskorbat redüktaz
GR	: Glutasyon redüktaz
KAT	: Katalaz
POD	: Peroksidaz
MDA	: Malondialdehit
DNA	: Deoksiribonükleik asit
FAO	: Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Organizasyonu
ATP	: Adenozin tri fosfat
Ca ⁺²	: Kalsiyum iyonu
RuBP	: Rubiloz- 1,5- bifosfat
CAM	: Crassulasean asit metabolizması
OH ⁻	: Hidroksil iyonu
H ₂ SO ₄	: Sülfirik Asit
NaOCl	: Sodyum Hipoklorit
GSİ	: Gerçek Su İçeriği
NADPH	: Nikotinamidadenin dinükleotid fosfat
nmol	: Nanomol

GR	: Glutasyon redüktaz
BSA	: Sığır serum albümini (Bovine serum albumin)
ANOVA	: Varyans analizi (Analysis of variance)
AÖF	: Anlamlı önemli fark
FSI	: Fotosistem I
FCR	: Folin Ciocalteu's Reagent
Na ₂ CO ₃	: Sodyum Karbonat
µl	: Mikrolitre
UV	: Ultraviyole
KA	: Kuru Ağırlık
TA	: Taze Ağırlık
TBA	: Tiyobarbütirik asit

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1. Türkiye’de 2000-2008 yılları arasında toplam mısır ekim alanı, alınan verim ve ürün miktarı.	7
Tablo 2.2. Abiyotik ve biyotik stres faktörleri.....	10
Tablo 3.1. Hoagland besin solüsyonunun içeriği.....	28

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Su stresine organizmanın cevapları	12
Şekil 2.2. Hücre içinde aktif oksijen türlerinin oluşumu.	21
Şekil 2.3. Ardışık gerçekleşen üç safhada kuraklık stresine cevap	22
Şekil 3.1. Yetiştirilen 21 günlük mısır çeşit ve hatlarının seradaki genel görünümleri.....	27
Şekil 3.2. Denemenin gerçekleştirildiği 29 gün boyunca bitkilerin yetiştirildiği ortamdaki (A) ortalama sıcaklık, (B) ortalama nem oranı ve (C) ortalama gün uzunluğunda meydana gelen değişimler	29
Şekil 4.1. Kuraklık stresinin kök boyu üzerine etkisi (K: kontrol, 2S: 2 günlük kuraklık uygulaması, 5S: 5 günlük kuraklık uygulaması, 8S: 8 günlük kuraklık uygulaması)	35
Şekil 4.2. Kuraklık stresinin gövde boyu üzerine etkisi (K: kontrol, 2S: 2 günlük kuraklık uygulaması, 5S: 5 günlük kuraklık uygulaması, 8S: 8 günlük kuraklık uygulaması)	35
Şekil 4.3. Kuraklık stresinin toplam bitki boyu üzerine etkisi (K: kontrol, 2S: 2 günlük kuraklık uygulaması, 5S: 5 günlük kuraklık uygulaması, 8S: 8 günlük kuraklık uygulaması)	36
Şekil 4.4. Kuraklık stresinin toplam taze ağırlık üzerine etkisi (K: kontrol, 2S: 2 günlük kuraklık uygulaması, 5S: 5 günlük kuraklık uygulaması, 8S: 8 günlük kuraklık uygulaması)	38
Şekil 4.5. Kuraklık stresinin toplam kuru ağırlık üzerine etkisi (K: kontrol, 2S: 2 günlük kuraklık uygulaması, 5S: 5 günlük kuraklık uygulaması, 8S: 8 günlük kuraklık uygulaması)	38
Şekil 4.6. Kuraklık stresinin gerçek su miktarı üzerine etkisi (K: kontrol, 2S: 2 günlük kuraklık uygulaması, 5S: 5 günlük kuraklık uygulaması, 8S: 8 günlük kuraklık uygulaması)	39

Şekil 4.7. Kuraklık stresinin klorofil a miktarı üzerine etkisi (K: kontrol, 2S: 2 günlük kuraklık uygulaması, 5S: 5 günlük kuraklık uygulaması, 8S: 8 günlük kuraklık uygulaması)	40
Şekil 4.8. Kuraklık stresinin klorofil b miktarı üzerine etkisi (K: kontrol, 2S: 2 günlük kuraklık uygulaması, 5S: 5 günlük kuraklık uygulaması, 8S: 8 günlük kuraklık uygulaması)	41
Şekil 4.9. Kuraklık stresinin toplam klorofil miktarı üzerine etkisi (K: kontrol, 2 S: 2 günlük kuraklık uygulaması, 5S: 5 günlük kuraklık uygulaması, 8S: 8 günlük kuraklık uygulaması)	42
Şekil 4.10. Kuraklık stresinin iyon sızıntısı (%) üzerine etkisi (K: kontrol, 2S: 2 günlük kuraklık uygulaması, 5S: 5 günlük kuraklık uygulaması, 8S: 8 günlük kuraklık uygulaması)	43
Şekil 4.11. Kuraklık stresinin malondialdehit (MDA) üzerine etkisi (K: kontrol, 2S: 2 günlük kuraklık uygulaması, 5S: 5 günlük kuraklık uygulaması, 8S: 8 günlük kuraklık uygulaması)	44
Şekil 4.12. Kuraklık stresinin fenolik madde miktarı üzerine etkisi (K: kontrol, 2S: 2 günlük kuraklık 5S: 5 günlük kuraklık uygulaması, 8S: 8 günlük kuraklık uygulaması)	45
Şekil 4.13. Kuraklık stresinin toplam çözünür karbohidrat miktarı üzerine etkisi (K: kontrol, 2S: 2 günlük kuraklık uygulaması, 5S: 5 günlük kuraklık uygulaması, 8S: 8 günlük kuraklık uygulaması)	46
Şekil 4.14. Kuraklık stresinin çözünür protein miktarı etkisi (K: kontrol, 2S: 2 günlük kuraklık uygulaması, 5S: 5 günlük kuraklık uygulaması, 8S: 8 günlük kuraklık uygulaması)	48

ÖZET

Anahtar kelimeler: Mısır (*Zea mays* L.), Kuraklık Stresi, Malondialdehit (MDA), Toplam Fenolik madde, Toplam Çözünür Karbohidrat, Toplam Çözünür Protein

Bu çalışmada, üç mısır genotipide (FR 13, FRB 73, TTM 815) 2, 5 ve 8 gün boyunca uygulanan kuraklık stresi sonucunda yapraklardaki, temel büyüme parametreleri (kök boyu, gövde boyu, toplam boy, gerçek su içeriği, taze ağırlık ve kuru ağırlık), bazı içsel dayanıklılık mekanizmaları (toplam çözünür karbohidrat ve protein, toplam fenolik madde), iyon sızıntısı ve malondialdehit miktarındaki değişiklikler yardımıyla hücrel membranlardaki hasar oranı ve pigment içeriğinde meydana gelen değişiklikler incelenmiştir.

Kuraklık stresi, gövde boyu üzerine her üç genotipte de önemli bir inhibisyona sebep olmazken, TTM 815 ve FR 13 genotipinin kök büyümesi diğer genotipe göre daha fazla etkilemiştir. Bu yüzden toplam bitki uzunluğundaki azalma kök boyundaki azalmadan kaynaklanmıştır. Yaprak dokularındaki su içeriği kuraklık stresi altında neredeyse devamlı bir şekilde azalırken taze ve kuru ağırlıkta artış olmuştur. Fakat TTM 815 genotipinde diğer genotiplere kıyasla iyon sızıntısı düşük iken malondialdehit (MDA) miktarı oldukça yüksek seviyede bulunmuştur. Fotosentetik pigmentlerin parçalanma oranı (klorofil a, b ve toplam klorofil) TTM 815 genotipinde nispeten daha yüksek seviyede korunurken, FR 13 ve FRB 73' de daha düşüktür. Kuraklık stresi altında yapraklardaki toplam çözünür karbohidrat miktarı ve protein içeriği düzensiz bir şekilde değişiklik göstermiştir. TTM 815 ve FRB 73 genotiplerinde toplam fenolik madde içeriğinin kuraklığa bağlı olarak arttığı belirlenmiştir. Üstelik, TTM 815 genotipinin kuraklık stresi altında yapraklarda fenolik madde biriktirme yeteneğine sahip olduğu belirlenmiştir. Bu sonuçlara göre, FRB 73 ve TTM 815 genotiplerinin bazı içsel dayanıklılık mekanizmaları anlamında kuraklık stresine daha dayanıklı olduğu söylenebilir.

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF DROUGHT STRESS IN DIFFERENT MAIZE (*Zea Mays* L.) CULTIVARS AND LINES

SUMMARY

Key words: Maize (*Zea mays* L.), Drought Stress, Malondialdehyde (MDA), Total Phenolic Assay, Total Soluble Carbohydrate, Total Soluble Protein

In this study, some physiological changes observed in leaves during drought stress for 2, 5 and 8 days were investigated through some basic growth parameters (root length, shoot length, total plant length, water content, fresh and dry weight), some possible endogenous resistance mechanisms (total soluble carbohydrate and protein, total phenolic content), injury in membranes (ion leakage and malondialdehyde) and pigment contents in three maize (*Zea mays* L. cvs. FR 13, FRB 73 and TTM 815) genotypes.

Root length was decreased more severely in FR 13 and TTM 815 while shoot length was not affected in all genotypes by drought. Hence, total plant length was decreased during the experiment as a result of decreases in root lengths. Total fresh and dry weights of all genotypes under drought stress were found to increase while water contents of leaves were nearly constant. Ion leakage and malondialdehyde contents of leaves in stressed plants were regularly increased during droughtful conditions. However, malondialdehyde content in TTM leaves was remarkably higher while ion leakage was limited when compared to the other genotypes. Degradation ratio of photosynthetic pigments (chlorophyll a, b and total chlorophyll) was higher in FR 13 and FRB 73 while pigment levels in TTM 815 was kept relatively higher level. Total soluble sugar and protein contents of leaves under drought stress changed irregularly in all genotypes. It was determined that total phenolic content was increased in FRB 73 and TTM 815 as drought intensity increased. Moreover, TTM 815 was found to be more capable of accumulating phenolic substances in leaves under drought stress. These results suggest that FRB 73 and TTM 815 may be more resistant to drought stress because of being more responsive to the stressful conditions in the manner of some endogenous resistance mechanisms.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Çevre koşullarında meydana gelen her anormal değişim, bitki büyüme ve gelişmesini belli oranda etkilemekte ve stres kavramını ortaya çıkarmaktadır. Stres terimi bitki biyolojisinde tanımı güç olan kavramlardan biridir. Ancak en genel anlamıyla stres, bir çevrede sürekli olarak ya da belirli aralıklarla meydana gelen, bitkilerin veya bitki organlarının büyüme, gelişme ve hatta verimliliğinde olumsuz bir etkiye sebep olan herhangi bir durum veya madde olarak tanımlanmaktadır. Kısacası stres, bitkilerde zarar meydana getiren bir güçtür [Mahajan ve Tuteja (2005), Hale ve Orcutt (1987), Kocaçalışkan (2004)].

Farklı stres faktörlerinin, özellikle ekonomik öneme sahip olan bitkiler üzerindeki etkileri konusunda fizyolojik çalışmalar yapılmasının iki önemli nedeni vardır: Bunlardan ilki bitkilerin strese karşı reaksiyon mekanizmalarının öğrenilmesi, diğeri ise ekonomik bitkilerin çeşitli stres faktörlerine dayanıklılık yeteneklerinin ölçülmesi ve buna bağlı olarak ürün kaybının azaltılmasının sağlanmasıdır. Yeryüzündeki karasal alanların %10'undan daha az bir kısmının, tarımsal faaliyetler için elverişli olduğu bildirilmiştir [Kadıoğlu (2007)]. Bu kadar sınırlı olan tarımsal alanlarda da başta kuraklık olmak üzere, mineral madde, düşük sıcaklık ve don gibi stres faktörlerinin etkisiyle önemli verim kayıpları söz konusudur [Blum (1986)]. Bu nedenle farklı stres faktörlerine dayanıklılık gösterebilen ya da bu stres faktörlerini tolere edebilen bitki genotiplerinin geliştirilmesine gereksim duyulmaktadır. Bunun için de strese dayanıklılık ve tolerans mekanizmalarının iyice anlaşılması gerekmektedir.

Abiyotik stres faktörleri arasında bulunan ve küresel ısınmanın bir sonucu olarak ortaya çıkan kuraklık stresi, tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de tarımsal verimliliğin azalmasına sebep olan en önemli etkenlerden birisidir [Chopra (2007)].

Yeryüzündeki tarımsal alanların yaklaşık % 40'ı kurak ve yarı kurak bölgelerde olduğu ya da düşük yağış rejimlerine sahip olan bölgelerdir. Her iki durumda da suyu daha etkin olarak kullanan ve yüksek verime sahip olan bitki türlerinin tercih edilmesi tarımsal anlamda ekonomik avantajlar sağlamaktadır [Hirt ve Shinozaki (2006)].

Yapılan çalışmalar kuraklık stresinin bitkilerde yaprakların nispi su miktarının ve su potansiyelinin azalmasına neden olarak, fotosentetik reaksiyonları olumsuz yönde etkilediğini göstermiştir [Lawlor ve Cornic (2002)]. Stomaların kapanması ile yapraklardaki içsel karbon dioksit (CO_2) konsantrasyonu ve buna bağlı olarak fotosentez hızı azalmaktadır. Kuraklığın şiddetine bağlı olarak stomaların kapanması, köklerde sentezlenen ve transpirasyon akımı ile yapraklara taşınan absisik asit (ABA) adlı bitki hormonu tarafından sağlanmaktadır. Ksilemdeki absisik asit konsantrasyonu ile stomaların kapanma derecesi arasında önemli derecede pozitif korelasyonlar belirlenmiştir [Socias ve arkadaşları (1997)]. Ancak kuraklık stresi altındaki bitkilerde stomaların kapanması, bitkilerin beslenme durumlarını da olumsuz etkilemektedir [Oren ve arkadaşları (1999)]. Kuraklık stresinin bitki yapraklarındaki fotosentetik pigment miktarının azalmasına yol açtığı da belirlenmiştir [Richardson ve arkadaşları (2004)].

Kuraklık stresi koşullarında, biyosentetik reaksiyonların yavaşlaması ve ATP'ye olan gereksinimin azalmasıyla mitokondri ve kloroplastlardaki elektron taşınım sistemlerinde elektron fazlalığı oluşabilmektedir [Eker (2002)]. Absorblanan ışık enerjisinin etkisiyle açığa çıkan elektronlar, hem yaprak dokularındaki CO_2 yetersizliğinden hem de CO_2 'nin indirgenme hızının azalmasından dolayı uygun şekilde kullanılmadığı için moleküler oksijenin (O_2) aktivasyonuna neden olmaktadır. Yani fotosentez kaynaklı elektronlar CO_2 yerine O_2 'ye aktarılmaktadır [Özpay (2008)]. Bunun sonucunda yaprak dokularında, süperoksit radikali (O_2^-), hidrojen peroksit (H_2O_2), hidroksil radikali (OH^-) ve singlet oksijen (1O_2) gibi çok yüksek toksik etkiye sahip aktif oksijen türleri (AOT) oluşmaktadır. Oluşan AOT'ler bitkilerde membran sistemlerine, nükleik asitlere ve proteinlere bağlanarak yapısal ve fonksiyonel hasarlara yol açabilmektedir. Ancak bitkiler, AOT'lerin yol açtığı bu hücrel hasarlardan korunmayı sağlayan bir antioksidant sisteme sahiptirler.

Süperoksit dismutaz (SOD), askorbat peroksidaz (APOD), monodehidro askorbat redüktaz (MDHAR), dehidro askorbat redüktaz (DHAR), glutatyon redüktaz (GR), katalaz (KAT) ve peroksidaz (POD) grubundan enzimler antioksidant sistemin enzimatik bileşenlerini oluştururken; glutatyon, α -tokoferol (E vitamini), askorbik asit (C vitamini), β -karoten ve fenolik bileşikler de bu sistemin enzimatik olmayan bileşenleridir [Jung (2004)]. Bu antioksidant moleküller arasında bulunan fenolik bileşiklerin kuraklık stresi durumunda bitki dokularında AOT'lerin oluşumunu engellemek amacıyla birikim gösterdiği bilinmektedir [Rodriguez ve arkadaşları (2010), Oh ve arkadaşları (2009)].

Kuraklığın hücrel membranlar üzerindeki etkileri, yaprak dokularındaki malondialdehit (MDA) miktarı ve elektriksel iletkenlik değerlerindeki değişimler yardımıyla araştırılmaktadır. AOT'lerin hücrel zarlarda neden olduğu lipid peroksidasyonu sonucu ortaya çıkan MDA oldukça zararlı bir madde olup, hücrel membranların geçirgenliğinde değişimlere ve DNA bazlarıyla reaksiyona girerek mutajenik etkilere yol açmaktadır [Çelikezen ve Ertekin (2008)].

Kuraklık stresinin bir diğer etkisi, aşırı su kaybına bağlı olarak bazı serbest aminoasitlerin ve şekerlerin hücre içi konsantrasyonlarının artması ve bitki hücrelerinin ozmotik potansiyellerinin yükselmesidir. Bitki dokularında bu tip organik bileşiklerin miktarının artması, hücrelerin su tutma kapasitelerini artırmasının yanında, hücrelerdeki makro moleküllerin ve membranların korunmasını da sağlamaktadır [Özpay (2008)]. Bitki hücrelerinde turgor basıncının sürekliliği, büyümenin sağlanabilmesi için önemli bir faktördür. Ayrıca kuraklık stresi altındaki bitki hücrelerinde birikim gösterdiği bilinen prolin adlı aminoasidin, su eksikliğine karşı bitki hücrelerinin adaptasyonunda önemli rol oynadığı bildirilmiştir [Hare ve Cress (1997)].

Mısır bitkisi dünyada ve ülkemizde hem besin kaynağı hem de farklı amaçlar doğrultusunda kullanım bakımından üçüncü sırada yer almaktadır [Şahin (2001)]. Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Organizasyonu'nun (FAO) 2008 yılı istatistik verilerine göre dünyadaki mısır üretimi yaklaşık 823 milyon ton olup, mısır ekim alanları da yaklaşık 161 milyon hektarlık bir alanı kaplamaktadır [www. fao.org.tr].

Aynı yıl ülkemizde yaklaşık 594 bin hektarlık alanda mısır ekimi yapılmış ve 4,3 milyon ton ürün elde edilmiştir. Yeryüzünde mısır ekimi yapılan tarımsal arazilerden elde edilen mısır verimi yaklaşık 51 Hg/Ha (hektogram/hektar) iken, bu değer ülkemizdeki tarım alanları için 72 Hg/Ha civarındadır. Bu veriler ülkemiz topraklarının ve iklim koşullarının mısır tarımı için daha uygun özelliklere sahip olduğunu göstermesine rağmen, Türkiye'nin yıllık mısır üretimi, dünya üretiminin yaklaşık % 0,5'ini oluşturmaktadır. Kuraklık, bütün dünyada olduğu gibi, ülkemizde de mısır verimini sınırlandıran en önemli faktördür. Mısır bitkisinde, özellikle çiçeklenme döneminde ortaya çıkan kuraklık stresinin daha büyük verim kayıplarına yol açtığı belirlenmiştir [Chimenti ve arkadaşları (2006), Saini ve Westgagge (2000)]. Bu nedenle mısır tarımından elde edilecek ürünün miktarını ve kalitesini artırmak için ülkemizde yetiştirilen mısır çeşit ve hatlarının kuraklığa dayanıklılık derecelerinin belirlenmesi ve dayanıklılık mekanizmalarının fizyolojik, biyokimyasal ve moleküler temellerinin araştırılması, gerçekleştirilmesi gereken önemli çalışmalar arasındadır. Bu tip çalışmalardan elde edilecek sonuçlar hem kuraklığa daha dayanıklı çeşitlerin geliştirilmesine yönelik ıslah çalışmalarına hem de ülkemiz ekonomisine katkı sağlayacak tarım politikalarının belirlenmesine yardımcı olacaktır.

Bu çalışmada Sakarya Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü'nden temin edilen mısır (*Zea mays* L.) çeşit ve hatlarında kuraklık stresi sonucunda meydana gelen fizyolojik değişimlerin karşılaştırmalı olarak incelenmesi amaçlanmıştır. Bu şekilde, ülkemizde yoğun şekilde tarımı yapılan bir tahıl türü olan mısırın farklı çeşit ve hatlarının kuraklık stresine dayanıklılık derecelerinin belirlenmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla, mısır fidelerinin taze ve kuru ağırlıkları, fide boyu, gerçek su miktarı (%) gibi büyüme parametrelerinde, kuraklık stresinin şiddetine bağlı olarak meydana gelen değişimler belirlenmiştir. Ayrıca mısır yapraklarındaki fotosentetik pigment, toplam fenolik madde, toplam çözünür karbohidrat ve protein miktarları belirlenerek kuraklığa cevap mekanizmaları incelenmiştir. Kuraklığın hücresel zarlarda meydana getirdiği değişimler yapraklardaki MDA miktarı ve elektriksel iletkenlik değerlerindeki değişimler yardımıyla araştırılmıştır.

BÖLÜM 2. GENEL BİLGİLER

2.1. Mısır Hakkında Genel Bilgiler

2.1.1. Mısır bitkisinin sınıflandırılması ve kökeni

Mısır (*Zea mays* L.) bitkileri aleminin Spermatophyta (tohumlu bitkiler) bölümünün, Angiospermeae (kapalı tohumlular) alt bölümünün, Monocotyledonae (tek çenekliler) sınıfında bulunan Poaceae (buğdaygiller) familyasına ait $2n=20$ kromozoma sahip tek yıllık otsu bir bitkidir.

Mısır binlerce yıldan beri tarımı yapılan birkaç ender bitkiden birisidir ve bu bitkinin kökeni hakkında çeşitli görüşler ileri sürülmektedir. Ana vatanı Amerika kıtası olup buradan dünyanın her yerine yayıldığı bilinmektedir. ABD'nin New Mexico Eyaletinde yapılan bazı kazılarda bulunan mısır taneleri ve mısır koçanı parçalarının yaklaşık 5000 yıllık olduğu belirlenmiştir. Öte yandan 1954 yılında Meksika'nın başkenti Mexico City'de yapılan kazılarda yaklaşık 7000 yıllık olduğu belirlenen mısır çiçek tozları bulunmuştur. Bugüne kadar yabani mısır elde edilemediği için bitkinin kökenine ve tarihine ilişkin kesin bilgiler mevcut değildir. Bu nedenle bu konuda ileri sürülmüş olan bazı teoriler halen tartışmalıdır. Fakat yapılan çalışmalar bitkinin 8.000-10.000 yıllık bir geçmişe sahip olduğunu göstermektedir. Mısırın ülkemize girişi, Kuzey Afrika üzerinden olmuştur. Bitkiye, mısır adının verilmiş olması, bitkinin ülkemize Mısır ve Suriye üzerinden girdiğinin bir işareti olarak kabul edilmektedir [<http://hayrabolutb.tobb.org.tr/media/ziraat/Misir-Tarimi-2.pdf>].

2.1.2. Mısırın iklim ve toprak isteği

Mısır üretimi için ideal olan sıcaklık değeri 24-32 °C arasında olup, bitki 10-11 °C de çimlenmeye başlayabilmekte ve 5-10 cm derinliğindeki toprağın sıcaklığı 15 °C' ye yükseldiğinde ise çimlenmesi hızlanmaktadır. Mısır bir sıcak iklim bitkisi olmasına rağmen aşırı sıcaklığa ihtiyaç duyan bir bitki değildir. Çimlenme sırasında kök ve sap uzama dengesinin sağlanabilmesi için sıcaklığın 10-30 °C arasında olması gerekmektedir. Sıcaklık 32 °C'ye ulaştığında kök ve sap uzamasında ani bir azalma görülür ve sıcaklık 40 °C' ye ulaştığında ise bitki belli bir süre içinde ölür. Bunun yanında sıcaklığın 9 °C'nin altına düşmesi de kök uzamasını durdurur [Kırtok (1998)].

Mısır bitkisinin toprak seçiciliği fazla değildir. Uygun ve zamanında işlenen ve gerekli besin maddeleri verilen değişik tip topraklarda mısır başarı ile yetiştirilebilir. Mısır bitkisi en iyi gelişmeyi ve en yüksek verimi, organik madde ve besin maddelerince zengin, drenajı ve havalanması iyi olan topraklarda gösterir. Mısır bitkisi için hafif asidik karakterdeki topraklar en uygun topraklardır [<http://www.gap.gov.tr/Turkish/Tarim/Tarlayt/misir.html>]

Mısır bitkisinin nem isteği fazladır. Sentezlediği kuru maddenin birim miktarı için harcadığı su miktarı, diğer tahıllara göre daha azdır. Bu nedenle mısır suyu oldukça ekonomik bir şekilde kullanılabilir. Fakat toplam yaprak yüzeyi, fotosentez hızı ve transpirasyon alanı fazla olduğu için, bitkinin toplam olarak su tüketimi fazladır. Mısır bitkisinden yüksek verim alabilmek için yaz yağışlarının bitkinin yetişme döneminde 200 mm'nin üstünde olmalıdır. Ayrıca yağış miktarı, yağış süresi ve yağış etkinliği de önemlidir. Gelişmenin ilk döneminde düşük olan su isteği, bitkinin gelişmesi ve buna paralel olarak yaprak yüzeyinin artmasıyla giderek artmaktadır. Yaprak yüzey alanının maksimum değere ulaşmasından sonraki 4-5 haftalık sürede bitki tüm yaşamı boyunca tükettiği suyun yaklaşık yarısını tüketmektedir. Ayrıca uygun bir büyüme için atmosferdeki nem oranının % 60'ın altına düşmemesi gerekir. Aşırı kuraklık ve sıcaklık durumunda yapraklarda hızla solma durumu gözlenir [Kün (1997)].

Mısır, diğer ekonomik bitki türleri ile karşılaştırıldığında yetiştirme koşulları bakımından daha az seçici olduğundan, yeryüzünde de daha geniş bir yayılım alanına sahiptir. Tropikal kökenli olmasına rağmen, Kanada, Şili, And Dağları ve Amazon Ormanları gibi çok farklı iklimlerde ve coğrafik koşullarda yetiştirilmektedir [Tümertekin ve Özgüç (1997)].

2.1.3. Dünyada ve Türkiye’de mısır

İnsanlar beslenme ihtiyaçlarının büyük çoğunluğunu tahıllarla karşılamaktadır. Dünyada üretim bakımından ikinci sırada yer alan mısır bitkisi, insan gıdası ve hayvan yemi olarak değerlendirilmesinin yanı sıra; nişasta, şurup, şeker, bira ve alkol yapımında endüstriyel amaçlı olarak da kullanılmaktadır [Kırtok (1998)]. Ülkemizde 2000-2008 yılları arasında gerçekleştirilen mısır tarımı ile ilgili bazı veriler tablo 2.1’de görülmektedir. Mısırın çok farklı alanlarda kullanılması, günümüzde bu bitkiye olan talebin de artmasına yol açmıştır.

Tablo 2.1. Türkiye’de 2000-2008 yılları arasında toplam mısır ekim alanı, alınan verim ve ürün miktarı [<http://www.fao.org/>]

YIL	EKİM ALANI (Ha)	VERİM (Hg/Ha)	ÜRÜN MİKTARI (ton)
2000	555.000	41.441	2.300.00
2001	550.000	40.000	2.200.000
2002	500.000	42.000	2.100.000
2003	560.000	50.000	2.800.000
2004	545.000	55.045	3.000.000
2005	600.000	70.000	4.200.000
2006	528.283	72.139	3.811.000
2007	516.960	68.380	3.535.000
2008	593.785	71.978	4.274.000

Ülkemizde yetiştirilen mısırın % 35'i doğrudan insan gıdası, % 30'u hayvan yemi, % 20'si yem sanayinde ham madde, % 10'u nişasta ve glikoz sanayinde ham madde olarak kullanılırken, % 5'i de tohumluk olarak değerlendirilmektedir [Akman ve arkadaşları (1991)].

2.2. Bitkilerde Büyüme-Gelişme ve Stres Kavramı

Bitkilerin en önemli özelliklerinden biri yaşamları boyunca büyüme özelliğine sahip olmalarıdır. Bu durum bitkilerin kök ve gövde uçlarında bulunan apikal meristemlerin bitkinin hayatı boyunca aktif olmasıyla sağlanmaktadır.

Geri dönüşümü olmayan (irreversible) bir olay olarak tanımlanan büyüme, bitkisel organların boyutlarında ve kuru madde birikiminde meydana gelen artış olarak ifade edilmektedir. Büyümenin meydana gelebilmesi için hücrelerdeki makromolekül sentez hızının parçalanma hızından yüksek olması gerekir. Gelişme ise bitkinin oluşumu, büyümesi ve olgunlaşması sırasında bitkinin farklı kısımlarında meydana gelen yapısal ve fonksiyonel değişimler olarak ifade edilir. Gelişme olayı doku ve organların farklılaşması ile hücrelerin bölünerek çoğalması ve hacim artışı gibi olayları içerir [Larcher (1995)]. Bitkilerdeki büyüme ve gelişme olaylarını etkileyen önemli faktörlerden biri de toprak suyunun uygun miktarda bulunmasıdır [Capell ve arkadaşları (2004)].

