

EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

(DOKTORA TEZİ)

85675

**KURAĞA DAYANIKLI BAZI ARPA (*Hordeum spp.*)
ÇEŞİTLERİNDE SÜPEROKSİT DİSMUTAZ (SOD)
AKTİVİTELERİNİN ARAŞTIRILMASI**

Okan ACAR

Biyoloji Anabilim Dalı.

Bilim Dalı Kodu: 401.01.00

Sunuş Tarihi: 15.02.1999

Tez Yöneticisi : Prof. Dr. İsmail TÜRKAN

1999- İzmir

EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
BİYOLOJİ ANABİLİM DALI
15.02.1999

85675



2022

Okan ACAR'ın DOKTORA TEZİ olarak hazırladığı "Kurağa Dayanıklı Bazı Arpa (*Hordeum* spp.) Çeşitlerinde Süperoksit Dismutaz (SOD) Aktivitelerinin Araştırılması" adlı bu çalışma, yapılan tez savunması sınavı sonunda jüri tarafından Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği uyarınca değerlendirilerek oy birliği ile kabul edilmiştir.

12.3.1999

	Adı Soyadı	İmza
Başkan	: Prof. Dr. İsmail TÜRKAN
Üye	: Prof. Dr. Teoman KESERCİOĞLU
Üye	: Doç Dr. Filiz ÖZDEMİR

Bu tezin kabulü, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 27/04/1999 gün ve15 / 17..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. İsmet ERTAŞ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ÖZET**KURAĞA DUYARLI VE DAYANIKLI BAZI ARPA (*Hordeum spp.*)
ÇEŞİTLERİNDE SÜPEROKSİT DİSMUTAZ (SOD, EC 1.15.1.1)
AKTİVİTELERİNİN ARAŞTIRILMASI**

ACAR, Okan

Doktora Tezi, Biyoloji Anabilim Dalı

Tez Yöneticisi: Prof. Dr. İsmail TÜRKAN

Şubat 1999, 87 Sayfa

Bu araştırmada , su kıtlığı ve polietilen glikol (PEG 3000) uygulanarak yaratılan kuraklık stresinin kurağa dayanıklı (Karatay-97, Tokak-157 /37) ve duyarlı (Kıral-97, Erginel-90, Cumhuriyet-50) oldukları bilinen ve kurağa toleransı bilinmeyen bir (5600/MISC.S.CMB) arpa (*Hordeum spp.*) çeşidinde; total Süperoksit Dismutaz (SOD) aktivitesi, total protein, bağıl nem içeriği ve radikula-koleoptil büyümesi üzerine olan etkileri incelenmiştir. % 15'lik PEG 3000 uygulaması sonucunda radikula ve koleoptil büyümeleri kurağa dayanıklı çeşitlerde, duyarlı olanlara göre daha az engellenmiştir. Total SOD aktiviteleri ise dayanıklı genotiplerde duyarlı olanlara göre artış göstermiştir. 5600/ MISC.S.CMB ise su kıtlığına bağlı olarak radikula ve koleoptil büyümesi ve total SOD miktarındaki değişimlere açısından orta-duyarlı tepki göstermiştir. Su kıtlığı uygulamasında ise, yaprak bağıl nem içerikleri Cumhuriyet-50 ve 5600/MISC.S.CMB 'de kuraklık

etkisiyle diğer çeşitlere göre kontrole göre azalmıştır. Protein içerikleri ise tüm genotiplerde genellikle kuraklık artışına bağlı olarak kontrole göre artış göstermiştir. Kurağa dayanıklı türlerde duyarlı olanlara göre total SOD aktivitelerinin arttığı saptanmıştır. 5600/MISC.S.CMB ise kısa süreli kuraklık stresi altında SOD aktivitesini arttırmış ancak uzun süreli kuraklık koşullarında duyarlı gibi davranmıştır.

Araştırma sonucunda çalışılan arpa (*Hordeum spp.*) çeşitlerinde SOD aktivitesinin, kuraklığa tepkide dayanıklı ve duyarlı kltivarlar arasında bir kriter olarak kullanılabilir olduğu saptanmıştır. Bununla birlikte diğer antioksidatif enzimlerin de araştırılması gereklidir.

Anahtar Kelimeler: Arpa (*Hordeum spp.*), Süperoksit dismutaz (SOD), oksidatif stres, kuraklık.

ABSTRACT

**THE STUDY OF SUPEROXIDE DISMUTASE (SOD, EC 1.15.1.1.)
ACTIVITIES IN SOME DROUGHT SENSITIVE AND
RESISTANT BARLEY (*Hordeum* spp.) VARIETIES**

ACAR, Okan

PhD in Biology Department

Supervisor: Prof. Dr. İsmail TÜRKAN

February 1999, 87 Pages

In this study, the effects of water scarcity and PEG 3000 application on superoxide dismutase (SOD) activity, total protein content, relative water content and radicle and coleoptil growth of two drought resistant barley (*Hordeum* spp.) varieties (Karatay – 97, Tokak 157 / 37), one middle tolerant (5600 / MISC.S.CMB) and three drought sensitive varieties (Kral – 97, Erginel – 90, Cumhuriyet - 50) were investigated. Radicle and coleoptile of growth resistant varieties were inhibited less than those sensitive ones.

Total SOD activities increased in growth resistant cultivars as compared to sensitive varieties. 5600 / MISC.S.CMB showed a middle drought tolerance both radicle and coleoptil growth and SOD activity. Relative water content (RWC) of leaves in Cumhuriyet – 50 and 5600 / MISC.S.CMB decreased as to other varieties. A general increase has been observed in total protein content in all of the varieties depending on the drought increase. Total SOD activities were

found higher in drought resistant varieties than those of sensitive ones. 5600 / MISC.S.CMB behaved in terms of SOD activity as drought resistant varieties in short – term drought stress. However, as longevity of drought stress increase, it behaved as sensitive ones.

In conclusion, although a difference in SOD activity were recorded among drought resistant and sensitive barley varieties a clear cut conclusion from present result can not be drawn for the role of SOD in drought tolerans in barley cultivars studied. To enlighten the role of other antioxidant enzymes would be worthy in this manner.

Key Words: Barley (*Hordeum* spp.), Superoxide dismutase (SOD), oxidative stress, drought.

TEŞEKKÜR

Bu araştırma Ege Üniversitesi Araştırma Fon Saymanlığı tarafından 94-FEN-022 No 'lu proje ile desteklenmiştir. Bu nedenle adı geçen kuruma teşekkür ederim.

Bu araştırma konusunu bana öneren ve gerçekleşmesinde önemli pay sahibi olan, bütün aşamalarda hiçbir zaman yardımlarını esirgemeyip beni sürekli teşvik eden değerli hocam Prof. Dr. İsmail TÜRKAN'a derin şükranlarımı sunmayı bir borç bilirim. Araştırmanın gerçekleşmesi sırasında bilimsel yardımlarını gördüğüm Prof. Dr. İsmail ÇAKMAK'a ve Araş. Gör. Levent ÖZTÜRK'e ayrıca teşekkür ederim. Araştırma materyalinin sağlanmasında gösterdiği hassasiyet ve etkinlik için B. D. MİKHAM'dan Dr. Ahmet YIMAZ 'a, Adnan Menderes Ziraat Fak. Tarla Bitkileri Böl.'den Dr. Rıza YILMAZ'a, bitkilerin yetiştirilmesinde gösterdiği ilgi ve yardımlar nedeniyle Prof. Dr. Ali TANRISEVER ve Araş. Gör. Erbil KALMIŞ'a da içten teşekkür ederim. Ayrıca tüm bu süreçte bana her türlü imkanı sunan, daima destek olan aileme gönülden teşekkür ederim. Hiçbir zaman teşvik ve desteklerini esirgemeyen Prof. Dr. Leman TARHAN, Prof Dr. Günnehir OĞUZ, Doç. Dr. Veysel AYSEL, Doç. Dr. Figen ZİHNİOĞLU, Dr. Ali KILINÇ ile çalışma arkadaşlarım Dr. Levent ŞIK, Dr. Cüneyt AKI , Dr. İhsan YAŞA , Dr. Melih Ertan ÇINAR, Dr. Okan ÖZAYDIN, Araş. Gör. Ülkü KARABAY, Araş. Gör. Ayhan ŞENKARDEŞLER, ve Biyoloji Bölümü, Botanik Anabilim Dalı çalışanlarına ayrıca teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	V
ABSTRACT	VII
TEŞEKKÜR	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	XIII
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	XIX
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Oksidatif Stres.....	2
1.2. Çevresel Stresler ve Antioksidant Enzimler Arasındaki İlişkiler Üzerine Çalışmalar.....	11
1.2.1. Kirleticiler ve Mineral Besleyici Eksikliği.....	11
1.3. Kuraklık Stresi	13
1.3.1. Kuraklık Stresi ve Antioksidant Savunma Sistemi Arasındaki İlişkiler Üzerine Yapılan Araştırmalar	16
2. MATERYAL ve METOD.....	21
2.1.Bitkilerin Yetiştirilmesi	21
2.1.1. % 15 (Hacim / Ağırlık) PEG 3000 Uygulaması.....	21
2.1.2. Su Kıtlığı (Kuraklık) Uygulaması	21
2.2. Enzim Ekstraktlarının Hazırlanması	22

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
2.3. Süperoksit Dismutaz Aktivitelerinin Belirlenmesi.....	22
2.4. Yaprak Bağlı Su İçeriği Testi	26
2.5. Protein Analizi.....	26
3. BULGULAR.....	27
3.1. PEG 3000 (%15, Hacim / Ağırlık) Uygulamasıyla Yaratılan Kuraklık İle İlgili Bulgular	27
3.1.1. Radikula – Koleoptil Uzunlukları.....	27
3.1.2. Total SOD Aktiviteleri	39
3.2. Su Eksikliği İle Kuraklık Yaratılarak Elde Edilen Bulgular	45
3.2.1. Yaprak Bağlı Nem İçeriği Testi Sonuçları.....	45
3.3. Total Protein Analiz Sonuçları	45
3.4. Total SOD Sonuçları.....	51
4. TARTIŞMA VE SONUÇ	61
4.1. PEG 3000 (% 15) Uygulaması	61
4.1.1. Radikula-Koleoptil Boyu	61
4.1.2. PEG Uygulamasına Bağlı Olarak Total SOD Aktivitelerindeki Değişimler	64

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
4.2. Su Kıtlığı Uygulaması.....	67
4.2.1. Su Kıtlığı Uygulamasına Bağlı Olarak Bağlı Nem İçeriğindeki Değişimler	67
4.2.2. Su Kıtlığı Uygulamasıyla Total Protein Miktarlarında Ortaya Çıkan Değişimler	69
4.2.3. Su Kıtlığı Uygulamasıyla Total SOD Aktivitesinde Ortaya Çıkan Değişimler.....	71
5. KAYNAKLAR DİZİNİ.....	78
6. ÖZGEÇMİŞ.....	87

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
1.1. Oksijenin suyla indirgenmesinde çeşitli ara reaktif oksijen türlerinin şekillenmesinin yönlendirildiği basamaklar (Fridovich,1984).....	3
1.2. İki süperoksit anyonundan hidrojenperoksit oluşumu (Elstner, 1982; Bowler, 1992).	4
1.3. Haber - Weiss Reaksiyonu (Bowler <i>et al.</i> , 1992).....	4
1.4. Hidrojenperoksit'in katalaz ile su ve moleküler oksijene çevrilmesi (Stryer, 1988).	4
1.5. Hidrojenperoksit'in peroksidaz ile suya çevrilmesi (Stryer, 1988).	5
1.6. Su stresi ile artan dehidrasyonun büyüme, fotosentez ve solunum üzerine etkisi (Levitt, 1980).	15
2.1. Kontrollü şartlarda ve saksıda yetiştirilen Kıral-97 örnekleri.....	23
2.2. Kontrollü şartlarda ve saksıda yetiştirilen Karatay-97 örnekleri.....	23
2.3. Kontrollü şartlarda ve saksıda yetiştirilen Erginel-90 örnekleri.....	24
2.4. Kontrollü şartlarda ve saksıda yetiştirilen Tokak 157/37 örnekleri.....	24
2.5. Kontrollü şartlarda ve saksıda yetiştirilen Cumhuriyet-50 örnekleri.....	25

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

	<u>Sayfa</u>
2.6. Kontrollü şartlarda ve saksıda yetiştirilen 5600/MISC.S.CMB örnekleri	25
3.1. Kırıl-97 Çeşidinde %15'lik PEG 3000 Uygulamasının Radikula ve Koleoptil Boyu Üzerindeki Etkisi	28
3.2. Karatay-97 Çeşidinde %15'lik PEG 3000 Uygulamasının Radikula ve Koleoptil Boyu Üzerindeki Etkisi	28
3.3. Erginel-90 Çeşidinde %15'lik PEG 3000 Uygulamasının Radikula ve Koleoptil Boyu Üzerindeki Etkisi	31
3.4. Tokak-157 / 37 Çeşidinde %15'lik PEG 3000 Uygulamasının Radikula ve Koleoptil Boyu Üzerindeki Etkisi	31
3.5. Cumhuriyet-50 Çeşidinde %15'lik PEG 3000 Uygulamasının Radikula ve Koleoptil Boyu Üzerindeki Etkisi	32
3.6. 5600 MISC.S.CMB Çeşidinde %15'lik PEG 3000 Uygulamasının Radikula ve Koleoptil Boyu Üzerindeki Etkisi	32
3.7. Kırıl-97 çeşidinde % 15 PEG 3000 'in radikula boyunda 2., 4., ve 6. günde neden olduğu değişimler	33
3.8. Kırıl-97 çeşidinde % 15 PEG 3000 'in koleoptil boyunda 2., 4., ve 6. günde neden olduğu değişimler.	33
3.9. Karatay-97 çeşidinde % 15 PEG 3000 'in radikula boyunda 2., 4., ve 6. günde neden olduğu değişimler	34

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

Sayfa

- 3.10.** Karafay-97 çeşidinde % 15 PEG 3000 'in koleoptil boyunda 2., 4., ve 6. günde neden olduğu değişimler 34
- 3.11.** Erginel-90 çeşidinde % 15 PEG 3000 'in radikula boyunda 2., 4., ve 6. günde neden olduğu değişimler 35
- 3.12.** Erginel-90 çeşidinde % 15 PEG 3000 'in koleoptil boyunda 2., 4., ve 6. günde neden olduğu değişimler 35
- 3.13.** Tokak-157 / 37 çeşidinde % 15 PEG 3000 'in radikula boyunda 2., 4., ve 6. günde neden olduğu değişimler 36
- 3.14.** Tokak-157 / 37 çeşidinde % 15 PEG 3000 'in koleoptil boyunda 2., 4., ve 6. günde neden olduğu değişimler 36
- 3.15.** Cumhuriyet-50 çeşidinde % 15 PEG 3000 'in radikula boyunda 2., 4., ve 6. günde neden olduğu değişimler 37
- 3.16.** Cumhuriyet 50 çeşidinde % 15 PEG 3000 'in koleoptil boyunda 2., 4., ve 6. günde neden olduğu değişimler 37
- 3.17.** 5600/ MISC.S.CMB çeşidinde % 15 PEG 3000 'in radikula boyunda 2., 4., ve 6. günde neden olduğu değişimler 38
- 3.18.** 5600/ MISC.S.CMB çeşidinde % 15 PEG 3000 'in koleoptil boyunda 2., 4., ve 6. günde neden olduğu değişimler 38
- 3.19.** Kırıl-97 çeşidinde % 15 PEG 3000 'in 2., 4., ve 6. günde total SOD aktivitesinde neden olduğu değişimler 42
- 3.20.** Karatay-97 çeşidinde % 15 PEG 3000 'in 2., 4., ve 6. günde total SOD aktivitesinde neden olduğu değişimler 42

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)Sayfa

3.21. Erginel-90 çeşidinde % 15 PEG 3000 'in 2., 4., ve 6. günde total SOD aktivitesinde neden olduğu değişimler	43
3.22. Tokak-157 / 37 çeşidinde % 15 PEG 3000 'in 2., 4., ve 6. günde total SOD aktivitesinde neden olduğu değişimler.....	43
3.23. Cumhuriyet 50 çeşidinde % 15 PEG 3000 'in 2., 4., ve 6. günde total SOD aktivitesinde neden olduğu değişimler.....	44
3.24. 5600/ MISC.S.CMB çeşidinde % 15 PEG 3000 'in 2., 4., ve 6. günde total SOD aktivitesinde neden olduğu değişimler.....	44
3.25. Kırıl-97 çeşidinde 2., 4., 6., ve 8. günlerde yaprak bağlı nem içeriğinin su kıtlığı (kuraklık) uygulaması ile değişimi	48
3.26. Karatay-97 çeşidinde 2., 4., 6., ve 8. günlerde yaprak bağlı nem içeriğinin su kıtlığı (kuraklık) uygulaması ile değişimi	48
3.27. Erginel-90 çeşidinde 2., 4., 6., ve 8. günlerde yaprak bağlı nem içeriğinin su kıtlığı (kuraklık) uygulaması ile değişimi	49
3.28. Tokak-157 / 37 çeşidinde 2., 4., 6., ve 8. günlerde yaprak bağlı nem içeriğinin su kıtlığı (kuraklık) uygulaması ile değişimi.....	49
3.29. Cumhuriyet-50 çeşidinde 2., 4., 6., ve 8. günlerde yaprak bağlı nem içeriğinin su kıtlığı (kuraklık) uygulaması ile değişimi.....	50

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

	<u>Sayfa</u>
3.30. 5600/MISC.S.CMB çeşidinde 2., 4., 6., ve 8. günlerde yaprak bağıl nem içeriğinin su kıtlığı (kuraklık) uygulaması değişimi	50
3.31. BSA Standart Grafiği	52
3.32. Kırıl-97 çeşidinde su kıtlığı (kuraklık) etkisiyle total protein miktarında ortaya çıkan değişimler	54
3.33. Karatay-97 çeşidinde su kıtlığı (kuraklık) etkisiyle total protein miktarında ortaya çıkan değişimler	54
3.34. Erginel-90 çeşidinde su kıtlığı (kuraklık) etkisiyle total protein miktarında ortaya çıkan değişimler	55
3.35. Tokak- 157 / 37 çeşidinde su kıtlığı (kuraklık) etkisiyle total protein miktarında ortaya çıkan değişimler	55
3.36. Cumhuriyet-50 çeşidinde su kıtlığı (kuraklık) etkisiyle total protein miktarında ortaya çıkan değişimler	56
3.37. 5600/MISC.S.CMB çeşidinde su kıtlığı (kuraklık) etkisiyle total protein miktarında ortaya çıkan değişimler	56
3.38. Kırıl-97 çeşidinde su kıtlığı (kuraklık) etkisiyle total SOD aktivitesinde ortaya çıkan değişimler	58
3.39. Karatay-97 çeşidinde su kıtlığı (kuraklık) etkisiyle total SOD aktivitesinde ortaya çıkan değişimler	58
3.40. Erginel-90 çeşidinde su kıtlığı (kuraklık) etkisiyle total SOD aktivitesinde ortaya çıkan değişimler	59

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

3.41. Tokak-157 / 37 çeşidinde su kıtlığı (kuraklık) etkisiyle total SOD aktivitesinde ortaya çıkan değişimler.....	59
3.42. Cumhuriyet-50 çeşidinde su kıtlığı (kuraklık) etkisiyle total SOD aktivitesinde ortaya çıkan değişimler.....	60
3.43. 5600/MISC.S.CMB çeşidinde su kıtlığı (kuraklık) etkisiyle total SOD aktivitesinde ortaya çıkan değişimler	60



ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
1.1. Antioksidant Savunma Sistemi (Scandalios, 1993).	8
3.1. % 15 (Hacim / Ağırlık) PEG 3000 uygulanmış arpa (<i>Hordeum</i> spp.) çeşitlerinde belirlenen radikula ve koleoptil uzunlukları (mm)	30
3.2. % 15 (Hacim / Ağırlık) PEG 3000 uygulanmış arpa (<i>Hordeum</i> spp.) çeşitlerinde saptanan total SOD aktiviteleri (U SOD / Tohum)	41
3.3. Araştırılan arpa (<i>Hordeum</i> spp.) çeşitlerindeki bağıl nem içerikleri (%)	47
3.4. Araştırılan arpa (<i>Hordeum</i> spp.) çeşitlerinin protein içeriklerinde zamana bağlı olarak saptanan değişimler (mg protein / g YA)	53
3.5. Kuraklık stresine maruz bırakılmış ve kontrol grubu arpa (<i>Hordeum</i> spp.) çeşitlerinde total SOD aktiviteleri (U SOD / g YA)	57

1. GİRİŞ

Gerek bitkisel gerekse hayvansal organizmalar, doğal ortamlarında değişen çevre koşullarına karşı çeşitli içsel ve mekanik tepkiler gösterirler. Hayvansal organizmaların ekosistemde ortaya çıkan stres etkilerine karşı mekanik olarak bir kaçma mekanizmasına sahiptirler. Ancak, bitkisel organizmalar, hareketsiz olmaları nedeniyle çevresel streslerin zararlı etkilerine karşı morfolojik, fiziksel ya da biyokimyasal yanıtlar geliştirmişlerdir. Fiziksel bir terim olan ve baskı, basınç anlamına gelen stres, çevresel zararlı faktörleri (stres yapıcılar) ve biyolojik sistemlerin bunlara karşı yanıtlarını kapsayacak şekilde ilk olarak 1936'da H. Selye tarafından kullanılmıştır (Edreva, 1998).

Stres, en basit anlamıyla baskı altındaki bir bitkinin durumunu belirtir (Lichtenthaler, 1996). Bitkiler, sıklıkla uzun veya kısa süreli ani streslere maruz kalmaktadırlar. Bununla birlikte, hücresel etkenliklerini azaltan ve büyümelerini en aza indiren streslere karşı, tolerans mekanizmalarının yavaş işlemesi ve strese hızla alışabilmeleri için metabolik değişim gösterme kapasitelerinin kötü oluşu bitkiler için dezavantaj oluşturmaktadır (Edreva, 1998).

Levitt (1980), stres faktörlerini biyotik ve fizikokimyasal olmak üzere iki kısımda incelemektedir. Buna göre, biyotik faktörler ; bulaşıcı mikroorganizmalar (mantar, bakteri, virüs), pestisitler (insektisitler vb.) ve diğer organizmalarla rekabeti kapsamaktadır. Sıcaklık, radyasyon, kimyasallar, su ,tuz, elektriksel ve manyetik alanlar ise fizikokimyasal faktörleri oluştururlar. Lichtenthaler (1996), stres faktörlerini doğal ve antropojenik olmak üzere iki ana grupta sınıflandırmıştır. Stres faktörlerinin sınıflandırılmasında; şiddet, süre, ve etkinin tipi ana unsurlardır.

Stres faktörlerine maruz kalan bitkilerde gelişen olaylar; yanıt, onarım, bitiş ve rejenerasyon olmak üzere dört basamakta incelenmektedir . Bununla birlikte, strese karşı bitkilerin yanıtları,

stresten kaçma ve streslere tolerans olmak üzere iki ana tipte değerlendirilmektedir.

Stresten kaçma mekanizmaları, bitki dokularında stres faktörlerinin azaltılmasına veya önlenmesine yönelik olarak gerçekleşir. Burada bitkinin çevreyle ilişkili yüzeylerinin bileşimi ve morfolojisindeki değişimler ile ontogenetik değişimler yer alır. Strese tepki olarak, yaprak ayasının kalınlığı, stomaların büyüklük ve sıklığı, kutikulanın inceliği ve kimyasal bileşimi değişmektedir. Stres faktörlerinden mevsimsel kaçış ise ontogenetik değişimler sonucunda ortaya çıkmaktadır. Böylece, stres koşullarından önce baskın ontogenetik safhaya geçilerek bitkinin üremesi garanti altına alınmaktadır.

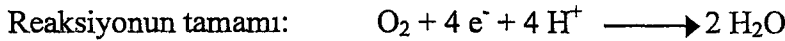
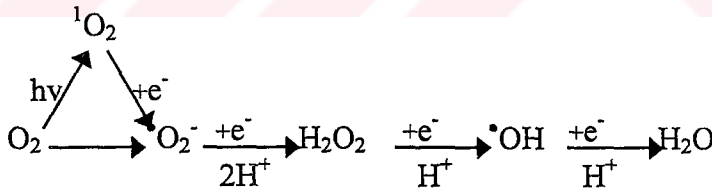
Streslere tolerans mekanizmaları, stres etkisinin azaltılmasını veya düzeltilmesini kapsar. Bu aşamadaki değişimler; doku ile organel düzeyinde ve moleküler seviyede meydana gelmektedir (Edreva, 1998; Levitt, 1980).

1.1. Oksidatif Stres

Dünya atmosferinde oksijenin birikimi, son elektron alıcısı olarak oksijeni kullanan, böylece fermentasyon ve anaerobik solunumla karşılaştırıldığında daha fazla enerji elde eden aerobik organizmaların evrimine olanak sağlamıştır. Moleküler oksijen temel olarak zararsız olmasına karşın, toksik etkiler de oluşturabilmektedir. Oksijenin aerobik canlılar için toksik etkisini, serbest radikaller ve bunların türevleri oluşturmaktadır. Bitkilerde uyarma enerjisi olarak oksijene transfer edilen bir elektron, singlet oksijen (1O_2) oluşumuna neden olmaktadır. Aerobik organizmalarda, bir molekül oksijenin tümüyle indirgenebilmesi için, dört elektrona gereksinim vardır (Şekil 1.1.). Univalent basamaklarla indirgenmiş dioksijenin reaktif türleri;

süperoksit radikali ($^{\bullet}\text{O}_2^-$), hidrojen peroksit (H_2O_2) ve hidroksil radikalidir ($^{\bullet}\text{OH}$) (Elstner, 1982; Fridovich, 1974; Scandalios, 1993).

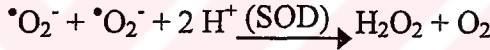
Aktif oksijen türlerinin tümü, bütün aerobik organizmalar için aşırı derecede reaktif ve sitotoksiktir. Bunlar plazmalemma ve hücre içi organelleri için gerekli membran lipidlerinin peroksidasyonuna neden olacak şekilde doymamış yağ asitleriyle reaksiyona girebilirler. Plazmalemma 'da oluşabilecek peroksidasyon zararı sonucu hücre içeriği dışarıya sızmakta, hızla kurumakta ve hücrenin ölümüne yol açmaktadır. Hücre içi membran hasarı, mitokondride solunum aktivitesinin azalmasına, plastidlerde pigment yıkımına ve kloroplastlarda karbon fiksasyonunun azalmasına neden olabilmektedir. Bunlardan başka, fotosentetik dokunun yüksek oranda oksijen (O_2) oluşturması ve tillakoidlerdeki doymamış yağ asitlerinin fazlalığı, hidrojenperoksit'e karşı Calvin çemberi enzimlerinin duyarlı olması ve karbondioksit fiksasyonunun doğrudan engellenmesi de aerobik organizmalar için tehlikelidir (Bowler *et al.*, 1992, 1994; Elstner, 1982; Scandalios, 1993).



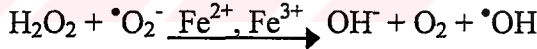
Şekil 1.1. Oksijenin suyla indirgenmesinde çeşitli ara reaktif oksijen türlerinin şekillenmesinin yönlendirildiği basamaklar (Fridovich, 1984).

İki süperoksit anyonunun dismutasyonu hidrojenperoksidi oluşturur (Şekil 1.2.). Süperoksit ve hidrojenperoksit ise bir "Haber - Weiss" reaksiyonunda tepkimeye girerek, potansiyel bir

oksidant olan hidroksil radikalini (OH^{*}) oluşturur (Şekil 1.3). Hidroksil radikali hemen hemen tüm moleküllerden, hücre içi bileşiklerden ve DNA'dan bir elektron kopararak kararlı bileşikler oluşturma eğilimindedir. Hidroksil radikalının böyle ayırimsız ve hızlı atakları, hücrede seri zarara ve mutasyonlara neden olabilmektedir. Bunun sonucu geri dönüşümsüz, metabolik fonksiyon bozuklukları ve hücrede ölüm oluşmaktadır. Hidrojenperoksit, SOD'dan başka katalaz (EC 1.11.1.6) tarafından su ve moleküler oksijene (Şekil 1.4.), peroksidaz (EC 1.11.1.7) tarafından da bir indirgeyici ile suya dönüştürülür (Şekil 1.5) (Stryer, 1988). Proteinler, oksijen radikallerine karşı genel bir duyarlılığa sahiptirler. Oksidatif modifikasyonlar doğrudan fragmentasyona neden olabilirler veya hücre içi proteolizis için denature substratları sağlayabilirler (Davies, 1987).



Şekil 1.2. İki süperoksit anyonundan hidrojenperoksit oluşumu (Elstner, 1982; Bowler, 1992).



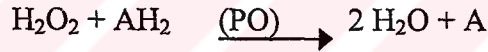
Şekil 1.3.: Haber - Weiss Reaksiyonu (Bowler *et al.*, 1992).

Reaktif oksijen türleri; lipid peroksidasyonuna, proteinlerin denaturasyonuna ve DNA'nın mutasyonuna neden olarak, aerobik organizmaların bu tip zararlı etkilere karşı fizyolojik mücadeleye zorlamaktadır. Tüm bu olayların meydana getirdiği karışıklık ve beraberindeki zararlı etkileri “Oksidatif Stres” olarak tanımlanmaktadır (Scandalios, 1993; McAinsh *et al.*, 1996; Bowler *et al.*, 1992). Fotosentez süresince oksijen üreten ve solunumda bunu kullanan, daima değişken çevrelerde sabit bir yaşam şekline sahip bitkiler için oksidatif stresin etkileri daha büyük olmaktadır. Oksidatif

stresin bir indikatörü de lipid peroksidasyon'dur ve bitkilerde oksidatif stres kloroplastlarda ortaya çıkmaktadır (Bowler *et al.*, 1992). Bununla birlikte, diğer organizmalara göre bitkilerde dioksijenin hücresel konsantrasyonu oldukça yüksektir. Bu oran, yaprak hücrelerinde 250 μmol 'ün üzerindeyken, memeli hücrelerinde 0,1 μmol 'dür (Scandalios, 1993).



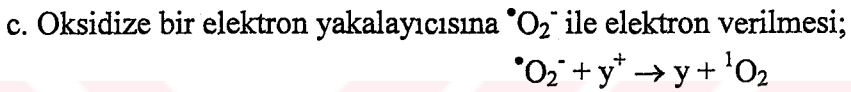
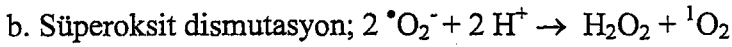
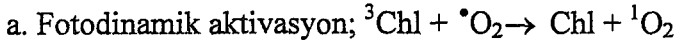
Şekil 1.4. Hidrojenperoksit'in katalaz ile su ve moleküler oksijene çevrilmesi (Stryer, 1988).



Şekil 1.5. Hidrojenperoksit'in peroksidaz ile suya çevrilmesi (Stryer, 1988).

Kloroplastlar'da oksijen aktivasyonunun mekanizması incelendiğinde Fotosistem I'de (PS I) üç farklı yolun mevcut olduğu görülür. Bunlar; dismutasyonla oksijenin indirgenmesi (örn. paraquat) ile ilk olarak süperoksit ve hidrojenperoksit oluşumu, indirgenmiş ferrodoksin ile oksijen indirgenmesi sonucu, süperoksit ve hidrojenperoksit oluşumu, o - difenol'ün süperoksit ile reaksiyonunda semikinon süperoksit formunun kinon ile oksidasyonunun hidrojenperoksiti oluşturmasıdır. PS I'de oksijenin (O_2) indirgenmesinin çok sayıda kofaktörü vardır. Bunların içinde; PS I'in primer elektron yakalayıcısı olarak ferrodoksin, ferrodoksin - NADP - ferrodoksin - oksidoredüktaz kompleksi ve non-heme demir bağı rapor edilmiştir (Eltner, 1982). Ayrıca, belli koşullarda kafeik asit ve o - fenoller de buna neden olmaktadır. Fotosistem II'de (PS II) ise diboromotimokinon ve metilendioksi - p - benzokinon gibi belli

kinonların ortaya çıkışında PS I'den bağımsız olarak hidrojenperoksit üretilir. Yüksek ışık şiddeti, düşük karbondioksit konsantrasyonları ve diğer çevresel stresler, Fotosistem Elektron Transferinin (FET) ilerleyişi boyunca sınırlı elektron taşınımı koşullarında, NADP havuzunun aşırı indirgenmesi ya da FET inhibitörlerinin meydana gelişi singlet oksijen (1O_2) oluşumuna neden olmaktadır. Bunun için üç yol mevcuttur (Eltner, 1982):



Bitkilerde moleküler oksijenden fotoredüksiyon ile süperoksit ($^\bullet O_2^-$) çıkışı, ilk olarak Mehler (1951) tarafından gösterilmiştir. Buna göre; kloroplastlar katalaz, etanol ve aldehitin varlığında ışıklandırılırsa süperoksit oluşmaktadır. Singlet oksijenin, hidrojenperoksit, süperoksit ve lipidperoksi radikalinden oksidasyon yoluyla, fotosentez reaksiyonlarıyla üretildiğini rapor edilmiştir (Takahashi 1987; Öztürk, 1996 'dan). Süperoksit ve singlet oksijen (1O_2), bitkilerde genel olarak bir klorofil ve / veya PS I kompleksinden hareketlenen elektronun transferiyle üretilmektedir. Knox and Dodge (1985), tillakoid membranlar için gerekli olan karotenoidlerin, klorofil ve singlet oksijenin hareketini bastırmada etkili olabildiklerini rapor etmişlerdir (Scandalios, 1993). Reaktif oksijen türleri, hücrenin çeşitli kısımlarında ya da organellerde önemli miktarlarda üretilmektedir. Hücresel düzeyde süperoksit üreten en önemli organeller, solunumdaki elektron taşınım zincirinin gerçekleştiği mitokondriler ve fotosentetik olayların gerçekleştiği kloroplastlardır (Çizelge 1.1.).

Paraquat ve diquat gibi bipiridyl herbisitler, reaktif oksijen radikallerinin üretilmesine neden olarak direkt oksidatif stresi artırırlar. Metil viyolojen olarak da bilinen paraquat, PS I tarafından azaltılmış

redoks-aktif bir bileşiktir ve süperoksit anyonları şeklinde ortaya çıkan oksijene elektronların transferiyle tekrar oksidize olur. Selektif olmayan toksisiteye sahip paraquatın geniş alanlarda herbisit olarak kullanılması yasaklanmıştır. Bununla birlikte, süperoksit radikallerinin üretimindeki bu yol, birçok organizmada oksijen toksisitesi çalışmaları için sıklıkla kullanılan deneysel yoldur. Paraquat, ışığa maruz bırakılan bitkilerde; klorofilin bozulmasına, fotosentetik elektron transferinin durmasına, lipid peroksidasyonunu takiben yakalanan karbondioksit (CO₂)'in hızlı inkübasyonuna neden olur (Bowler *et al.*,1992). Yapılan bir araştırmada, 12 günlük fasulye bitkilerinin 10 mmol paraquatla 15 saat muamele edilmesinin, özellikle artan ışık şiddetiyle klorofil yıkımını arttırdığı saptanmıştır (Çakmak and Marscher, 1992 b). Birçok araştırma hem prokaryot hem de ökaryotlarda, oksidatif stres nedeniyle süperoksit dismutaz (SOD, EC 1.15.1.1.) aktivitesinin arttığını göstermiştir. PS I 'in indirgenme bölgesinde (örn. paraquat) veya bunların bilinen blok elektron taşıyıcılarında terminal elektron yakalayıcı olarak tercih edilen herbisitlere tepki olarak SOD aktivitesinde artış gözlenmiştir (Scandalios, 1993). Yapılan araştırmalar paraquata dirençli genotiplerin duyarlı genotiplerle karşılaştırıldığında daha yüksek SOD aktivitesi içerdikleri gözlenmiştir (Rabinowitch and Fridovich, 1983). *Conyza canadensis* 'in paraquata duyarlı ve dirençli biyotipleri arasında total hücre ekstraktlarının SOD aktivitesinde önemli bir fark bulunamamıştır (Tucsyani *et al.*, 1994). Bezelye yapraklarında paraquata antioksidant tepkisinde SOD aktiviteleri primer ve sekonder yaprağa göre üçüncü yaprakta, 2-2,5 kat artmıştır (Donahue *et al.*, 1997).