Bitkilerde stresin yol açtığı hasarlar, stresin etkili olduğu süreye ve stresin şiddetine bağlı olarak geri dönüşümlü veya kalıcı olabilmektedir. Bitkilerin herhangi bir stres faktörüne uzun süre maruz kalmaları, bitkilerin savunma mekanizmalarının çökmesine ve bitkinin ölmesine bile yol açabilmektedir. Bunun dışında bitkinin sadece belli bir organı strese maruz kalsa bile, bu durumdan bitkinin bütün organları etkilenmekte ve sonuçta stres hem moleküler hem hücresel hem de bütün organizma seviyesinde çeşitli süreçlerin koordinasyonuna ve normal yapılara zarar vermektedir. Bitkilerde strese karşı oluşan cevaplar bitki hormonları tarafından düzenlenmektedir. Bitkinin herhangi bir parçası stres faktörünün etkisiyle zarar gördüğünde bitki dokularındaki hormonal dengede de değişiklikler oluşmaktadır. Bu hormonal değişiklikler bitkinin yaşamını koruyan ve stresin olumsuz etkilerini en düşük

seviyeye indirmeyi amaçlayan kısa süreli metabolik ve uzun süreli morfolojik değişimlere sebep olmaktadır [Larcher (1995)].

Bir ekosistem içerisinde, bitkiler üzerinde aynı anda etkili olan birden fazla stres faktörü bulunmaktadır. Stres faktörleri kökenlerine göre değişik şekillerde sınıflandırılmaktadır. Buna göre stres faktörleri biyotik ve fizikokimyasal faktörler olarak iki grupta ele alınabilir. Bu durumda bitkilerde çeşitli enfeksiyonlara yol açan virüs, bakteri ve mantarlar; bitkilere mekanik olarak zarar veren böcek ve nematodlar ve bitkilerin aynı ortamı paylaştığı diğer bitkilerle arasındaki rekabet biyotik stres faktörlerini oluşturmaktadır. Ortamın sıcaklığında meydana gelen değişiklikler, topraktaki su miktarı, bitkinin maruz kaldığı ışığın tipi ve şiddeti ve ortamdaki kimyasal, manyetik ve elektriksel değişiklikler de fizikokimyasal stres faktörlerini oluşturmaktadır [Levitt (1980)].

Bunun dışında bazı araştırmacılar da stres faktörlerini biyotik ve abiyotik faktörler olarak da iki grupta incelemektedir [Alexieva ve arkadaşları (2003)]. Kuraklık, tuzluluk, ağır metal toksisitesi, ekstrem sıcaklıklar gibi abiyotik stres faktörleri, yeryüzünde belli zaman aralıklarıyla ortaya çıkmaları ve aynı anda birkaç tanesinin etkili olması nedeniyle, kültüre alınmış bitkilerde görülen verim kayıplarının başlıca sebebini oluşturmaktadır [Vinocor ve Altman (2005)]. Bu stresler hücrenin ozmotik potansiyelinin azalması, hücre bölünmesi ve gelişmesinin inhibisyonu, membran bütünlüğünün, hücresel fonksiyonların ve iyon dengesinin bozulması gibi birçok hasara neden olmaktadır [Kant ve arkadaşları (2008)].

Bitki stres fizyolojisi terminolojisinde “sıfır stres” olarak bilinen bir kavram bulunmaktadır. Sıfır stres kavramı bitki büyümesi, gelişmesi ve verimi üzerinde olumsuz etkilere neden olmayan ideal ortam koşullarını ifade etmektedir. Ancak tarımsal faaliyetlerin gerçekleştirildiği alanlar iklimsel değişiklikler, sulama ve gübreleme konusunda yapılan hatalar yüzünden zamanla tarıma elverişsiz duruma gelebilmektedir. Bu nedenle sıfır stres terimi büyük ölçüde teorik bir anlama sahiptir [Hale ve Orcutt (1987)]. Bitkiler için stresin sıfır stresten, orta dereceli ve şiddetli strese kadar değişen dereceleri vardır. Bir bitki türünde yüksek derecede strese neden olan bir faktör, diğer bir bitki türünde orta dereceli veya sıfır strese neden

olabilmektedir. Yani stresin derecesi bitki türüne göre farklılık gösterebilmektedir. Ayrıca bazı durumlarda bir bitkinin tamamı veya bir kısmı (tohumlar, dormant tomurcuklar) strese karşı dirençli iken, diğer bazı kısımları (meristematik dokular ve genç fideler) ise strese daha duyarlı olabilmektedir. Hale ve Orcutt (1987), Salisbury ve Ross (1992). Bray ve arkadaşları (2000), bitkilerin stres faktörlerine verecekleri cevapları etkileyen temel faktörlerin stresin şiddeti, süresi, strese maruz kalan doku ve organ tipi ile bitkinin stres koşulları altında iken bulunduğu gelişim evresi olduğunu belirtmiştir. Buna ilave olarak, bir türe ait farklı çeşit veya genotiplerin aynı strese verdikleri cevaplar da değişebilmektedir [Doğru (2006)].

Tablo 2.2. Abiyotik ve biyotik stres faktörleri [Mahajen ve Tuteje (2005)]

Abiyotik stres faktörleri	Biyotik stres faktörleri
<ol style="list-style-type: none"> 1. Düşük sıcaklık 2. Yüksek sıcaklık 3. Tuzluluk 4. Kuraklık 5. Su fazlalığı 6. Radyasyon 7. Kimyasallar ve kirleticiler (ağır metaller ve pestisidler) 8. Oksidatif stres (Reaktif Oksijen Türleri) 9. Rüzgâr 10. Topraktaki mineral eksikliği 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Patojenler (virüsler, bakteriler, mantarlar) 2. Böcekler 3. Herbivorlar 4. Kemiriciler

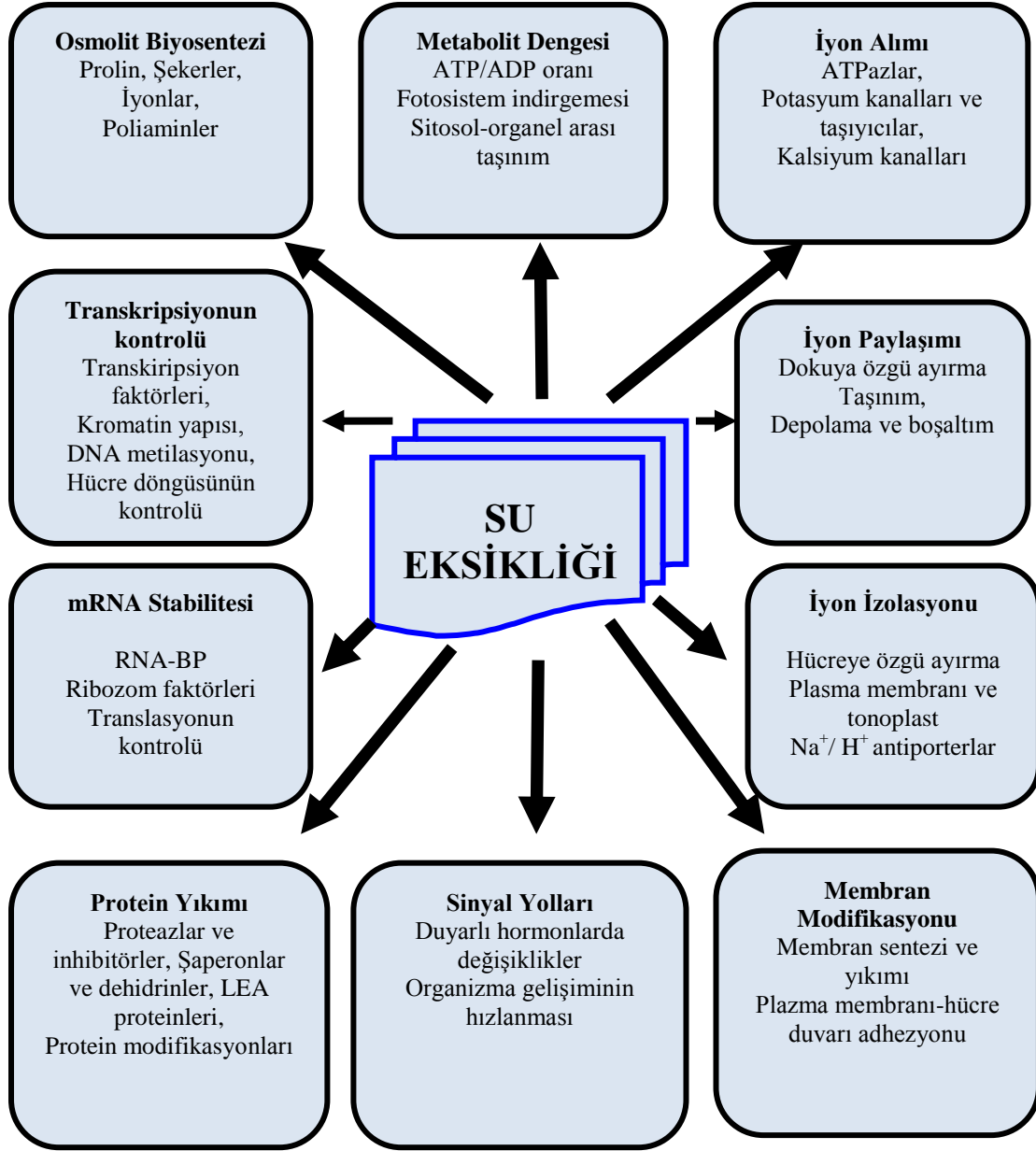
2.3. Kuraklık Stresi

Su bütün biyokimyasal aktivitelerin gerçekleşmesini kolaylaştıran özelliğe sahip olduğundan bütün canlılar için en önemli yaşam sıvısıdır. Bu açıdan bakıldığında kuraklık, bitkilerin en çok karşılaştıkları stres faktörlerinden birisidir. Kuraklık durumunda bitki için topraktan suyun alınması önemli bir problem haline gelmekte ve sonuçta bitkiler için su eksikliği ortaya çıkmaktadır [Hasegawa ve arkadaşları (1984)].

Şen (2001)' e göre iklimsel değişimler, şehirleşme, orman tahribatları ve çölleşme gibi nedenlerden dolayı artış gösteren kuraklık olgusu çevre, toplum ve ülkeleri tehdit eden boyutlara ulaşmaktadır. Kuraklık dünyada etkisini gittikçe arttırmasına rağmen henüz tam olarak anlaşılammış ve etkileri yeterince değerlendirilememiştir. Bunun en önemli nedeni kuraklığın farklı meslek grupları tarafından farklı şekillerde tanımlanmasıdır. Tarımsal açıdan bakıldığında, tarımsal üretimi sınırlayıcı faktörler arasında yer alan, toprağın su miktarında ve bitki gelişiminde gözle görülür derecede azalmaya neden olacak kadar yağışsız geçen dönem kuraklık olarak adlandırılmaktadır [Capell ve arkadaşları (2004), Hongbo ve arkadaşları (2005)]. Tarımda verimi etkileyen faktörlerden en önemlisi sudur. Birim alana gereğinden fazla ya da az miktarda su verilmesi önemli ölçüde ürün kaybına neden olmaktadır. Bitkilerin farklı fenotip ya da genotipe sahip olmaları, bunların kuraklık koşullarında, sulamadan etkilenmelerinin de farklı olacağını göstermektedir [Güneş ve Aktaş (2008)]. Tarım yapılan alanların yaklaşık olarak üçte ikisinde su yetersizliği bulunmakta, geri kalanında ise kuraklık periyodik olarak bitkisel üretimi sınırlandırmaktadır [Kramer (1980)].

2.3.1. Kuraklık stresinin bitkilerde meydana getirdiği değişiklikler

Kuraklık stresi bitki gelişimini ve verimini önemli derecede sınırlandırmaktadır [Arus ve arkadaşları (2002)]. Bu nedenle bitkiler dokularındaki su kaybını tolere edebilmek veya su kaybını azaltmak için fizyolojik, morfolojik ve metabolik değişiklikler gösterirler [Anami ve arkadaşları (2009), Mitra (2001)]. Kuraklık stresinin bitkiler üzerindeki farklı etkileri şekil 2.1' de gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Su stresine organizmanın cevapları [Bohnert ve arkadaşları (1995)]

2.3.1.1. Fizyolojik değişiklikler

Bitkiler yaşadıkları doğal çevrede çeşitli stres faktörlerine maruz kalmakta ve bu stres faktörlerine ATP enerjilerini kullanarak cevap vermektedirler [De Block ve arkadaşları (2005)]. Uzun süre devam eden orta dereceli stres veya kısa süreli şiddetli stres bitkinin enerji kaynaklarının tamamen yok olmasına sebep olabilmektedir. Bu durum bitkilerde geri dönüşümü hasarlara ve hatta bitkinin ölümüne yol açabilmektedir.

Fakat bitkiler ATP'nin azaldığı stres koşullarında yaşamlarını kolaylaştıran çeşitli biyokimyasal ve metabolik adaptasyon mekanizmalarına sahiptirler [Anami ve arkadaşları (2009)].

Hücresele seviyede kuraklık stresiyle ilişkili olan fizyolojik değişikler membran akışkanlığı ve bileşimindeki değişiklikler ile turgor kaybını kapsamaktadır. Plazma membranı hücreler ve etrafındaki yapılar arasında bir bariyer görevi üstlendiğinden hücrelerin yaşamını devam ettirebilmesi için önemlidir [Larsson ve arkadaşları (2006)]. Plazma membranının temel yapısını membranda çift tabakalı olarak bulunan fosfolipidler oluşturmaktadır. Fosfolipidlerin hidrofobik kuyruk kısımları zarın iç bölümüne gömülü olarak bulunurken, polar baş kısımları zarın her iki yüzeyinde su ile temas halindedir [Cooper ve Hausman (2006)]. Hücre membranının fosfolipid kompozisyonu, membranın yapısında bulunan proteinlerin doğru bir şekilde tutulması ve membrana bağlanmış belirli enzimlerin uygun aktivite gösterebilmeleri için önemlidir. Kuraklık stresi durumunda plazma membranından suyun ayrılmasıyla membranın lipid kompozisyonu değişmekte ve lipid içeriğinde azalma meydana gelmektedir [Larsson ve arkadaşları (2006)].

Bitkilerde kuraklık koşulları altında gözlenen fizyolojik değişiklikler bitki dokularındaki ABA miktarında meydana gelen artışla ilişkilendirilmektedir [Alvarez ve arkadaşları (2008)]. Bitkilerde büyüme ve gelişme olayları bitki dokularında sentezlenen ve bitkinin diğer kısımlarına taşınan, bitki hormonları olarak adlandırılan spesifik moleküller tarafından düzenlenmektedir [Rawen (1999)]. Kuraklık stresi altındaki bitkilerde birçok metabolik olay etkilendiğinden, bitkilerde düzenleyici

olarak rol alan hormonların miktarında da değişiklikler meydana gelmektedir [Naquvi (1995)]. Bu bitki hormonlarından biri olan ABA, kuraklık sırasında hızlı bir şekilde birikim gösterdiği için stres hormonu olarak tanımlanmakta ve kimyasal bir sinyal molekülü olarak rol oynamaktadır [Wilkinson ve Davies (2002)]. Kuraklık stresi ABA biyosentez genlerini aktive etmekte [Xiong ve Zhu (2003)] ve köklerde ABA sentezini artırarak bitkinin diğer kısımlarına taşınmasını sağlamaktadır [Soe ve Koshiha (2002)]. Kuraklık stresi durumunda yapraklardaki ABA konsantrasyonunun 50 kat artabileceği bildirilmiştir [Taiz ve Zeiger (1998)].

ABA kuraklık koşullarında stomaların kapanmasını sağlayarak bitkinin transpirasyon yoluyla su kaybetmesini engellemekte ve bitkinin suya olan ihtiyacını azaltmaktadır [Sauter ve arkadaşları (2002)]. Böylece stomaların kapanmasıyla kuraklığa karşı bir dayanıklılık mekanizması oluşturulmaktadır. Stoma bekçi hücrelerinin su alması veya su kaybetmesi, bu hücrelerdeki turgor değişimleri ile sağlanmaktadır [Akman ve arkadaşları (2004)]. Kuraklık stresine cevap olarak stomaların kapanması sırasında bekçi hücrelerindeki su kaybı, yaprağın diğer kısımlarının su miktarının azalması ile başlatılabilir ve ABA bu olayda önemli bir rol oynamaktadır [Taiz ve Zeiger (1998)]. ABA, bekçi hücrelerinin sitoplazmalarının pH ve Ca^{+2} iyonu (kalsiyum iyonu) konsantrasyonlarında değişikliklere neden olmaktadır. Bunu takiben Ca^{+2} , K^{+} iyonu (potasyum iyonu) ve diğer bazı anyon kanallarını aktive ederek plazma membranının depolarizasyonunu sağlamaktadır. Bu olayların sonucunda da K^{+} iyonları bekçi hücrelerinden dışarı çıkmakta ve bekçi hücrelerinin turgor basıncı azalarak stomalar kapanmaktadır [Kalefetoğlu (2006)].

Son yıllarda antioksidant savunma sisteminin uyarılmasında da ABA'nın rolü olduğuna ilişkin sonuçlar elde edilmiştir. ABA, bitki dokularında süperoksit radikali ve H_2O_2 gibi oksidatif strese neden olan bileşiklerin miktarının artmasına neden olmaktadır. Ayrıca ABA'nın enzimatik ve enzimatik olmayan antioksidant savunma sisteminin kapasitesini artırdığı ve bu sistemin aktivasyonunu sağlayan genlerin ifadesini uyardığı belirlenmiştir [Jiang (2003)].

Normal olarak kuraklık stresinin ilk etkisi stoma seviyesinde meydana gelen olaylardır. Kuraklık stresi sonucunda stomalar kapanmakta ancak bu olaydan

fotosentez de olumsuz etkilenmektedir. Sonuç olarak kloroplastlarda bulunan kullanılabilir CO₂ miktarının azalması yüzünden net fotosentez hızı da azalmaktadır [Rouhi ve arkadaşları (2007)]. Başlangıçta fotosentez hızında görülen azalma stomaların kapanmasından kaynaklanmaktadır. Fakat kuraklık stresinin devam etmesi veya şiddetinin artmasıyla fotosentezin CO₂ fiksasyon reaksiyonlarında rol oynayan bazı enzimlerin aktivitesi azalmakta ve fotosentez hızı bu andan itibaren stomalar dışındaki faktörler tarafından azaltılmaktadır [Çırak ve Esendal (2006)]. Yapılan çalışmalar kuraklık stresi altındaki bazı bitkilerde Ribuloz -1,5- bisfosfat karboksilaz/oksijenaz (Rubisco; E.C 4.1.1.39) enziminin aktivitesinin, ribuloz-1,5 bisfosfat (RuBP) oluşumunun ve ATP ile NADPH moleküllerinin miktarının azaldığını göstermiştir [Tezara ve arkadaşları (1999), (2002), Lawlor ve Cornic (2002), Parry ve arkadaşları (2002)].

2.3.1.2. Morfolojik değişiklikler

Kuraklık şartları altında yapraklarda meydana gelen morfolojik değişimler, genellikle transpirasyonla kaybedilen su miktarının azaltılmasını; köklerde oluşan morfolojik değişimler ise topraktaki suyun daha yüksek bir kuvvetle absorbe edilmesini sağlamaya yöneliktir [Çırak ve Esendal (2006)]. Orta şiddetli kuraklık stresinin kök sisteminin gelişimini etkilediği ve bazı bitki türlerinde kök büyümesini hızlandırarak kökün gövdeye olan oranını artırdığı rapor edilmiştir [Taiz ve Zeiger (1998), Çırak ve Esendal (2006)]. Kök boyunun gövde boyuna olan oranı; köklerden suyun alınımı ve yapraklarda gerçekleşen fotosentez arasındaki dengeye bağlıdır. Yani bitkinin toprak üstü kısımları, köklerle topraktan alınan su miktarı, büyümeyi sınırlayıcı seviyeye düşünceye kadar büyümesini sürdürür. Kökler de yapraklardan köklere taşınan fotosentez ürünlerinin miktarı, köklerin gereksinimlerini karşılayamayacak seviyeye düşünceye kadar büyüyecektir [Akman ve arkadaşları (2004), Taiz ve Zeiger (1998)]. Bu durumda da kök gelişiminin hızlandığı ve kök boyu/gövde boyu oranının arttığı bildirilmiştir [Versules ve arkadaşları (2006)]. Örneğin, çok yıllık kserofit bir bitki olan *Alhagi camelorum* bitkisinin toprak üstü organlarının boyu birkaç santimetre iken, kökler nemli toprak tabakalarına ulaşabilmek için 2-3 metre kadar uzayabilmektedir [Çırak ve Esendal (2006)]. Köklerin, toprağın nemli

kısımlarına ulaşmak için alt tabakalara doğru büyümesi, kuraklığa karşı oluşturulan bir savunma mekanizması olarak değerlendirilmektedir [Taiz ve Zeiger (1998)].

2.3.1.3. Metabolik değişiklikler

Kuraklık stresi altındaki bitkilerde ksilem özsuyundaki birçok aminoasidin miktarında geçici olarak artış meydana geldiği, bazı bitki türlerinde de bu aminoasitlerin birçoğunun sadece şiddetli kuraklık stresi durumunda birikim gösterdiği rapor edilmiştir [Anami ve arkadaşları (2009)]. Bitki metabolizmasında kuraklık stresi ile ilgili olan metabolik değişiklikler, çözünür madde konsantrasyonlarındaki değişiklikler, protein-protein ve protein-lipit etkileşimlerini kapsamaktadır [Valliyodan ve Nyugen (2006)].

Yapılan bazı çalışmalar, kuraklık stresi etkisiyle bitki hücrelerinde çeşitli çözünür karbohidratlar ve prolin gibi metabolitlerin birikim gösterdiği sonucunu ortaya çıkarmıştır. Örneğin Barlow ve arkadaşları (1976), kuraklık stresine maruz kalmış bir mısır bitkisinin yapraklarındaki karbohidrat miktarında, kontrol bitkilerine göre yaklaşık % 42'lik bir artış gözlemlemişlerdir. Yapılan bazı araştırmalar da kuraklık stresinin bazı bitki türlerinin yapraklarındaki sakkaroz, glukoz ve fruktoz miktarının artmasına yol açabileceğini göstermiştir [Turner ve arkadaşları (1978), Jones ve arkadaşları (1980), Foyer (1988), Wang ve arkadaşları (1995)]. Bazı bitki türlerinde de kuraklık stresi sonucunda yapraklardaki sakkaroz [Steward (1971), Fox ve Geiger (1986), Zinselmeier ve arkadaşları, (1995)] ve heksoz şeker miktarının artış gösterdiği belirlenmiştir [Rodriguez ve arkadaşları (1993), Keller ve Ludlow (1993)]. Pelleschi ve arkadaşları (1997), kuraklık stresinin bitki yapraklarındaki heksoz/sukroz oranında değişikliklere yol açtığını, bu değişikliğe yaprak dokularındaki nişasta miktarında görülen azalmanın neden olduğunu ve bitkinin hücresel osmoregülasyonunu (ozmotik düzenleme) bu şekilde sağladığını bildirmiştir. Yapılan bazı çalışmalarda da, kuraklığın yapraklardaki invertaz enziminin aktivitesini artırarak fruktoz ve glukoz gibi basit şekerlerin birikimine neden olduğu rapor edilmiştir [Pinheiro, ve arkadaşları (2001), Trouverie ve arkadaşları (2003)].

Yüksek bitkilerin çoğunda kuraklık stresine cevap olarak yaprak dokularında osmolit olarak bilinen organik bileşiklerin biriktiği bilinmektedir [Trotel-Aziz ve arkadaşları (2000)]. Bunlar arasında kuraklık stresi ile ilişkisi hakkında en çok araştırma yapılmış olanı prolin adlı aminoasittir [Delauney (1993), Larher (1993)]. Prolinin osmotik bir koruyucu olduğu ve özellikle kuraklık durumunda bitki hücrelerinin adaptasyonunda spesifik bir rol oynadığı ifade edilmiştir [Raymond ve Smirnoff (2002), Handa ve arkadaşları (1986)]. Ayrıca prolinin kuraklık durumunda bitki hücrelerinde meydana gelen dehidrasyon sürecinde proteinlerin korunmasını sağlayan bir rol oynadığı belirlenmiştir [Stewart ve arkadaşları (1977)]. Stewart and Boggess (1978)' e göre, bitki tarafından biriktirilmiş olan prolin, bitkinin stres altında olduğu dönemde çeşitli enzimleri [Arakawa and Timasheff (1983), Arakawa and Timasheff (1985, Schobert ve Tschesche (1978)], hücrel membranları [Rudolph ve arkadaşları (1986)] ve poliribozomları [Kandpal ve Rao (1985)] korumaktadır. Düşük su potansiyelinde gelişen mısır köklerindeki prolin birikiminin, kök apeksindeki toplam osmotik ayarlamının yaklaşık % 45'inden sorumlu olduğu belirlenmiştir [Voetberg ve Sharp (1991)].

2.3.2. Kuraklığa karşı geliştirilen dayanıklılık mekanizmaları

Genetik anlamda kuraklığa dayanıklılık mekanizmaları Levitt (1972) tarafından kuraklıktan kaçma, kuraklıktan sakınma ve kuraklığa tolerans olarak üç grupta sınıflandırılmıştır. Fakat bu mekanizmalardan kuraklıktan kaçma mekanizması bitkiler tarafından en sık olarak kullanılanıdır [Mitra (2001)].

Kuraklıktan kaçma toprak ve bitkide ciddi su eksikliği oluşmadan önce bitkinin hayat döngüsünü tamamlayabilme yeteneği olarak tanımlanmaktadır. Bu mekanizma hızlı fenolojik gelişim (erken çiçeklenme ve erken olgunlaşma) ve gelişim esnekliği (su eksikliğinin derecesine bağlı olarak büyüme periyodunun süresinde değişiklik) gibi süreçleri kapsamaktadır [Mitra (2001)]. Kuraklık toleransı, düşük su potansiyeline sahip bitki dokularının su eksikliğine dayanabilme yeteneğidir [Mitra (2001)]. Kuraklık toleransı bitkilerin metabolik aktivitelerini devam ettirmelerini sağlayan ve uzun süreli kuraklığın neden olduğu hasarın etkisini sınırlayan mekanizmaları içermektedir [Courtois ve arkadaşları (2000)]. Bitkilerin kuraklığa toleransının,

hücrelerin hem mekanik zararlara dayanıklılığına hem de membran ve sitoplazmanın protein denatürasyonuna dayanma kabiliyetine bağlı olduğu kaydedilmiştir [Gaff (1980)].

Kuraklıktan sakınma, topraktaki su miktarının yetersiz olmasına rağmen, dokuların nispeten yüksek olan su potansiyelini koruma yeteneğidir. Kuraklıktan sakınan bitkiler su alınımını düzenlemek için, hücrelerinde suyu depolayan ve su kaybını azaltan mekanizmalara sahiptirler. Bitkiler kuraklıktan sakınma mekanizması kapsamında, kök büyümesini ve dolayısıyla kök sisteminin etkinliğini artırarak hücrelerdeki turgor durumunun devamlılığını sağlamak, epidermal iletkenliği azaltarak su kaybını azaltmak ve yaprak katlanmasıyla yüksek ışık yoğunluğunun neden olabileceği hasarların önlenmesi gibi bir dizi önlemler alabilmektedir. Bitkiler kuraklık şartları altında su kaybını azaltma ve turgorun devamlılığını sağlama arasında bir denge oluşturarak hayatta kalmayı başarmaktadır. Kuraklık koşullarında turgor durumunu koruyabilen bitki hücrelerinde etkili bir osmoregülasyon mekanizmasının yanı sıra, hücre elastikiyetinde artış ve hücre genişliğinde azalma gibi morfolojik değişimler de gözlenmiştir [Mitra (2001)].

Bitki yapraklarında kuraklık stresi durumunda meydana gelen bazı değişimler de kuraklığa dayanıklılık konusunda önem taşımaktadır. Kurak ortam bitkilerinde yaprakların üst yüzeyinde bulunan tüy ve kutikula gibi yapılar kuraklığın etkisinden korunmayı sağlar. Bu tüyler, alttaki hücrelerin sıcaklığını 1-2 °C düşürerek, transpirasyon hızını ve yaprak üzerindeki kutikula tabakası da güneş ışınlarını yansıtarak sıcaklığın etkisini azaltır. Bu da transpirasyon hızının azalmasını sağlar [Göksoy ve Turan (1991)]. Kutikulanın kalınlığının artması CO₂'ye olan geçirgenliği azaltır; ancak kutikulanın altındaki epidermis hücreleri fotosentez yapamadığından bitkideki fotosentez olayı bu durumdan etkilenmez. Kutikuladan yapılan transpirasyon, toplam yaprak transpirasyonunun yalnızca % 5-10'u kadardır. Bu nedenle kutikular transpirasyon çok şiddetli stres durumunda veya kutikula zarar gördüğünde önemlidir [Taiz ve Zeiger (1998)].