Reaktif oksijen türlerinin neden olduğu zarara karşı bir antioksidant savunma sistemine ihtiyaç vardır. Fenoller, flavonoidler, tokoferoller, karotenoidler ve poliaminler iyi bilinen antioksidantlar olarak oksidasyona karşı iş gören yapılardır. Bunların yanı sıra, hücre içindeki yerleşimleri farklı enzimik çöpcüler, hücre içi antioksidant

savunma sistemini oluşturmaktadır . Bu enzimler, süperoksit dismutaz (SOD), askorbat peroksidaz (AP), glutathion redüktaz (GR), askorbat redüktaz (AsA - redüktaz), monodehidroaskorbat redüktaz (MDAsA - redüktaz), dehidroaskorbat redüktaz (DHAsA - redüktaz) ve GSSG - redüktazdır. SOD, dismutasyon reaksiyonuyla süperoksiti, hidrojenperoksit ve moleküler oksijene katalizler (Scandalios, 1993; Çakmak, 1994) AP, buradan oluşan hidrojenperoksidi suya indirgeyerek detoksifiye eder. AP'nin reaksiyon ürünü olan MDAsA veya DHAsA'dan indirgenmiş AsA oluşur. İndirgenmiş AsA, NADH - bağlı MDAsA - redüktaz ya da GSH - bağlı DHAsA - redüktazdan birisiyle beraber GR'ye bağlanır.

Subselleler Lokasyon	Aktif O ₂ Türlerinin Tipi	Aktif O ₂ Türlerinin Kaynağı	Enzimik Temizleme Sistemleri	Ürünler	Enzimik Olmayan Temizleme Sistemleri
Kloroplast	Süperoksit H ₂ O ₂	PS II Enzimik	SOD AP	H ₂ O ₂ DHAsA GSH NADP ⁺	Karotenoid Ksantofiller
Mitokondiyum	Süperoksit H ₂ O ₂	Elektron Taşınımı ve Enzimik	SOD PO CAT	H ₂ O ₂ H ₂ O O ₂	
Sitosol	Süperoksit H ₂ O ₂	Enzimik	SOD CAT PO	H ₂ O ₂ H ₂ O O ₂	
Gliksizom ve Peroksizom	H ₂ O ₂	β - oksidasyon (G) Fotorespirasyon (F)	CAT	H ₂ O O ₂	

Çizelge 1.1. Antioksidant Savunma Sistemi (Scandalios, 1993).

Bugüne kadar incelenmiş olan ve oksijeni metabolize eden hücrelerin tümünün $\cdot\text{O}_2^- + \cdot\text{O}_2^- + 2\text{H}^+ \rightarrow \text{H}_2\text{O}_2 + \text{O}_2$ reaksiyonunu katalizleyen enzimleri içerdikleri bulunmuştur. Bu enzim olağanüstü katalitik etkinlikle çalışan metalloproteinler olan süperoksit dismutazlardır (SOD, EC 1.15.1.1.) (Beauchamp and Fridovich, 1971). İlk olarak sığır kanından izole edilen SOD, eritrosuprein, indofenol oksidaz ve tetrazolium oksidaz olarak değişik adlarla tanımlanmıştır (Scandalios, 1993). Enzimin katalitik fonksiyonu ise ilk kez McCord ve Fridovich (1969) tarafından keşfedilmiştir (Bowler *et al.*, 1992). Aktif merkezlerinde yer alan metal iyonlarına göre SOD'un üç izozimi vardır. Bunlar bakır veya çinko içeren **Cu/ZnSOD**, mangan içeren **MnSOD** ve demir içeren **FeSOD**'lardır (Fridovich, 1986; Scandalios, 1993; Edreva, 1998). Cu/Zn SOD'lar ökaryot hücreler ve kloroplastların sitosolünde, MnSOD'lar mitokondri matriksi ve prokaryotlarda, FeSOD'lar ise genel olarak prokaryotlarda bulunmaktadır (Scandalios, 1993; Bowler *et al.*, 1992). Cu/ZnSOD'lar homodimer yapıda ve siyanüre duyarlı olmalarından dolayı diğer SOD tiplerinden kolayca ayırt edilirler. FeSOD ve MnSOD'lar aminoasit dizilimlerinin dereceleri ve yapısal homolojileri eşit olduğundan birbirleriyle yakın ilişkili, ancak, Cu/ZnSOD'larla ilişkisizdirler (Bowler *et al.*, 1992). Genel olarak prokaryotlarda bulunduğu bilinse de bazı tohumlu bitki familyalarının (*Nymphaeaceae*, *Ginkgoaceae*, *Cruciferae*) FeSOD içerdikleri bulunmuştur (Bridges and Salin, 1981).

Yapılan bir araştırmada genç ve yaşlı-olgun arpa (*Hordeum vulgare* L.) yapraklarında oksidatif strese bağlı olarak mitokondriyal MnSOD (Sod 1), kloroplastik FeSOD (Sod 2) ve sitoplazmik Cu/ZnSOD (Sod 3) 'un yaşlanma ve fotooksidatif stres arasındaki ilişki transkript seviyesinde incelenmiştir. Buna göre; genç arpa yapraklarında üç tip SOD'un transkript seviyelerinde fotooksidatif strese bağlı önemli artışlar saptanmış, yaşlı-olgun yapraklarda ise FeSOD mRNA seviyesi azalırken diğer iki tip SOD 'un seviyelerindeki düşüş daha az

bulunmuştur. Sonuçlar, yaşlanma boyunca ortaya çıkan oksidatif stresin SOD transkript seviyelerinde yaşanan yaprakların yetersiz antioksidatif savunmaya sahip olduğuna işaret etmektedir (Casano *et al.*, 1994).

Sen Grupta *et al.*, (1993), kloroplastik Cu / Zn SOD aktarılan transgenik tütün (*Nicotiana tabacum* L.) bitkilerini kullanarak, yüksek ışık ve düşük sıcaklık uygulamasıyla yaratılan oksidatif stres karşısında bunların SOD spesifik aktivitelerinin yaklaşık 3 kat, AP spesifik aktivitesinin ise 3 – 4 kat arttığını saptamışlardır.

Bezelye'de (*Pisum sativum* L.), sitoplazmik ve kloroplastik Cu/Zn SOD izoformlarının aktivitelerinin artan sıcaklık stresiyle azaldığı, MnSOD izoform aktivitelerinin genellikle değişmediği ve optimum aktivitenin herikisi için 10 °C'de maksimum olduğu belirlenmiştir (Burke and Oliver, 1992).

Yoğun ışık şiddeti (600 W m^{-2}), düşük sıcaklık (8 °C) ve bir protein sentezi inhibitörü olan kloramfenikol'ün kombine uygulaması ile buğday (*Triticum aestivum* L.) yapraklarında aktif oksijen türlerinin ortaya çıkışındaki artışa bağlı olarak SOD, AP ve MDHAR aktivitelerinin de önemli ölçüde arttığı saptanmıştır (Mishra *et al.*, 1993).

1.2. Çevresel Stresler ve Antioksidant Enzimler Arasındaki İlişkiler Üzerine Çalışmalar

1.2.1. Kirleticiler ve Mineral Besleyici Eksikliği

Besin çözeltilisinde yetiştirilen duyarlı bir ıspanak varyetesi dört saat boyunca letal ve subletal ozon konsantrasyonlarına maruz bırakılmıştır. Bunu takip eden iki, dört ve yedinci günlerde sırasıyla 60 – 70, 125 ve 250 ppb ozon konsantrasyonunun SOD miktarında artışa yol açtığı ve 30 U / gr yaprak'tan yüksek SOD aktivitesinin atmosferik kirlenmenin bir indikatörü olarak dikkate alınabileceği bildirilmiştir (Decleire *et al.*, 1984). % 75 O₂ ve 350 ppm CO₂ içeren bir atmosfere 7 gün süresince bırakılan mısır tohumlarında, O₂ uygulamasından 48 saat sonra GR aktivitesi 2 – 3 kat artarken, SOD aktivitesi örnekleme sonuna kadar kontrole göre bir değişim göstermemiştir (Foster and Hess, 1982).

Camp *et al.*, (1994), *Nicotiana plumbaginifolia* bitkisinde yaptıkları ozon toleransı ile ilgili çalışmada, SOD aktivitesinin mitokondride az da olsa arttığını belirtmişlerdir. Bununla birlikte, kloroplastlardaki fazla SOD üretiminin görünür ozon zararını 3 - 4 kat azalttığı saptanmıştır.

Kavak ağacında ozon zararı üzerine yapılan bir araştırmada, ilk olarak SOD ve GR seviyeleri artmış, ikincil olarak ise fotosentez hızı azalmıştır. SOD aktivitesi ozon uygulamasından 90 dakika sonra % 15, iki saat sonra ise % 15 - 20 azalmaktadır. Paraquat ise SOD artışlarına neden olmaktadır. Total klorofilde değişim olmamıştır (Sen Grupta *et al.*, 1991).

Yüksek ışık şiddeti ve magnezyum eksikliği, fasülye bitkisinde SOD, AP ve GR aktivitelerini arttırmaktadır (Çakmak and Marschner, 1992 a). Magnezyum eksikliği yetiştirilen fasülye bitkisinde SOD aktivitesi % 229, AP aktivitesi % 752, DHAsA % 380, GR aktivitesi

% 310, Guaiakol peroksidaz aktivitesi % 174, CAT aktivitesi de % 154 artış göstermiştir. Çakmak *et al.*, (1997), çinko eksikliğine duyarlılıkları farklı olan buğday ve çavdar kültürvarlarında, Cu/Zn SOD aktivitesinin, bitkilerin çinko beslenme düzeylerinin iyi bir indikatörü olduğunu belirtmişlerdir.

-12 günlük fasülye bitkilerinde, fosfor eksik bitkilerin yapraklarıyla karşılaştırıldığında, magnezyum ve potasyumu eksik bitki yapraklarında, antioksidatif potansiyel artma eğiliminde olduğunu ve buna bağlı olarak paraquat'ın klorofil parçalanması üzerine olan etkisinin azaldığı belirlenmiştir. Antioksidatif kapasitedeki değişimler 6 ve 12 günlük bitkiler karşılaştırıldığında; MDAsA redüktaz aktivitesi kontrol bitkilerde 2 kat, K eksik yapraklarda 5 kat, Mg eksik yapraklarda 8 kat artmış, P eksik bitkilerde fazla değişmemiştir. DHAsA redüktaz aktivitesi ise K ve Mg eksik yapraklarda yüksektir. GSSG redüktaz aktivitesi, kontrol ve P eksik bitkilerde benzer seviyedeyken, Mg eksikliğiyle artmaktadır. Bununla beraber, K eksik bitkiler kontrol ile karşılaştırıldığında GSSG redüktaz aktivitesi çok değişmemektedir. K eksik bitkilerde guaiakol peroksidaz aktivitesi P eksik ve kontrol bitkilere göre 9 kat, Mg eksik bitkilere göre yaklaşık 9 kat fazladır (Çakmak, 1994).

Çinko eksikliği stresi, toksik oksijen radikallerinin ana hedefleri olan biyomembranlar, enzimler ve tillakoidlerin önemli bileşenlerinin peroksidatif zarara neden olmaktadır. Çinko beslenme düzeylerine bakıldığında, çinko bakımından eksik bitkilere çinko ilavesini takip eden 72 saat sonunda, GSSG redüktaz aktivitesi 8 kat, SOD 4,4 kat, ASA, PO ve CAT aktiviteleri 3 kat artmıştır (Çakmak and Marschner, 1993).

Çakmak *et al.*, (1997), Çinko (Zn) eksikliğine farklı duyarlılıktaki çavdar ve buğday kültürvarlarının yapraklarında, Zn konsantrasyonu ile Cu/Zn SOD aktiviteleri arasındaki ilişkiyi araştırmışlardır. Kurak ve

yarı kurak bölgelerde Zn gibi mikrobeseleyici eksiklikleri ortaya çıkmaktadır. Sonuçta; kùltivarlar arasında yaprak kuru ağırlıklarındaki Zn konsantrasyonları farklı değildir. Bununla birlikte, total SOD ve Cu/Zn SOD aktiviteleri kùltivarların Zn eksikliğine duyarlılıklarıyla yakından ilişkili bulunmuştur.

Cucumis sativus L. yapraklarına, ışık altında acifluorfen herbisiti uygulanmasıyla, GR, DHAsA redùktaz, SOD, AP, askorbat redùktaz, PO ve CAT aktivitelerinin seviyelerinde azalma tespit edilmiştir (Kenyon and Duke, 1985).

1.3.Kuraklık Stresi

Bitki gelişimine olumsuz etkiler yapacak derecede şiddetli olan ve belirsiz zamanlarda ortaya çıkan su kıtlığı kuraklık olarak tanımlanmaktadır (Yazıcı, 1996). Turner (1979) ise kuraklığı genellikle önemli yağışların yokluğundaki bir periyot olarak tanımlamıştır (Levitt, 1980). Bitki hücrelerinin ana bileşeni olan su; doku ve organların yaę ağırlığının % 60-95'ini (örneğin; ağaçta % 60, buğday yapraklarında % 77, domateste % 94) oluştururken, bu oran kuru meyve ve tohumlarda dūřüktür (örneğin; arpa % 20, buğday % 12, fındık % 5) (Monneveux and Belhassen, 1996).

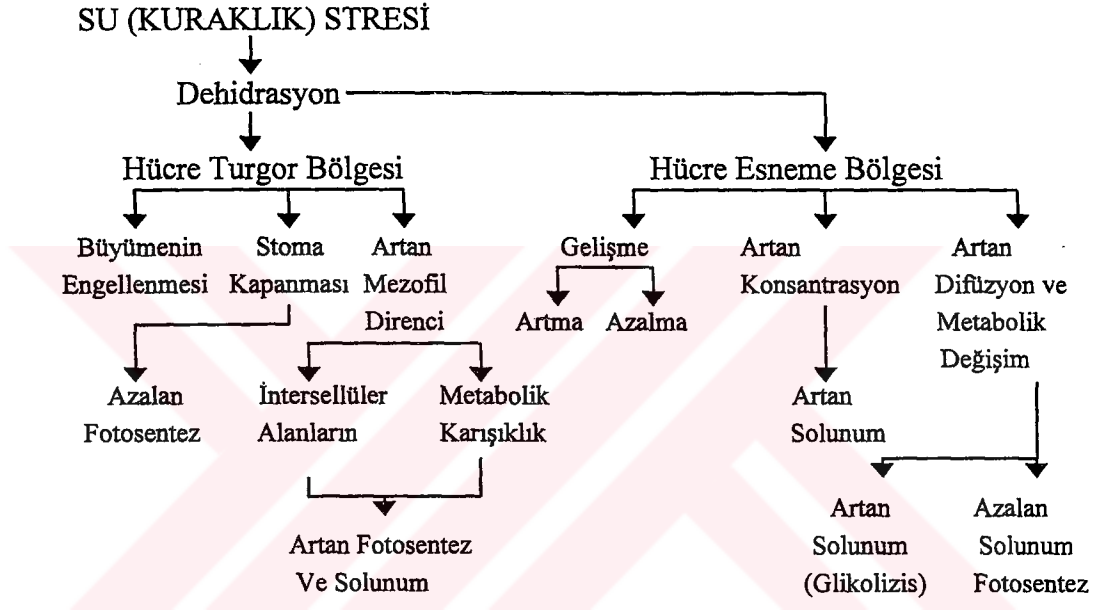
Yağışın dūřük olduğu bölgelerde yetişen ve kserofitler olarak adlandırılan bitkiler genellikle kurağı tolere ederler . Kuraęa dayanıklılık ise tolerans ve sakinma olarak iki şekilde ortaya çıkmaktadır. Bu bağlamda, kuraklığın olumsuz etkilerinden korunmada morfolojik, anatomik ya da fizyolojik yollar sakinma mekanizmasını, şiddetli kuraklık öncesi bitkinin yaşam dōngüsünü tamamlaması ise kaçma mekanizmasını oluşurmaktadır. Kuraklık çerçevesinde kuraklıktan kaçan bir genotip yüksek bir su potansiyeline sahiptir, toleranslı bir genotip ise su potansiyelindeki herhangi bir azalmadan fazla etkilenmemektedir (Levitt, 1980). Tahıl bitkilerinde de bu

böyledir. Kuraklık toleransının ana bir bileşeni olarak nem stresinde, hücre membran stabilitesinin kritik bir rolü olduğu, donma ve sıcaklık gibi streslere toleransın da bir kriteri olarak kullanıldığı bilinmektedir. Bu fenomen aynı zamanda buğday, arpa ve diğer yüksek bitkilerde de mevcuttur (Blum and Ebercon, 1981). Kurağa karşı dayanıklılık; köklerle su alınımı artışı, su kaybının azalması, su depo edilmesi kutikular transpirasyonun ve yaprak yüzeyinin azalmasına bağlı olarak gelişir (Krebs, 1985). Su kıtlığına karşı zamana bağlı olarak bitkide ilk birkaç dakikada bazı proteinlerin dönüşümü ve stomaların hareketleri; saatler sonra ısı şoku proteinlerinin veya dehidrinlerin üretimi, yaprak hareketi, solma, osmotik uyum ve absisik aside (ABA) cevap; bir - iki gün sonra hücrede su kaybı, floral erginleşme ve çiçeklenme; bir hafta sonra yaprak yaşlanması ve kök sistemi gelişimi, bir hafta ile bir ay sonra ise kontrollü gelişim (örneğin; vernalizasyon, çiçeklenme zamanı) ve danelerin olgunlaşması belirgin tepkileri oluşturmaktadır (Passioura, 1996).

Su stresine karşı bitkinin en belirgin yanıtı, hücre büyümesinin azalmasıdır. Hücrede turgor ve hücre su potansiyeli dehidrasyondaki artışa bağlı olarak azalır. İkinci önemli tepki ise turgorla kontrol edilen stoma hareketlerinin, kuraklık etkisiyle gaz alış veriş, fotosentez ve solunumda neden olduğu fizyolojik davranışlardır. Kuraklığın giderek artması sonucu stomaların kapanması fotosentez hızını azaltmaktadır. Bunun nedeni yaprağın interselüler alanlarına CO₂'in difüzyonunun engellenmesidir. Buna bağlı olarak fotosentez engellenmekte, bu da yaprak içine oksijenin difüzyonu azaltarak, solunumun da engellenmesine neden olmaktadır (Şekil 1.6.) (Levitt, 1980).

Su depo eden ve kuraklıktan kaçan bitkiler, su stresine tepki olarak stomalarını çok hızlı kapatmalarının hormonal kontrol altında olduğu bilinmektedir. Çok sayıdaki araştırmalar, stoma açılıp kapanmasında ABA'nın merkezi bir rol oynadığını göstermektedir (Itai and Vaadia, 1965; Vaadia and Itai, 1969; Livne and Vaadia, 1961; Little

and Eidt 1968; Mittelheuser and Van Steveninch; 1969, Levitt 1980'den; Bowler *et al.*; 1992). Stoma kapanması sonucunda fotosentezde CO₂ kullanımının azalması, fotosentezde elektronların yanlış bilgilendirilmesinden dolayı reaktif oksijen türlerinin oluşumuna yol açabilir (Bowler *et al.*, 1992).



Şekil 1.6. Su stresi ile artan dehidrasyonun büyüme, fotosentez ve solunum üzerine etkisi (Levitt 1980).

Bu kapanmayı yöneten iki mekanizmadan biri olan hormonal kontrolde ABA'nın yanı sıra, sitokinin de yer almaktadır. Diğer bir mekanizma ise hidropasif kontroldür. Sitokininler stresli bitkilerde azalmakta ve transpirasyonu uyarmaktadır. ABA ise stoma kapanmasını ve dolayısıyla transpirasyonu azaltmaktadır. Stoma kapanmasında ABA, bekçi hücrelerinden potasyum (K⁺) sızmasına neden olarak, bu hücrelerin turgorlarını yitirmesine, sonuçta da stoma kapanmasına yol açmaktadır.

Stoma kapanması olayı tümüyle ele alındığında, stoma bekçi hücrelerinde hem ABA hem de CO₂ konsantrasyonları önemli rol oynamaktadır. Bu nedenle, stoma kapanmasını takiben, CO₂ konsantrasyonu artmaktadır. CO₂ kullanımındaki bu azalma, fotosentezde elektronların yanlış yönleneşine ve reaktif oksijen türlerinin oluşumuna neden olabilir.

1.3.1. Kuraklık Stresi ve Antioksidant Savunma Sistemi Arasındaki İlişiler Üzerine Yapılan Araştırmalar:

Kuraklık ve reaktif oksijen türlerini silici enzimlerin arasındaki ilişki çeşitli araştırmalara konu olmuştur.

Aşırı su bulunması durumunda, buna duyarlı *Iris germanica* 'nın rizomlarında ortaya çıkan lipid peroksidasyonunun dayanıklı çeşit olan *Iris pseudochorus* rizomlarına göre daha fazla olduğu bulunmuştur. Buna göre, aşırı suya boğulmadan kaynaklanan ve rizomlarda ortaya çıkan anoksi koşulların, dirençli varyetede total SOD miktarını duyarlı varyeteye göre 13 kat daha fazla arttırdığı belirlenmiştir (Bowler *et al.*, 1992).

Kurak koşullarda yetiştirilen iki pamuk hattında, yaprak sayısı, yaprak alan indeksi ve bitki toplam ağırlığının % 40 - 85 azaldığı bulunmuştur. Brüt fotosentezdeki azalma - 2,1, - 2,4 ve 0,3 Mpa'a kadar ulaşırken, glutathion redüktaz aktivitesi normal sulama koşullarında azalmış, stresli bitkilerde ise 2 - 3 kat artmıştır. Bununla birlikte, su stresine yanıtta GR aktivitesindeki artış hücrel antioksidant savunma sisteminin değişiminde tek başına bir ölçüt değildir (Burke *et al.* 1985).

Pirinç tohumlarının gelişimi süresince, kuraklıkla artan lipid peroksidasyonu, ozmotik stresi arttırmış, protein içeriği ile SOD ve CAT aktivitelerinde azalmaya neden olmuştur. Dayanıklı kültürlerde

SOD ve CAT aktivitesindeki artış, diğerlerine göre daha yüksek olmuştur (Reddy and Vajranabhaiah, 1993).

Çay bitkisinde aktive edilmiş oksijen metabolizmasına bağlantılı kuraklık zararı incelenmiştir. Ozmotik strese maruz bırakılan tohumlarda 40 saat sonra zarlara geçirgenliği, malondealdehit (MDA) içeriği, peroksidaz (POD), SOD ve CAT aktiviteleri artmış; 20 saat sonra ise azalmıştır. Kuvvetli ozmotik strese maruz kalan tohumlar, yüksek SOD, CAT ve POD aktivitelerine sahipken, bunlardaki membran lipid peroksidasyon düzeyleri, ozmotik stres altında çok daha düşük bulunmuştur (Lu *et al.*, 1992).

Heksaploid, tetraploid ve diploidlerden oluşan dokuz buğday türünde kuraklık etkisiyle birçok türde SOD ve CAT aktiviteleri artmış veya kuraklığın erken evresinde mevcut düzeylerini korumuşlardır. Su stresine tepki olarak POD aktiviteleri ve MDA içerikleri artmıştır. Kuraklık altındaki heksaploid türlerin POD aktivitesi ve MDA içeriği tetraploid ve diploidlerinkinden daha yüksektir (Zhang and Kirkham, 1994).

Kurağa duyarlı ve dayanıklı iki karayosunu türünde lipid peroksidasyonu, SOD ve CAT aktiviteleri bakımından kuraklığa bağlı olarak araştırılmıştır. Stres uygulaması süresince kurağa dayanıklı *Tortula ruralis*'de lipid peroksidasyon düşük seviyelerdeyken, SOD ve CAT aktivitelerinin her ikisi birden artmıştır. Duyarlı tür olan *Cratoneuron filicinum*'da ise enzim aktiviteleri azalmıştır (Bowler *et al.*, 1992). Yine *Tortula ruralis*'de yapılan bir araştırma, yavaş su kaybının GR aktivitesini 6 saat sonunda belirgin bir şekilde artırdığını, bu artışın GR, Glutathion peroksidaz (GP), Glutathion-S-transferaz (GST) aktivitelerini sırasıyla %200, %150 ve %135 olduğu saptanmıştır (Dhindsa, 1991).

Bazı mısır kültürleriyle yapılan bir çalışmada ozmotik stres altında SOD ve CAT aktiviteleri yavaşça artmıştır. Kurağa dirençli bir

hibritin SOD, CAT ve POD aktivitelerindeki artış, bu hibritin parental hatlarının kurağa duyarlı olanlarından çok daha fazla olmuştur (Li *et al.*, 1994).

Su stresi, buğdaylarda kök ve sürgün boyları, kuru ağırlık ve klorofil (a, b ve total) içeriklerinde azalmaya yol açmıştır. Azalma, kuraklığa hassas genotiplerde daha belirgindir. Total fenoller POD aktivitesini ve klorofil a/b oranını kurak koşullar altında artmıştır (Ashraf *et al.*, 1994).

Kuraklık toleransları farklı olan *Sorghum bicolor* (L.)'un dört kültüvarı yüksek ışık, yüksek sıcaklık ve düşük su stresine maruz bırakılmışlardır. Kurağa dayanıklı kültüvarlarda SOD ve CAT aktiviteleri artmıştır (Jagtab and Bhorgova, 1995).

Kuraklık stresine dirençli ve duyarlı iki mısır hattında, yaprağın yaşlanması süresince antioksidant enzimlerin düzeyi belirlenmiştir. Paraquat ve hidrojenperoksit kullanılarak yapılan oksidatif uygulama sonucunda dirençli kültüvarın genç ve yaşlı yapraklarında, duyarlı olana göre GR aktivitesi 3 - 6 kat, SOD aktivitesi 3 - 4 kat, AP aktivitesi ise 2 kat artmıştır (Pastori and Trippi, 1993).

Arabidopsis thaliana'nın ABA - dayanıklı, ABA - duyarlı genotiplerinde, kuraklık stresine tepki olarak, ABA ve serbest prolin seviyeleri artmaktadır. Prolin miktarındaki artışa içsel ABA neden olmaktadır (Gottlieb and Bray, 1991).

Düşük konsantrasyonlardaki paraquat ve hidrojenperoksidin stoma davranışı üzerine etkileri incelendiğinde kalsiyumdaki (Ca^{2+}) artışın oksidatif stres artışını tamamen ortadan kaldırdığı tespit edilmiştir (McAinsh *et al.*, 1996).

Price ve Hendry (1989); Avrupa kıtasında yayılış gösteren tek yıllık dokuz tür üzerinde, kuraklığa bağlı olarak koruyucu enzimlerin aktif oksijen çöpçülerini incelemiştir. Artan kuraklık stresiyle, bu

türlerdeki SOD ve CAT aktivitelerindeki değişimler istatistiksel olarak anlamlı değildir.

İnci vd. (1993), altı farklı türk buğday varyetesinde kuraklık stresiyle SOD izozimlerinin tümünde önemli bir artış olduğunu rapor etmişlerdir.

Bitkilerin su stresine yanıtında, bazı yeni protein ve poliaminlerin sentezlendiği bilinmektedir, ancak bunların nitelikleri tam olarak anlaşılammıştır. Su (kuraklık) stresi yaprak dokularında ABA'nın sentezine neden olmaktadır. ABA 'daki bu artış yeni bir grup proteinin de senteziyle ilişkilidir. Kuraklık stresiyle ABA miktarının 5 kat arttığı da bilinmektedir (Ho, 1993). Ayrıca yüksek ozmoz, ABA miktarı ve MnSOD aktivitesi arasındaki ilişki mısır bitkisinde gen aktarımı ile saptanmıştır (Zhu and Scandalios, 1994). Bir başka çalışmada ise büyümeyi arttırıcı bir hormon olan benziladenin ile büyümeyi engelleyici bir hormon olan ABA 'nın *Lemna gibba* 'da büyümeye bağlı total SOD aktivitesi üzerine etkileri araştırılmıştır. Buna göre, total SOD aktivitesinin benziladenin ile azaldığı, ABA ile arttığı rapor edilmiştir (Vaughan *et al.*, 1983). ABA'nın azalan su alınımıyla stoma bekçi hücrelerinin kapanmasını uyarması kurağa tepkide merkezi bir rol oynamaktadır. Bu durum, fotosentezde CO₂ alınımını azaltmakta, buna bağlı olarakta fotosentez süresince elektronların yanlış bilgilendirilmesi sonucu reaktif oksijen türleri oluşmaktadır. Bu nedenle, oksidatif stresin neden olduğu kısmi zararın önlenmesinde SOD mekanizmasının ikincil bir rolü olduğu düşünülmektedir (Bowler *et al.*, 1992).

Arpa (*Hordeum* spp.), taksonomik yönden Poaceae familyasına dahil tek veya çok yıllık bir bitkidir. Yarı kozmopolit olup 20 kadar tür içerir. *H. vulgare* L., ülkemizde geniş oranda kültürü yapılan tek yıllık bir bitkidir (Seçmen vd., 1992). Buğday, mısır ve pirinçten sonra tarımı yapılan dünyanın en önemli dördüncü tahıl ürünü olan arpa, kuraklık stresinin söz konusu olduğu, kurak ve yarı kurak bölgelerdeki tahıl

retiminin % 90'ını oluşturmaktadır. Bu oran yalnızca 1982 - 1984 yılları arasında 79 milyon hektarlık alanı kapsamaktadır (Ceccarelli, 1987).

Çevresel streslerin bitkilerde verimlilik üzerine etkilerinin su kıtlığı, düşük ve yüksek sıcaklıklar ve mineral stres gibi çevresel streslere bağlı olarak azaldığı saptanmıştır (Christiansen, 1982; Ceccarelli, 1987'den). Bu nedenle, ekonomik öneminin yanı sıra, arpada iklimsel streslerin neden olduğu rekolte kayıplarının açıklanabilmesi için ortaya çıkan fizyolojik ve biyokimyasal yanıtların bilinmesi gereklidir. Kuraklık stresiyle Arpa'da ortaya çıkan; erkencilik, hızlı gelişim, bitki boyunda kısalma, kılıkların varlığı, yaprak özellikleri ve kök gelişiminde değişimler gibi bazı karakterler arasındaki ilişkiler bilinmektedir (Ceccarelli, 1987). Bununla birlikte; Kurağa toleranslı *Hordeum* tür ve varyetelerinde GR ve AP seviyelerinin arttığı bilinmesine karşın, SOD aktiviteleri çalışılmamıştır (Bowler *et al.*, 1992).

Bu durum gözönünde bulundurularak, bu araştırmada kuraklığa duyarlı ve dayanıklı olduğu bilinen bazı arpa eşitlerinde SOD aktivitesinin belirlenerek bu konudaki boşluğun doldurulması amaçlanmıştır.

2. MATERYAL ve METOD

Araştırma materyali olarak; Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü'nden sağlanan ve kurağa toleransı bilinmeyen bir (5600 / MISC.S.CMB), B.D. MİKHAM (Konya)'dan sağlanan ve kurağa duyarlı ve dayanıklı oldukları bilinen 5 arpa çeşidi (Kıral-97, Karatay-97, Erginel-90, Tokak 157 / 37, Cumhuriyet-50 – olmak üzere toplam 6 çeşit kullanılmıştır.

2.1.Bitkilerin Yetiştirilmesi

Tüm Arpa (*Hordeum spp.*) çeşitleri % 15 (hacim/ağırlık) PEG 3000 ve su kıtlığı (kuraklık) uygulaması olarak iki grupta yetiştirilmişlerdir.

2.1.1. % 15 (hacim/ağırlık) PEG 3000 Uygulaması

Tohumlar %5 'lik sodyum hipoklorit ile 20 dk. yüzey sterilizasyonundan sonra H₂O (kontrol) ve %15 'lik PEG 3000 ile nemlendirilmiş filtre kağıtlarında olmak üzere iki grupta, 15 cm. çapındaki cam petrielerde yetiştirilmişlerdir. Çimlenme karanlıkta ve 24±1 °C sıcaklıkta gerçekleştirilmiştir. Çimlenmenin ilk günü başlatılan örnekleme altıncı güne kadar iki günde bir olmak üzere üç defa yapılmıştır. Çimlenmedeki etkilerin belirlenmesi için radikula ve koleoptil uzunlukları tespit edilmiştir. Her tekrar için 10 tohum kullanılmış, ölçümler üç bağımsız tekrar olarak verilmiştir.

2.1.2. Su Kıtlığı (kuraklık) Uygulaması

Tohumlar %5 'lik sodyum hipoklorit ile 20 dk. yüzey sterilizasyonundan sonra perlit içeren 180x160 mm. 'lik plastik saksılara ekilmişler ve kontrollü koşullardaki büyüme kabinde (16/8 saat ışık/ karanlık, 24 ±1 °C sıcaklık, %70 ±10 nem) yetiştirilmişlerdir. Bitkiler 21. güne kadar, Hoagland besin çözeltisi (%100) (Arnon and

Hoagland 1940, Steward 1963 'ten) kullanılarak üç günde bir sulanmışlardır(Şekil 2.1, 2.2, 2.3, 2.4, 2.5 ve 2.6'da gösterilmiştir). 21. günden sonra saksıların yarısı kuraklığa bırakılarak, kontrol grubu sulanmaya devam edilmiştir. Bitkiler üç bağımsız tekrar olarak çalışılmıştır. Örnekleme iki günde bir ve sekizinci güne kadar yapılmış ve hasattan sonra etiketlenerek -20°C deki dipfrizde saklanmışlardır.

2.2. Enzim Ekstraktının Hazırlanması

Petri denemesi için iki adet genç bitki, saksı denemesi içinse 0.3 g ($\pm 0,01$) taze yaprak materyali 0.1 mM Na_2EDTA içeren 10 ml 50 mM fosfat tamponunda (pH:7,6) homojenize edilmişlerdir. Homojenat 14 000 RPM de 15 dk. santrifüjlenmiş ve supernatantlar enzim ve protein analizi için kullanılmışlardır. Enzim ekstraktlarının hazırlanmasında tüm işlemler $+4^{\circ}\text{C}$ 'de çalışılmıştır.

2.3. Süperoksit Dismutaz Aktivitesinin (SOD) Belirlenmesi

SOD analizi için, 0,1 mM Na_2EDTA içeren 50 mM fosfat tamponu (pH:7,6), 50 mM Na_2CO_3 (pH:10,2), 12 mM L-Methionin, 75 μM Nitro Blue Tetrazolium (NBT), enzim ekstraktı (20, 40, 60, 80, 100 μl) ve 10 μM Riboflavin 10x100 mm lik cam tüplerde hazırlanmıştır. Reaksiyon hacmi 5 ml dir. Reaksiyon karışımları oda sıcaklığında, 12000 lux ışık şiddetinde, 15 dk. ışıklandırılmıştır. Ölçümler plastik küvetlerde, 560 nm. 'de Shimadzu UV 1601 marka spektrofotometrede yapılmıştır. 1 birim SOD aktivitesi, 560 nm 'de NBT 'nin % 50 indirgenmesine eşit olacak şekilde aşağıdaki formüle uygulanarak belirlenmiştir (Giannopolities and Ries, 1977).

$$\% \text{Inhibisyon} = (\text{ABS2} - \text{ABS1}) / (\text{ABS1} \times 100)$$

ABS2: Enzim içermeyen reaksiyonun (Kör) absorbansı

ABS1: Enzim içeren reaksiyonun (20, 40, 60, 80, 100 μl Örnek) absorbansı



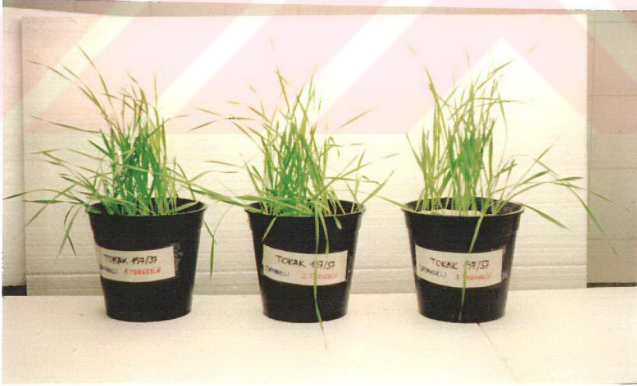
Şekil 2.1. Kontrollü şartlarda ve saksıda yetiştirilen Kiral-97 örnekleri



Şekil 2.2. Kontrollü şartlarda ve saksıda yetiştirilen Karatay-97 örnekleri



Şekil 2.3. Kontrollü şartlarda ve saksıda yetiştirilen Erginel-90 örnekleri



Şekil 2.4. Kontrollü şartlarda ve saksıda yetiştirilen Tokak 157/37 örnekleri



Şekil 2.5. Kontrollü şartlarda ve saksıda yetiştirilen Cumhuriyet-50 örnekleri



Şekil 2.6. Kontrollü şartlarda ve saksıda yetiştirilen 5600/MISC.S.C.M.B örnekleri

2.4. Yaprak Bağıl Su İçeriği Testi

Test için yaprakların orta kısmındaki 1/3'lik bölümü kesilerek yaş ağırlıkları tartılmış, daha sonra filtre kağıtları arasına yerleştirilerek dört saat boyunca saf suda şişmeye bırakılmışlardır. Süre sonunda turgida ağırlıkları ölçülmüştür. Örnekler bundan sonra 70 °C deki etüvde 24 saat kurumaya bırakılmış ve kuru ağırlıkları belirlenmiştir. Ölçüm sonuçları aşağıdaki formüle uygulanarak yaprak bağıl su içerikleri hesaplanmıştır. (Smart and Bingham, 1974).

$$\% \text{ Bağıl nem} = ((YA - KA) / (TA - KA)) \times 100$$

YA: Yaş ağırlık KA: Kuru ağırlık TA: Turgida ağırlığı

2.5. Protein Analizi

Protein içerikleri Bradford (1974) 'a göre çalışılmıştır. Standart olarak Bovine Serum Albumine (BSA) kullanılmış, BSA standardı 0,05-0,2 µg/ml aralığında hazırlanmıştır. Protein analiz belirteci için 100 mg Coomassie Brilliant Blue 50 ml %95'lik etil alkolde çözdürülmüştür. Bu karışımın üzerine 100 ml %85'lik orto-fosforik asit ilave edilerek karışım saf su ile 600 ml 'ye tamamlanmış ve süzölmüştür. Süzöntüye 100 ml % 87 'lik gliserol ilave edilerek karışım 1000 ml 'ye tamamlanmıştır. Bu karışım enzim analizi için hazırlanan supernatantlardaki protein ölçümlerinde kullanılmıştır. 100 µl supernatant 5 ml belirteç ile karıştırılarak ortaya çıkan renk reagent körüne karşı 595 nm 'de okunmuştur.