Kuraklık stresine dayanıklılık sağlayan mekanizmalardan biri olan hücre elastikiyetindeki artış, hücrelerin boyutlarında azalmaya yol açarak hücrenin kuru

ağırlığının yaş ağırlığına olan oranının artmasını sağlar. Hücre hacminde meydana gelen küçülme, turgor basıncının artmasıyla sonuçlanır. Eğer hücre su kaybetmeye devam ederse hücre içindeki çözünmüş maddelerin yoğunluğu artar, plazma membranı bazı değişimlere uğrayarak daha az yer kaplayan bir yapı kazanır. Hücre genişlemesi engellendiği zaman buna bağlı olarak yaprak genişlemesi de yavaşlar. Topraktaki su miktarı az olduğu için küçük olan yapraklar suyu daha az ve daha ekonomik kullanırlar. Sağlıklı olan yapraklarda kuraklık stresi sadece turgoru düşürmekle kalmaz ayrıca çeperin büyüme hızını da azaltır. Çünkü plazma membranından hücre çeperine doğru proton taşınmasını engelleyerek hücrenin pH değerini arttırır [Akman ve arkadaşları (2004)].

Sukkulent bitkiler de dokularında su depolayarak kuraklıktan kaçınırlar. İnce çeperli olan parankima hücreleri çok fazla genişleme gücüne sahiptir ve yağış alan mevsimlerde hızlı şekilde su depolamaktadırlar. Bu tip kserofit bitkilerde kuraklık stresi, krassulasean asit metabolizmasını (CAM) teşvik eder [Salisbury ve Ross (1992)]. CAM, CO₂ asimilasyonunun sağlanması için bitkilerde bulunan üç metabolik yoldan birisidir [Slesak ve arkadaşları (2002)]. CAM mekanizmasına sahip olan bitkilerde stomalar gece açık, gündüz ise kapalıdır. Bu durum bitkinin su kaybına karşı geliştirdiği bir adaptasyondur. CAM mekanizmasının biyokimyasal reaksiyonları 50 yıl önce aydınlatıldığından beri bu metabolizmanın kuraklık durumunda fotosentez üzerinde düzenleyici bir rol oynadığı bilinmektedir. CAM mekanizmasına sahip olan bitkilerin su kullanım etkinlikleri diğer bitkileri göre çok yüksek olup, transpirasyon hızları da oldukça düşüktür. Kaybedilen su miktarının az olması, bu tür bitkilerin kuraklık durumunda uzun zaman canlılıklarını sürdürmelerini sağlamaktadır [Salisbury ve Ross (1992)].

Diğer taraftan kuraklık stresi bitkilerde, transpirasyonun azaltılmasını sağlamak için yaprak senesensine ve absisyonuna neden olabilir. Yaprakların tam olarak gelişmesinden sonra kuraklığa karşı geliştirilen mekanizmalardan birisi de yaprak açısında ve yaprak yüzeyinin ışığı yansıtma özelliklerindeki değişimlerdir. Örneğin çimlerde yaprağın üst epidermasının üzerindeki orta damar boyunca yer alan bulliform hücrelerinin turgor kaybı sonucu, yapraklarda rulo şeklinde bir kıvrılma

meydana gelir. Bu şekildeki yaprak kıvrılmasının transpirasyon hızını yaklaşık % 70 oranında azaltabildiği belirlenmiştir [Turner (1986)].

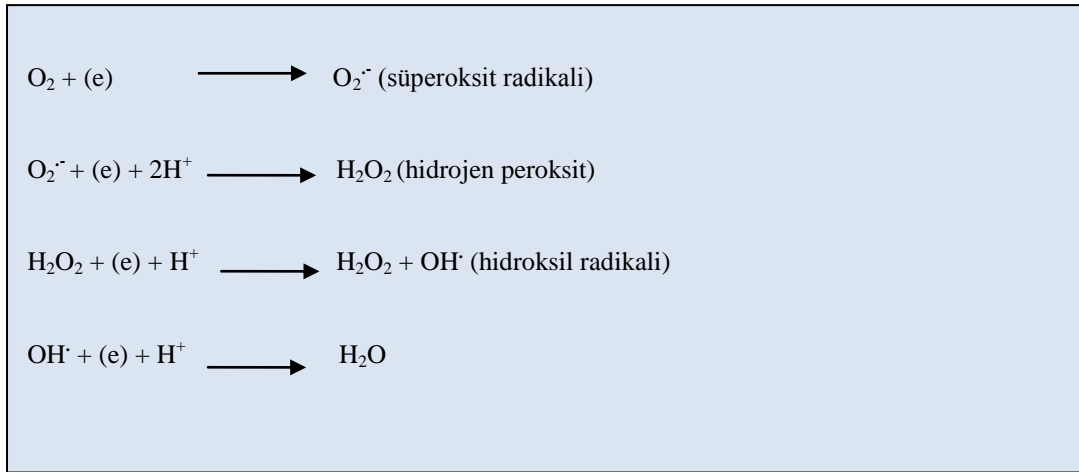
2.4. Stres Koşullarında Oluşan Aktif Oksijen Türleri (AOT)

Bir veya daha fazla eşleşmemiş elektrona ve düşük moleküler ağırlığa sahip, kısa ömürlü ve kararsız moleküller olarak tanımlanan serbest radikaller veya diğer adıyla aktif oksijen türlerinin (AOT) iki yolla oluşabildiği belirtilmiştir [Tuna (2007)]. Bunlardan birincisi radikal olmayan bir atom veya molekülden bir elektronun çıkması, diğeri ise yine radikal olmayan bir atom veya moleküle elektron ilavesidir [Halliwell ve Gutteridge (2000)]. AOT'ler, negatif yüklü elektron sayısının nükleusta bulunan pozitif yüklü proton sayısına eşit olmamasından dolayı kararsız bir yapıya sahiptirler ve çok reaktiftirler [Kulahçioğlu (1996)]. Yüksek reaktiviteye sahip oldukları için de yarı ömürleri kısadır. Kolaylıkla diğer moleküllerden elektron koparılırlar ve bu moleküllerin radikale dönüşmesine yol açabilirler [Halliwell (1991), Harris (1992)].

Oksijen, atom numarası 8 olan, doğada dioksijen veya moleküler oksijen (O_2) olarak bulunan kararsız bir elementtir. Bu kararsızlığı, enerji düzeylerinde bulunan elektron yapısıyla ilişkilidir [İnce (1998)]. O_2 gaz formundaki diğer elementlerden eşleşmemiş iki elektron ihtiva etmesiyle, yani biradikal olmasıyla farklıdır [Edrawa (1998)]. Bu özelliğinden dolayı da serbest radikallerle kolaylıkla reaksiyona girmekte [Freeman ve Crapo (1982)] ve canlı organizmalar için birçok zarar verici koşulun ve hastalık yapıcı faktörün oluşmasına neden olmaktadır [Mark (1985)]. Diğer bir ifadeyle oksijenin suya tam olarak indirgenmesi diğer aerobik organizmalar için gerekli olan enerjinin açığa çıkmasını sağlarken [Dat ve arkadaşları (2000)], tam olarak indirgenmemesi AOT'lerin oluşumuna yol açmaktadır [Halliwell (1991), Harris (1992)].

O_2 , *in vivo* koşullarda çok etkin türevlere metabolize olabilen bir bileşiktir ve bu molekül canlı dokularda iki şekilde indirgenmektedir. Bunlardan birincisi O_2 'nin dört elektron alarak doğrudan suya indirgenmesi (%95), diğeri ise basamak basamak tek değerlikli bir indirgenmeye uğramasıdır (%5) [Yarsan (1998)]. O_2 'nin kullanımı

aşamalı biçimde ve oldukça düzenli bir şekilde ilerlemektedir. O_2 normal olmayan elektron konfigürasyonundaki spin değişimiyle singlet oksijenin (1O_2) oluşumuna neden olabildiği gibi, her basamakta bir elektron ilavesi ile 4 basamaklı bir reaksiyon sonunda suya kadar indirgenebilir [Larson (1995)]. Dört elektronun suya indirgenmesi sırasında kısmen indirgenmiş ara formlar da oluşmaktadır. O_2 'nin tek elektron alması süperoksit radikalinin (O_2^-) oluşumuna neden olur. Süperoksidin bir elektron alması ise radikal olmayan H_2O_2 'nin oluşmasına neden olur. Bir sonraki tek elektronluk indirgenme basamağının ürünü hidroksil radikalidir (OH^\cdot). Son olarak, dördüncü elektronun da alınması hidroksil radikalinin H_2O 'ye indirgenmesiyle sonuçlanır.

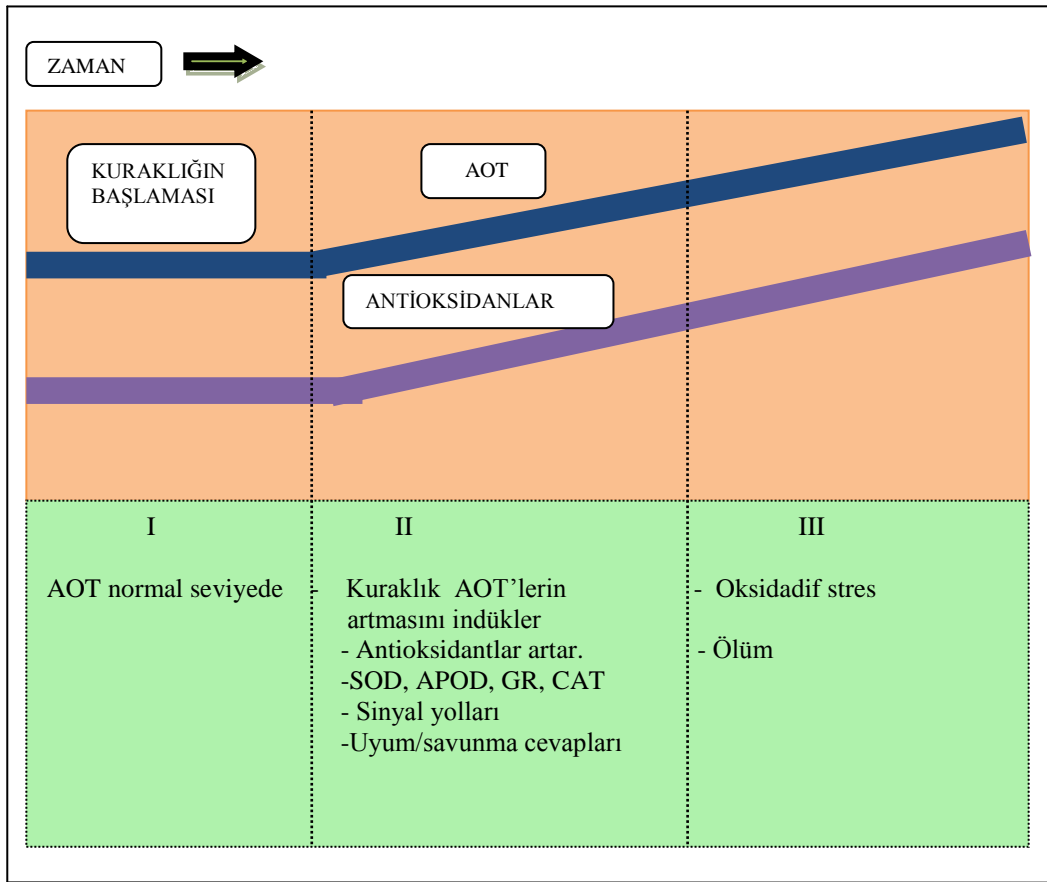


Şekil 2.2. Hücre içinde reaktif oksijen türlerinin oluşumu [El ve arkadaşları (1999)]

Kuraklık stresinin en genel özelliklerinden biri elektron taşınımıyla ilgili reaksiyonları bozmak olduğu için, fotosentetik elektron taşınım sistemi bitki dokularındaki AOT'lerin üretilebileceği en büyük kaynaktır [Asada (1996)]. Bitkilerde stres koşulları altında meydana gelen aşırı miktarda AOT oluşumunun, tarımsal verimliliği azaltan en önemli faktör olduğu düşünülmektedir [Kaiser (1979), Alscher ve arkadaşları (1997)]. Stressiz koşullar altında ise, bitki hücrelerindeki metabolik reaksiyonlar sonunda oluşan AOT'lerin yıkımı ve üretimi arasında belirli bir denge mevcuttur [Carvalo (2008)].

Smirnoff (1993), kuraklık stresinin bitki dokularında singlet oksijen (1O_2), süperoksit radikalı (O_2^-) ve hidroksil radikalı (OH^\cdot) gibi AOT'lerin ve hidrojen peroksit (H_2O_2)

gibi toksik ürünlerin oluşmasına neden olduğunu bildirmiştir [Bian ve Siang (2009)]. Kuraklık stresi altında, fotosentez olayında kullanılacak olan CO₂'nin yaprak dokularına alınımının kısıtlandığı [Arora ve arkadaşları (2002)] ve bunun da pigmentlere, membran lipidlerine, nükleik asitlere, protein ve enzimlere zarar veren AOT'lerin oluşumunu artırdığı belirlenmiştir [Yordanov ve arkadaşları (2000), Alscher ve arkadaşları (1997)].



Şekil 2.3. Ardışık gerçekleşen üç safhada kuraklık stresine cevap [Carvalho (2008)].

2.5. AOT'lere Karşı Geliştirilen Savunma Sistemleri

Aerobik canlılarda AOT'lerin neden olduğu hücresel hasarları önlemek için enzimatik ve enzimatik olmayan bileşenlerden oluşan bir antioksidant savunma sistemi gelişmiştir [Karpinski ve arkadaşları (2001)]. Stressiz koşullar altında antioksidant savunma sistemi bitkileri AOT'lere karşı koruyabilir [Grassman ve arkadaşları (2002)]. Fakat olumsuz çevre koşullarında artan AOT üretimi sonucu

ortaya çıkan oksidatif stres, metabolizmada bozukluklara ve dokularda hasara yol açar. [Foyer (1998), Boyer ve arkadaşları (1991)]. Alexieva ve arkadaşları (2003), kuraklık stresi altında antioksidant enzimlerin aktivitelerindeki artış derecelerinin, bitki türüne ve hatta aynı bitki türünün farklı çeşitlerine bağlı olarak farklılık gösterebileceğini rapor etmiştir. Bununla beraber uzun süren kuraklık stresinin antioksidant savunma sisteminin etkinliğini ortadan kaldırdığı ve oluşan oksidatif stres sonucunda bitkide gözle görülür zararların ortaya çıktığı da belirtilmiştir [Kalefetoğlu (2006)].

Kloroplastlarda ve sitoplazmada AOT'lerin detoksifikasyonunda rol oynayan antioksidant enzimler arasında süperoksit dismutaz, (SOD), askorbat peroksidaz (APOD), monodehidro askorbat redüktaz (MDHAR), dehidro askorbat redüktaz (DHAR), glutatyon redüktaz (GR), katalaz (KAT) ve peroksidaz (POD) grubundan olan enzimler sayılabilir [Mullineaux ve arkadaşları (1998), Noctor ve Foyer (1998) Asada (1999)]. Bunlardan SOD, süperoksit radikalini hidrojen peroksit ve moleküler oksijene parçalayan reaksiyonu katalizleyen bir enzimdir. Bu reaksiyon bitki hücrelerinde oksidatif strese karşı oluşturulan enzimatik savunma mekanizmasının ilk basamağı olarak kabul edilmektedir. Bu şekilde bitki hücrelerinin farklı kısımlarındaki süperoksit radikali konsantrasyonu kontrol altında tutulmaktadır. Erez (2006). SOD enziminin FeSOD, MnSOD ve Cu-ZnSOD olmak üzere üç farklı izoenzimi vardır. Bu izoenzimlerden FeSOD kloroplastlarda, MnSOD mitokondri ve peroksizomlarda, Cu-ZnSOD ise kloroplast ve sitoplazma bulunmaktadır [Alscher ve arkadaşları (2002)]. SOD'nin katalizlediği reaksiyon sonucunda oluşan H_2O_2 askorbat-glutatyon döngüsüne girerek su ve oksijene kadar parçalanır. Bu parçalanmayı sağlayan reaksiyon APOD tarafından katalizlenir. Bu döngüde yer alan enzimlerden MDHAR ve DHAR askorbatın, GR ise glutatyonun rejenerasyonunu sağlamaktadır. KAT enziminin, bitki hücrelerindeki H_2O_2 'nin parçalanmasında sınırlı derecede rol oynadığı belirlenmiştir. Foyer ve arkadaşları (1994), bu enzimin büyük kısmının peroksizomlarda bulunduğunu, H_2O_2 'ye olan ilgisinin düşük olduğunu ve ışık etkisiyle aktivitesini büyük ölçüde kaybettiğini bildirmiştir. Bundan dolayı bitki hücrelerindeki H_2O_2 detoksifikasyonundan sorumlu olan asıl enzimin APOD olduğuna inanılmaktadır [Foyer ve arkadaşları (1994)].

Antioksidant sistemin enzimatik olmayan bileşenleri ise, glutatyon, α -tokoferol (E vitamini), askorbik asit (C vitamini), β -karoten ve fenolik bileşiklerdir.

Glutatyon, yapısında glutamik asit, sistein ve glisin adlı aminoasitleri bulunduran bir tripeptiddir. AOT'lerle reaksiyona girerek hücreleri oksidatif hasardan korur. Proteinlerdeki sülfidril gruplarının indirgenmiş halde kalmasını sağlar ve böylece bu grupların oksidasyonuna engel olarak enzim ve proteinlerin inaktive olmalarını önler.

α -tokoferol (E vitamini), yağda çözünen bir vitamin olup tokoferoller olarak bilinen organik bileşik grubu içerisinde antioksidant özelliği en fazla olanıdır [Powers ve Hamilton (1999)]. α -tokoferolün antioksidant özelliği, hücrel membranları lipid peroksidasyonuna ve AOT'lere karşı korumasından gelmektedir. Ayrıca yapraklardan floeme şeker taşınması gibi olaylarda da görevleri bulunmaktadır [Szymanska ve Kruk (2008), Bosch ve Alegre (1998)]. Yapılan çalışmalar, bitkilerin kuraklığa karşı sergilediği tolerans derecesi ile yaprak dokularındaki α -tokoferol miktarı arasında bir ilişki olduğunu, kuraklık stresi sırasında kloroplastlarda α -tokoferol miktarının arttığını göstermiştir [Neely ve arkadaşları (1988)].

Askorbik asit (C vitamini) bitkilerde hücre bölünmesi, büyümenin düzenlenmesi ve senesens gibi fizyolojik olaylardaki hücrel sinyal mekanizmalarında rol oynayan ve antioksidant olarak görev yapan önemli bir bileşiktir [Smirnoff (1996), Pavet ve arkadaşları (2005)]. Ayrıca askorbik asit birçok enzim için bir kofaktördür [Hemavathi, ve arkadaşları (2009)]. Süperoksit ve hidroksil radikalleri ile ve singlet oksijenle kolaylıkla reaksiyona girerek bu bileşiklerin indirgenmelerini sağlar ve peroksidasyonu engelleyerek membran lipidlerini oksidatif zararlardan korur [Akkuş (1995), Powers ve Hamilton (1999)]. Askorbik asit aynı zamanda fotosentez olayında da önemli bir role sahiptir. Fotosistem I'de (FSI) oksijenin indirgenmesiyle oluşan H_2O_2 'nin parçalanmasını sağlayarak bir antioksidant olarak görev yaptığı gibi, doğrudan doğruya bir elektron alıcısı ve ksantofil döngüsündeki violaksantin de-epoksidaz enzimi için bir kofaktör olarak rol oynar. Ksantofil döngüsü, kuraklık stresi de dahil olmak üzere birçok stres faktörünün fotosentetik reaksiyonlarda neden olduğu olumsuz etkilerden kaynaklanan fazla enerjinin dağıtılmasını ve hücrel yapıların korunmasını sağlayan bir mekanizmadır [Smirnoff (1996)].

Karotenoidler bütün gelişmiş bitkilerde, alglerin geniş bir kısmında, bazı mantar ve bakteri türlerinde bulunan pigment molekülleridir. Karotenoidlerin AOT'lere karşı koruma sağlamalarının yanı sıra, fotosentez olayında aksesuar pigment olmaları ve membran lipidlerinin stabilizasyonunu sağlamaları gibi önemli fonksiyonlara sahip oldukları belirlenmiştir [Simkin, ve arkadaşları (2008)]. Karotenoidler özellikle güçlü bir singlet oksijen temizleyicisi olup, lipid peroksidasyon reaksiyonlarını da önleme kabiliyetindedir [Polyakov (2001)].

Fenolik bileşikler ise bitkilerdeki sekonder metabolitlerin bir grubunu oluşturan aromatik bileşikler olup, bir veya daha fazla hidroksil (OH) grubu taşıyan organik moleküllerdir. Bitkisel dokularda fenolik bileşiklerin sentez hızı kuraklık gibi stres koşulları altında artmakta [Dixon ve Paiva (1995), Grace (2005)] ve serbest radikallere karşı bitkilerin korunmasında antioksidant olarak görev yapmaktadırlar [Grace ve Logan (2000)]. Fenolik bileşikler hidroksil grubu içerdiklerinden, AOT'leri yok etme yeteneğine sahiptirler. Ayrıca bu bileşikler, hidroksil gruplarındaki hidrojen atomlarını AOT'lere vererek kararlı fenoksil radikallerini oluştururlar ve böylece antioksidant aktivitenin sağlanmasında önemli rol oynarlar [Diri (2006)].

BÖLÜM 3. MATERYAL VE METOD

3. 1. Bitki Materyali

Araştırmada kullanılan mısır (*Zea mays* L.) tohumları Sakarya Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü'nden temin edilmiştir. Çalışmada TTM 815 çeşidi ile bu çeşidin geliştirilmesine yönelik ıslah çalışmalarında ebeveyn olarak kullanılan FR 13 ve FRB 73 hatları kullanılmıştır.

3.2. Yöntemler

3.2.1. Tohum kabuk sterilizasyonu

Eşit büyüklükte ve sağlam olan tohumlar seçilerek kabuk sterilizasyonunu sağlamak amacıyla % 5'lik sodyum hipoklorit (NaOCl) çözeltisinde 30 dakika bekletilmiş ve üç kez distile su ile yıkanmıştır. Daha sonra tohumlar, imbibisyon işlemi için 16 saat distile suda bekletilmiştir.

3.2.2. Ekim yöntemi

İmbibisyon işleminden sonra tohumlar, eşit miktarda (80 gr) perlit içeren 17 x 14 cm (üst çap x yükseklik) ebatlarındaki plastik saksılara ekilmiştir. Çalışmada yetiştirme ortamı olarak tarımsal perlit kullanılmıştır. Saksıların dibine perlit konulmadan önce yetiştirme ortamının akması amacıyla filtre kağıdı yerleştirilmiştir. Bitkiler sera ortamında, 4 yapraklı evreye ulaşmaya kadar 21 gün boyunca büyütülmüştür (Şekil 3.1). Bu süre boyunca bitkiler ½ oranında sulandırılmış Hoagland besin çözeltisi ile sulanmıştır (Hoagland besin çözeltisinin içeriği tablo 3. 1 'de verilmiştir). 21 günlük olan bitkiler kontrol (0. gün) ve stres (2. gün, 5. gün ve 8. gün) grupları olarak ayrılmıştır. Kontrol grubunda bulunan bitkiler denemenin

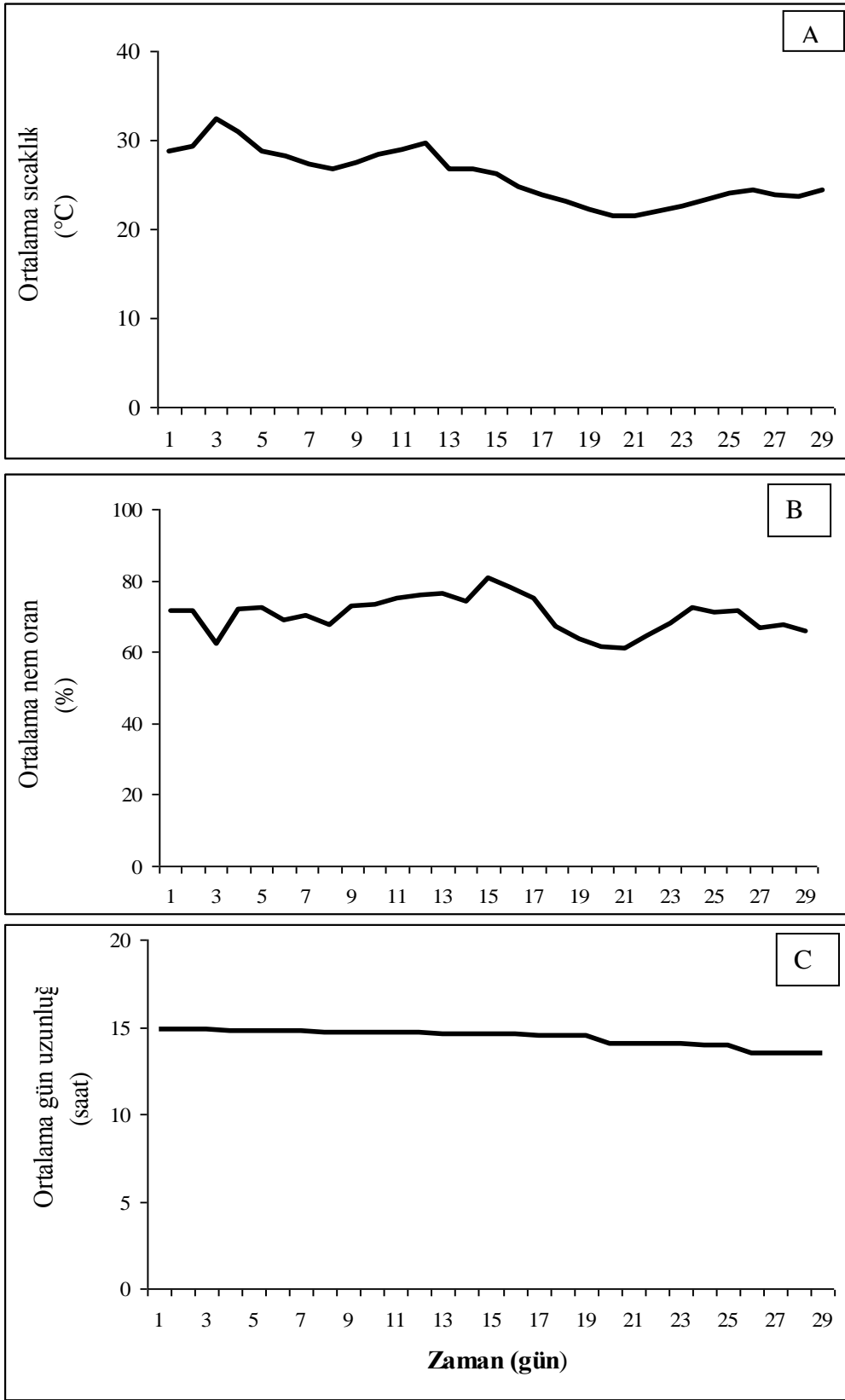


Şekil 3.1. Yetiştirilen 21 günlük mısır çeşit ve hatlarının seradaki genel görüntüleri

sonuna kadar tarla kapasitesine uygun olarak sulanırken, stres grubundaki bitkilere sulama yapılmayarak 2, 5, ve 8 gün boyunca kuraklık stresi uygulanmıştır. Kuraklık stresinin uygulanmaya başlandığı gün kontrol grubundaki bitkilerin hasadı yapılmıştır. Stres grubunda bulunan bitkilerin hasadı ise kuraklık uygulamasının başlatıldığı günü izleyen 2., 5. ve 8. günlerde yapılmıştır. Denemenin sürdürüldüğü 23.07.-20.08. 2009 tarihleri arasındaki 29 gün boyunca bazı iklimsel verilerde gözlenen değişimler şekil 3. 2A, B ve C'de görülmektedir. Her iki grupta bulunan bitkilerin yaprak dokularında bazı fizyolojik ve biyokimyasal analizler yapılarak, kuraklık stresinin bazı metabolik olaylarda neden olduğu değişimler incelenmiştir.

Tablo 3.1. Hoagland besin çözeltisi [Hogland (1920)]

	Stok Çözeltiler	½ Hoagland Besin Çözeltisi
Ca(NO ₃) ₂ . 4H ₂ O	118.1 g/ 1000 ml	50 ml / 20 lt
MgSO ₄ . 7 H ₂ O	26.6 g/1000ml	
K ₂ HPO ₄ . 3 H ₂ O	16.4 g/1000 ml	
KNO ₃	50.4 g/1000ml	
Al ₂ (SO ₄) ₃ . 18 H ₂ O	0,105 g/ 25 ml	37,5 ml/ 20 lt
KI	0,0139 g/ 25 ml	
KBR	0,0139 g/ 25 ml	
SnCl ₂ . 2 H ₂ O	0,0139 g/ 25 ml	
LiCl	0,0139 g/ 25 ml	
MnCl ₂ . 4 H ₂ O	0,1944 g/ 25 ml	
H ₃ BO ₃	0,3055 g/ 25 ml	
ZnSO ₄ .7 H ₂ O	0,0494 g/ 25 ml	
CuSO ₄ . 5 H ₂ O	0,0277 g/ 25 ml	
NiSO ₄ . 7 H ₂ O	0,0297 g/ 25 ml	
Co(NO ₃) ₂ . H ₂ O	0,0277 g/ 25 ml	10 ml/20lt
FeSO ₄ . 7 H ₂ O	0,0834g/ 100 ml	
C ₄ H ₆ O ₆	0,0450 g/ 100 ml	



Şekil 3.2. Denemenin gerçekleştirildiği 29 gün boyunca bitkilerin yetiştirildiği ortamdaki (A) ortalama sıcaklık, (B) ortalama nem oranı ve (C) ortalama gün uzunluğunda meydana gelen değişimler

3.3. Ölçüm ve Analizler

3.3.1. Kök boyu, gövde boyu ve toplam bitki boyunun belirlenmesi

Kontrol ve stres gruplarındaki mısır çeşit ve hatlarına ait bitkilerin, hasat işlemleri sırasında kök boyu, gövde boyu ve toplam boyları, milimetrik cetvel yardımıyla 5 tekrarlı olarak ölçülmüş ve cm bitki^{-1} olarak ifade edilmiştir.

3.3.2. Bitkilerin toplam taze ve kuru ağırlıklarının belirlenmesi

Kontrol ve stres grubuna ait bitkilerin hasat işlemleri sırasında toplam taze ağırlıkları (gr bitki^{-1}) 3 tekrarlı olarak tartılmıştır. Daha sonra bitkiler 80°C 'ye ayarlanmış etüvde 48 saat bekletilmiş ve tekrar tartılarak kuru ağırlıkları (gr bitki^{-1}) kaydedilmiştir. Bitkilerin toplam gerçek su içerikleri (GSİ), $\text{GSİ} (\%) = [(TA-KA) / TA] \times 100$ formülü ile hesaplanmıştır. Gibon ve arkadaşları (1997). Bu formülde TA bitkinin taze ağırlığını, KA ise kuru ağırlığını göstermektedir.

3.3.3. Yaprak dokularındaki fotosentetik pigment miktarının belirlenmesi

Yaprak dokularındaki klorofil a, klorofil b ve toplam klorofil (klo a+b) miktarları Lichtenthaler (1987)'ye göre belirlenmiştir. Buna göre hasat sırasında taze yaprak dokularından çıkarılan yaprak diskleri ($R=0,5 \text{ cm}$) içerisinde içinde 5 ml saf aseton bulunan cam tüplere konulmuştur. Bir hafta süresince buz dolabında ($+4^{\circ}\text{C}$) bekletilen örnekler, 5000 rpm'de 15 dakika santrifüj edildikten sonra süpernatantların 661.1, 644.8 ve 470 nm dalga boylarındaki absorbans değerleri spektrofotometrik (SHIMADZU, UV mini 1240 UV-VIS Spectrophotometers) olarak belirlenmiştir. Yaprak dokularındaki fotosentetik pigment miktarları aşağıdaki eşitlikler yardımıyla hesaplanmıştır.

$$\text{Klorofil a (Klo a)} = (11.24 \times A_{661.6}) - (2.04 \times A_{644.8}) \quad (3.1)$$

$$\text{Klorofil b (Klo b)} = (20.13 \times A_{644.8}) - (4.19 \times A_{661.6}) \quad (3.2)$$

$$\text{Toplam Klorofil (Klo a+b)} = (7.05 \times A_{661.6}) + (18.09 \times A_{644.8}) \quad (3.3)$$

3.3.4. Yaprak dokularındaki iyon sızıntısının belirlenmesi

Yaprak dokularındaki iyon sızıntısı Sairam ve arkadaşları (1997)'ye göre belirlenmiştir. Taze yaprak dokularından çıkarılan diskler (R=0,5 cm) 5 ml distile su içeren kapaklı cam tüplere konulmuştur. Tüpler 24 saat boyunca çalkalandıktan sonra yaprak diskleri tüplerden çıkarılarak dokuların tamamen ölmesi için 20 dakika boyunca sıvı azotta bekletilmiştir. Tüplerdeki çözeltilerin elektriksel iletkenliği konduktivitimetre (Mettler-Toledo Mpc 227 Model) yardımıyla ölçülmüştür (C_1). 20 dakikalık sürenin sonunda yaprak diskleri sıvı azottan alınarak aynı tüplere konulmuş ve 24 saat daha çalkalanmıştır. Bu sürenin sonunda yaprak diskleri atılmış ve çözeltilerin elektriksel iletkenlikleri tekrar ölçülmüştür (C_2). Daha sonra aşağıdaki formül yardımıyla membranlarda meydana gelen iyon sızıntısı miktarı hesaplanmıştır.

$$\text{İyon sızıntısı (\%)} = (C_1 \times C_2) / 100 \quad (3.4)$$

3.3. 5. Yaprak dokularındaki malondialdehit (MDA) miktarının belirlenmesi

Yaprak dokularında meydana gelen membran hasarını ölçmek için lipid peroksidasyonunun son ürünü olan MDA miktarı tiyobarbütirik asit testi ile belirlenmiştir [Ohkawa ve arkadaşları (1979)]. MDA analizi için kontrol ve stres grubuna ait bitkilerin yaprak dokularından alınan 0,1 gr'lık doku örnekleri sıvı azotta öğütüldükten sonra üzerlerine 2 ml % 5'lik trikloroasetik asit (TCA) eklenerek homojenizasyon sağlanmıştır. Bu karışım 25 °C'de 12000 rpm'de 20 dakika santrifüj edilmiştir. 0,4 µl süpernatant ve içinde % 0,5 oranında tiyobarbütirik asit (TBA) bulunan 0,4 µl % 20'lik TCA çözeltisi içeren reaksiyon karışımı, 95 °C'lik sıcak su banyosunda tutulduktan sonra çıkarılmış ve reaksiyonu durdurmak amacıyla buz banyosuna konulmuştur. Daha sonra tüpler 1000 rpm'de 10 dk santrifüj edilerek karışımların absorbans değerleri spektrofotometre yardımıyla (SHIMADZU UV mini 1240 UV-VIS Spectrophotometer) 532 ve 600 nm dalga boylarında ölçülmüştür. Kõr olarak içerisinde % 0,5 oranında TBA bulunan % 20'lik TCA çözeltisi kullanılmıştır. Yaprak dokularındaki MDA miktarı aşağıdaki formüle göre nmol g⁻¹ taze ağırlık olarak hesaplanmıştır:

$$\text{MDA içeriği} = [(A_{532} - A_{600}) \times \text{Ekstraksiyon hacmi}] / [155 \times \text{Örnek Miktarı}] \quad (3.5)$$

3.3.6. Yaprak dokularındaki toplam fenolik madde miktarının belirlenmesi

Yaprak dokularındaki toplam fenolik madde miktarı Chandler and Dodds (1983) tarafından geliştirilen metodun modifiye edilmesiyle belirlenmiştir. Buna göre taze yaprak örneklerinden alınan 0,2 gr'lık dokular sıvı azotta öğütülmüştür. Öğütülmüş yaprak dokuları cam tüplere alınarak üzerlerine % 80'lik 5 ml metil alkol eklenmiş ve 48 saat buzdolabında bekletilmiştir. Bu sürenin sonunda homojenatlar 4000 rpm' de 20 dk santrifüj edilmiştir. 1000 µl süpernatant üzerine sırasıyla 5 ml distile su, 400 µL % 50'lik Folin Ciocalteu's Reagent (FCR) ve 1000 µl % 5'lik sodyum karbonat (Na₂CO₃) eklenerek hazırlanan reaksiyon karışımı, oda sıcaklığında bir saat bekletildikten sonra vortekslenerek, karışımların absorbans değerleri, 725 nm dalga boyunda spektrofotometrik (SHIMADZU UV mini 1240 UV-VIS Spectrophotometer) olarak belirlenmiştir. Yaprak dokularındaki toplam fenolik madde miktarları, gallik asitle hazırlanan standart grafik yardımıyla hesaplanmıştır.

3.3.7. Yaprak dokularındaki toplam çözüner karbohidrat miktarının belirlenmesi

Yaprak dokularındaki toplam çözüner karbohidrat miktarı fenol-sülfirik metoduna göre belirlenmiştir [Dubois (1956)]. 85 °C'lik etüvde 48 saat kurutulduktan sonra toz haline getirilen yapraklardan alınan 0,05 gr'lık örneklerin üzerine % 70'lik etil alkol eklenerek 60 dakika boyunca 80 °C'ye ayarlanmış sıcak su banyosunda tutulmuştur. Bu sürenin sonunda tüpler 3500 rpm'de 20 dakika santrifüj edilmiştir. Daha sonra deney tüplerine 1000 µl süpernatant, 300 µl % 5'lik fenol ve 2000 µl derişik sülfirik asit (H₂SO₄) eklenerek vortekslenmiştir. Daha sonra karışımların absorbans değerleri, heksoz şekerler için 488 nm, pentoz şekerler için 480 nm dalga boyunda spektrofotometrik (SHIMADZU, UV mini 1240 UV-VIS Spectrophotometers) olarak belirlenmiştir. Yaprak dokularındaki toplam çözüner karbohidrat miktarı,

heksoz şekerler için sakkaroz, pentoz şekerler için fruktoz ile hazırlanan standart grafikler yardımıyla hesaplanmıştır

3.3.8. Yaprak dokularındaki toplam çözüner protein miktarının belirlenmesi

Yaprak dokularındaki toplam çözüner protein miktarı Bradford metoduna göre belirlenmiştir [Bradford (1976)]. Bu amaçla alınan taze yaprak örnekleri sıvı azotta öğütülmüştür. Daha sonra tüplere alınan öğütülmüş yaprak örneklerinin üzerine 1,5 ml K-PO₄ tamponu (pH 7) eklenerek 14000 rpm'de +4 °C'de 20 dakika santrifüj edilmiştir. Elde edilen süpernatanttan 20 µl alınarak üzerine sırasıyla 480 µl distile su ve 5000 µl Bradford çözeltisi ilave edilmiştir. Bu şekilde hazırlanan reaksiyon karışımları vorteksle karıştırılarak, karışımların absorbans değerleri 595 nm dalga boyunda spektrofotometrik (SHIMADZU, UV mini 1240 UV-VIS Spectrophotometers) olarak belirlenmiştir. Yaprak dokularındaki toplam çözüner protein miktarı bovine serum albumin (BSA) ile hazırlanan standart grafik yardımıyla hesaplanmıştır.

3.4. İstatistiksel Analizler

Kontrol ve stres grubuna ait bitkilerin kök, gövde ve toplam boy uzunları milimetrik cetvel yardımıyla ölçülürken buradan 5 tekrarlı; diğer tüm analizlerden 3 tekrarlı olarak elde edilen verilere SPSS 15 paket programı kullanılarak, istatistiki varyans analizi (ANOVA) uygulanmıştır. Her bir bağımsız değişken için uygulama ve çeşitler arasındaki farkın önem kontrolü (Anlamlı Önemli Fark; AÖF) % 5 düzeyinde hesaplanmıştır.

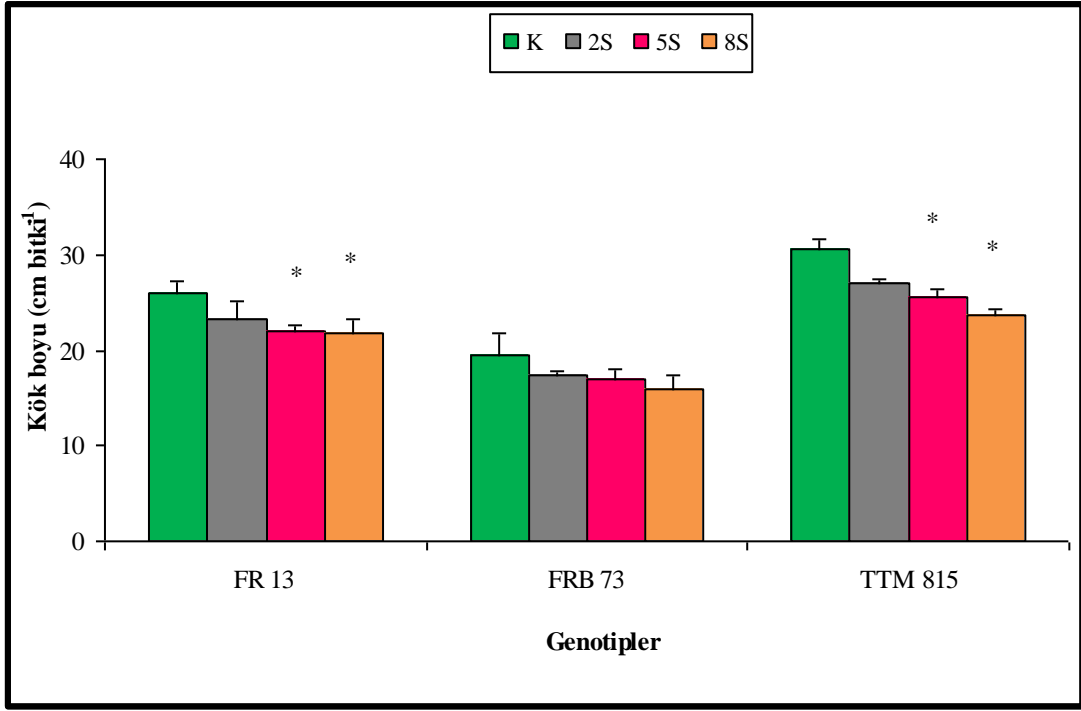
BÖLÜM 4. BULGULAR

4.1. Kuraklık Stresinin Mısır Çeşit ve Hatlarının Kök Boyu Üzerine Etkisi

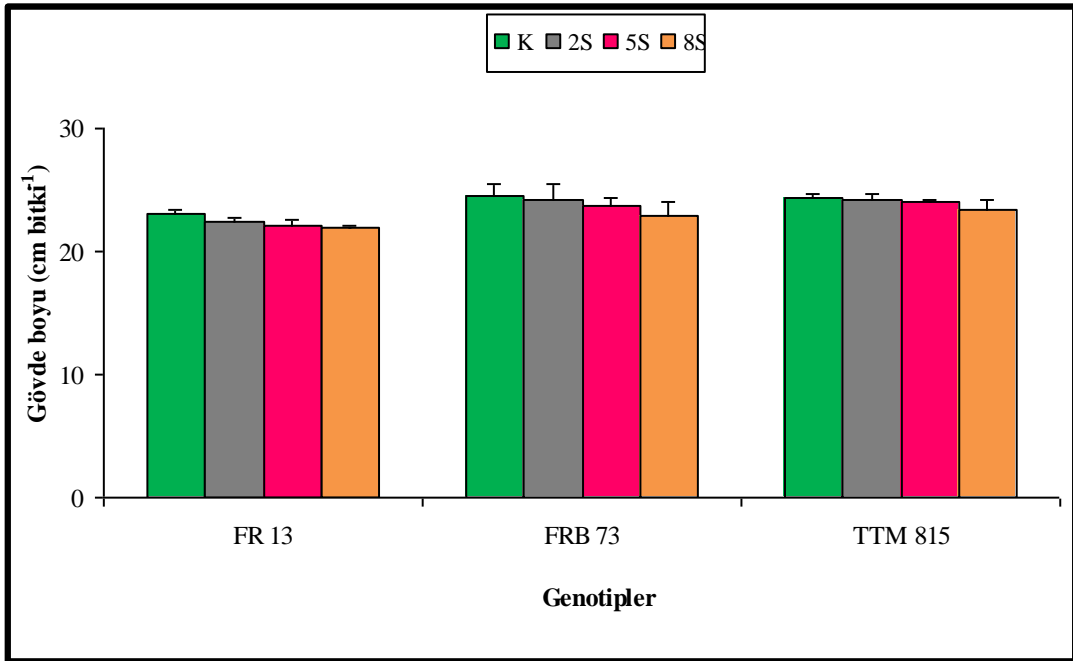
Dört yapraklı evreye ulaşıttan sonra 2, 5 ve 8 gün boyunca kuraklık stresine maruz bırakılan farklı mısır çeşit ve hatlarında, kuraklığın kök büyümesi üzerindeki etkileri şekil 4.1'de görülmektedir. Buna göre her üç mısır genotipinde de kuraklık şiddetindeki artışa bağlı olarak kök büyümesinin azaldığı gözlemlenmiştir. Ancak FRB 73 genotipinde kuraklık şiddetindeki artışa bağlı olarak kök büyüme hızında görülen azalma kontrol grubuyla karşılaştırıldığında istatistiksel açıdan önemli bulunmamıştır ($P>0.05$). Benzer şekilde FR 13 ve TTM 815 genotiplerinde, 2 günlük kuraklık uygulamasının, kök büyümesi üzerindeki inhibisyon etkisinin, kontrollere önemli olmadığı belirlenmiştir ($P>0.05$). Bununla birlikte 5 ve 8 günlük kuraklık uygulamaları FR 13'ün kök büyümesi üzerinde kontrole göre sırasıyla yaklaşık % 15 ve % 16 oranında azalmaya yol açmıştır. TTM 815 genotipinde ise 5 ve 8 günlük kuraklık stresi için bu azalmaların sırasıyla % 16 ve % 22 olduğu belirlenmiştir. Her iki genotipin kök boylarında kendi kontrollerine göre gözlenen bu azalmaların istatistiksel olarak önemli olduğu bulunmuştur ($P<0.05$).

4.2. Kuraklık Stresinin Mısır Çeşit ve Hatlarının Gövde Boyu Üzerine Etkisi

2, 5 ve 8 günlük kuraklık uygulamalarının her üç genotipin gövde boyunda azalmaya neden olduğu (Şekil 4.2), ancak bu azalmaların kendi kontrollerine göre istatistiksel anlamda önemli olmadığı görülmüştür ($P>0.05$).



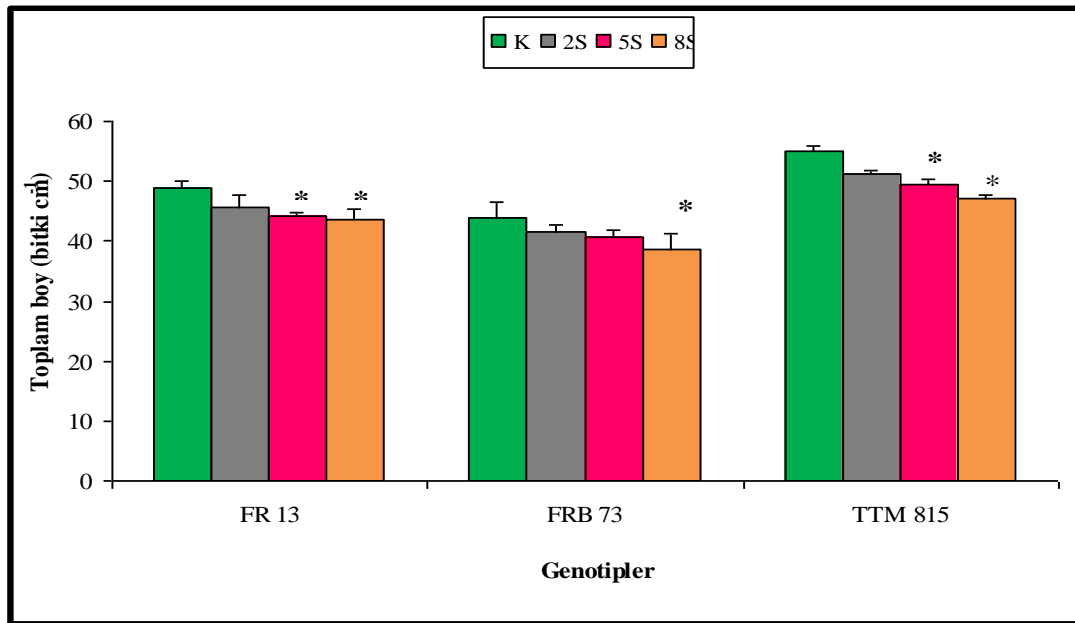
Şekil 4.1. Kuraklık stresinin kök boyu üzerine etkisi (K: kontrol, 2S: 2 günlük kuraklık uygulaması, 5S: 5 günlük kuraklık uygulaması, 8S: 8 günlük kuraklık uygulaması, * : Kuraklık stresi uygulaması ile kontrol değerleri arasındaki farkın $P < 0.05$ seviyesinde önemli olduğunu ifade etmektedir)



Şekil 4.2. Kuraklık stresinin gövde boyu üzerine etkisi (K: kontrol, 2S: 2 günlük kuraklık uygulaması, 5S: 5 günlük kuraklık uygulaması, 8S: 8 günlük kuraklık uygulaması,)

4.3. Kuraklık Stresinin Mısır Çeşit ve Hatlarının Toplam Bitki Boyu Üzerine Etkisi

Genel olarak bakıldığında 2, 5 ve 8 günlük kuraklık stresinin, her üç mısır genotipinde de, toplam bitki boylarında belirli oranlarda azalmalara yol açtığı görülmektedir (Şekil 4.3). Ancak FR 13 ve TTM 815’de 2 günlük kuraklık uygulamasının toplam bitki boyunda neden olduğu azalma önemli bulunmamıştır ($P>0.05$). Bu iki genotipte kuraklık stresinin bitki boyu üzerindeki olumsuz etkisinin 5. ve 8. günlerde belirgin olarak ortaya çıktığı belirlenmiştir ($P<0.05$). FR 13’de kuraklığın 5. gününde toplam bitki boyunda gözlenen azalma kontrole göre % 10 iken, 8. gününde % 11 olarak belirlenmiştir. TTM 815’de ise 5 ve 8 günlük kuraklık uygulamaları için bu değerler sırasıyla % 10 ve % 14 olarak belirlenmiştir. FRB 73 genotipinde ise kuraklığın 5. gününe kadar toplam bitki boyunda meydana gelen azalma istatistiksel olarak önemli bulunmazken ($P>0.05$), kuraklığın 8. gününde toplam bitki boyunda kontrole göre % 12 oranında ve önemli bir azalma belirlenmiştir ($P<0.05$).



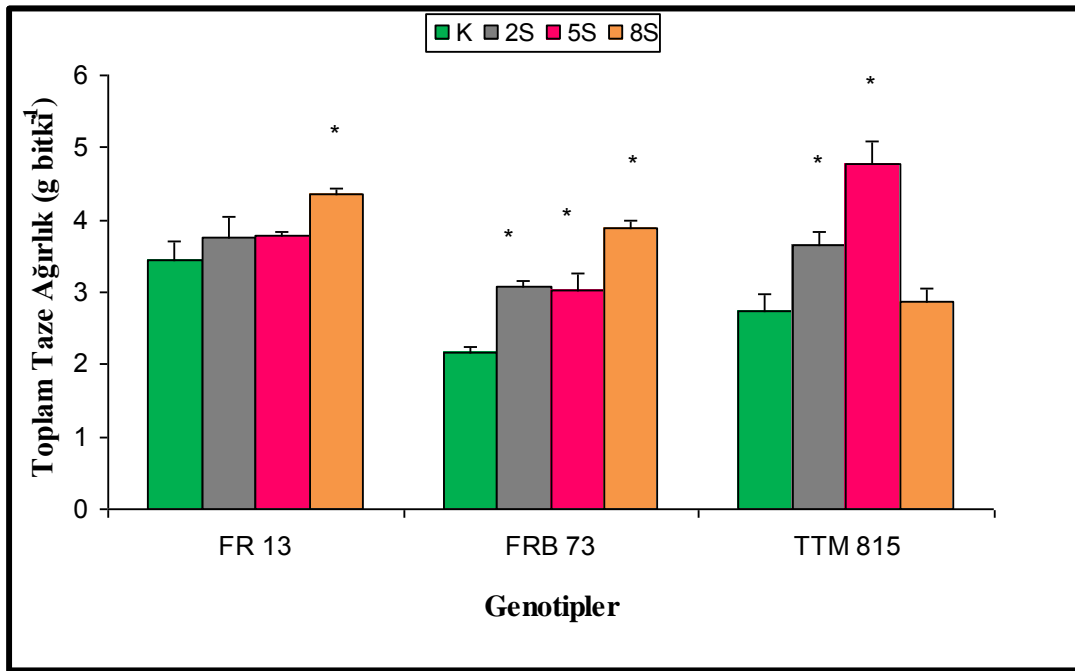
Şekil 4.3. Kuraklık stresinin toplam bitki boyu üzerine etkisi (K: kontrol, 2S: 2 günlük kuraklık uygulaması, 5S: 5 günlük kuraklık uygulaması, 8S: 8 günlük kuraklık uygulaması, * : Kuraklık stresi uygulaması ile kontrol değerleri arasındaki farkın $P<0.05$ seviyesinde önemli olduğunu ifade etmektedir)

4.4. Kuraklık Stresinin Mısır Çeşit ve Hatlarının Toplam Taze Ağırlığı Üzerine Etkisi

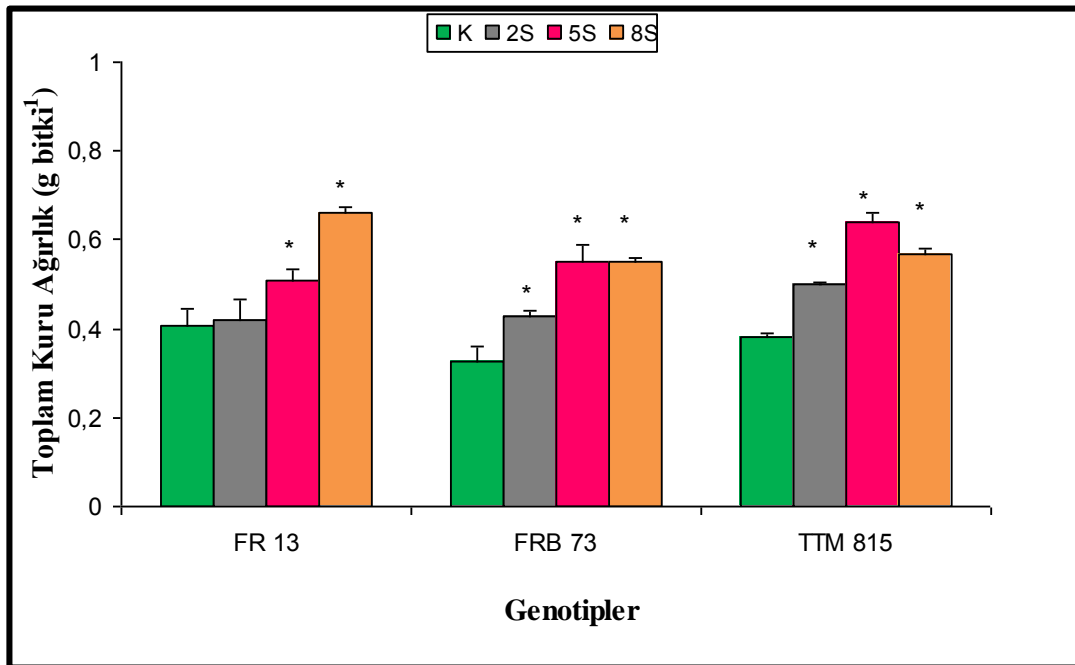
2, 5 ve 8 günlük kuraklık uygulamalarının mısır çeşit ve hatlarının toplam taze ağırlığı üzerindeki etkileri şekil 4.4'de gösterilmiştir. FR 13 genotipinde toplam taze ağırlığın kuraklık uygulamasının 8. gününe kadar kontrole göre artış gösterdiği ve sadece kuraklığın 8. gününde gözlenen % 26'lık taze ağırlık artışının istatistiksel olarak önemli olduğu belirlenmiştir ($P<0.05$). FRB 73 genotipinde 2, 5 ve 8 gün boyunca kuraklık stresi uygulanmış bitkilerin toplam taze ağırlıklarının, kontrole göre önemli derecede arttığı bulunmuştur ($P<0.05$). Bu genotipte toplam taze ağırlık değerlerinin kontrole göre; 2 günlük kuraklık uygulaması sonucu % 41, 5 günlük kuraklık uygulaması sonucu % 39 ve 8 günlük kuraklık uygulaması sonucu % 79 oranında arttığı gözlenmiştir. TTM 815 genotipinin taze ağırlık değerlerinde ise, kontrole göre karşılaştırıldığında sırasıyla 2, 5 ve 8 günlük kuraklık uygulamaları sonunda % 33, % 75, ve % 5 oranında artışlar meydana geldiği belirlenmiş ve bunlardan sadece 2 ve 5 günlük kuraklık uygulamalarından elde edilen taze ağırlık değerlerinin kontrole göre istatistiksel açıdan önemli olduğu görülmüştür ($P<0.05$).