3. BULGULAR

3.1. PEG 3000 (%15, hacim/ağırlık) Uygulamasıyla Yaratılan Kuraklık Stresiyle İlgili Bulgular

3.1.1. Radikula – Koleoptil Uzunlukları

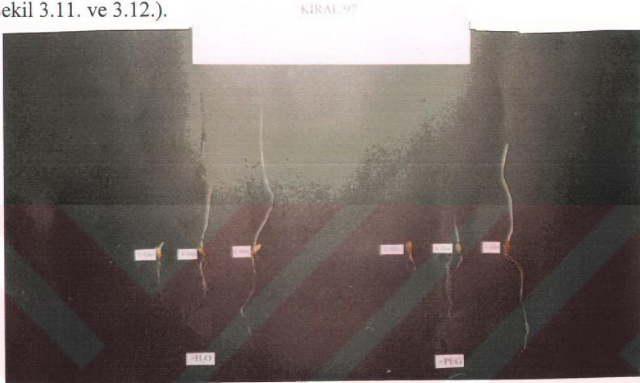
Tüm çeşitlerde radikula ve koleoptil gelişimlerinin % 15'lik PEG uygulamasıyla farklı seviyelerde etkilendikleri bulunmuştur. PEG uygulaması süresince (6 gün) tüm kontrol gruplarında koleoptil büyümesi gerçekleşmiş, Karatay-97 dışındaki çeşitlerde ise PEG uygulaması ikinci günde koleoptil gelişimini tamamen engellemiştir. Radikula-Koleoptil boyları ile ilgili sonuçlar Çizelge.3.1'de verilmiştir.

Kurağa duyarlı Kırıl-97'de, PEG uygulamasına bağlı olarak, radikula boyu ikinci günde, kontrole göre % 26 artmasına karşın, dördüncü günde bu fark % 1'e inmiş, altıncı günde ise kontrole göre olumsuz etkilenecek % 15 azalmıştır. Koleoptil boyunda ise, kontrole göre dördüncü günde % 40'lık bir azalma, altıncı günde de % 35 artış kaydedilmiştir (Şekil 3.1., 3.7. ve 3.8.).

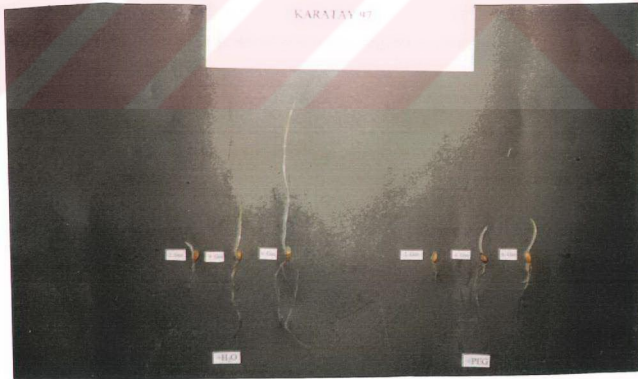
Kurağa dayanıklı Karatay-97'de, PEG uygulaması iki, dört ve altıncı günlerde radikula büyümesi üzerinde engellenmeye neden olmuştur. En fazla azalma, ikinci günde % 59, dördüncü ve altıncı günlerde ise % 20'ler seviyesinde bulunmuştur. PEG uygulaması sonucu koleoptil büyümesi de engellenmiştir. İkinci günde diğer çeşitlerden farklı olarak PEG uygulamasında çimlenme gözlenmiş ve kontrole göre % 88'lik bir azalma bulunmuştur. İlerleyen günlerde ise, bu azalma dördüncü günde % 59, altıncı günde de % 34 olarak gerçekleşmiştir (Şekil 3.2., 3.9. ve 3.10.).

Radikula büyümesi üzerine engelleyici olan PEG uygulamasının etkisi kurağa duyarlı Erginel-90'da da gözlenmiştir. PEG uygulanan bitkilerde buna bağlı olarak büyüme ikinci günde % 62, dördüncü günde % 45 , altıncı günde % 62 azalmıştır. Koleoptil gelişiminde ise PEG

uygulanan bitkilerde, dördüncü günde kontrole göre % 22'lik bir azalma, altıncı günde ise % 10'luk bir artış bulunmuştur (Resim 3.3., Şekil 3.11. ve 3.12.).



Şekil 3.1. Kırıl-97 Çeşidinde %15'lik PEG 3000 Uygulamasının Radikula ve Koleoptil Boyu Üzerindeki Etkisi



Şekil 3.2. Karatay-97 Çeşidinde %15'lik PEG 3000 Uygulamasının Radikula ve Koleoptil Boyu Üzerindeki Etkisi

Kurağa dayanlı Tokak-157/37'de ise PEG uygulaması radikula büyümesinde ikinci gün % 34, dördüncü günde ise % 13'lük bir engellemeye neden olurken, altıncı günde kontrole göre % 20'lik bir artışa neden olmuştur. PEG uygulanan bitkilerdeki koleoptil uzunluğu ise dördüncü günde, kontrole göre % 50, altıncı günde % 9 azalmıştır (Şekil 3.4., 3.13. ve 3.14.).

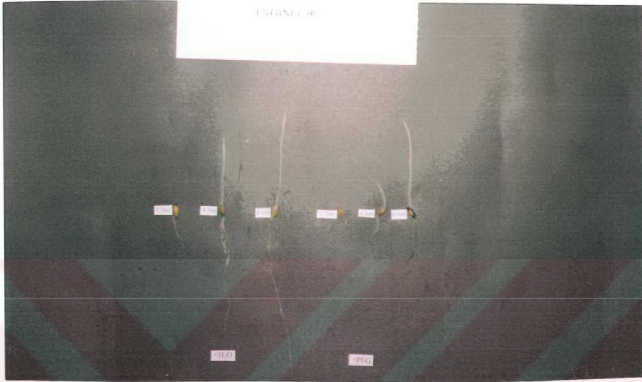
Kurağa duyarlı Cumhuriyet-50 hem radikula hem de koleoptil büyümesinde PEG uygulamasından belirgin bir şekilde etkilenmiştir. PEG uygulaması radikula ve koleoptil büyümesini iki, dört ve altıncı günlerde sırasıyla %50, %27 ve %25 azaltmıştır. Koleoptil boyu ise dördüncü günde % 57, altıncı günde % 25 azalmıştır (Şekil 3.5., 3.15 ve 3.16).

Kurağa toleransı bilinmeyen 5600 / MISC.S.CMB ise PEG uygulamasından olumsuz etkilenmemiştir. Radikula gelişimi, ikinci günde kontrole göre % 24 bir azalmaya uğramış, bu fark dördüncü günde % 7 azalmış, altıncı günde de kontrole göre % 26 artmıştır. Koleoptil gelişimine bakıldığında; ikinci günde sadece kontrolde bir çimlenme gözlenmiş, dördüncü günde ise PEG uygulaması yalnızca % 1'lik bir azalmaya neden olmuştur. Altıncı günde , kontrole göre, % 3'lük bir artış bulunmuştur (Şekil 3.6., 3.17 ve 3.18).

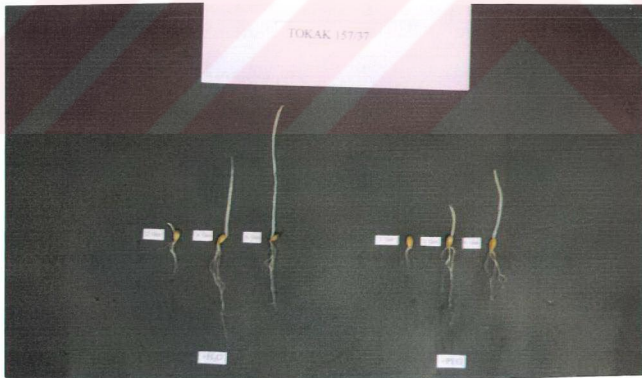
Çizelge 3.1. % 15 (Hacim / Ağırlık) PEG 3000 uygulamasıyla arpa (*Hordeum* spp.) çeşitlerinde belirlenen radikula ve koleoptil boyları (mm)

Kuraklık (Gün)	2		4		6		
	Kontrol	+ PEG	Kontrol	+ PEG	Kontrol	+ PEG	
Kırmı – 97	R	28,75 ± 2,99	21,3 ± 5,24	61,0 ± 12,59	60,16 ± 8,77	72,6 ± 16,57	83,3 ± 35,66
	K	8,25 ± 2,75	-----	38,83 ± 4,17	23,16 ± 13,01	35,5 ± 8,64	48,0 ± 4,86
Karafay – 97	R	31,83 ± 5,46	12,8 ± 3,13	58,3 ± 23,61	44,6 ± 1,51	72,0 ± 21,94	56,6 ± 18,14
	K	16,5 ± 4,46	2,0 ± 0,1	47,0 ± 4,97	19,3 ± 13,43	45,0 ± 9,07	29,6 ± 10,24
Erginel – 90	R	42,8 ± 6,94	16,0 ± 4,27	112,8 ± 17,81	61,5 ± 13,94	180,83 ± 21,76	69,16 ± 14,16
	K	12,3 ± 3,27	-----	41,6 ± 3,33	32,5 ± 9,85	43,1 ± 7,63	47,8 ± 3,43
Tokak – 157 / 37	R	32,6 ± 8,82	21,5 ± 6,41	80,83 ± 21,12	70,6 ± 7,92	70,6 ± 17,53	85,3 ± 14,77
	K	12,6 ± 4,85	-----	51,5 ± 6,72	26,0 ± 12,46	45,3 ± 7,0	41,3 ± 13,4
Cumhuriyet – 50	R	37,6 ± 4,41	19,16 ± 4,62	90,8 ± 11,53	66,16 ± 17,54	121,6 ± 38,17	90,66 ± 13,33
	K	11,5 ± 4,59	-----	48,6 ± 2,8	20,8 ± 5,0	52,3 ± 2,58	39,5 ± 5,13
5600 / MISC.S.CMB	R	48,0 ± 5,33	36,6 ± 4,76	119,0 ± 21,82	110,3 ± 5,68	127,83 ± 6,76	161,0 ± 10,11
	K	10,58 ± 3,11	-----	42,3 ± 4,04	42,6 ± 7,4	41,5 ± 5,32	42,6 ± 4,68

R:Radikula K: Koleoptil



Şekil 3.3. Erginel-90 Çeşidinde %15'lik PEG 3000 Uygulamasının Radikula ve Koleoptil Boyu Üzerindeki Etkisi



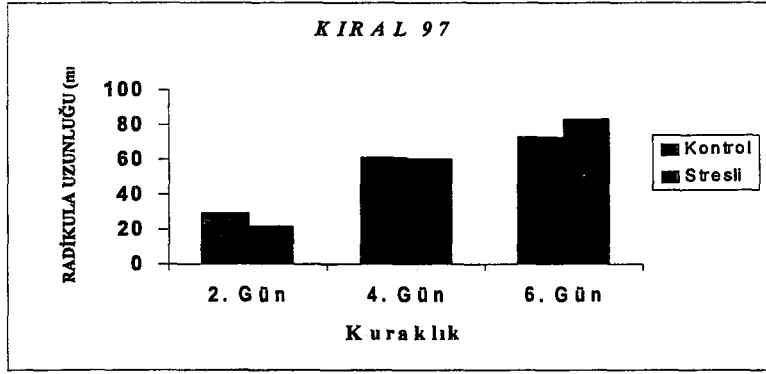
Şekil 3.4. Tokak-157 / 37 Çeşidinde %15'lik PEG 3000 Uygulamasının Radikula ve Koleoptil Boyu Üzerindeki Etkisi



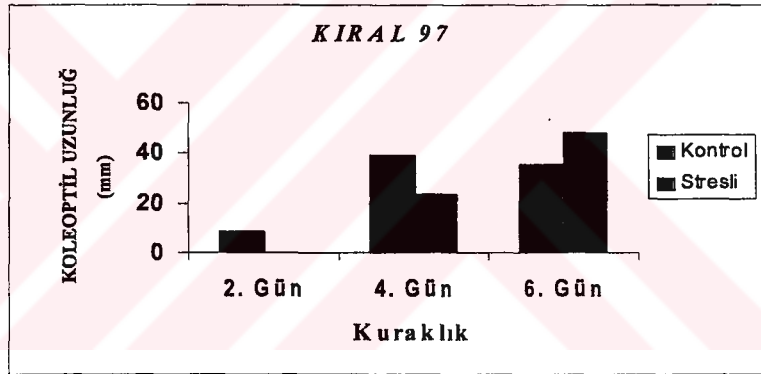
Şekil 3.5. Cumhuriyet-50 Çeşidinde %15'lik PEG 3000 Uygulamasının Radikula ve Koleoptil Boyu Üzerindeki Etkisi



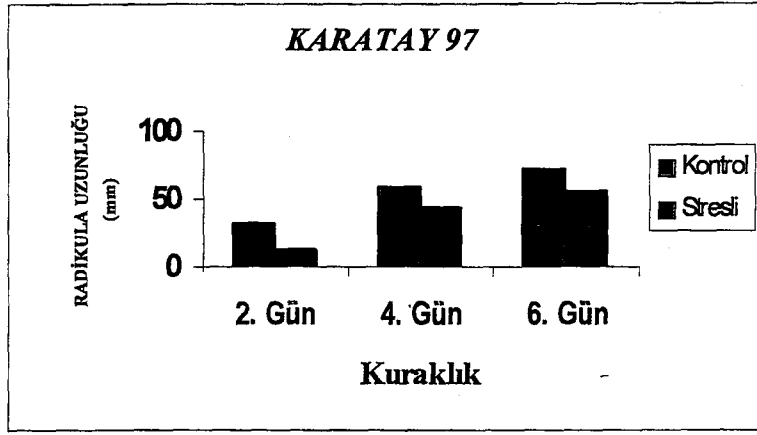
Şekil 3.6. 5600 MISC.S.CMB Çeşidinde %15'lik PEG 3000 Uygulamasının Radikula ve Koleoptil Boyu Üzerindeki Etkisi



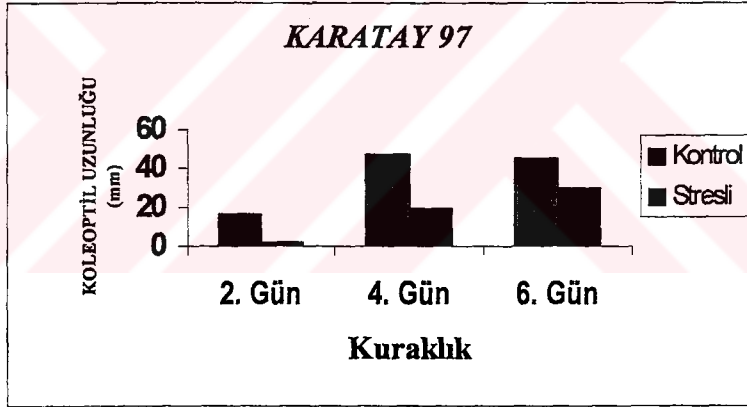
Şekil 3.7. Kır-al-97 çeşidinde % 15 PEG 3000 'in radikula boyunda 2., 4., ve 6. günde neden olduğu değişimler



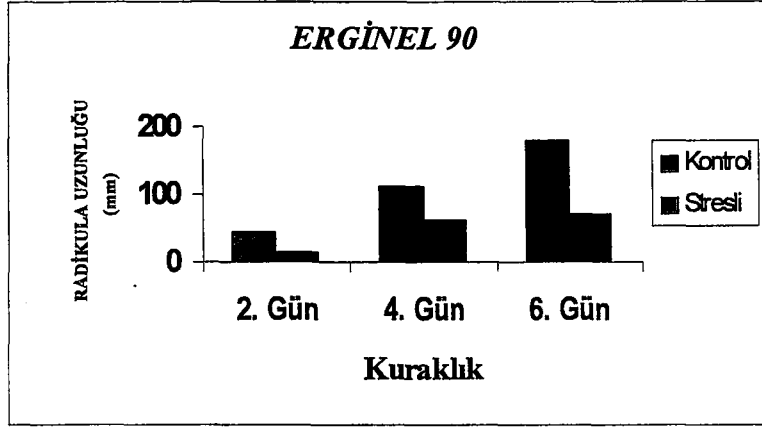
Şekil 3.8. Kır-al-97 çeşidinde % 15 PEG 3000 'in koleoptil boyunda 2., 4., ve 6. günde neden olduğu değişimler.