4.5. Kuraklık Stresinin Mısır Çeşit ve Hatlarının Toplam Kuru Ağırlığı Üzerine Etkisi

2, 5 ve 8 gün süreyle uygulanan kuraklık stresinin mısır genotiplerinin toplam kuru ağırlıkları üzerine olan etkisi incelendiğinde (Şekil 4.5); FR 13 ve FRB 73 genotiplerinde toplam kuru ağırlık değerlerinin kuraklık uygulaması boyunca sürekli arttığı gözlenmiştir. FR 13'de kuraklık uygulamasının sadece 5. ve 8. günlerinde; FRB 73'de ise uygulamanın tüm dönemlerinde elde edilen toplam kuru ağırlık değerlerinin kontrol değerlerine göre önemli derecede yüksek olduğu belirlenmiştir ($P<0.05$). Bu genotiplerde toplam kuru ağırlığın, kuraklığın 8. gününde kendi kontrollerine göre sırasıyla % 62 ve % 69 oranında arttığı saptanmıştır. TTM 815'de ise toplam kuru ağırlık, kuraklık uygulamasının 5. gününe kadar artmış ancak



Şekil 4.4. Kuraklık stresinin toplam taze ağırlık üzerine etkisi (K: kontrol, 2S: 2 günlük kuraklık uygulaması, 5S: 5 günlük kuraklık uygulaması, 8S: 8 günlük kuraklık uygulaması, * : Kuraklık stresi uygulaması ile kontrol değerleri arasındaki farkın $P < 0.05$ seviyesinde önemli olduğunu ifade etmektedir)

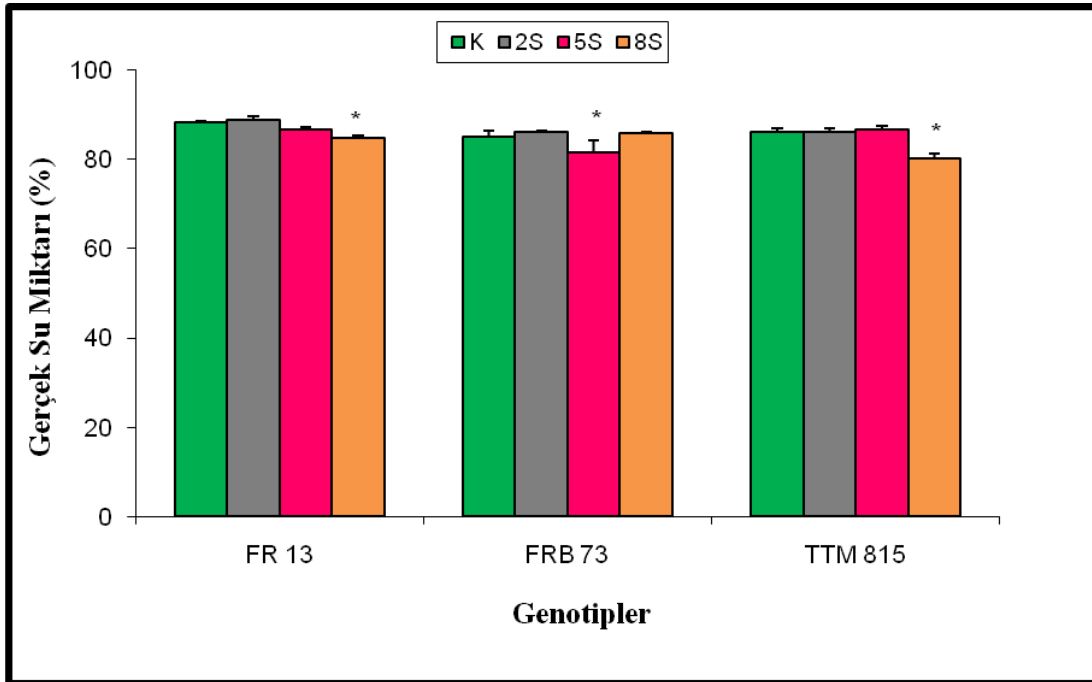


Şekil 4.5. Kuraklık stresinin toplam kuru ağırlık üzerine etkisi (K: kontrol, 2S: 2 günlük kuraklık uygulaması, 5S: 5 günlük kuraklık uygulaması, 8S: 8 günlük kuraklık uygulaması, * : Kuraklık stresi uygulaması ile kontrol değerleri arasındaki farkın $P < 0.05$ seviyesinde önemli olduğunu ifade etmektedir)

8. günde azalmıştır. Bu genotipte toplam kuru ağırlık değerlerinin, kuraklığın 2. gününde kontrole göre % 32, 5. gününde % 68 ve 8. gününde % 49 oranında ve istatistiksel anlamda önemli derecede yüksek olduğu belirlenmiştir ($P<0.05$).

4.6. Kuraklık Stresinin Mısır Çeşit ve Hatlarının Toplam Gerçek Su miktarı (%) Üzerine Etkisi

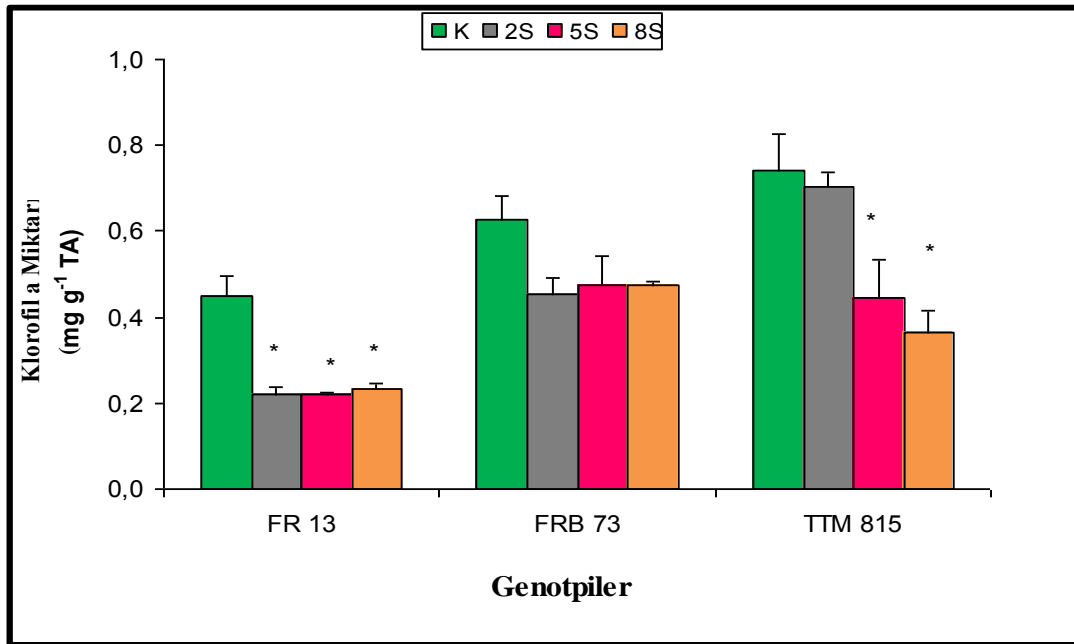
2, 5 ve 8 günlük kuraklık uygulamalarının mısır çeşit ve hatlarının gerçek su miktarları üzerindeki etkileri şekil 4.6'da görülmektedir. Buna göre 8 günlük kuraklık uygulamasının, FR 13 ve TTM 815 genotiplerinin gerçek su miktarlarında, kendi kontrollerine göre sırasıyla % 4 ve % 7 oranında önemli azalmalara neden olduğu saptanmıştır ($P<0.05$). FRB 73'de ise 5 günlük kuraklık uygulamasının gerçek su miktarında kontrole göre önemli derecede ve % 4 oranında azalmaya yol açtığı görülmüştür ($P<0.05$).



Şekil 4.6. Kuraklık stresinin gerçek su miktarı üzerine etkisi (K: kontrol, 2S: 2 günlük kuraklık uygulaması, 5S: 5 günlük kuraklık uygulaması, 8S: 8 günlük kuraklık uygulaması, * : Kuraklık stresi uygulaması ile kontrol değerleri arasındaki farkın $P<0.05$ seviyesinde önemli olduğunu ifade etmektedir)

4.7. Kuraklık Stresinin Mısır Çeşit ve Hatlarının Yapraklarındaki Klorofil a Miktarı Üzerine Etkisi

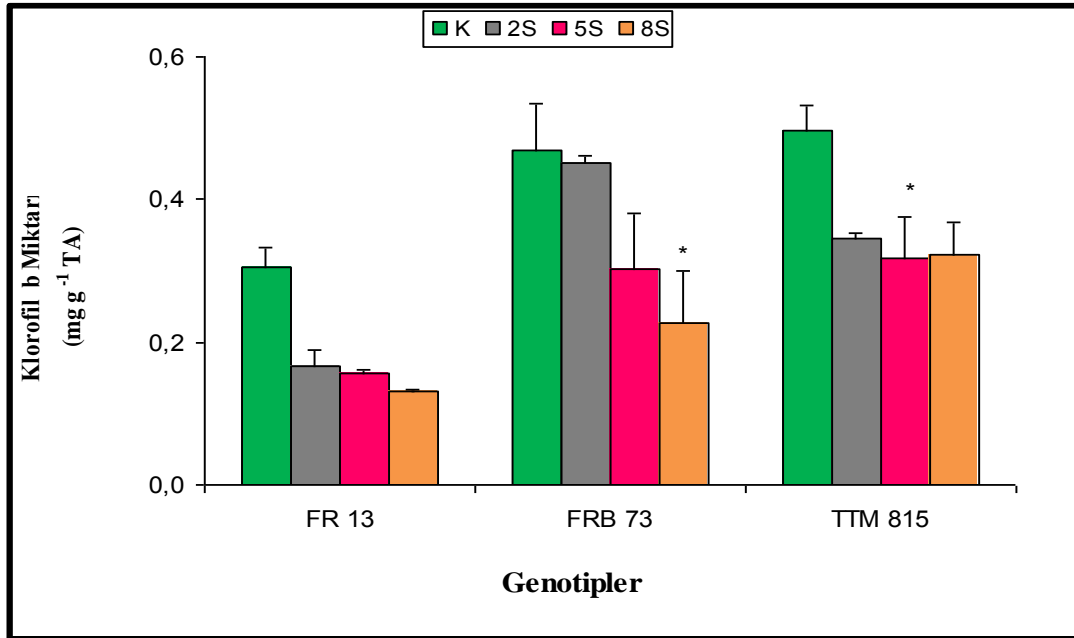
2, 5 ve 8 günlük kuraklık stresinin mısır çeşit ve hatlarının yapraklarındaki klorofil a miktarı üzerine olan etkisi incelendiğinde (Şekil 4.7), FR 13 genotipinin yapraklarındaki klorofil a miktarının kuraklık uygulamalarının tüm dönemlerinde kontrole göre önemli derecede azaldığı tespit edilmiştir ($P<0.05$). Klorofil a miktarındaki azalma oranları kuraklık uygulamalarının 2. ve 5. günlerinde % 51, 8. gününde ise % 48 olarak belirlenmiştir. FRB 73 genotipinin yapraklarındaki klorofil a miktarının, kuraklık uygulamalarının tüm dönemlerinde kontrole göre azaldığı ancak bu azalmaların istatistiksel olarak önemli olmadığı belirlenmiştir ($P>0.05$). TTM 815 genotipinde ise yapraklardaki klorofil a miktarı kuraklık uygulamasının 8. gününe kadar sürekli azalma göstermesine rağmen, kuraklık uygulamasının sadece 5. ve 8. gününde kontrol değerlerine göre önemli derecede ve sırasıyla % 40 ve % 51 oranında azaldığı saptanmıştır ($P<0.05$).



Şekil 4.7. Kuraklık stresinin klorofil a miktarı üzerine etkisi (K: kontrol, 2S: 2 günlük kuraklık uygulaması, 5S: 5 günlük kuraklık uygulaması, 8S: 8 günlük kuraklık uygulaması, * : Kuraklık stresi uygulaması ile kontrol değerleri arasındaki farkın $P<0.05$ seviyesinde önemli olduğunu ifade etmektedir)

4.8. Kuraklık Stresinin Mısır Çeşit ve Hatlarının Yapraklarındaki Klorofil b Miktarı Üzerine Etkisi

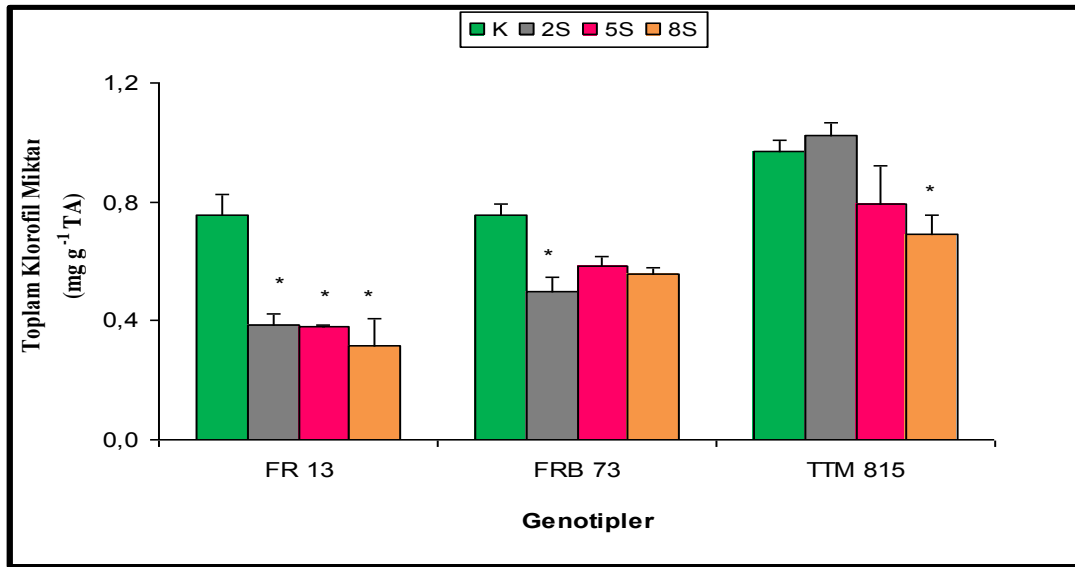
Mısır çeşit ve hatlarının yapraklarındaki klorofil b miktarının 2, 5 ve 8 günlük kuraklık uygulamaları sonunda gösterdiği değişim şekil 4.8’de görülmektedir. FR 13 genotipinde 2, 5 ve 8 günlük kuraklık uygulamalarının, yapraklardaki klorofil b miktarının kontrole göre azalmasına yol açtığı ancak bu azalmaların istatistiksel anlamda önemli olmadığı belirlenmiştir ($P>0.05$). FRB 73’de ise kuraklık uygulamalarının yapraklardaki klorofil b miktarının, kuraklığın 8. gününe kadar dereceli olarak azalmasına neden olduğu saptanmıştır. Ancak sadece 8 günlük kuraklık uygulamasının yapraklardaki klorofil b miktarında önemli derecede ve % 51 oranında azalmaya yol açtığı belirlenmiştir ($P<0.05$). TTM 815’de ise uygulanan kuraklık stresinin, tüm hasat dönemlerinde, yaprakların klorofil b miktarında kontrol değerlerine göre azalmalara neden olduğu gözlenmiştir. Bu genotipte 5 günlük kuraklık uygulamasının yaprakların klorofil b miktarını % 35 oranında ve istatistiksel olarak önemli derecede azalttığı saptanmıştır ($P<0.05$).



Şekil 4.8. Kuraklık stresinin klorofil b miktarı üzerine etkisi (K: kontrol, 2S: 2 günlük kuraklık uygulaması, 5S: 5 günlük kuraklık uygulaması, 8S: 8 günlük kuraklık uygulaması, * = Kuraklık stresi uygulaması ile kontrol değerleri arasındaki farkın $P<0.05$ seviyesinde önemli olduğunu ifade etmektedir)

4.9. Kuraklık Stresinin Mısır Çeşit ve Hatlarının Yapraklarındaki Toplam Klorofil Miktarı Üzerine Etkisi

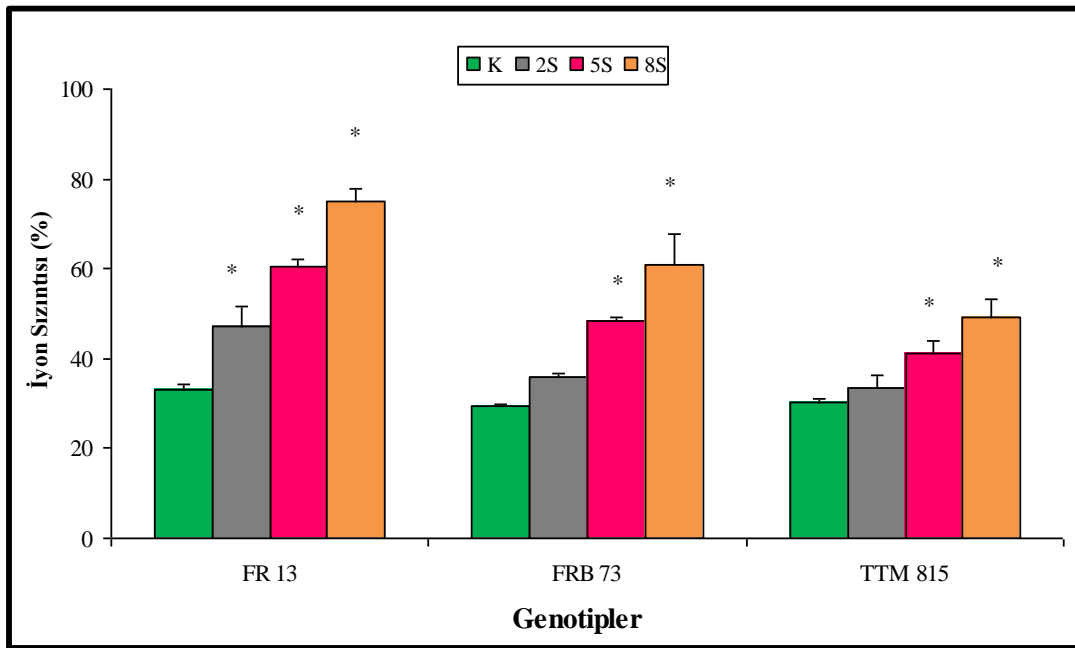
2, 5 ve 8 günlük kuraklık uygulamalarının mısır çeşit ve hatlarının yapraklarındaki toplam klorofil miktarı üzerindeki etkileri incelendiğinde (Şekil 4.9), FR 13 genotipinde, tüm kuraklık uygulamalarının yapraklardaki toplam klorofil miktarının, kontrole göre önemli derecede azalmasına neden olduğu belirlenmiştir ($P<0.05$). Bu genotipte özellikle 8 günlük kuraklık uygulamasının, yapraklardaki toplam klorofil miktarı üzerinde % 58 oranında bir azalma ile maksimum etki gösterdiği belirlenmiştir. FRB 73’de ise yapraklardaki toplam klorofil miktarı kuraklık uygulamalarının 2. gününde kontrole göre % 34 oranında ve önemli derecede azalmış ($P<0.05$), kuraklığın 5. ve 8. günlerinde artmasına rağmen yine de kontrol değerinin altında kalmıştır ($P>0.05$). TTM 815’de ise kuraklığın 2. gününde kontrole göre artış gösteren toplam klorofil miktarı ($P>0.05$), kuraklık uygulamasının 8. gününe kadar dereceli olarak azalmıştır. Bu genotipin yapraklarında, kuraklığın 8. gününde gözlenen toplam klorofil miktarındaki azalma (% 29) kontrole göre istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($P<0.05$).



Şekil 4.9. Kuraklık stresinin toplam klorofil miktarı üzerine etkisi (K: kontrol, 2S: 2 günlük kuraklık uygulaması, 5S: 5 günlük kuraklık uygulaması, 8S: 8 günlük kuraklık uygulaması, * : Kuraklık stresi uygulaması ile kontrol değerleri arasındaki farkın $P<0.05$ seviyesinde önemli olduğunu ifade etmektedir)

4.10. Kuraklık Stresinin Mısır Çeşit ve Hatlarının Yapraklarındaki İyon Sızıntısı Üzerine Etkisi

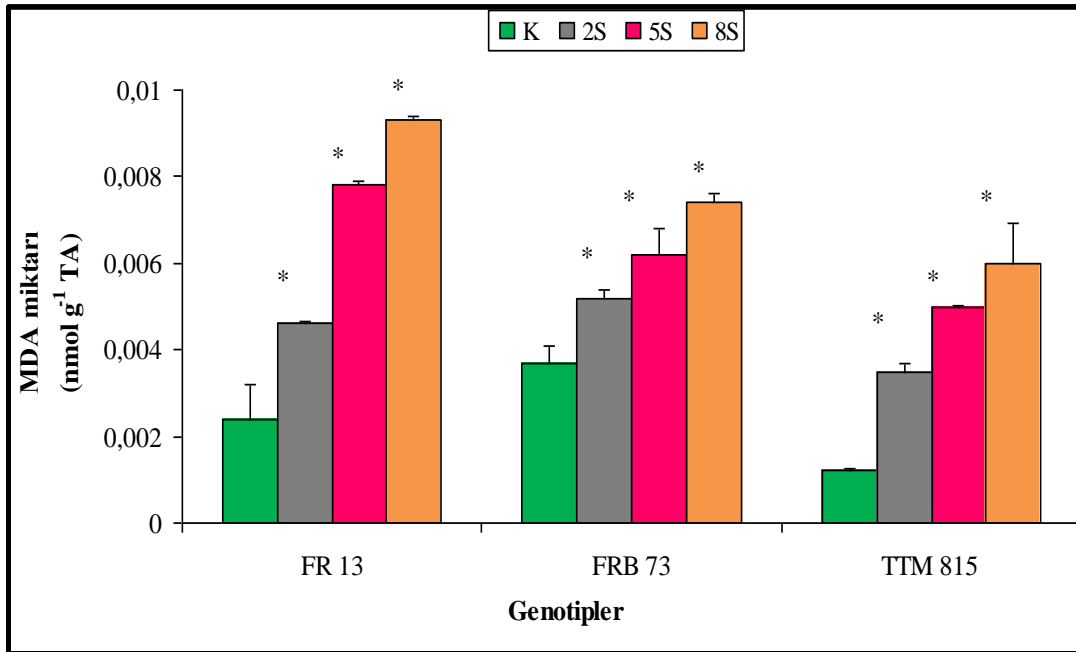
Farklı sürelerde uygulanan kuraklık stresinin farklı mısır genotiplerinin yaprak dokularında neden olduğu iyon sızıntısı oranı (%) şekil 4.10'da gösterilmiştir. Buna göre FR 13 genotipinin yaprak dokularındaki iyon sızıntısı oranı, kontrole göre kuraklık stresi uygulamasının 2. gününde % 43, 5. gününde % 82, 8. gününde % 127 oranında artmış ve bu artışların tümü istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($P<0.05$). FRB 73 ve TTM 815'de ise 2 günlük kuraklık uygulamalarının, yaprak dokularındaki iyon sızıntısı oranının önemli derecede artırmadığı belirlenmiştir ($P>0.05$). 5 ve 8 günlük kuraklık uygulamalarının FRB 73'ün yaprak dokularındaki iyon sızıntısı oranını kontrole göre sırasıyla % 65 ve % 106 oranında; TTM 815'de ise % 35 ve % 63 oranında artırdığı saptanmıştır. Her iki genotipte, 5 ve 8 günlük kuraklık uygulamaları sonucu yaprak dokularındaki iyon sızıntısı oranında gözlenen artışların, kendi kontrollerine göre önemli olduğu görülmüştür ($P<0.05$).



Şekil 4.10. Kuraklık stresinin iyon sızıntısı (%) üzerine etkisi (K: kontrol, 2S: 2 günlük kuraklık uygulaması, 5S: 5 günlük kuraklık uygulaması, 8S: 8 günlük kuraklık uygulaması, * : Kuraklık stresi uygulaması ile kontrol değerleri arasındaki farkın $P<0.05$ seviyesinde önemli olduğunu ifade etmektedir)

4.11. Kuraklık Stresinin Mısır Çeşit ve Hatlarının Yaprak Dokularındaki Malondialdehit (MDA) Miktarı Üzerine Etkisi

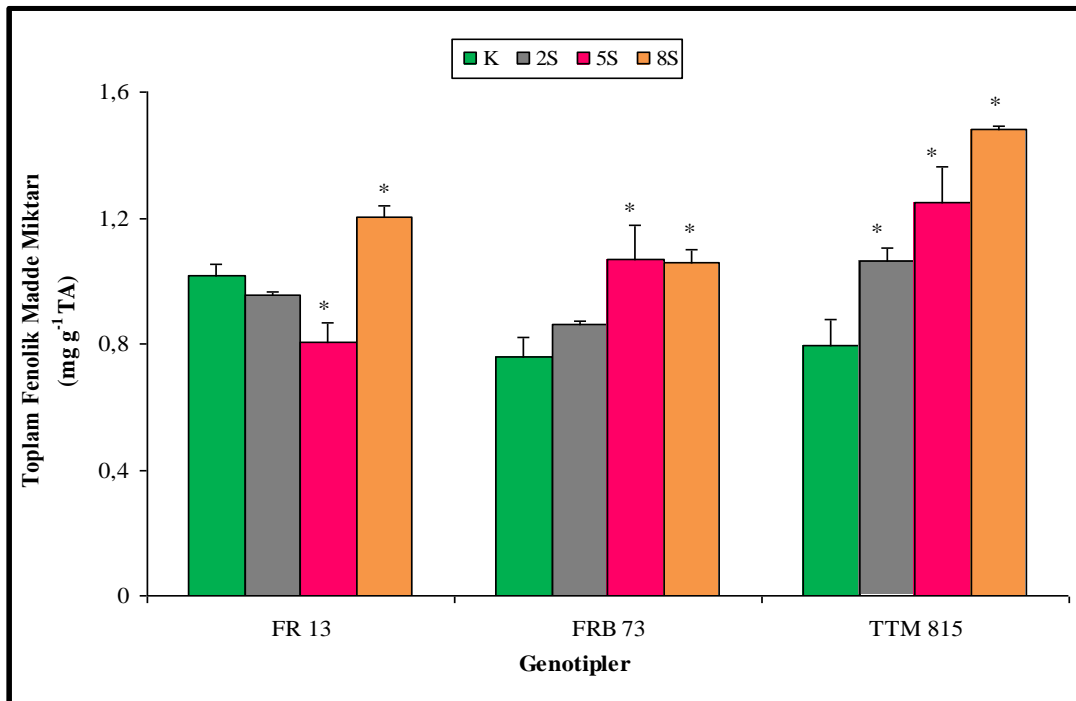
2, 5 ve 8 günlük kuraklık uygulamalarının, farklı mısır çeşit ve hatlarının yapraklarındaki MDA miktarını kontrollere göre önemli derecede artırdığı şekil 4.11'de görülmektedir ($P < 0.05$). Buna göre 2, 5 ve 8 günlük kuraklık uygulamalarının yapraklardaki MDA miktarını FR 13 genopinde sırasıyla % 92, % 225 ve %288; FRB 73 genotipinde % 41, % 68 ve % 100; TTM 815 genotipinde ise % 192, %317 ve % 400 oranında artırdığı belirlenmiştir.



Şekil 4.11. Kuraklık stresinin malondialdehit (MDA) miktarı üzerine etkisi (K: kontrol, 2S: 2 günlük kuraklık uygulaması, 5S: 5 günlük kuraklık uygulaması, 8S: 8 günlük kuraklık uygulaması, * : Kuraklık stresi uygulaması ile kontrol değerleri arasındaki farkın $P < 0.05$ seviyesinde göre önemli olduğunu ifade etmektedir)

4.12. Kuraklık Stresinin Mısır Çeşit ve Hatlarının Yapraklarındaki Toplam Fenolik Madde Miktarı Üzerine Etkisi

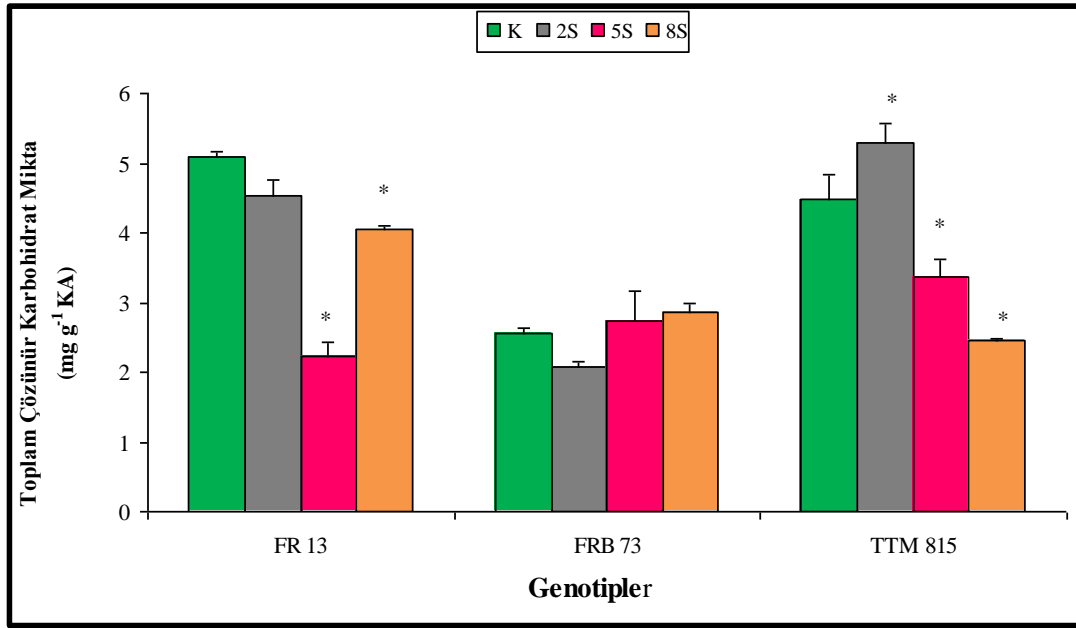
2, 5 ve 8 günlük kuraklık uygulamalarının, mısır çeşit ve hatlarının yapraklarındaki toplam fenolik madde miktarını farklı şekillerde etkilediği belirlenmiştir (Şekil 4.12). FR 13 genotipinin yapraklarında kuraklığın 5. gününe kadar kontrole göre % 21 oranında azalan toplam fenolik madde miktarı, kuraklığın 8. gününde kontrole göre % 18'lik bir artış göstermiştir. FR 13'ün yapraklarındaki toplam fenolik madde miktarında, kuraklığın sadece 5. ve 8. günlerinde gözlenen değişimler istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($P<0.05$). FRB 73'ün yapraklarında, kuraklık uygulamasının 5. gününde kontrole göre % 41 oranında ve önemli derecede artış gösteren toplam fenolik madde miktarının, kuraklığın 8. gününde de aynı seviyede kaldığı belirlenmiştir ($P<0.05$). TTM 815 genotipinin yapraklarındaki toplam fenolik madde miktarı ise kuraklığın 2. gününde kontrole göre % 34, 5. gününde % 57 ve 8. gününde % 86 oranında artmış ve bu değerlerin tümü de kontrole göre önemli derecede yüksek bulunmuştur ($P<0.05$).



Şekil 4.12. Kuraklık stresinin toplam fenolik madde miktarı üzerine etkisi (K: kontrol, 2S: 2 günlük kuraklık 5S: 5 günlük kuraklık uygulaması, 8S: 8 günlük kuraklık uygulaması, *: Kuraklık stresi uygulaması ile kontrol değerleri arasındaki farkın $P<0.05$ seviyesinde önemli olduğunu ifade etmektedir)

4.13. Kuraklık Stresinin Mısır Çeşit ve Hatlarının Yapraklarındaki Toplam Çözünür Karbohidrat Miktarı Üzerine Etkisi

Şekil 4.13, farklı mısır çeşit ve hatlarının yapraklarındaki toplam çözünür karbohidrat miktarında 2,5 ve 8 günlük kuraklık stresinin yol açtığı değişimleri göstermektedir.



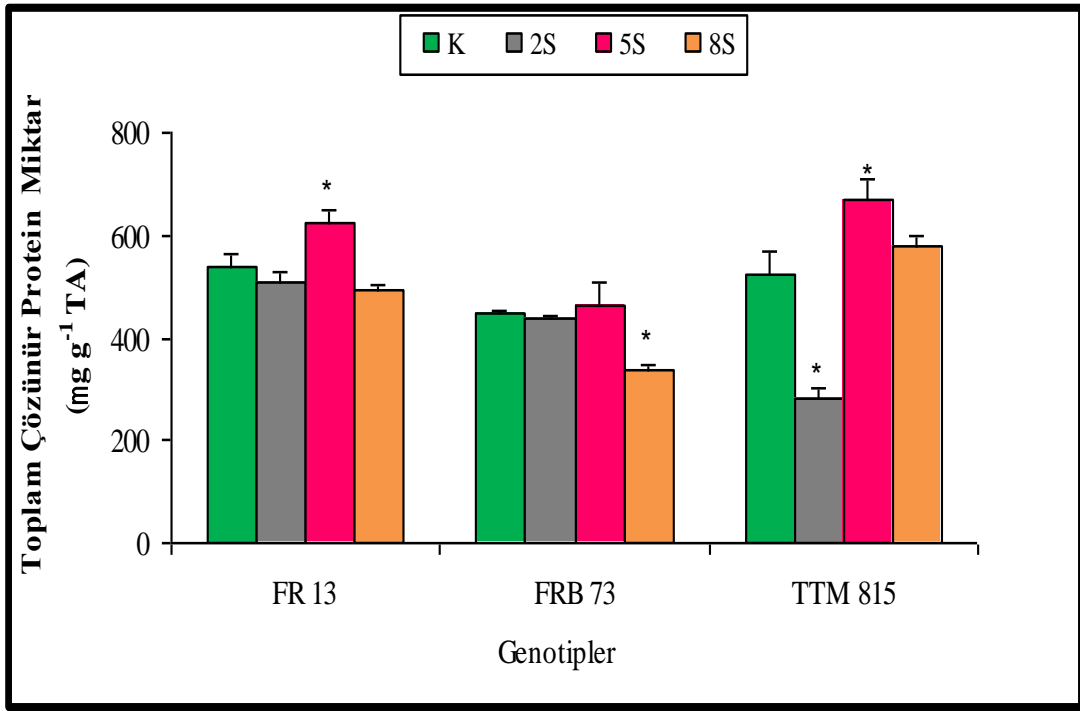
Şekil 4.13. Kuraklık stresinin toplam çözünür karbohidrat miktarı üzerine etkisi (K: kontrol, 2S: 2 günlük kuraklık uygulaması, 5S: 5 günlük kuraklık uygulaması, 8S: 8 günlük kuraklık uygulaması, * : Kuraklık stresi uygulaması ile kontrol değerleri arasındaki farkın $P < 0.05$ seviyesinde önemli olduğunu ifade etmektedir)

FR 13'de yapraklardaki toplam çözünür karbohidrat miktarının, kuraklık uygulamasının 5. gününe kadar % 56 oranında azaldığı ve sadece kuraklığın 5. günündeki azalmanın kontrole göre önemli olduğu belirlenmiştir ($P < 0.05$). Kuraklığın 8. gününde yapraklardaki toplam çözünür karbohidrat miktarı artmış, ancak yine de kontrole göre % 21 oranında ve önemli derecede düşük bir seviyede kalmıştır ($P < 0.05$). FRB 73 genotipinin yapraklarında kuraklık uygulamaları boyunca toplam çözünür karbohidrat miktarında gözlenen değişimlerin kontrole göre önemli olmadığı belirlenmiştir ($P > 0.05$). TTM 815 genotipinin yapraklarındaki toplam çözünür karbohidrat miktarı ise kuraklığın 2. gününde kontrole göre % 18

oranında artmış, daha sonra sürekli bir azalma göstererek kuraklığın 8. gününde kontrole göre % 45 oranında daha düşük bir seviyeye inmiştir. TTM 815'in yapraklarında 8 günlük kuraklık uygulaması boyunca toplam çözünür karbohidrat miktarında gözlenen tüm değişimler kontrole göre önemli bulunmuştur ($P<0.05$)

4.14. Kuraklık Stresinin Mısır Çeşit ve Hatlarının Yapraklarındaki Toplam Çözünür Protein Miktarı Üzerine Etkisi

2, 5 ve 8 günlük kuraklık stresinin mısır çeşit ve hatlarının yapraklarındaki protein miktarı üzerine olan etkisi şekil 4.14'de gösterilmiştir. Buna göre 5 günlük kuraklık uygulamasının FR 13 genotipinin yapraklarındaki toplam çözünür protein miktarını, kontrole göre % 16 oranında ve önemli derecede artırdığı belirlenmiştir ($P<0.05$). Aynı genotipte, 2 ve 8 günlük kuraklık uygulamaları, yapraklardaki toplam çözünür protein miktarının kendi kontrollerine göre azalmasına neden olmuş ancak bu azalmaların istatistiksel olarak önemli olmadığı saptanmıştır ($P>0.05$). FRB 73 genotipinde sadece 8 günlük kuraklık uygulamasının yapraklardaki toplam çözünür protein miktarını istatistiksel anlamda önemli derecede ($P<0.05$) ve % 25 oranında azalttığı belirlenmiştir. TTM 815'de ise yapraklardaki toplam çözünür protein miktarı kuraklık uygulamasının 2. gününde kontrole göre % 46 oranında azalırken, 5. gününde ise % 28 oranında artmıştır. Her iki değişimin de kontrol değerlerine göre istatistiksel anlamda önemli derecede farklı olduğu bulunmuştur ($P<0.05$). Bu genotipte yapraklardaki toplam çözünür protein miktarı, kuraklık uygulamasının 8. gününde kontrole göre yüksek olmasına rağmen, bu farkın önemli olmadığı belirlenmiştir ($P>0.05$).



Şekil 4.14. Kuraklık stresinin toplam çözümlü protein miktarı üzerine etkisi (K: kontrol, 2S: 2 günlük kuraklık uygulaması, 5S: 5 günlük kuraklık uygulaması, 8S: 8 günlük kuraklık uygulaması, * : Kuraklık stresi uygulaması ile kontrol değerleri arasındaki farkın $P < 0.05$ seviyesinde önemli olduğunu ifade etmektedir)

BÖLÜM 5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Çalışmamızda dört yapraklı evreye ulaşıncaya kadar (21 gün) serada büyütüldükten sonra 2, 5 ve 8 gün boyunca kuraklık stresi uygulanan mısır bitkisinin (*Zea mays* L.) FR 13 ve FRB 73 hatları ile TTM 815 çeşidinde kuraklık stresinin etkileri araştırılmıştır. Bu amaçla kuraklık stresi altındaki bitkilerde kök boyu, gövde boyu, toplam bitki boyu, taze ve kuru ağırlık ile gerçek su miktarı gibi büyüme parametrelerinde ve yaprak dokularındaki fotosentetik pigment (klorofil a, klorofil b ve toplam klorofil), iyon sızıntısı, malondialdehit, toplam fenolik madde, toplam çözüner karbohidrat ve toplam çözüner protein miktarlarında meydana gelen değişimler incelenmiştir.

5.1. Kuraklık stresinin mısır çeşit ve hatlarındaki bazı büyüme parametreleri üzerindeki etkileri

Doğal çevrede var olan biyotik ve abiyotik stres faktörlerinin bitkilerde büyüme ve gelişme olayları ile ürün miktarını olumsuz yönde etkilediği bilinmektedir. Ekonomik öneme sahip olan bitkilerde meydana gelen ürün kayıplarının büyük ölçüde abiyotik stres faktörlerinden kaynaklandığı ve bunlar arasında da kuraklığın ilk sırada yer aldığı bildirilmiştir [Araus ve arkadaşları (2002), Reddy ve arkadaşları (2004)].

Kökler, bitkilerde simplastik ve apoplastik yolla topraktan su ve mineral maddelerin alınmasını sağlayan organlardır. Topraktan alınan bu kaynaklar bütün bir bitkinin büyüüp gelişebilmesi için ksilem yoluyla gövde ve yapraklara taşınmaktadır. Köklerin bu görevlerini yerine getirememesi durumunda bitkilerde ortaya çıkan morfolojik, fizyolojik, biyokimyasal ve moleküler değişimlerin ürün miktarını sınırlandırdığı belirtilmiştir [Leucci ve arkadaşları (2008), Tester and Leigh (2001)].

Farklı bitki türlerinde yapılan birçok çalışma kuraklık stresinin kök büyümesini olumsuz yönde etkilediğini göstermiştir [Sharp ve arkadaşları (1988), Baskin (1999), Wang ve arkadaşları (2009), Kage (2004)]. Kusaka ve arkadaşları (2005), farklı hint darısı (*Pennisetum glaucum* L. Leeke) genotiplerinde, uygulanan kuraklık stresinin kök boyunu kontrol bitkilerine göre azalttığını rapor etmiştir. Çalışmamızda 2 günlük kuraklık uygulamasının kullanılan genotiplerin kök büyümesi üzerinde önemli derecede inhibisyon etki yapmadığı saptanmıştır (Şekil 4. 1). Ancak FR 13 ve TTM 815 genotiplerinin kök büyümesinin, kuraklık stresinin 5. gününden itibaren önemli derecede yavaşladığı belirlenmiştir. Özellikle uygulamaların 8. gününde TTM 815 genotipinin, kök büyümesinde gösterdiği % 22'lik azalma nedeniyle, diğer genotiplere göre kuraklıktan en fazla etkilenen genotip olduğu söylenebilir. Bitkilerde büyüme olayının hücre bölünmesi ve hücre büyümesi olayları ile sağlandığı göz önüne alınırsa, kuraklığın kök hücrelerindeki mitoz bölünme ile hücre uzaması ve genişlemesi olayları üzerinde inhibisyona yol açtığı düşünülebilir. Nitekim hint darısı bitkisinin farklı genotiplerinde yapılan bir çalışmada, kuraklığın kök hücrelerindeki sitogenez ve hücre büyümesini önemli derecede inhibe ettiği bildirilmiştir [Kusaka ve arkadaşları (2005)]. FRB 73 genotipinde ise kuraklık uygulamalarının kök büyümesi üzerindeki inhibisyon etkisinin daha düşük seviyede olduğu söylenebilir. Elde ettiğimiz sonuçlar, kuraklığın toplam boy üzerindeki inhibe edici etkisinin FR 13 ve TTM 815'de, uygulamaların 5. gününde, FRB 73'de ise 8. gününde ortaya çıktığını göstermiştir (Şekil 4. 3). Nitekim Yin ve arkadaşları (2005) da, iki kavak (*Populus cathayana*, *Populus przewalskii*) türünde yaptıkları çalışmada kuraklık stresinin toplam bitki boyunda azalmaya sebep olduğunu bildirmişlerdir. Bunun dışında 8 gün boyunca uygulanan kuraklık stresinin mısır çeşit ve hatlarının gövde büyümesi üzerine inhibe edici bir etkisinin gözlenmemesi nedeniyle, toplam bitki boyundaki azalmanın, kök boyundaki azalmadan kaynaklandığı söylenebilir.

Bitkilerde taze ve kuru ağırlık gibi büyüme parametreleri bakımından kuraklık stresine verilen cevapların, aynı bitki türünün farklı genotiplerine ve bitki organlarına göre farklılık gösterebileceği bilinmektedir [Özpay (2008)]. Çalışmamızda kuraklık stresinin mısır çeşit ve hatlarının toplam taze ve kuru ağırlıkları ile gerçek su miktarını (%) da belli oranlarda etkilediği belirlenmiştir. Uygulanan kuraklık stresinin, FR 13 ve FRB 73 genotiplerinde toplam taze ağırlığın sürekli artmasına yol

açtığı, TTM 815’de ise 5. güne kadar artan taze ağırlığın 8. günde azaldığı belirlenmiştir. Ayrıca kuraklığa bağlı olarak toplam taze ağırlıkta meydana gelen artışların FRB 73 ve TTM 815’de daha belirgin olduğu şekil 4.4’ de görülmektedir. Benzer şekilde kuraklık stresi kullandığımız mısır genotiplerinin tümünde toplam kuru ağırlıkların da artmasına neden olmuştur (Şekil 4.2). Kuraklık stresinin farklı bitki türlerinde kuru madde birikimine neden olduğunu gösteren birçok çalışma vardır [Yin ve arkadaşları (2005), Doğan (2006)]. Türkan ve arkadaşları (2005), kuraklığa toleranslı olduğu bilinen *Phaseolus acutifolius* ve kuraklığa duyarlı olduğu bilinen *P. vulgaris* bitkilerinde yaptıkları çalışmada; kuraklık stresinin *P. vulgaris*’in kök taze ağırlığında azalmaya, *P. acutifolius*’da ise artışa neden olduğunu belirtmişlerdir. Aynı çalışmada kuraklık süresinin 14. gününde, gövde taze ağırlıklarında kontrollere göre *P. vulgaris*’de % 23, *P. acutifolius*’da ise % 10 oranında azalmalara yol açtığı saptanmıştır. Yine aynı araştırmacılar, *P. acutifolius*’da toplam kuru ağırlığının 7 ve 14 günlük kuraklık uygulamaları sonunda arttığını, *P. vulgaris*’de ise kuraklığın 7. gününden sonra toplam kuru ağırlığın azaldığını belirlemişlerdir. Bu sonuçlar kuraklığa toleranslı olan genotipte, stresin uygulandığı 14 gün boyunca kuru ağırlığın arttığını, duyarlı olan genotipte ise azaldığını göstermektedir. Benzer şekilde kuraklığa toleranslı olan genotipte kök taze ağırlığının arttığı, duyarlı genotipte ise azaldığı görülmektedir. Ayrıca her iki genotipte de gövde taze ağırlığının, kuraklığın 14. gününde azaldığı, ancak toleranslı genotipte azalma oranının daha düşük olduğu belirlenmiştir. Buna göre, çalışmamızda kullandığımız genotiplerde kuraklık stresi uygulamaları boyunca gözlenen taze ve kuru ağırlık artışlarının, bu genotiplerin sahip oldukları kuraklık toleransı mekanizmaları ile ilgili olduğu söylenebilir. Nitekim yapılan bir çalışmada, kuraklık stresi sonucu, fasulye bitkisinin özellikle kök dokularında kuru madde miktarının arttığı ve bunun da bitkinin toprakta bulunan sınırlı miktardaki suyu alabilmek için geliştirdiği yan kök sisteminden kaynaklanabileceği belirtilmiştir [Doğan (2006)]. Çalışmamızda kuraklık stresi sonucu genotiplerin kök büyüme hızlarındaki azalmaya rağmen, lateral kök oluşumunda gözlenen artış bu düşüncüyü destekler niteliktedir. Ancak bu konuda daha kesin bir yargıya varmak için yapılan diğer analizlerden elde edilen sonuçların da değerlendirilmesi gerekmektedir.

Bitki dokularındaki su dengesinin ayarlanması, tüm stres faktörlerine karşı bitkinin korunmasını sağlayan bir mekanizmadır [Bohnert ve arkadaşları (1995)]. Kuraklık stresinin farklı bitkilerde gerçek su miktarının azalmasına neden olduğunu gösteren çalışmalar vardır [Chartzoulakis ve arkadaşları (2002), Guerfel, ve arkadaşları (2009), Hu ve arkadaşları (2010), Terzi ve arkadaşları (2010), Ayaz ve arkadaşları (2001), Zhang ve arkadaşları (2010)]. Nikolaeva ve arkadaşları (2010), Balada, Belchanka ve Beltskata adlı üç farklı buğday genotipinde kuraklık stresinin 7. günden sonra yapraklardaki su miktarının önemli derecede azaldığını kaydetmiştir. Benzer şekilde Egert ve Tevini (2002) de sarımsak (*Allium schoenosprasum*) bitkisine dokuz gün boyunca uyguladıkları kuraklık stresinin bitkilerin yapraklarındaki gerçek su miktarının önemli derecede azaldığını belirtmiştir. Bu sonuçlara uygun olarak, çalışmamızda kuraklık stresi uygulanan mısır genotiplerinden FR 13 ve TTM 815’de kuraklığın sadece 8. gününde, FRB 73’de ise 5. günündeki gerçek su miktarları kontrol değerlerine göre önemli derecede düşük bulunmuş ve bitki dokularındaki suyun büyük oranda kaybedilmediği görülmüştür (Şekil 4.6). Bu durumda mısır genotiplerinin çeşitli mekanizmalarla hücresel turgor durumlarını korudukları söylenebilir. Bitkilerin kuraklık koşullarında stomalarını kapatarak ve hücrelerde ozmotik ayarlanmanın yapılmasını sağlayan bazı bileşikler sentezleyerek turgor durumlarını korumaya çalıştıkları bildirilmiştir [Lawlor (1995), Hsu ve arkadaşları (2003)].

5.2. Kuraklık stresinin mısır çeşit ve hatlarının yapraklarındaki fotosentetik pigment miktarı üzerindeki etkileri

Kuraklık stresinin stomaların kapanması yol açarak yaprak dokularındaki CO₂ miktarının azalmasına neden olduğu bilinmektedir. Bu da daha sonra fotoinhibisyon [Flexas and Medrano (2002)] ve fotooksidasyon gibi olayları tetikleyerek yaprak dokularındaki klorofil moleküllerinin parçalanmasına yol açmaktadır [Zhang ve arkadaşları (2002)]. Bunun dışında kuraklığın klorofil sentezinin yavaşlamasına ve sonuçta yapraklardaki klorofil miktarının azalmasına neden olduğu belirlenmiştir. [Ramanjulu ve arkadaşları (1998), Singer ve arkadaşları (2003)]. Bunun dışında kuraklık stresinin farklı bitki türlerinin yapraklarındaki fotosentetik pigment miktarının azalmasına yol açtığını gösteren birçok çalışma mevcuttur [Thimmanaik

ve arkadaşları (2002), Parida ve arkadaşları (2007), Guerfel ve arkadaşları (2009), Nikolaeva ve arkadaşları (2010)]. Çalışmamızda FR 13 genotipinin yapraklarındaki klorofil a ve toplam klorofil miktarı, 2, 5 ve 8 günlük kuraklık uygulamaları sonucu, kontrole göre önemli derecede azalma gösterirken, klorofil b miktarının kuraklıktan önemli derecede etkilenmediği görülmüştür. Bu sonuçlar FR 13 genotipinde, klorofil a moleküllerinin kuraklığa klorofil b moleküllerine göre daha duyarlı olduğunu ve toplam klorofil miktarında gözlenen azalmanın, çok büyük ölçüde klorofil a moleküllerinin miktarındaki azalmadan kaynaklandığını göstermektedir. Mısır ve buğdayın farklı genotiplerinde yapılan bir çalışmada, kuraklık stresinin daha çok klorofil a moleküllerinin parçalanmasına neden olduğu belirtilmiştir [Grzesiak ve arkadaşları (2007)]. FRB 73 ve TTM 815 genotiplerinde ise bunun tam tersi bir durum gözlenmiş ve kuraklık stresi sonucunda klorofil b moleküllerinin daha hızlı bir şekilde parçalandığı belirlenmiştir. Yapraklardaki fotosentetik pigment miktarı, pigmentlerin sentez ve parçalanma hızları arasındaki dengeye bağlıdır. Yapılan çalışmalar kuraklık stresinin, bitkilerde 5-aminolevülinik asit sentaz gibi klorofil sentezi ile ilgili reaksiyonları katalizleyen enzimlerin aktivitesini artırırken [Bharadwaj ve Singhal (1981)], klorofillaz gibi klorofil moleküllerinin parçalanmasını sağlayan reaksiyonları katalizleyen enzimlerin aktivitesini artırdığını göstermiştir [Hsiao (1973)]. Buna göre çalışmamızda kuraklık stresi uygulanan mısır genotiplerinin yapraklarındaki pigment metabolizmasının, parçalanma lehine bozulduğu ancak bitkilerin genotipe bağlı olarak farklı cevaplar verdikleri söylenebilir.

5.2. Kuraklık stresinin mısır çeşit ve hatlarının yapraklarındaki membran bütünlüğü ve geçirgenliği üzerindeki etkileri

Bitkilerdeki hücrel membranlar, birçok stres faktörünün ilk hedefidir ve kuraklık stresi altındaki bitkilerde membranların geçirgenliğinin ve satabilitesinin korunması kuraklığa karşı tolerans sağlamada esas unsurdur [Bajji ve arkadaşları (2002)]. Kuraklık stresinin bitki dokularında singlet oksijen, süperoksit radikali ve hidroksil radikali gibi AOT'lerin ve hidrojen peroksit gibi toksik bileşiklerin oluşumu ile oksidatif strese neden olduğu bilinmektedir [Valentovič ve arkadaşları (2006)]. Lipid peroksidasyonu yaygın olarak oksidatif stresin bir göstergesi olarak kabul edilmekte

ve bitki hücrelerinin membran geçirgenliğinin bozulmasına sebep olmaktadır. Geçirgenliği bozulan hücrel membranların gerektiği gibi fonksiyon yapamaması sonucunda çözünmüş maddeler hücre ve organellerden dış ortama çıkarlar [Blokhina ve arkadaşları (2003)]. Kuraklık da dahil olmak üzere farklı stres faktörlerinin hücrel membranlarda meydana getirdiği değişimler, doymamış yağ asitlerinin yıkılmasıyla oluşan MDA miktarının belirlenmesi ve elektriksel iletkenlik değerindeki değişiklikler yardımıyla belirlenmektedir. MDA miktarı ve elektriksel iletkenlik değerinde meydana gelen değişimler yaprak dokusundaki hücrel zarlarda meydana gelen hasar hakkında bilgi vermektedir. Kuraklık stresi uygulanan bitkilerde lipid peroksidasyonu sonucu MDA birikiminin gerçekleştiğini gösteren birçok çalışma yapılmıştır [Günes ve arkadaşları (2008), Sairam ve arkadaşları (1997), Sairam ve arkadaşları (2001), Sairam ve Saxena (2000), Selote ve arkadaşları (2004), Rodriguez ve arkadaşları (2010), Fazeli, ve arkadaşları (2007)]. Valentovic ve arkadaşları (2006), kuraklığa duyarlı olan Ankora ve dayanıklı olduğu bilinen Nova adlı iki mısır genotipinde, 24 saatlik kuraklık uygulaması sonunda Nova genotipinin yapraklarındaki MDA miktarında herhangi bir değişiklik olmadığını gözlemlerken, Ankora genotipinin yapraklarında MDA miktarının arttığını belirlemiştir. Çalışmamızda kullandığımız tüm mısır genotiplerinin yaprak dokularında, kuraklık stresinin şiddeti arttıkça, MDA miktarının kontrol değerlerine göre önemli derecede arttığı belirlenmiştir (Şekil 4.11). Kuraklık uygulamalarının tüm dönemleri düşünüldüğünde, kendi kontrolüne göre en fazla MDA birikiminin TTM 815’de, en az MDA birikiminin de FRB 73’de meydana geldiği gözlenmiştir. Buna sonuçlara göre kuraklığın TTM 815’de daha şiddetli bir oksidatif strese ve lipid peroksidasyonuna neden olduğu, FRB 73’ün ise kuraklığın neden olduğu oksidatif stresin oluşumunu veya etkisini daha etkili bir şekilde engelleyen mekanizmalara sahip olduğu söylenebilir. Hücrel membranlarda meydana gelen lipid peroksidasyonu, membran geçirgenliğinde de değişikliklere neden olmaktadır [Reddy ve arkadaşları (2004)]. Maldonado ve arkadaşları (1997) yulaf (*Avena sativa*) bitkisinin kuraklığa orta derecede dayanıklı olduğu bilinen Nehuén adlı genotipinde, şiddetli su stresinin (-2.0 MPa) yaprak hücrelerindeki iyon sızıntısını önemli derecede artırdığını rapor etmiştir. Çalışmamızda FR 13 genotipinin yapraklarındaki iyon sızıntısının, kuraklığın 2. gününden itibaren önemli derecede artış gösterdiği ve bu artışın 8. güne kadar devam ettiği belirlenmiştir. FRB 73 ve TTM 815

genotiplerinde ise kuraklık, 5. günden itibaren yapraklardaki iyon sızıntısını artırmaya başlamıştır. Ancak FR 13 ve TTM 815 genotipleri için yapraklardaki MDA miktarı ve iyon sızıntısı oranı bakımından elde edilen veriler birbiriyle çelişmektedir. Yaprak dokularındaki MDA birikimi en fazla olan TTM 815 genotipinin, iyon sızıntısı oranı diğer genotipler içinde en düşüktür. Benzer şekilde MDA birikimi en düşük seviyede olan FR 13 genotipinin iyon sızıntısı da maksimum seviyededir. Bu durumda MDA birikimi en fazla olan TTM 815’de, bitkinin karşılaştığı oksidatif stresin neden olduğu lipid peroksidasyonu hasarının onarım hızının da yüksek olduğu ve böylece hücrel membranlarında daha az hasar meydana geldiği söylenebilir. FR 13’de ise MDA birikimi daha düşük seviyede olmasına rağmen, muhtemel savunma ve onarım mekanizmalarının yeterince aktif hale geçememesinden dolayı zamanla membranlarda hasar oluşmaktadır.