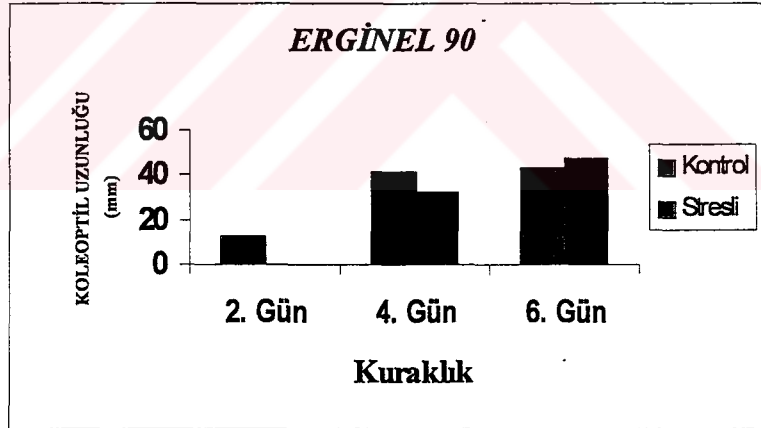
Şekil 3.9. Karatay-97 çeşidinde % 15 PEG 3000 'in radikula boyunda 2., 4., ve 6. günde neden olduğu değişimler



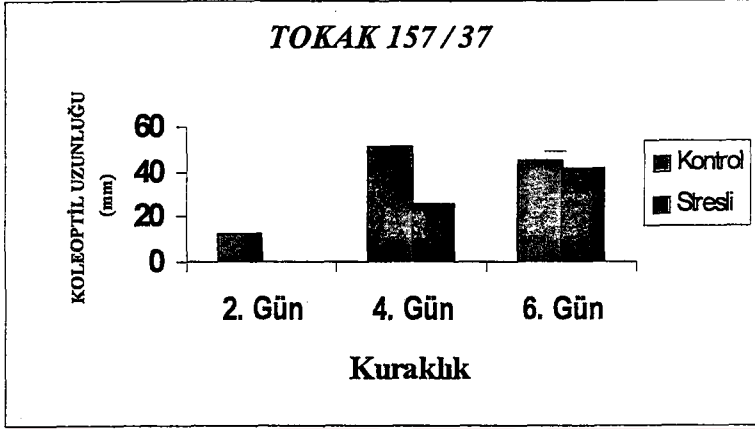
Şekil 3.10. Karatay-97 çeşidinde % 15 PEG 3000 'in koleoptil boyunda 2., 4., ve 6. günde neden olduğu değişimler



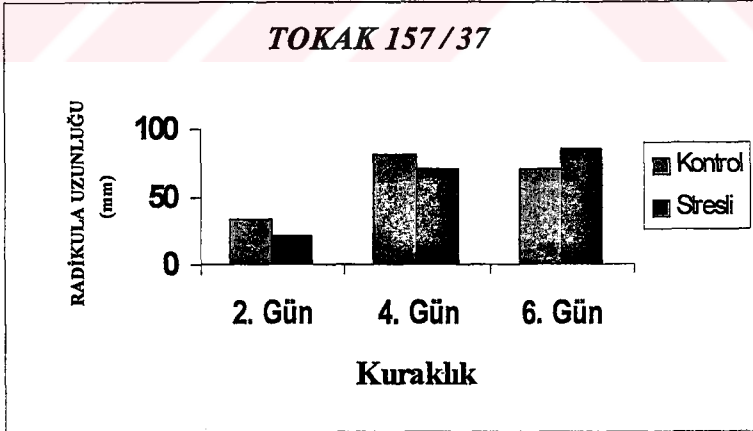
Şekil 3.11. Erginel-90 çeşidinde % 15 PEG 3000 'in radikula boyunda 2., 4., ve 6. günde neden olduğu değişimler



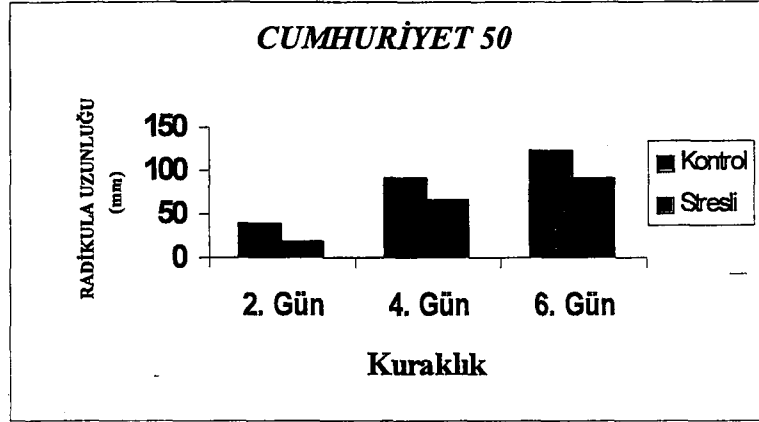
Şekil 3.12. Erginel-90 çeşidinde % 15 PEG 3000 'in koleoptil boyunda 2., 4., ve 6. günde neden olduğu değişimler



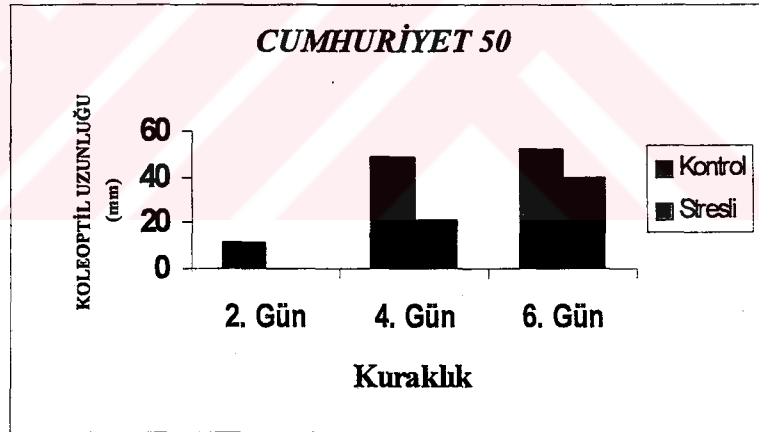
Şekil 3.13. Tokak-157 / 37 çeşidinde % 15 PEG 3000 ‘in radikula boyunda 2., 4., ve 6. günde neden olduğu değişimler



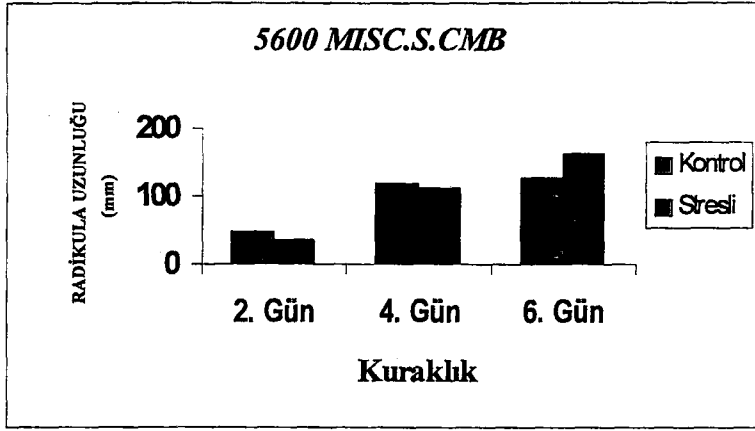
Şekil 3.14. Tokak-157 / 37 çeşidinde % 15 PEG 3000 ‘in koleoptil boyunda 2., 4., ve 6. günde neden olduğu değişimler



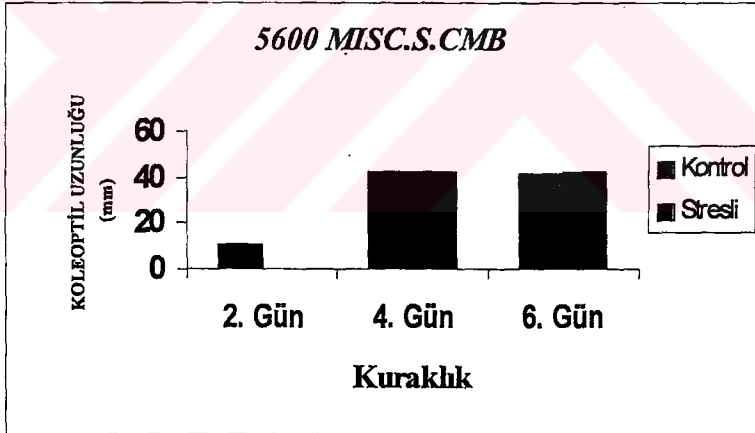
Şekil 3.15. Cumhuriyet-50 çeşidinde % 15 PEG 3000 'in radikula boyunda 2., 4., ve 6. günde neden olduğu değişimler



Şekil 3.16. Cumhuriyet 50 çeşidinde % 15 PEG 3000 'in koleoptil boyunda 2., 4., ve 6. günde neden olduğu değişimler



Şekil 3.17. 5600/ MISC.S.CMB çeşidinde % 15 PEG 3000 'in radikula boyunda 2., 4., ve 6. günde neden olduğu değişimler



Şekil 3.18. 5600/ MISC.S.CMB çeşidinde % 15 PEG 3000 'in koleoptil boyunda 2., 4., ve 6. günde neden olduğu değişimler

3.1.2. Total SOD Aktivitesi Sonuçları

%15'lik PEG 3000 uygulamasından sonra toplam altı çeşidin koleoptillerinde yapılan SOD analizlerinin sonuçları toplu olarak Çizelge. 3.2.'de verilmiştir.

Kıral 97'de total SOD aktivitesi, ikinci gün kontrolde 45,22 U iken, dördüncü ve altıncı günde PEG uygulamasıyla yaklaşık % 50 azalmıştır. Dördüncü gün, kontrol bitkiler 70,39 U iken, PEG uygulamasında 37,99 U bulunmuştur. Altıncı günde kontrolde 64,89 U SOD, PEG'de 36,75 U SOD tespit edilmiştir (Şekil 3.19.).

Karatay 97 koleoptillerinde yapılan ölçümlerde ise total SOD aktivitelerinin, PEG uygulamasından pek fazla etkilenmediği saptanmıştır. İkinci gün kontrolde; 28,77 U SOD, PEG'de 17,24 U SOD, dördüncü gün kontrolde 22,97 U SOD, PEG'de 42,91 U SOD, altıncı gün kontrolde 87,96 U SOD, PEG'de 71,95 U SOD tespit edilmiştir (Şekil 3.20.).

Erginel 90'da ise iki, dört ve altıncı günlerde örneklerde sırasıyla kontrolde 19,63 U SOD, 66,17 U SOD, 63,65 U SOD, buna karşılık PEG uygulanan bitkilerde ise dördüncü günde 19,07 U SOD, altıncı günde 68,75 U SOD bulunmuştur (Şekil 3.21.).

Tokak 157 / 37'de, iki, dört ve altıncı günlerde sırasıyla kontrolde 19,41 U SOD, 74,13 U SOD, 46,27 U SOD, PEG'de ise dördüncü günde 38,55 U SOD, altıncı günde ise 80,47 U SOD bulunmuştur (Şekil 3.22.).

Cumhuriyet 50 çeşidinde total SOD aktiviteleri, kontrol bitkilerde ikinci gün 29,61 U, dördüncü gün 30,39 U, altıncı gün 36,5 U SOD, PEG uygulanan bitkilerde ise dördüncü gün 36,72 U , altıncı gün 36,5 U olarak saptanmıştır (Şekil 3.23.).

5600 / MISC.S.CMB'de, kontrolde ikinci günde 17,39 U SOD, dördüncü günde 56,15 U SOD, altıncı günde 87,32 U SOD, PEG'de

40

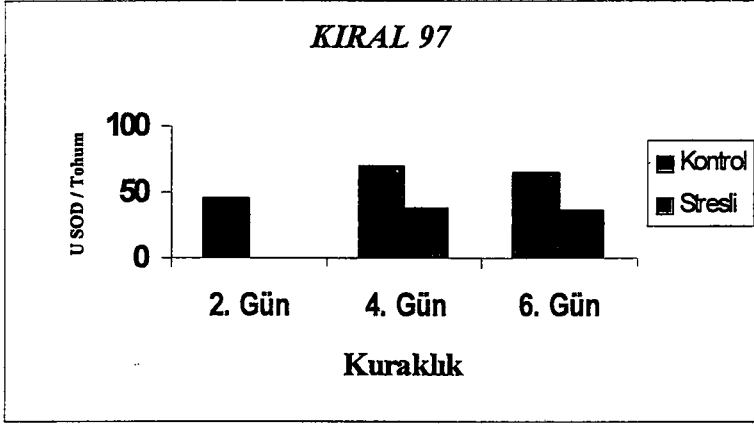
dördüncü günde 57,16 U SOD, altıncı günde 57,07 U SOD aktivitesi belirlenmiştir (Şekil 3.24.).



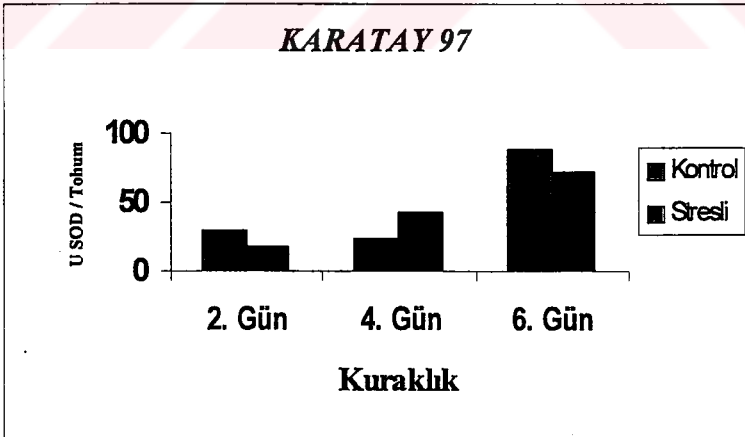
Çizelge 3.2. Arpa (*Hordeum* spp.) çeşitlerinde % 15 (Hacim / Ağırlık) PEG 3000 uygulamasıyla saptanan total SOD aktiviteleri (U SOD / Tohum)

Kuraklık (Gün)	2		4		6	
	K	S	K	S	K	S
Çeşit						
Kıral – 97	45,22 ± 29,07	-----	70,39 ± 0,69	37,99 ± 2,78	64,89 ± 38,4	36,75 ± 13,62
Karatay – 97	28,77 ± 25,01	17,24 ± 15,67	22,97 ± 8,31	42,91 ± 8,31	87,96 ± 9,03	71,95 ± 10,87
Erginel – 90	19,63 ± 3,59	-----	66,17 ± 18,67	19,07 ± 0,18	63,65 ± 21,21	68,75 ± 16,81
Tokak 157 / 37	19,41 ± 4,44	-----	74,13 ± 7,69	38,55 ± 7,32	46,27 ± 22,33	80,47 ± 25,25
Cumhuriyet – 50	29,61 ± 1,02	-----	30,39 ± 9,5	36,72 ± 14,3	58,5 ± 18,16	36,5 ± 24,32
5600 / MISC.S.CMB	17,39 ± 11,26	-----	56,15 ± 15,67	57,16 ± 12,91	87,32 ± 0,48	57,07 ± 23,17

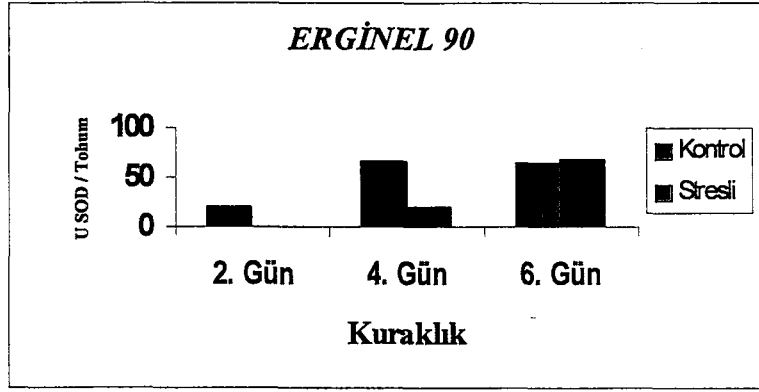
K: Kontrol S: Su ktlığı uygulaması



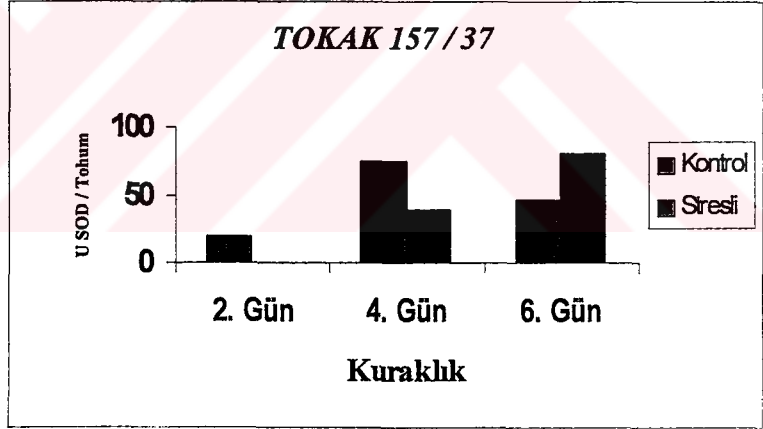
Şekil 3.19. Kiral-97 çeşidinde % 15 PEG 3000 'in 2., 4., ve 6. günde total SOD aktivitesinde neden olduğu değişimler



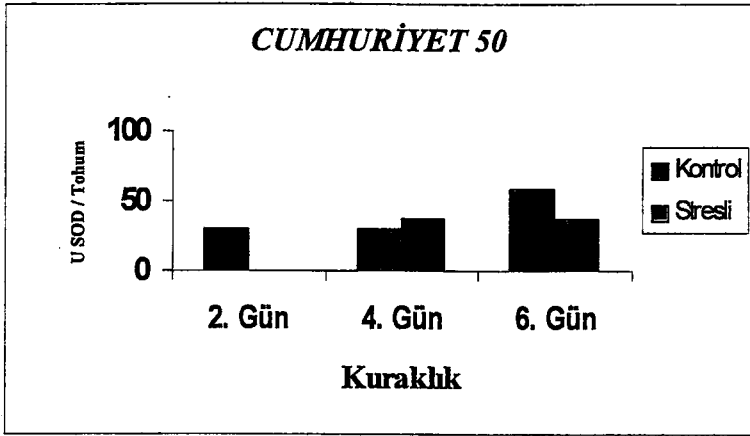
Şekil 3.20. Karatay-97 çeşidinde % 15 PEG 3000 'in 2., 4., ve 6. günde total SOD aktivitesinde neden olduğu değişimler



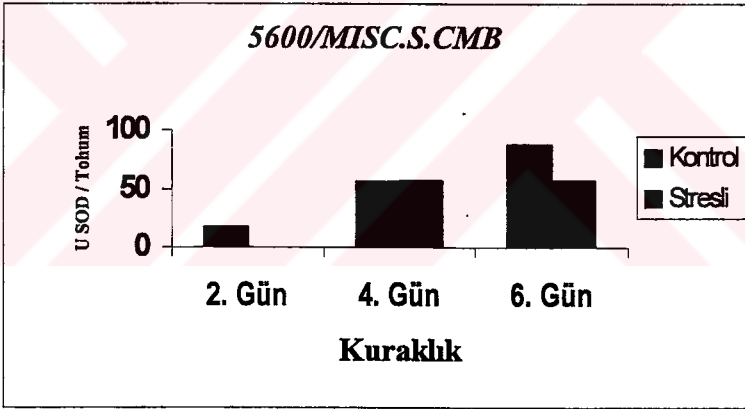
Şekil 3.21. Erginel-90 çeşidinde % 15 PEG 3000 ‘in 2., 4., ve 6. günde total SOD aktivitesinde neden olduğu değişimler



Şekil 3.22. Tokak-157 / 37 çeşidinde % 15 PEG 3000 ‘in 2., 4., ve 6. günde total SOD aktivitesinde neden olduğu değişimler



Şekil 3.23. Cumhuriyet 50 çeşidinde % 15 PEG 3000 'in 2., 4., ve 6. günde total SOD aktivitesinde neden olduğu değişimler



Şekil 3.24. 5600/ MISC.S.CMB çeşidinde % 15 PEG 3000 'in 2., 4., ve 6. günde total SOD aktivitesinde neden olduğu değişimler

3.2. Su Eksikliği ile Kuraklık Yaratılarak Elde Edilen Bulgular

3.2.1. Yaprak Bağıl Nem İçeriği Testi Sonuçları

Su kıtlığı (kuraklık) etkisi için saksıda yetiştirilen ve sekizinci güne kadar takip edilen kontrol ve stresli bitkilerdeki bağıl nem içeriği ile ilgili sonuçlar Çizelge 3.3.'de verilmiştir.