5.3. Kuraklık stresinin mısır çeşit ve hatlarının yapraklarındaki toplam çözünür karbohidrat miktarı üzerindeki etkileri

Kuraklık stresi bitkilerde fotosentetik verimde azalmaya ve buna bağlı olarak da karbohidrat metabolizmasının bozulmasına yol açmaktadır [Pelleschi ve arkadaşları (1997), Kim ve arkadaşları (2000)]. Fotosentez ve solunum gibi olaylarda direkt bir role sahip olduğu için bitki dokularındaki karbohidrat düzeyindeki değişiklikler bitki için önemlidir [Kerepesi ve Galiba (2000)]. Kuraklık stresi bitkilerde karbohidrat metabolizması ve dokulardaki karbohidrat miktarlarında da değişimlere yol açmaktadır. Kerepesi and Galiba (2000), kuraklığa maruz bırakılan buğday (*Triticum aestivum* L.) genotiplerinden dayanıklı olanların yaprak dokularında, duyarlı olanlara göre daha fazla çözünür karbohidrat birikimi olduğunu göstermişlerdir. Sanchez, ve arkadaşları (2004) farklı bezelye (*Pisum sativum* L.) genotiplerinde yaptıkları kuraklık stresi uygulaması sonucu, miktarı genotipe bağlı olarak değişmekle birlikte, epikotillerde toplam çözünür karbohidrat miktarında artış olduğunu kaydetmişlerdir. Kim ve arkadaşları (2000), kuraklık stresine maruz bıraktıkları mısır bitkisinin kök ve yapraklarında sukroz ve heksoz şeker birikiminin gerçekleştiğini bildirmişlerdir. Çalışmamızda kuraklık stresi uygulamalarının mısır genotiplerinin yapraklarındaki çözünür karbohidrat miktarını farklı şekillerde etkilediği görülmektedir. FRB 73 genotipinin yapraklarında, kuraklık uygulamaları sonunu çözünür karbohidrat

miktarında önemli bir değişim gözlenmemiştir. FR 13 yapraklarında ise kuraklığın 5. gününde kontrole göre önemli derecede azalan toplam çözünür karbohidrat miktarı, 8. günde artmasına rağmen yine de kontrole göre daha düşük bir seviyede kalmıştır. TTM 815’de ise 2 günlük kuraklık uygulaması sonucu kontrole göre önemli derecede artan çözünür karbohidrat miktarının, kuraklığın 5 ve 8. günlerinde kontrol değerlerine göre önemli derecede azaldığı belirlenmiştir. Kuraklık stresi ile karşılaşan bitkilerin verdikleri ilk cevabın stomalarını kapatmak olduğu ve bunun da yaprak dokularındaki karbondioksit miktarının, dolayısıyla fotosentez hızının azalmasına yol açtığı bilinmektedir [Lawlor (1995)]. Bu durumda bitkinin karbohidrat sentez hızı da azalmaktadır. Bilindiği gibi fotosentez sonunda üretilen heksoz şekerlerin fazlası bitkisel dokularda nişasta formunda depolanmakta ve gereksinim duyulduğunda hidroliz edilerek, oluşan glukoz molekülleri metabolik olaylarda kullanılmaktadır. FR 13’ün yapraklarında kuraklığın 8. gününde, TTM 815’in yapraklarında ise kuraklığın 2. gününde gözlenen çözünür karbohidrat miktarındaki artış, yapraklardaki nişastanın hidrolizi sonucu açığa çıkan glukoz moleküllerinden kaynaklanabilir. Nitekim kuraklık stresinin bitki yapraklarındaki nişasta miktarını azalttığını ve sukroz miktarını artırdığını ve bu değişimlerin aynı anda meydana geldiğini gösteren çalışmalar da mevcuttur. Souza ve arkadaşları (2004). Çözünür karbohidratların kuraklık koşullarında bitki hücrelerindeki ozmotik düzenleme konusunda oynadıkları rol göz önüne alındığında, bu konuda TTM 815’in daha avantajlı olması da muhtemeldir. FRB 73 genotipinin yapraklarında ise kuraklığın çözünür karbohidrat miktarında meydana getirdiği değişimlerin istatistiksel anlamda önemli olmaması, bu genotipin ozmotik düzenleme konusunda diğer genotipler kadar etkili olmadığı sonucunu çıkarabilir. Ancak bitki hücrelerinde ozmotik düzenlemede rol oynayan başka organik bileşiklerin bulunduğu da bilinmektedir.

5.4. Kuraklık stresinin mısır çeşit ve hatlarının yapraklarındaki toplam fenolik madde miktarı üzerindeki etkileri

Biyotik ve abiyotik stres faktörlerinin, bitki dokularında sekonder metabolitlerin birikimi üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu bilinmektedir [Dixon ve Paiva (1995)]. Bitkilerdeki fenolik bileşiklerin sentezi aynı zamanda genetik kontrol

altındadır [Abreu ve Mazzaferre (2005)]. Bitkilerin kuraklık stresi gibi abiyotik stres faktörlerinin etkisiyle dokularında fenoller, tokoferoller ve askorbik asit gibi antioksidantları biriktirmesi, bitkilerin strese karşı geliştirdiği bir adaptasyon mekanizması olarak tanımlanmaktadır [Hernandez (2004), Keleş ve Öncel (2002), Munne-Bosch (2005)]. Rodriguez ve arkadaşları (2010) kuraklık stresine maruz bıraktıkları farklı domates genotiplerinden bazılarının yapraklarında fenolik madde birikiminin gerçekleştiğini bulmuşlardır. Çalışmamızda FR 13 genotipinin yapraklarındaki toplam fenolik madde miktarının, kuraklık uygulamasının 5. gününde kontrole göre önemli derecede azaldığı, 8 gününde ise artarak kontrol değerinin üzerine çıktığı belirlenmiştir. FRB 73 ve TTM 815’de ise kuraklık stresinin şiddetine bağlı olarak sürekli artış göstermiştir. Özellikle TTM 815’in yapraklarında, kuraklık uygulamalarının tüm dönemlerindeki toplam fenolik madde birikiminin, diğer genotiplere göre daha belirgin olduğu gözlenmiştir. Lee ve arkadaşları (2007), kuraklık stresi uygulanan *Trifolium repens* (ak üçgül) yapraklarındaki fenolik madde birikiminin artış gösterdiğini rapor etmiştir. Rivero ve arkadaşları (2001) ise, domates ve kavun bitkilerinin yapraklarındaki fenolik madde miktarı ile fenolik maddelerin sentezlendiği fenilpropanoid metabolizmasının kilit enzimlerinden olan fenil alanin amonyak liyaz (PAL; EC 4. 3. 1. 5) enziminin aktivitesi arasında pozitif bir korelasyon bulunduğunu ve bu enzimin aktivitesindeki artışın bitkileri uygulanan yüksek ve düşük sıcaklık stresinden kaynaklandığını bildirmiştir. Çalışmamızda kullandığımız FRB 73 ve TTM 815 genotiplerinin yapraklarında fenolik madde miktarında gözlenen artışlar da kuraklığın fenil alanin amonyak liyaz enzimini aktive etmesinden kaynaklanmış olabilir. Dixon ve arkadaşları (1992)’de birçok bitki türünde farklı stres faktörlerine karşı tolerans gelişiminin fenolik maddelerle ilişkili olduğunu rapor etmiştir.

5.5. Kuraklık stresinin mısır çeşit ve hatlarının yapraklarındaki toplam çözünür protein miktarı üzerindeki etkileri

Kuraklık stresinin fotosentezden protein sentezine kadar birçok biyokimyasal ve fizyolojik olayı etkilediği bilinmektedir [Chartzoulakisa (2002)]. Kuraklık stresine bağlı olarak bitki dokularında protein parçalanması ve protein sentez hızının azalması söz konusudur. Kuraklık stresıyla artan RNAaz enziminin aktivitesi, nükleik asitlerin

parçalanmasına ve mRNA'nın zarar görmesine sebep olarak poliribozom miktarını azaltmaktadır. Ayrıca kuraklık stresi altında pek çok bitkide nükleik asit sentezinin azaldığı belirlenmiştir. Nükleik asit metabolizmasındaki bu gibi bozukluklar sonucu protein sentez hızının da azaldığı bildirilmiştir [Çırak ve Esendal (2006)]. Parida ve arkadaşları (2007), kuraklık stresine maruz bıraktıkları pamuk (*Gossypium hirsutum* L.) genotiplerinin yapraklarındaki protein miktarında azalma belirlemiştir. Shen ve arkadaşları (1990), kuraklık stresi altındaki bazı bitki türlerinin yapraklarındaki toplam çözümlenebilir protein miktarının, proteolitik enzim aktivitelerinin artışına paralel olarak azaldığını bildirmiştir. Kuraklık stresi altında protein içeriğinin azaldığına dair birçok çalışma yapılmıştır [Parida (2007), Navari-Izzo ve arkadaşları (1990), Roy-Macauley ve arkadaşları (1992)]. Abdel-Nasser ve Abdel-Aal (2002) ayçiçeğinde yaptıkları bir çalışmada kuraklık stresinin yapraklardaki toplam çözümlenebilir protein miktarını azalttığını rapor etmişlerdir [Parida ve arkadaşları (2007)]. Ancak yapılan bazı çalışmalarda da, kuraklık stresinin bitki yapraklarındaki çözümlenebilir protein miktarını artırdığı ve kuraklığın etkisiyle indüklenen proteinlerin kuraklığa adaptasyon sağlayan mekanizmanın bir parçası olduğu belirlenmiştir [Bray (1993), Han ve Kermode (1996), Riccardi ve arkadaşları (1998)]. Bitki dokularında özellikle kuraklık stresi etkisiyle sentezlenen dehidrin ailesinden olan proteinlerin, dokulardaki diğer proteinlerin korunmasını sağladığı ve bitki hücrelerinin yapısal bütünlüğünün korunmasında önemli rol oynayabileceği rapor edilmiştir [Bray (1993), Close ve arkadaşları (1993)]. Çalışmamızda yapraklardaki toplam çözümlenebilir protein miktarının, mısır genotipine ve stresin süresine bağlı olarak değiştiği belirlenmiştir. FR 13'ün yapraklarındaki çözümlenebilir protein miktarı, kuraklık uygulamasının sadece 5. gününde kontrole göre önemli derecede artarken, FRB 73'ün yapraklarında sadece 8. gününde kontrole göre artış göstermiştir. TTM 815'in yapraklarında ise kuraklık stresinin 2. günündeki azalma ve 5. günündeki artma oranları kontrole göre önemli bulunmuştur. Bu sonuçlar kuraklığın TTM 815'in yapraklarındaki protein metabolizması üzerine, diğer genotiplere göre daha etkili olduğunu göstermektedir. Jiang and Huang (2002), *Festuca arundinacea* (kamışsı yumak) bitkisinin farklı iki genotipinde yaptıkları bir çalışmada, 10 günlük kuraklık uygulaması sonunda Southeast adlı genotipin yapraklarındaki çözümlenebilir protein miktarının kontrole göre önemli derecede artış gösterdiğini, Rebel Jr. adlı genotipte ise azaldığını ve bu değişimlerin kuraklık toleransı ile çok belirgin bir korelasyon

göstermediğini rapor etmişlerdir. Ancak yine de protein sentez ve parçalanma hızlarında meydana gelen değişimlerin, kuraklık toleransını etkileyen en önemli metabolik reaksiyonlar arasında bulunduğu da bilinmektedir [Chandler and Robertson (1994), Ouvrard ve arkadaşları (1996)].

Sonuç olarak, FRB 73 ve TTM 815 genotiplerinin kuraklık stresine daha belirgin metabolik cevaplar verdiği söylenebilir. Kuraklık koşullarında özellikle bu iki genotipte kuru madde birikiminin daha fazla olması, bitkilerin kuraklığa karşı bazı organik moleküller sentezlediğini göstermektedir. Aynı şekilde TTM 815'in yapraklarındaki toplam klorofil miktarının kuraklık stresi durumunda diğer genotiplere göre daha başarılı bir şekilde muhafaza edilmesi, bu genotipin kuraklık koşullarında fotosentetik reaksiyonlarını belirli oranda sürdürebildiğini göstermektedir. TTM 815'in yapraklarında kuraklık stresi etkisiyle gerçekleşen MDA birikim oranı daha yüksek olmasına rağmen, iyon sızıntı oranının daha düşük seviyede olması, membranlarda meydana gelen peroksidasyona bağlı hasarın başarılı bir şekilde onarıldığını fikrini akla getirmektedir. TTM 815 genotipinde kuraklığın 2. gününde yapraklarda meydana gelen çözünür karbohidrat birikiminin diğer genotiplere göre daha erken meydana gelmesi, bu genotipte hücrel osmoregülasyonun ayarlanmasını sağlayan daha aktif bir mekanizmanın varlığını gösterebilir. Birçok bitki türünde farklı stres faktörlerine karşı tolerans kazanılmasında rol oynadığı bilinen fenolik bileşikler ve çözünür proteinlerin, kuraklık koşullarında TTM 815 genotipinin yapraklarında daha belirgin biçimde birikim göstermesi de bu genotipin kuraklığa daha toleranslı olduğunu gösterebilir.

Yapmış olduğumuz tez çalışmasına paralel olarak daha sonraki çalışmalarda, kullandığımız çeşit ve hatların kuraklığa dayanıklılık dereceleriyle ilgili olarak daha geniş bilgi edinebilmek için daha farklı parametreler incelenebilir. Örneğin bitki yapraklarında kuraklık stresi altında hangi tip karbohidratların birikim gösterdiğinin ve hücrel osmoregülasyonun sağlanmasında karbohidratlar dışında hangi bileşiklerin sentezlendiğinin incelenmesi kuraklık toleransının seviyesi hakkında fikir verecektir. Fotosentetik reaksiyonlarda ve pigment metabolizmasında meydana gelen değişimlerin incelenmesi için, protein profilinde meydana gelen değişimlerin sodyum dodesil sülfat poliakrilamid jel elektroforezi (SDS-PAGE) tekniği ile araştırılabilir.

Ayrıca antioksidant sistemin enzimatik ve enzimatik olmayan bileşenlerinde meydana gelen değişimlerin incelenmesi de tolerans mekanizmalarının aydınlatılmasında faydalı olacağını düşünmekteyiz.

KAYNAKLAR

ABREU, IN., MAZZAFERA, P., Effect of water and temperature stres on the content of active consituents of *Hypericum brasiliense* choisy, Plant Physiology and Biochemistry, 43, 241-248, 2005.

AKKUŞ, İ., Serbest Radikaller ve Fizyo patolojik Etkileri, 1. Baskı, Mimoza yayınları, 1995.

AKMAN, Y., KETEOĞLU, O., KURT, L., GÜNEY, K., TUĞ, GN., Bitki Ekolojisi, Palme Yayınları, 406-415 sy., 2004.

AKMAN, Z., ŞENCAR, Ö., Şeker Mısırında(*Zea mays* L. var *saccharata*) Ekim Sıklığı ve Farklı Ekim Zamanlarının Verim ve Diğer Agronomik Karakterler Üzerine Etkileri, Ç.Ü. Zir. Fak. Dergisi, 7, 25-36, 1991.

ALEXIEVA, V., IVANOV,S., SERGIEV, I., KARANOV, E., İnteraction Between Stresses, Bulg. J., Plant Physiol., Special Issue, 1-17, 2003.

ALSCHER, GR., ERTURK, N., HEATH, L.S., Role of superoxide dismutases (SODs) in controllng oxidative stres in plants, Journal of Experimental Botany, 53(372),1331-1341, 2002.

ALSCHER, RD., DONAHUE, LJ., CRAMER, CL., Reactive oxygen species and antioxidants: Relationships in green cells, Physiol. Palnt., 100, 224-233, 1997.

ALVAREZ, S., MARSH, LE., SCHOEDER, SG., SCHACHTMAN, DP., Metabolic and Protemic changes in the xylem sap of maize under drought, Plant Cell Eviron, 31(3), 325-340, 2008.

ANAMI, S., BLOCK, MD., MACHULA, J., LIJSEBETTENS, M., Moleculer Improvment of tropical maize for drought stres tolerance in Subi Saharan Africa, Critical Reviews in Plant Science, 28, 16-35, 2009.

ARAKAWA, T., TİMASHEFF, SN., Preferential interactions of proteins with solvent components in aqueous amino acid solutions, Arch Biochem Biophys, 244, 169-177, 1983.

ARAKAWA, T., TİMASHEFF, SN., The stabilisation of proteins by osmolytes,Biophys J., 47, 411-414, 1985.

ARAUS, JL., SLAFER, GA., REYNOLDS, MP., AND ROYO, C., Plant breeding and drought in C3 cereals: What should we breed for? *Ann. Bot.*, 89, 925-940, 2002.

ARORA, A., SAIRAM, RK., SRIVASTAVA, Oxidative stress and antioxidative system in plants, *Current Science*, 82(10), 1227-1238, 2002.

ASADA, K., Radical production and scavenging in the chloroplasts. In: Baker N.R. (eds), *Photosynthesis and the Environment*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, 123–150 pp., 1996.

ASADA, K., The water-water cycle in Chloroplast: Scavenging of active oxygens and dissipation of excess photons, *Annu Rev Plant Physiol Plant Mol Biol*, 50, 601-639, 1999.

AYAZ, FA., KADIOĞLU, A., DOĞRU, A., Leaf Rolling effects on lipid and fatty acid composition *Ctenanthe setosa* (Marantaceae) subjected to water- deficit stres, *Acta Physiologia Plantarum*, 23, 43-47, 2001.

BAJJI, M., KINET, JM., LUTS, S., The use of electrolytic leakage method for assessing the cell membrane stability as a water stress tolerance test in durum wheat. *Plant Growth Regul.* 36, 61–70, 2002.

BARLOW, EWR., BOERSMAL., YOUNG, J L., Root temprature and soil water potential on growth and soluble carbohydrate concentration of corn seedlings, *Crop Science*, 16 (1), 59-62, 1976.

BASKIN, TI., MEEKES, HTHM., LIANG, BM., SHARP, RE, Regulation of Growth Anisotropy in Well-Watered and Water-Stressed Maize Roots. II. Role of Cortical Microtubules and Cellulose Microfibrils, *Plant Physiology*, 119, 681–692, 1999.

BHARDAJ, R., SIGHNAL, GS., Effect of water stres on photochemical activity of chloroplasts during greening of etiolated barley seedlings, *Plant Cell Physiol.*, 22, 155-162, 1981.

BLOKHINA O., VIROLAINEN E., FAGERSTEDT, KV., Antioxidants, oxidative damage and oxygen deprivation stress. *Ann. Bot.*, 91, 179–194, 2003.

BLUM, A., Breeding crop varieties for stress environments, *Crit. Rev. Plant Sci.*, 2, 199-23, 1986.

BOHNERT, HJ., NELSON, DE., JENSEN, RG., Adaptation to environmental stresses, *Plant Cell*, 7, 1099-1111, 1995.

BRADFORD, MM., A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding, *Anal. Biochem.*, 72, 248-254, 1976.

BRAY, EA., BAILEY- SERRES, J., WERETILNYK, E., Responses to abiotic stresses , in *Biochemistry and Molecular Biology of Plants*, Bunchanan, BB.,

GRUISSEM, W. AND JONES, R. L. (eds), American Society of Plant Physiologists, Rockville Maryland, 1158-1202 p., 2000.

BRAY, EA., Molecular responses to water deficit, *Plant Physiol.* 103, 1035–1040, 1993.

CAPELL, T., BASSIE, L., CHRISTOU, P., Modulation of the polyamine biosynthetic pathway in transgenic rice confers tolerance to drought stress, *PNAS*, 101 (26), 9909-9914, 2004.

CARVALHO, MHC., Drought stress and reactive oxygen species, Production, scavenging and signalling, *Plant Signaling & Behavior*, 3(3), 156-165, 2008.

CHANDLER, PM., ROBERTSON, M., Gene expression regulated by abscisic acid and its relation to stress tolerance, *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.*, 45, 113–141, 1994.

CHANDLER, SF., DODDS, JH., The effect of phosphate nitrogen and sucrose on the production of phenolics and siccotannin in callus cultures of *Solanum laciniatum*, *Plant Cell Rep*, 2, 105-108, 1983.

CHARTZOULAKI, K., PATAKAS, A., KODIFIS, G., BOSBALIDIS, A., NOSTOU, A., Water stress affects leaf anatomy, gas exchange, water relations and growth of two avocado cultivars, *Scientia Horticulturae* 95, 39–50, 2002.

CHIMENTI, CA., MARCANTONIO, M., HALL, AJ., Divergent selection for osmotic adjustment results in improved drought tolerance in maize (*Zea Mays* L.) in both early growth and flowering phases, *Field Crops Research*, 95, 305-315, 2006.

CHOPRA, RK., DEVERSHI, SS., Acclimation to drought stress generates oxidative stress tolerance in drought-resistant than- susceptible wheat cultivar under field conditions, *Environmental and Experimental Botany*, 60, 276-283, 2007.

CLOSE, TJ., Dehydrins: Emergence of a biochemical role of a family of plant dehydration proteins, *Physiol. Plant.*, 97, 795–803, 1996.

COOPER, GM., HAUSMAN, RE., *Hücre Moleküler Yaklaşım, Sakızlı, M. ve Atabey, N. (Eds), İzmir Tıp kitabevi, 80. sy., İzmir, 2006.*

COURTOIS, B., MCLAREN, G., SINHA, P.K., PRASAD, K., YADAV, R., SHEN, L., Mapping QTLs associated with drought avoidance in upland rice, *Mol. Breed.*, 6, 55–66, 2000.

ÇELIKEZEN, FÇ., ERTEKİN, A., Ratlarda akciğer fibrozisinde lipid peroksidasyonu (MDA), antioksidan madde (glutatyon, seruloplazmin) ve bazı antioksidan vitamin (β - Karoten, Retinol) düzeylerinin incelenmesi, *Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 2, 17-20, 2008.

ÇIRAK, C., ESENDAL, E., Soyada kuraklık stresi , OMÜ Zir. Fak. Dergisi, 21(2), 231-237, 2006.

DAT, J., VANDENABEELE, S., VRANOVÁ, E., VAN, MM., INZÉ, D, VAN BF., Dual action of the active oxygen species during plant stress responses, Cell Mol Life Sci, 57,779–795, 2000.

DE BLOCK, M.,VERYUDUN, C., DE BRAUWER, D., CORNELISSEN, M., Poly (ADP- ribose) polymerase in plants affects energy homeostasis, cell death and stress tolerance,Plant J. ,41, 95-106, 2005.

DELAUNEY, AJ., VERMA DPS., Prolin biosynthesis and osmoregulation in plants., Plant J., 4 (3), 215-223, 1993.

DİRİ, HA., *Salvia candidissima* Vahl. Uçucu bileşenlerin karakterizasyonu ve antioksidant aktivitelerinin belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Muğla Üniversitesi, Kimya Anabilim Dalı, 107.sy., Muğla, 2006.

DIXON, R., PAIVA, N., Stress-induced phenylpropanoid metabolism, Plant Cell, 7(7), 1085-1097, 1995.

DIXON, RA., CHOUDHARY AD., DALKIN D., ET AL., Molecular biology of stress-induced phenylpropanoid and isoflavonoid biosynthesisin alfalfa. In: Stafford HA, Ibrahim RK, (eds), Phenolic metabolism in plant, Plenum Press, New York, 91–138, 1992.

DOĞAN, N., Su stresi altındaki fasulye (*Phaseolus vulagaris*) bitkisinin iyon alım mekanizmasının araştırılması, Yüksek lisans tezi, Marmara Üniversitesi, İstanbul, 2006

DOĞRU, A., Kolza (*Brassica napus L. sp. Oleifera*) 'nın bazı kışlık çeşitlerinde düşük sıcaklık toleransı ile ilgili fizyolojik ve biyokimyasal parametrelerin araştırılması, Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi Biyoloji anabilim dalı, 2006.

DUBOIS, M., GILLES, K. A., HAMILTON, K. J., REBERS, P. A. AND SMITH, F., Colorimetric method for determination of sugars and related substances, Analytical Chemistry, 28, 350-356, 1956.

EDRAWA, A., Molecular Bases of Stress in Plants, Bitkilerde Stress Fizyolojisinin Moleküler Temelleri, EBILTEM,22-26 Haziran, Bornova, 1-33 sy., İzmir, 1998.

EGERT, M., TEVINI, M., Influence of drought on some physiological parameters symptomatic for oxidative stres in leaves of chives (*Allium schoenoprasum*), Enviromental and experimental Botany, 48, 43-49, 2002.

EKER, S., Yapraktan azot uygulamasının limon ve mandarinde düşük sıcaklık stresinin etkisinin antioksidatif savunma mekanizmaları açısından araştırılması, Doktora tezi , Ç. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü ,148. s., Adana, 2002.

El, S.N., Karakaya, S., Tas, A.A. Bazı gıdalardaki fenolik bileşiklerin antioksidan etkilerinin in vitro koşullarda saptanması. Tübitak Projesi (TOGTAG 1698), İzmir, 1999.

EREZ, Z., Bakır (Cu) çinko (Zn) ve tuz stresi uygulanmış mercimek yapraklarında (*Lens esculenta*) bazı antioksidan enzim aktivite değişimlerinin ve lipid peroksidasyon düzeylerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Celal Bayar üniversitesi Fen bilimleri enstitüsü Biyokimya Anabilimdalı, 21. s., Manisa, 2006.

FAZELİ, F., GHORBANLI, M., NIKNAM, V., Effect of drought on biomass, protein content, lipid peroxidation and antioxidant enzymes in two sesame cultivars, *Biologia Plantarum*, 51 (1), 98-103, 2007.

FLEXAS, J., MEDRANO, H., Drought-inhibition of photosynthesis in C3 plant: stomatal and non-stomatal limitation revisited, *Ann. Bot.*, 89, 183-189, 2002.

FOX, TC., AND GEİGER, DR., Osmotic response of sugar beet source leaves at CO₂ compensation point, *Plant Physiology*, 80, 239-241, 1986.

FOYER CH., Feedback inhibition of photosynthesis through source- sink regulation in leaves, *Plant Physiology and Biochemistry*, 26, 483- 492, 1988.

FOYER, CH., DESCOURVIERES, P., KUNERT, K.J., Protection against oxygen radicals: an important defence mechanism studied in transgenic plants, *Plant, Cell and Environment*, 17, 507-523, 1994.

FOYER, CH., LELANDAIS, M., KUNERT, K. J., Photooxidative stress in plants, *Physiologia Plantarum*, 92, 696-717, 1994.

FREMAN, BA., CRAPO, JD., Free radicals and tissue injury, *Lab Invest*, 47, 412-26, 1982.

GAFF, DF., in *Adaptation of Plants to Water and High Temperature Stress*, Turner, NC. and Kramer, PJ (eds), Wiley, New York, pp. 207–230, 1980.

GIBON, Y., BESSIERES, M. A. AND LARHER, F., Is glycine betaine a noncompatible solute in higher plants that do not accumulate it? *Plant, Cell and Environment*, 20, 329-340, 1997

GÖKSOY, AT., TURAN, ZM., Kuraklığın bitki fizyolojisi ve morfolojisi üzerine etkileri, *U.Ü.Z.F Dergisi*, 8, 189-199p , 1991.

GRACE, S., LOGAN, B., Energy dissipation and radical scavenging by plant phenylpropanoid pathway, *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B.*, 355, 1499-1510, 2000.

GRASSMANN, J., HİPPELİ, S., ELSTNER, E., Plant's defence and its benefits for animals and medicine: role of phenolics and terpenoids in avoiding oxygen stress, *Plant Physiol. Biochem.*, 40, 471–478, 2002.

GRZESIAK, MT., RZEPKA, A., HURA, T., SKOCZOWSKI., Changes in response to drought stress of triticale and maize genotypes differing in drought tolerance, *Photosynthetica*, 45(2), 280-287, 2007.

GUERFEL, M., BACCOURI, O., BOUJNAH, D., CHAÏBÌ, W., ZARROUK, M., Impacts of water stress on gas exchange, water relations, chlorophyll content and leaf structure in the two main Tunisian olive (*Olea europaea* L.) cultivars, *Scientia Horticulturae* 119, 257–263, 2009.

GÜNES, A., PILBEAM, DJ., INAL, A., ÇOBAN., S., Influence of Silicon on Sunflower Cultivars under Drought Stress, I: Growth, Antioxidant Mechanisms, and Lipid Peroxidation, *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 39, 1885–1903, 2008.

GÜNEŞ, M., AKTAŞ, M., Su stresinde yetiştirilen genç mısır bitkisinde potasyum uygulamasının gelişme ve evrim üzerine etkisi, *J. Agric. Fac. HR.U.*, 12(2), 33-36, 2008.

HALE, M. G. AND ORCUTT, D. M., *The Physiology of Plants under Stress*, John Wiley & Sons Inc., 1-4 and 206. pp., New York, 1987.

HALLIWELL, B., GUTTERIDGE, JMC., *Free Radicals in Biology and Medicine*, Oxford University Press New York, 534-537, 2000.

HALLIWELL, B., Reactive oxygen species in living systems: Source, Biochemistry, and role in human disease. *The American Journal of Medicine*, 91 (suppl., 3C) September 30, 1991.