Kıral 97'de bağıl nem içeriği, kontrol grubundaki bitkilerde ikinci gün % 92,49, dördüncü gün % 99,14, altıncı gün % 88,85 ve sekizinci günde % 88,02 olarak gerçekleşmiş, kuraklık etkisine maruz bırakılan bitkilerde ise, ikinci gün % 88,82, dördüncü gün % 99,3, altıncı gün % 88,39 ve sekizinci gün % 81,04 olarak bulunmuştur (Şekil 3.25.).

Karatay 97'de kontrol grubu iki, dört, altı ve sekizinci günlerde sırasıyla % 90,16, % 95,98, % 88,37, % 79,58 bağıl nem içeriğine sahip iken, bu oran kuraklık etkisindeki bitkiler için % 86,04, % 98,22, % 85,66, % 81,58 olarak tespit edilmiştir (Şekil 3.26.).

Erginel 90'da ise kontrol bitkileri ikinci gün % 89,94, dördüncü gün % 96,34, altıncı gün % 84,06, sekizinci gün % 80,5, su kıtlığındaki bitkiler ikinci gün % 90,55, dördüncü gün % 95,39, altıncı gün % 91,45 ve sekizinci günde % 82,21 olarak bulunmuştur (Şekil 3.27.).

Tokak 157 / 37 çeşidinde bağıl nem içeriğindeki değişimler iki, dört, altı ve sekizinci günlerde sırasıyla kontrol bitkilerde % 95,31, % 99,41, % 88,77, % 78,95, kuraklık periyodundaki bitkilerde ise % 89,96, % 96,47, % 90,69, % 81,78 olarak gerçekleşmiştir (Şekil 3.28.).

Cumhuriyet 50'de bağıl nem içerikleri, kontrol bitkilerde ikinci günde % 98,4, dördüncü günde % 96,53, altıncı günde % 87,78, sekizinci günde % 77,99 ,su verilmeyen bitkilerde ise ikinci günde % 96,14, dördüncü günde % 86,72, altıncı günde % 90,64, sekizinci günde % 80,69 olarak belirlenmiştir (Şekil 3.29.).

5600 / MISC.S.CMB'de ise bağıl nem içerikleri kontrol grubunda ikinci gün % 93, dördüncü günde % 99,07, altıncı gün % 85,8, sekizinci gün % 80,76, stresli grupta ise ikinci gün % 92,41, dördüncü gün % 92,9, altıncı gün % 88,95, sekizinci gün ise % 67,28 olarak bulunmuştur (Şekil 3.30).

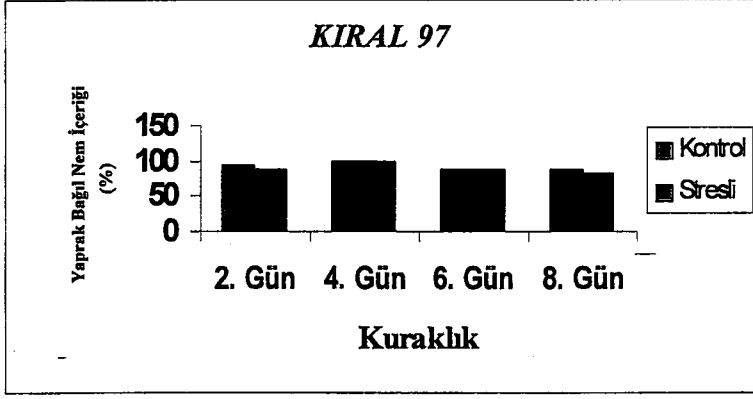
—



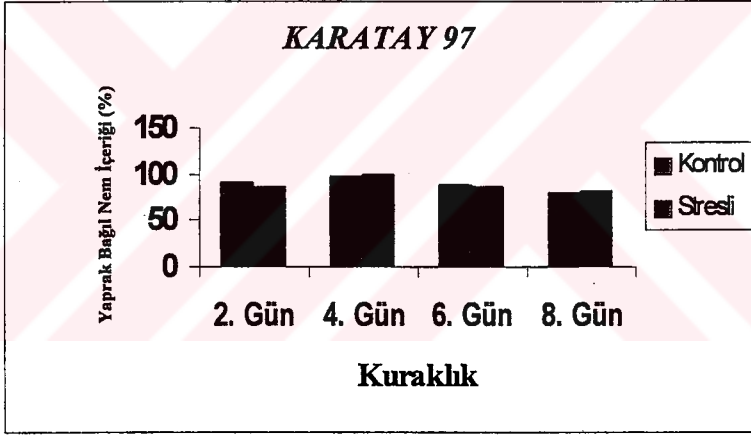
Çizelge 3.3. Araştırılan arpa (*Hordeum* spp.) çeşitlerindeki bağıl nem içerikleri (%)

Kuraklık (Gün)	2		4		6		8	
	K	S	K	S	K	S	K	S
Çeşit								
Kıral - 97	92,49±0,82	88,82±3,08	99,14±0,16	99,3±2,45	88,85±0,86	88,39±1,57	88,02±2,82	81,04±1,73
Karatay - 97	90,16±0,64	86,04±4,55	95,98±1,14	98,22±0,48	88,37±2,02	85,66±0,31	79,58±4,37	81,58±0,99
Erginel - 90	89,94±2,66	90,55±1,67	96,34±1,57	95,39±3,23	84,06±4,06	91,45±0,36	80,5±5,06	82,21±1,3
Tokak - 157 / 37	95,31±3,39	89,96±5,83	99,41±0,61	96,47±0,85	88,47±0,56	90,69±1,91	78,95±5,51	81,78±0,67
Cumhuriyet - 50	98,4±5,96	96,14±3,56	96,53±4,26	86,72±1,88	87,78±4,89	90,64±3,23	77,99±2,55	80,69±0,45
5600 / MISC.S.CMB	93,0±2,13	92,41±3,57	99,07±4,76	92,9±0,48	85,8±3,16	88,95±1,87	80,76±1,25	67,28±8,57

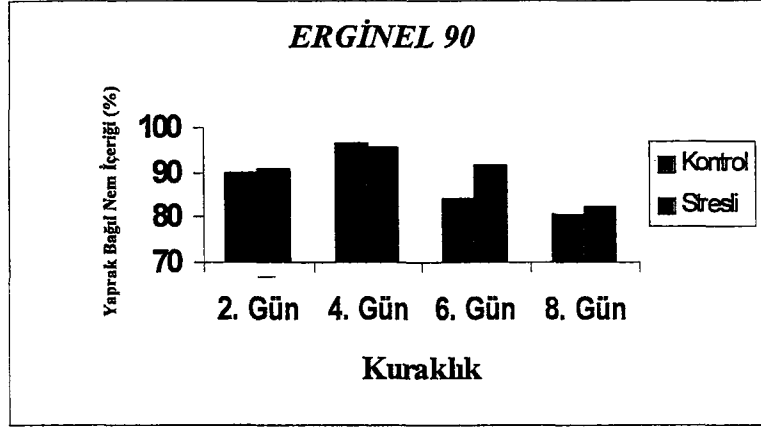
K: Kontrol S: Su kitiği uygulaması



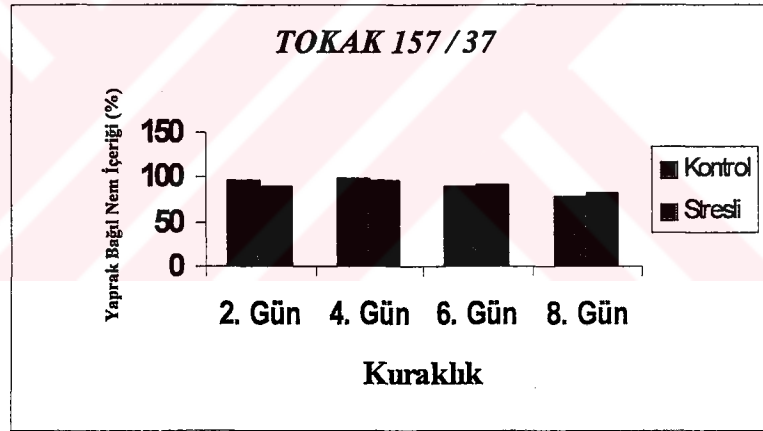
Şekil 3.25. Kiral-97 çeşidinde 2., 4., 6., ve 8. günlerde yaprak bağıl nem içeriğinin su kıtlığı (kuraklık) uygulaması ile değişimi



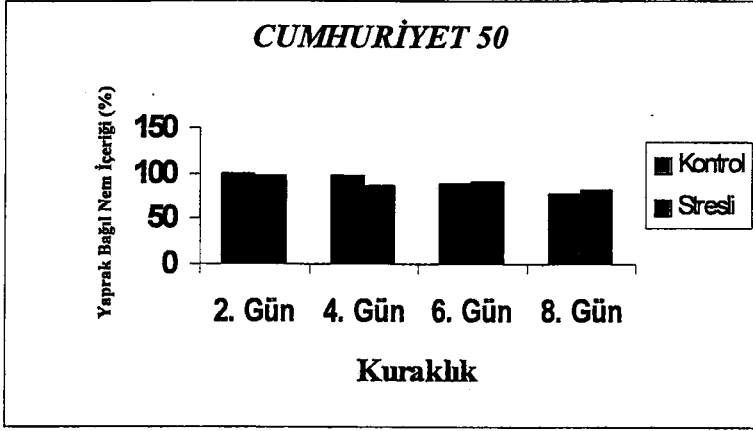
Şekil 3.26. Karatay-97 çeşidinde 2., 4., 6., ve 8. günlerde yaprak bağıl nem içeriğinin su kıtlığı (kuraklık) uygulaması ile değişimi



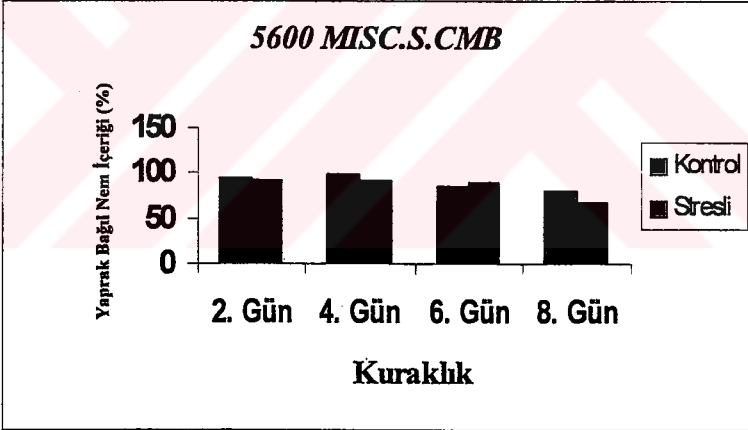
Şekil 3.27. Erginel-90 çeşidinde 2., 4., 6., ve 8. günlerde yaprak bağıl nem içeriğinin su kıtlığı (kuraklık) uygulaması ile değişimi



Şekil 3.28. Tokak-157 / 37 çeşidinde 2., 4., 6., ve 8. günlerde yaprak bağıl nem içeriğinin su kıtlığı (kuraklık) uygulaması ile değişimi



Şekil 3.29. Cumhuriyet-50 çeşidinde 2., 4., 6., ve 8. günlerde yaprak bağıl nem içeriğinin su kıtlığı (kuraklık) uygulaması ile değişimi



Şekil 3.30. 5600/MISC.S.CMB çeşidinde 2., 4., 6., ve 8. günlerde yaprak bağıl nem içeriğinin su kıtlığı (kuraklık) uygulaması değişimi

3.2.2. Total Protein Analiz Sonuçları

Tüm çeşitlerin total protein sonuçları yeterli miktarda su verilmiş olan kontrol ve su kıtlığı uygulanarak kuraklık etkisi yaratılmış bitkilerin yapraklarından, total SOD analizi için hazırlanan süpernatantlar kullanılarak saptanmıştır. Sonuçlar 0,05-0,2 µg/ml aralığında hazırlanan BSA standardına göre hesaplanmış ve gram yaş ağırlıkta miligram protein olarak verilmiştir (Şekil 3.31., Çizelge 3.4).

Kıral-97'de kontrol bitkilerde toplam protein içeriği ikinci günde 0,0042 , dördüncü gün 0,0066, altıncı gün 0,0374, sekizinci gün 0,009 mg 'dır. Su kıtlığı etkisine bırakılanlarda ise sırasıyla ikinci, dördüncü, altıncı ve sekizinci günlerde; 0,0103, 0,0106, 0,0151 ve 0,0131 mg olarak belirlenmiştir (Şekil 3.32.).

Karatay-97'de toplam protein miktarları sırasıyla ikinci, dördüncü, altıncı ve sekizinci günlerde kontrol bitkilerde; 0,0045, 0,0072, 0,0105, ve 0,012 mg iken, bu değerler kuraklık etkisindeki bitkilerde; 0,006, 0,0085, 0,0237 ve 0,0126 mg olarak saptanmıştır (Şekil 3.33.).

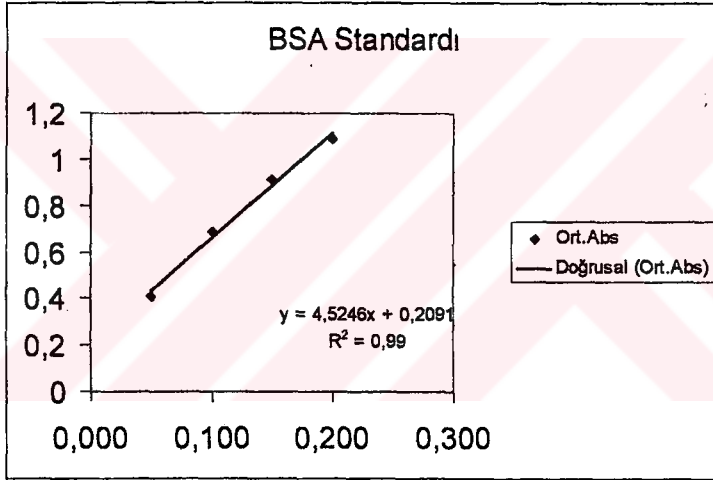
Erginel-90'daki toplam protein miktarları ise sırasıyla ikinci, dördüncü, altıncı ve sekizinci günlerde kontrol bitkilerde; 0,0133, 0,0065, 0,0127, 0,0229 mg, kuraklık stresindeki bitkilerde ise; 0,0092, 0,0137, 0,0134 ve 0,0107 mg olarak bulunmuştur (Şekil 3.34.).

Toplam protein miktarları Tokak-157 / 37 çeşidinin kontrol bitkilerinde sırasıyla ikinci, dördüncü, altıncı ve sekizinci günlerde; 0,0083, 0,0128, 0,003 ve 0,012 mg iken, kuraklık uygulanan bitkilerde ise; 0,0092, 0,0166, 0,0053 ve 0,0106 mg olarak belirlenmiştir (Şekil 3.35.).

Cumhuriyet-50'de ise kontrol bitkilerdeki total protein miktarlarının sırasıyla ikinci, dördüncü, altıncı ve sekizinci günlerde; 0,0024, 0,0092, 0,0057 ve 0,0023 mg, su kıtlığı uygulanan bitkilerde

ise; 0,0004, 0,0124, 0,0077 ve 0,0005 mg olduğu tespit edilmiştir (Şekil 3.36.).

5600 / .MISC.S.CMB'de ise sırasıyla ikinci, dördüncü, altıncı ve sekizinci günlerde belirlenen toplam protein miktarları kontrol bitkilerde; 0,0014, 0,0132, 0,0008 ve 0,0045 mg olarak gerçekleşirken, bu değerler kuraklık uygulanan bitkilerde; 0,0086, 0,0108, 0,0043 ve 0,0096 mg olarak saptanmıştır (Şekil 3.37.).