HAN, B., KERMODE, AR., Dehydrin-like proteins in castor bean seeds and seedlings are differentially produced in responses to ABA and water-deficit-related stresses. *J. Exp. Bot.*, 47, 933–939, 1996.

HANDA, S., HANDA, AK., HASEGAWA, PM., BRESSAN, RA., PROLINE accumulation and the adaptation of cultured plant cells to water stress, *Plant Physiol*, 80, 938-945, 1986.

HARE, PD., CRESS, WA., Metabolic implications of stress-induced proline accumulation in plants, *Plant Growth Regulation*, 21, 79-102, 1997.

HARRIS, ED., Regulation of antioxidant enzymes, *FASEBS J.*, 6, 2675-2683, 1992.

HEMAVATHI, UPADHYAYA, CP., YOUNG, KE., AKULA, N., KIM, H., HEUNG, JJ., OH, OM., ASWATH, CR., CHUN, SC. , KIM, DH., PARK, SW., Over- expression of strawberry D-galacturonic acid reductase in potato leads to accumulation of vitamin C with enhanced abiotic stress tolerance, *Plant Science*, 177, 659-667, 2009.

HERNANDEZ, I., ALEGRE, L., MUNNE- BOSCH, S., Drought- induced changes in flavonoids and other low molecular weight antioxidant in *Cistus clusii* grown under Mediterranean field conditions. *Tree Physiol*, 24, 1301-1311, 2004.

HIRT, H., SHINOZAKI, K., *Plant Responses to Abiotic Stress*, 300 pg., Germany., 2006.

HOAGLAND, DR., Optimum nutrient solutions for plants, *Science*, 52(1354), 562-564, 1920.

HONGBO, S., ZONGSUO, L., MINGAN, S., Changes of anti-oxidative enzymes and MDA content under soil water deficits among 10 wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes at maturation stage, *Colloid. Surface. B.*, 45(1), 7-3 2005.

HSIAO, TC., Plant responses to water stress, *Annuç rev. Plant Physiol.*, 24, 519-570, 1973.

HSU, S.Y., HSU, Y.T., KAO, C.H., The effect of polyethylene glycol on proline accumulation in rice leaves, *Biol. Plant.*, 46, 73-78, 2003.

<http://hayrabolutb.tobb.org.tr/media/ziraat/Misir-Tarimi-2.pdf>, 24 Mart 2010.

<http://www.gap.gov.tr/Turkish/Tarim/Tarlayt/misir.html>, 15 Mart 2010.

HU, L., WANG, Z., DU, H., HUANG, B., Differential accumulation of dehydrins in response to water stress for hybrid and common bermudagrass genotypes differing in drought tolerance, *Journal of Plant Physiology* 167, 103-110, 2010.

İNCE, E., Farklı dokularda oksidan etkinin hasarları ve antioksidan savunma sistemleri, Doktora tezi, İstanbul Üniversitesi Cerrahpaşa Tıp Fakültesi Tıbbi Biyoloji Anabilimdalı, 1998.

JIANG, M., ZHANG, J., Cros- talk between calcium and reactive oxygen species originated from NADPH oxidase in abscisic acid-induced antioxidant defence in leaves of maize seedlings, *Plant Cell Environment*, 26 (6), 929-939, 2003.

JIANG, Y., HUANG, B., Protein Alterations in Tall Fescue in Response to Drought Stress and Abscisic Acid, *Published in Crop Sci.*, 42,202-207, 2002.

JONES, MM., Osmond CD., Turner NC., Accumulation of solutes in leaves of sorghum and sunflower in response to water deficits . *Australian Journal of Plant Physiology*, 7, 193-205, 1980.

JUNG, S., Variation in antioxidant metabolism of young and mature leaves of *Arabidopsis thaliana* subjected to drought, *Plant Science*, 166, 459-466, 2004.

KADIOĞLU, A., *Bitki Fizyolojisi*, Efsen Ofset Matbaacılık, 406. s., Trabzon, 2007.

KAGE, H., KOCHLER, M., STÜTZEL, H., Root growth and dry matter partitioning of cauliflower under drought stress conditions: measurement and simulation, *Europ. J. Agronomy*, 20, 379–394, 2004.

KAİSER, WM., Reversible inhibition of the calvin cycle and activation oxidative pentose phosphate cycle in isolated chloroplast by hydrogen peroxide, *Planta*, 145, 377-382, 1979.

KALEFETOĞLU, T., Nohut (*Cicer arietinum* L.) çeşit ve hatlarının kuraklık stresine karşı dayanıklılığının karakterizasyonu, Yüksek lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Biyoloji Anabilim Dalı, Ankara, 2006.

KANDPAL, RP., RAO, NA., Alterations in the biosynthesis of proteins and nucleic acids in finger millet (*Eleusine corocana*) seedlings during water stress and the effect of proline on protein biosynthesis, *Plant Sci*, 40, 73-79, 1985.

KANT, P., GORDON, M., KANT, S., ZOLLA, G., DAVYDOV, O., HEIMER, Y. M., CHALIFA- CASPI, V., SHAKED, R., AND BARAK, S., Functional-genomics-based identification of genes that regulate *Arabidopsis* responses to multiple abiotic stresses, *Plant Cell Environ.*, 31, 697–714, 2008.

KARPİNSKİ, S., WİNGRNI, G., KARPİNSKA, B., HALLGREN, JE., Redox Sensing of photooxidative stress and acclimatory Mechanisms in Plants, Aro, Eva-Mari. Regulation Of Photosynthesis. Secaucus, NJ, USA: Kluwer Academic Publishers, 470. p, 2001.

KELES, Y., ÖNCEL, I. Response of antioksidative defense system to temperature and water stress combinations in wheat seedlings, *Plant. Sci.*, 163, 783-790, 2002.

KELLER, F., LUDLOW, MM., Carbonhydrate metabolism in drought- stressed leaves of pigeonpea (*Cajanus cajan*), *Journal of Experimental Botany*, 44, 1351-1359, 1993.

KEREPESI, I., GALİBA, G., Osmotic and Salt Stress-Induced Alteration in Soluble Carbohydrate Content in Wheat Seedlings, *Crop science*, 40, 482-487, 2000.

KIRTOK, Y., Mısır Üretimi ve Kullanımı, Kocaelik Basım ve Yayınevi, 34-51. sy., İstanbul, 1998.

KIM, JY., MAHE, A., BRANGEON, J., PRIOUL, JL., A maize vacuolar invertase, IVR2, is induced by water stress. Organ/ tissue specificity and diurnal modulation of expression. *Plant Physiol.*, 124, 71–84, 2000

KOCAÇALIŞKAN, İ. , Bitki Fizyolojisi, 126. sy. Kütahya, 2004.

KRAMER, P. J., in Linking Research to Crop Production, Staples, RC. and Kuhr, RJ (eds), Plenum Press, New York ,51–62. pp., 1980

KUSAKA, M., LALUSIN, AN., FUJIMURA, T., The maintenance of growth and turgor in pearl millet (*Pennisetum glaucum* [L.] Leeke) cultivars with different root structures and osmo-regulation under drought stres, *Plant Science* 168, 1–14, 2005.

KÜLAHÇIOĞLU, FG., Yaşlanmada monamin oksidaz inhibitörlerinin sıçan kalp dokusunda oksidan stres ve antioksidan sistemlere etkisi, Doktora Tezi, Ege Üniversitesi Sağlık Bilimler Entitüsü, Biyokimya Programı, 1996.

KÜN, E., Tahıllar II (Sıcak İklim Tahılları), Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü, IV. Baskı, 170. sy., Ankara, 1997.

LARCHER, W., *Plants Under Stres*, in *Physiology*, Larcher, W. (eds), Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 321-448 pp., 1995.

LARHER, F., LEPFORT, L., PETRIVALSKY, M., CHAPPART, M., Effects of the osmoinduced proline response in higher plants, *Plant Physiol Biochem*, 31, 911-922, 1993.

LARSON, RA., *Plant defences against oxidative stress*, *Arc. Insect. Biochem. Physiol.*, 29,2,179-186,1995.

LARSSON KE., NYSTRÖM, B., LİLJENBERG, C., A phosphatidylserine decarboxylase activity in root cells of oat (*Avena sativa*) is involved in altering membrane phospholipid composition during drought stress acclimation, *Plant Physiology and Biochemistry*, 44, 211-219, 2006.

LAWLOR, DW., *The effects of water deficit on photoynthesis*, *Enviroment and Plant metabolism*, Smirnorff, N. (eds), 129-160. pp., Bios Scientific Publishers, Oxford, UK, 1995.

LAWLOR, DW., CORNİC, G., *Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficts in higher plants*, *Plant Cell Environ* , 25 (2), 275-294, 2002.

LEE, BR., KİM, KY., JUNG, WJ., AVİCE, JC., OURRY, A., KİM, TH., Peroxidases and lignification in relation to the intensity of water-deficit stress in white clover (*Trifolium repens* L.), *Journal of Experimental Botany*, 58(6), 1271–1279, 2007.

LEUCCI, MR. LENUCCI, MS., PIRO, G., DALESSANDRO, G., *Water stress and cell wall polysaccharides in the apical root zone of wheat cultivars varying in drought tolerance*, *Journal of Plant Physiology*, 165, 1168-1180,2008.

LEVITT, J., *Responses of Plants to Environmental Stresses*, Academic Press, New York, 1972.

LEVITT, J., *Responses of plants to Environmental Stresses. Water, Radiation, Salt and Other Stresses*, Vol. II 2nd Edition, Academic Pres, Inc, 607 pp., 1980.

LICHTENTHALER, HK., Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes, *Methods in Enzymology*, 148, 350-382, 1987.

MAHAJEN, S., TUTEJA, N., Cold, salinity and drought stresses: an overview, *Arch. Biochem. Biophys.*, 444, 139-158, 2005.

MALDONADO, CA., ZUNIGA, GE., CORCUERA, LJ., ALBERDI, M., Effect of water stress on frost resistance of oat leaves, *Environmental and Experimental Botany*, 38, 99-107, 1997.

MITRA, J., Genetics and genetic improvement of drought resistance in crop plants, *Current Science*, vol:80, No:(6), 2001.

MULLINEAUX, PM., KARPINSKI, S., JIMENEZ, A., CLEARY SP., ROBINSON C., CREISSEN G., Identification of cDNAs encoding plastid-targeted glutathione peroxidase, *Plant J.*, 13, 375-379, 1998.

MUNNE- BOSCH, S., The role of α (ALFA) tocopherol in plant stress tolerance, *J. Plant Physiol.*, 162, 743-748, 2005.

NAVARI- IZZO F., VANGIONI, N., QUARTACCÌ, MF., Lipids of soybean and sunflower seedlings grown under drought conditions, *Photochem*, 29, 2119, 2123, 1990.

NEELY, W.C., MARTIN, M., BARKER, S.A., Products and relative reaction rates of the oxidation of tocopherols with singlet molecular oxygen, *Photochem. Photobiol*, 48, 423-428, 1988.

NIKOLAEVA, MK., MAEVSKAYA, SN., SHUGAEV AG., BUKHOV, NG., Effect of Drought on Chlorophyll Content and Antioxidant Enzyme Activities in Leaves of Three Wheat Cultivars Varying in Productivity, *Russian Journal of Plant Physiology*, 2010, 57 (1), 87-95, 2010.

NOCTOR, G., FOYER, CH., Ascorbate and Glutathione: Keeping active oxygen under control, *Annu Rev Plant Physiol Plant Mol Biol*, 49, 249-279, 1998.

OH, MM., TRICK, HN., RAJASHEKAR, CB., Secondary metabolism and antioxidants are involved in environmental adaptation and stress tolerance in lettuce, *Journal of Plant Physiology*, 166, 180-191, 2009.

OHKAWA, H., OHISHI, N., YAGI, Y., Assay of lipid peroxides in animal tissue by thiobarbituric acid reaction, *Anal. Biochem.*, 95, 351-358, 1979.

OREN, R., SPERRY, JS., KATUL, GG., PATAK, DE., EWERS, BE., PHILIPS, N., SCHAFFER, KVR., Survey and synthesis of intra and inter specific variation of stomatal sensitivity to vapour pressure deficit, *Plant Cell Environ*, 22(12), 1515-1526, 1999.

OUVRARD, O., CELLIER, F., FERRARE, K., TOUSCH, D., LAMAZE, T., DU PUIS, JM., CASSE-DELBART., F., Identification and expression of water stress- and abscisic acid-regulated genes in a drought-tolerant sunflower genotype., *Plant Mol. Biol.*, 31,819–829, 1996.

ÖZPAY, T., Taze fasülye (*Phaseolus vulgaris*) genotiplerinin kuraklık stresine olan tepkilerinin belirlenmesi, Yüksek Lisans tezi, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bahçe Bitkileri Anabilim Dalı, 6.s., Van, 2008.

PARIDA, AK., DAGAONKAR, VS., PHALAK, MS, LAXMAN GVU., AURAGABADKAR, P., Alterations in photosynthetic pigments, protein and osmotic components in cotton genotypes subjected to short-term drought stress followed by recovery, *Plant Biotechnol Rep.*, 1, 37–48, 2007.

PARIDA, AK., DAGAONKAR, VS., PHALAK, MS., UMALKAR, GV., AURANGALBADKAR, LP., Alterations in photosynthetic pigments, protein and osmotic components in cotton genotypes subjected to short-term drought stress followed by recovery, *Plant Biotechnol Rep.*,1,37–48, 2007.

PARRY, MAJ., ANDRALOJC, PC., KHAN, S., LEA, PJ., KEYS, AJ., Rubisco activity: effects of drought stress. *Ann. Bot.*, 89(7),833-838, 2002.

PAVET, V., OLMOS, E., KIDDLE, G., MOWLA, S., KUMAR, S., ANTONIW, J., ALWAREZ, ME., FOYER, CH., Ascorbic acid deficiency activates cell death and disease resistance responses in Arabidopsis, *Plant Physiol.*, 139(3), 1291- 1303, 2005.

PELLESCHI, S., ROCHER, JP., PRIOUL, JL., Effect of water restriction on carbohydrate metabolism and photosynthesis in mature maize leaves, *Plant Cell and Environment* , 20(4), 493-503, 1997.

PINHEIRO, C., CHAVES,MM., RICARDO, CP Alterations in carbon and nitrogen metabolism induced by water deWcit in the stems and leaves of *Lupinus albus* L., *J. Exp. Bot.* 52, 1063–1070, 2001.

POLYAKOV, NE, LESHINE, TV., KONOVALOVA, TA., AND KISPERT, LD., Carotenoids as scavengers of free radicals in a fenton reaction: antioksidants or pro-oxidants?, *Free radical Biology& Medicine*, 31(3), 398-404, 2001.

POWERS, HAMILTON, ANTIOXIDANTS AND EXERCISE, *Cin Sport Med.*, 18,525-536, 1999.

RAMANJULU, S., SREENIVASALU, N., KUMAR, SG., SUDHAKAR, C., Photosynthetic characteristics in mulberry during water stres and rewatering, *Photosynthetica* 35, 259-263, 1998.

RAYMOND MJ., SMIRNOFF, N., Proline matabolism and Transport in Maize Seedlings at Low Water Potential, *Annals of Botany*, 89, 813-823, 2002.

REDDY, AR., CHAITANYA, KV., VIVEKANANDAN, M., Drought-induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. *Journal of Plant Physiology* 161:1189–1202, 2004.

RICCARDI, F., GAZEAU, P., VIENNE, DV., ZIVY, M., Protein changes in responses to progressive water deficit in maize. *Plant Physiol.*, 117,1253–1263,1998.

RICHARDSON, AD., AIKENS, M., BERLYN, GP., MARSHALL, P., Drought stress and paper birch (*Betula papyrifera*) seedlings: effects of an organic biostimulant on plant health and stress tolerance, and detection of stress effects with instrument-based, noninvasive methods, *Journal of Arboriculture*, 30(1),52-61, 2004.

RIVERO, RM., RUIZ, JM., GARCÍA, PC., LO' PEZ-LEFEBRE, LR., SA'NCHEZ, E., ROMERO, L., Resistance to cold and heat stress: accumulation of phenolic compounds in tomato and watermelon plants, *Plant Sci.*, 160, 315–321, 2001.

RODRIGUEZ, ES., WILHELMI, MR., CERVILLA, L., BLASCO, B., RIOS, JJ., ROSALES, MA., ROMERO, L., RUIZ JM., Genotypic differences in some physiological parameters symptomatic for oxidative stress under moderate drought in tomato plants, *Plant Science* 178, 30–40, 2010.

RODRÍGUEZ, JL., CHAVES, MM., WENDLER, R., DAVID, MM., QUÍCK, WP., LEEGOOG, RC., STITT, M., PEREIRA, JS., Osmotic adjustment in water – stresses grapevine leaves in relation to carbon assimilation, *Australian Journal of Plant Physiology*, 20 (3), 309-321, 1993.

ROUHI, V., SAMSONI R., LEMEUR, R., VAN DAMME, P., Photosynthetic gas Exchange characteristics in three different almond species during drought stress and subsequent recovery, *Environmental and Experimental Botany*, 59(2), 117-129, 2007.

RUDOLPH, AS., CROWE, JH., CROWE, LM., Effects of three stabilising agents-proline, betaine and trehalose- on membrane phospholipids, *Arch Biochem Biophys*, 245, 134-143, 1986.

SAIRAM, RK., SHUKLA, DS., SAXENA, DC., Stress induced injury and antioxidant enzymes in relation to drought tolerance in wheat genotypes, *Biologia Plantarum*, 40(3), 357-364, 1997/98.

SAINI, HS., WESTGATE, ME., Reproductive development in grain crops during drought, *Adv. Agron.*, 58, 59-96, 2000.

SAIRAM, RK., DESHMUKH, P. S. AND SHUKLA, D. S., Tolerance to drought and temperature stress in relation to increased antioxidant enzyme activity in wheat, *Journal of Agronomy and Crop Sciences*, 178, 171-178, 1997.

SAIRAM, RK., CHANDRASEKHAR, V., SRIVASTAVA, GC., Comparison of hexaploid and tetraploid wheat cultivars in their responses to water stress. *Biologia Plantarum*, 44 (1), 89-94, 2001.

SAIRAM, RK., SAXENA, DC., Oxidative stress and antioksidants in wheat genotypes: possible mechanism of water stress tolerance, *J. Agronomy&Crop Science*, 184, 55-61, 2000.

SALISBURY, FB., ROSS, CW., *Plant Physiology*, Wadsworth Publishing Co. California, 1992.

SANCHEZ, FJ., DE ANDRE, EF., TENORIO, JL., AYERBE, T., Growth of epicotyls, turgor maintenance and osmotic adjustment in pea plants (*Pisum sativum* L.) subjected to water stress, *Field Crops Research*, 86, 81-90, 2004.

SCHOBERT, B., TSCHESCHE, H., Unusual solution properties of proline and its interactions with proteins, *Biochem Biophys Acta*, 541, 270-277, 1978.

SELOTE, D.S., BHARTI, S. AND KHANNA-CHOPRA, R., Drought acclimation reduces O₂ accumulation and lipid peroxidation in wheat seedlings, *Biochem. Bioph. Res. Co.*, 314, 724-729, 2004.

SHARP, RE., SILK, WK., HSIAO, TC., Growth of the Maize Primary Root at Low Water Potentials, *Plant Physiol.* 87, 50-57, 1988.

SIMKIN, AJ., MOREAU, H., KUNTZ, M., PANGY, G., LIN, C., TANKSLEY, S., MCCARTY, J., An investigation of caotenoid biosynthesis in *Coffea canephora* and *Coffea arabica*, *Journal of Palnt Physiology*, 165, 1087-1106, 2008.

SINGER, S.M., HELMY, Y.I., KARAS, A.N., ABOU-HADID, A.F., Influences of different water-stress treatments on growth, development and production of snap bean (*Phaseolus vulgaris* L.), *Acta Hort. (ISHS)*, 614, 605-611, 2003.

SLESAK, I., MISZALSKI, Z., BARBARA, K., NIEWIADOMSKA, E., RATAJCZAK, R., KARPINSKI, S., Redoks control of oxidative stress responses in the C3- CAM intermediate plant *Mesembryanthemum crystallinum*, *Plant Physiol. Biochem.* , 40, 669-677, 2002.

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

SMIRNOFF, N., The function and metabolism of askorbic acid in plants, *Ann. Bot.*, 78, 661-669, 1996.

SOCIAS, FX., CORREIA, MJ., CHAVES, MM., MEDRANO, H., The role of abscisic acid and water relations in drought responses of subterranean clover, *J. Exp. Bot.*, 48, 1281- 1288, 1997.

SOE, M., KOSHIBA, T., Complex Regulation of ABA biosynthesis in plants, Trends in Plant Science, 7(1), 41-47, 2002.

SOUTER, A., DIETZ, KJ., HARTUNG, W., A possible stress physiological role of abscisic acid conjugates in root-to-shoot signalling, Plant, Cell and Environment, 25, 223-228, 2002.

SOUZA, RP., MACHADO, EC., SILVA, JAB., LAGOA, AMMA., SILVEIRA, JAG., Photosynthetic gas exchange, chlorophyll fluorescence and some associated metabolic changes in cowpea (*Vigna unguiculata*) during water stress and recovery, Environmental and Experimental Botany 51, 45-56, 2004.

STEWART, CR., BOGGESS, S.F., ASPINALL, D., PALEG, L. G., Inhibition of proline oxidation by water stress, Plant Physiol, 59 (5), 930-932, 1977.

STEWART, CR., BOGGESS, SF., Metabolism of (5-³H) proline by barley leaves and its use in measuring the effects of water stress on proline oxidation, Plant Physiol, 61(4), 654-657, 1978.

STEWART, CR., Effect of wilting on carbohydrates during incubation of excised bean leaves in the dark, Plant Physiology, 48 (6), 792-794, 1971.

SZYMANSKA, R., KRUK J., γ -Tocopherol dominates in young leaves of runner bean (*Phaseolus coccineus*) under a variety of growing conditions: The possible functions γ -Tocopherol, Photochemistry, 69, 2142-2148, 2008.

ŞAHİN, S., Türkiye’ de mısır ekim alanlarının dağılışı ve mısır üretimi, Gazi Üniversitesi Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi, Cilt: 21, sayı 1, 73-90. , 2001.

ŞEN, Z., Kuraklık Kırımı yuvarlak masası toplantısı, Ankara, 2001.

TAIZ L., ZEIGER, E., Plant Physiology, Physiology Sinover Associates, Ins., Publishers, Second edition, 726-725, USA, 1998.

TERZI, R., SAĞLAM, A., KUTLU, N., KADIOĞLU, A., Impact of soil drought stress on photochemical efficiency of photosystem II and antioxidant enzyme activities of phaseolus vulgaris cultivars, Turk J Bot., 34, 1-10, 2010.

TESTER M., LEIGH RA., Partitioning of nutrient transport process in roots., J. Exp. Bot., 52, 445-457, 2001.

TEZARA, W., MITCHELL, VJ., DRISCOLL, SD., LAWLOR, DW., Effects of water deficit and its interaction with CO₂ supply on the biochemistry and physiology of photosynthesis in sunflower, J. Exp. Bot., 53, 1781-1791, 2002.

TEZARA, W., MITCHELL, VJ., DRISCOLL, SD., LAWLOR, DW., Water stress inhibits plant photosynthesis by decreasing coupling factor and ATP, Nature, 401, 914-917, 1999.

THIMMANAIK, S., KUMAR, G., KUMARI, GJ., SURYANARAYANA, N., SUDHAKAR., C., Photosynthesis and the enzymes of photosynthetic carbon reduction cycle in mulberry during water stress and recovery, *Photosynthetica*, 40(2), 233-236, 2002.

TROTEL-AZIZ, P., NIOGRET, M.F., LARHER, F., Proline level is partly under the control of abscisic acid in canola leaf discs during recovery from hyper-osmotic stress, *Physiologia Plantarum*, 110 (3), 376-383, 2000.

TROUVERIE, J., THEVENOT, C., ROCHER, JP., SOTTA, B., PRIOUL, JL., The role of abscisic acid in the response of a specific vacuolar invertase to water stress in the adult maize leaf, *J. Exp. Bot.* 54, 2177– 2186, 2003.

TUNA, S., Orta Anadolu Süne, *Eurygaster maura* (Heteroptera:Scutellaridae) Populasyonlarındaki esteraz ve süperoksit dismutaz enzimlerin elektroforetik analizi, Yüksek Lisans tezi, Ankara Üniversitesi, Biyoloji Anabilim Dalı, ANKARA, 2007.

TURNER NC., BEGG, JE., TONNET, ML., Osmotic adjustment of sorghum and sunflower crops in response to water potential at which stomata close, *Australian Journal of Plant Physiology*, 5(5), 597-608, 1978.

TURNER, NC., Crop Water Deficits: A Decade of Progress, *Adv. Agron*, 39, 1-51, 1986.

TÜMERTEKİN, E., ÖZGÜÇ, N., *Ekonomik Coğrafya*, 155-156. Sy., Çantay Kitabevi, İstanbul, 1997.

TÜRKAN, İ., BOR, M., ÖZDEMİR, F., KOCA, H., Differential responses of lipid peroxidation and antioxidants in the leaves of drought-tolerant *P. acutifolius* Gray and drought-sensitive *P. vulgaris* L. subjected to polyethylene glycol mediated water stress, *Plant Science*, 168, 223–231, 2005.

VALENTOVIČ, P., LUXOVÁ, M., KOLAROVIČ, L., GAŠPARÍKOVÁ, O., Effect of osmotic stress on compatible solutes content, membrane stability and water relations in two maize cultivars, *Plant Soil Environ.*, 52 (4), 186–191, 2006.

VALLIYODAN, B., NYUGEN, H.T., Understanding regulatory networks and engineering for enhanced drought tolerance in plants, *Curr. Opin. Plant Biol.*, 9(2), 189-195, 2006.

VERSULES, PE., AGARWAL, M., KATIYAR- AGARWAL, S., ZHU, J., AND ZHU, JK., Methods and concepts in quantifying resistance to drought, salt and freezing, abiotic stresses that affect plant water status, *Plant J.* , 45(4), 523-539, 2006.

VİNOCUR, B., ALTMAN, A., Recent advances in engineering plant tolerance to abiotic stress: achievements and limitations, *Curr. Opin. Biotechnol.*, 16(2), 123-132, 2005.

VOETBERG, GS., SHARP, RE., Growth of the maize primary root at low water potentials. III. Role of increased proline deposition in osmotic adjustment, *Plant Physiol*, 96, 1125-1130, 1991.

WANG Z., QUBEDEAUX B., STUTTE, GW., Osmotic adjustment: effect on sucrose- phosphate synthase activity in *Phaseolus vulgaris*, *Physiologia Plantarum*, 81, 37-44, 1991.

WANG, H., SIOPONGCO, J., WADE, LJ., YAMAUCHI, A., Fractal analysis on root systems of rice plants in response to drought stress, *Environmental and Experimental Botany* 65, 338-344, 2009.

WILKINSON, S., DAVIES, WJ., ABA-based chemical signalling: the co-ordination of responses to stress in plants, *Plant Cell and Environment*, 25, 195-210, 2002.

XIONG, L., ZHU, JK., Regulation of abscisic acid biosynthesis, *Plant Physiology*, 133, 29-36, 2003.

YARDANOV, I., VELIKOVA, V., TSONEV, T., Plant responses to drought, acclimation and stress tolerance, *Photosynthetica*, 38, 171-186, 2000.

YARSAN, E., Lipid peroksidasyon Olayı ve Önlenmesine Yönelik Uygulamalar, *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Vet. Fak. Derg.*, 9 (1-2), 89-95, 1998.

YIN, C., WANG, X., DUANA, B., LUOB, J., LI, C., Early growth, dry matter allocation and water use efficiency of two sympatric *Populus* species as affected by water stress, *Environmental and Experimental Botany* 53, 315-322, 2005.

ZHANG, YL., ZHANG, HZ., DU MV., LI, W., LUO, H.H, CHOW WS., ZHANG, WF., Leaf Wilting Movement Can Protect Water-Stressed Cotton (*Gossypium hirsutum* L.) Plants Against Photoinhibition of Photosynthesis and Maintain Carbon Assimilation in the Field, *J. Plant Biol.*, 53, 52-60, 2010.

ZINSELMEIER, C., WESTGATE ME., SCHUSSLER JR., JONES, RJ., Low water potential disrupts carbohydrate metabolism in maize (*Zea Mays* L.), *Plant Physiology*, 107, 385-391, 1995.

ÖZGEÇMİŞ

Nesrin Ecem, 02.08.1987'de İstanbul' da doğdu. Lise eğitimini 2003 yılında Kartal Hacı Hatice Bayraktar Lisesinde tamamladı. Aynı yıl Atatürk Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Biyoloji Bölümünü kazandı. 2007 yılında lisanstan mezun olduktan sonra Sakarya Üniversitesi Biyoloji Ana Bilim dalında yüksek lisans eğitimine başladı.