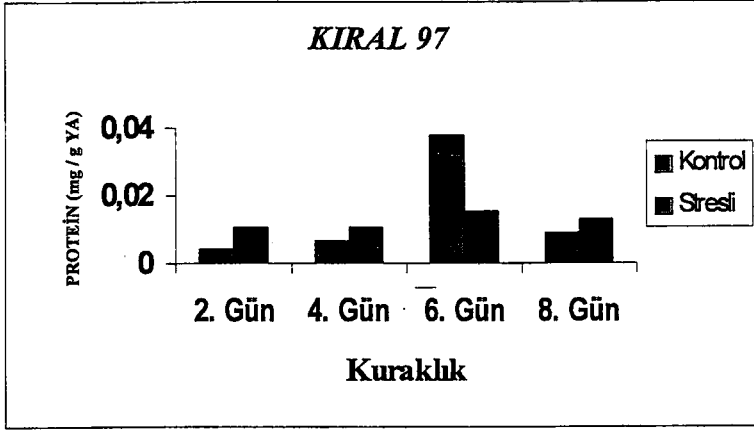


Şekil 3.31. BSA Standart Grafiği

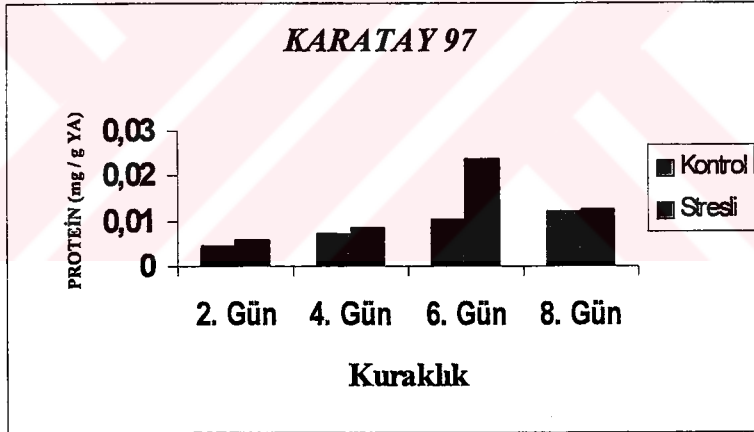
Çizelge 3.4. Araştırılan arpa (*Hordeum spp.*) çeşitlerinin protein içeriklerinde zaman bağılı olarak saptanan değişimler (mg protein / g YA)

Kuraklık (Gün)	2		4		6		8	
	K	S	K	S	K	S	K	S
Çeşit	0,0042	0,0103	0,0066	0,0106	0,0374	0,0151	0,009	0,0131
	±0,00071	±0,00014	±0,00035	±0,00035	±0,00085	±0,00014	±0,00035	±0,0005
Kıral - 97	0,0045	0,006	0,0072	0,0085	0,0105	0,0237	0,012	0,0126
	±0,00071	±0,00014	±0,00021	±0,0005	±0,00021	±0,00014	±0,00064	±0,00028
Karatay-97	0,0133	0,0092	0,0065	0,0137	0,0127	0,0134	0,0229	0,0107
	±0,00035	±0,00028	±0,00007	±0,00049	±0,00042	±0,00042	±0,00038	±0,00021
Erginel - 90	0,0083	0,0092	0,0128	0,0166	0,003	0,0053	0,012	0,0106
	±0,00014	±0,00021	±0,00014	±0,00064	±0,00021	±0,00014	±0,00028	±0,00021
Tökak - 157 / 37	0,0024	0,0004	0,0092	0,0124	0,0057	0,0077	0,0023	0,0005
	±0,00014	±0,00007	±0,00028	±0,00021	±0,00028	±0,00021	±0,00041	±0,00014
Cumhuriyet - 50	0,0014	0,0086	0,0132	0,0108	0,0008	0,0043	0,0457	0,0096
	±0,00021	±0,0005	±0,00028	±0,00028	±0,00014	±0,00028	±0,0012	±0,00096
5600 / MISC. S.CMB								

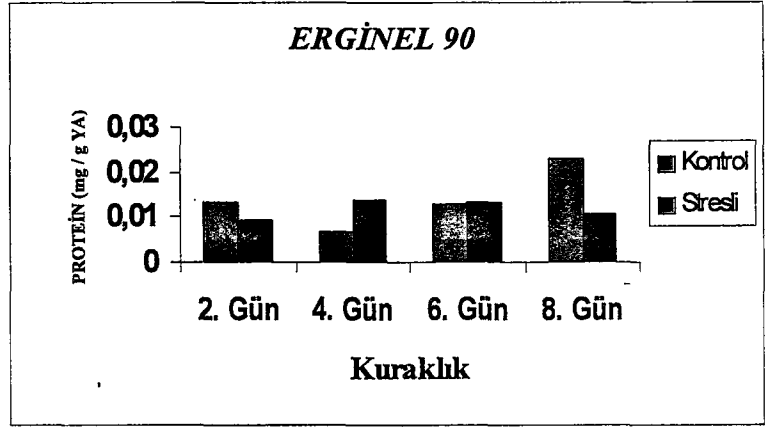
K: Kontrol S: Su kılığı uygulaması



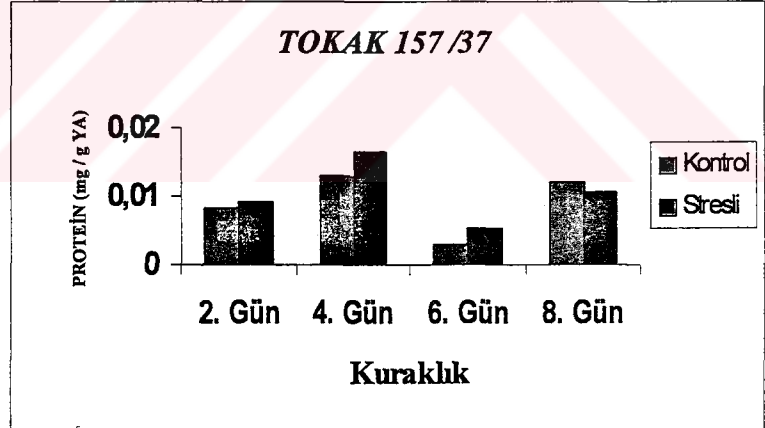
Şekil 3.32. Kiral-97 çeşidinde su kıtlığı (kuraklık) etkisiyle total protein miktarında ortaya çıkan değişimler



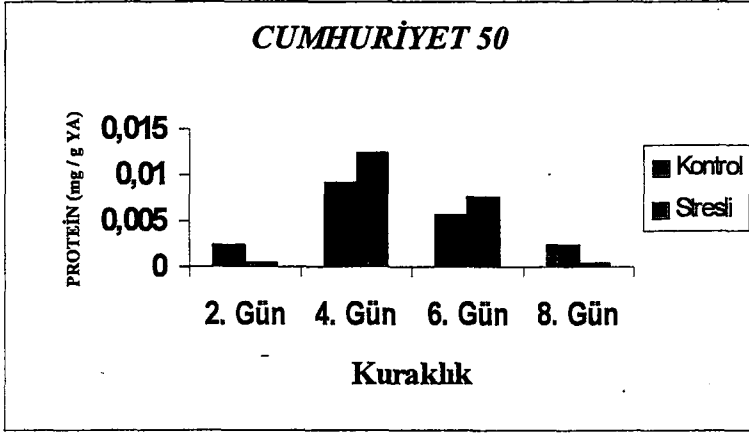
Şekil 3.33. Karatay-97 çeşidinde su kıtlığı (kuraklık) etkisiyle total protein miktarında ortaya çıkan değişimler



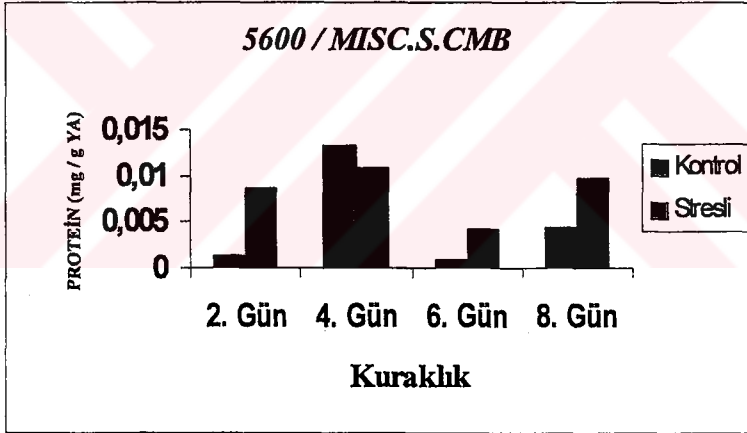
Şekil 3.34. Erginel-90 çeşidinde su kıtlığı (kuraklık) etkisiyle total protein miktarında ortaya çıkan değişimler



Şekil 3.35. Tokak- 157 / 37 çeşidinde su kıtlığı (kuraklık) etkisiyle total protein miktarında ortaya çıkan değişimler



Şekil 3.36. Cumhuriyet-50 çeşidinde su kıtlığı (kuraklık) etkisiyle total protein miktarında ortaya çıkan değişimler



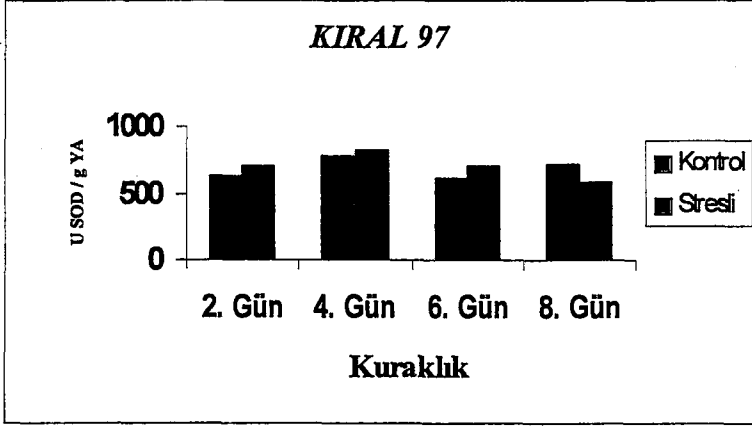
Şekil 3.37. 5600/MISC.S.CMB çeşidinde su kıtlığı (kuraklık) etkisiyle total protein miktarında ortaya çıkan değişimler

3.2.3. Total SOD Sonuçları

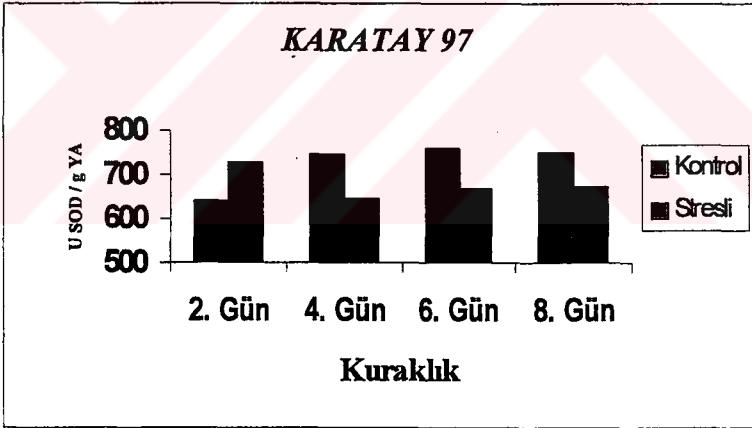
Kontrol ve su kıtlığı uygulamasıyla kuraklık stresine maruz bırakılan bitkilerin taze yapraklarından gerçekleştirilen analizlerle, tüm çeşitler için total SOD aktiviteleri belirlenmiş ve bulgular Çizelge 3.5.'de ve Şekil 3.38., 3.39., 3.40., 3.41., 3.42. ve 3.43.'de verilmiştir.

KURAKLIK (GÜN)	2		4		6		8	
	K	S	K	S	K	S	K	S
KIRAL 97	631,7	707,12	773,32	813,91	607,33	697,45	709,85	580,84
	±174,7	±190,2	±81,23	±49,56	±93,81	±38,95	±86,45	±199,99
KARATAY 97	640,08	729,33	746,57	645,56	759,67	668,44	748,42	671,09
	±171,65	±112,77	±602	±75,95	±45,42	±85,13	±73,7	±86,61
ERGİNEL 90	735,91	769,97	621,97	668,36	732,78	793,13	818,56	867,61
	±117,63	±99,17	±184,32	±235,16	±46,93	±70,44	±119,69	±173,69
TOKAK 157 / 37	564,64	726,61	466,78	747,32	515,58	605,75	422,62	486,87
	±180,63	±84,83	±71,33	±27,64	±60,94	±200,03	±39,15	±15,85
CUMHURİYET 50	629,47	633,77	525,51	571,97	607,45	690,77	507,28	545,61
	±64,07	±58,96	±98,89	±36,43	±150,68	±88,76	±88,75	±91,28
5600 /MISC.S.CMB	633,78	551,0	490,81	672,94	536,36	601,28	585,04	711,16
	±92,86	±69,58	±128,62	±163,36	±83,48	±138,03	±72,42	±157,91

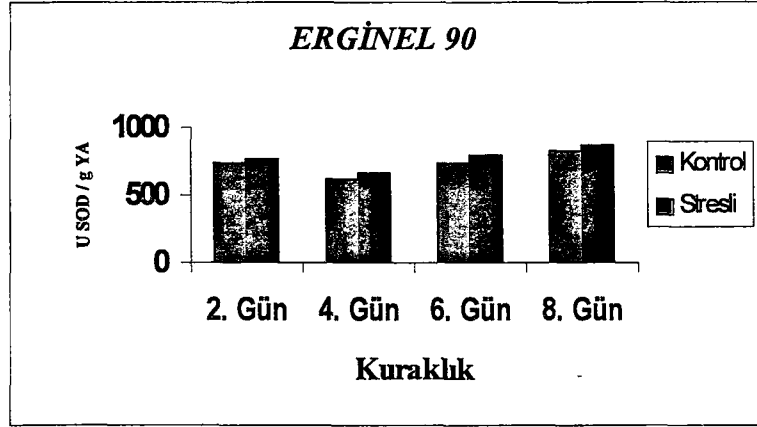
Çizelge 3.5 Kuraklık stresine maruz bırakılmış ve kontrol grubu arpa (*Hordeum spp.*) çeşitlerinde total SOD aktiviteleri (U SOD / g YA). (K:kontrol , S: stresli)



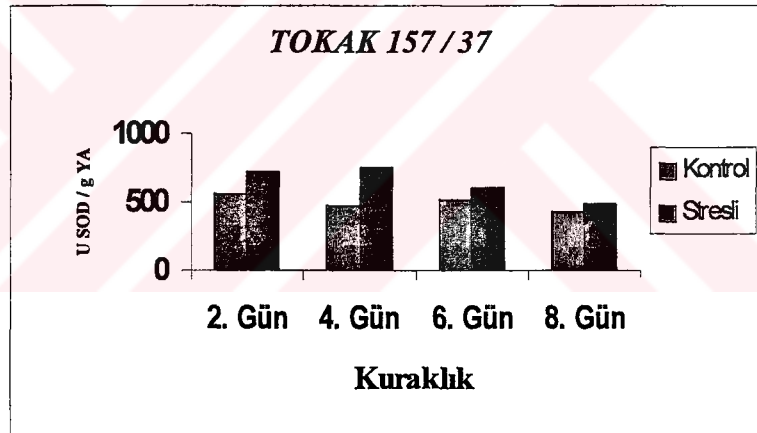
Şekil 3.38. Kırnal-97 çeşidinde su kıtlığı (kuraklık) etkisiyle total SOD aktivitesinde ortaya çıkan değişimler



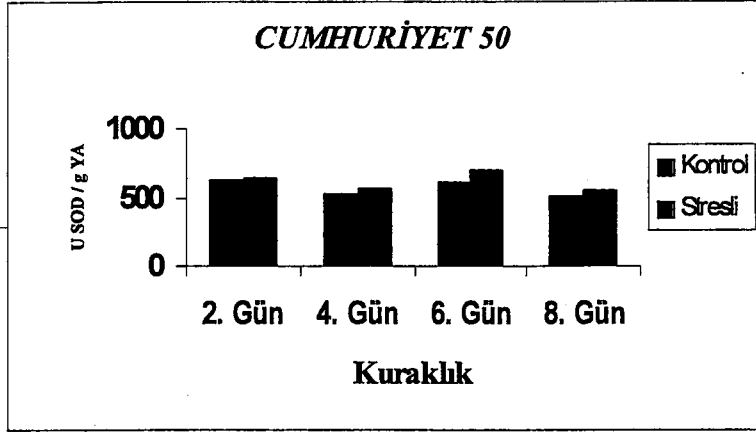
Şekil 3.39. Karatay-97 çeşidinde su kıtlığı (kuraklık) etkisiyle total SOD aktivitesinde ortaya çıkan değişimler



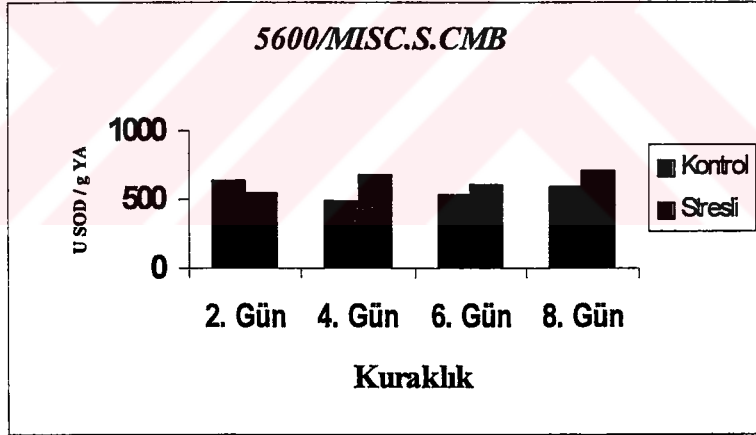
Şekil 3.40. Erginel-90 çeşidinde su kıtlığı (kuraklık) etkisiyle total SOD aktivitesinde ortaya çıkan değişimler.



Şekil 3.41. Tokak-157 / 37 çeşidinde su kıtlığı (kuraklık) etkisiyle total SOD aktivitesinde ortaya çıkan değişimler.



Şekil 3.42. Cumhuriyet-50 çeşidinde su kıtlığı (kuraklık) etkisiyle total SOD aktivitesinde ortaya çıkan değişimler



Şekil 3.43. 5600/MISC.S.CMB çeşidinde su kıtlığı (kuraklık) etkisiyle total SOD aktivitesinde ortaya çıkan değişimler

4. TARTIŞMA VE SONUÇ

4.1. PEG 3000 (% 15) Uygulaması

4.1.1. Radikula-Koleoptil Boyu

% 15'lik (hacim/ ağırlık) PEG 3000 uygulaması ile kuraklık etkisi yaratılan denemede, kurağa dayanıklı (Karatay-97, Tokak 157/37) ve duyarlı (Kıral-97, Erginel-90, Cumhuriyet-50) olduğu bilinen genotipler ile 5600/MISC.S.CMB'de, radikula ve koleoptil gelişimi kuraklığa bağlı olarak değişik şekillerde etkilenmiştir.

Zamana bağlı olarak PEG 3000'in radikula ve koleoptil büyümesi üzerine etkisi incelendiğinde, kurağa duyarlı genotiplerden Cumhuriyet-50'nin diğer tüm çeşitlere göre en fazla etkilendiği görülmüştür. Kurağa duyarlı Erginel-90'da radikula büyümesi, PEG etkisiyle tüm deneme boyunca (6 gün) kontrole göre azalırken, koleoptil gelişiminin altıncı günde kontrolden daha fazla olduğu bulunmuştur. Kurağa duyarlı diğer bir genotip olan Kıral-97'de ise radikula ve koleoptil gelişimi üzerine PEG dördüncü güne kadar büyümeyi engellemekle birlikte, altıncı günde bu tür bir etki görülmemiştir.

Kurağa dayanıklı genotipler Tokak 157/37 ve Karatay-97'de PEG radikula gelişimini etkilememiştir. Koleoptil büyümesi Tokak 157/37'de PEG ile kontrole göre engellenmiştir. Karatay-97'de ise tüm diğer çeşitlerden farklı olarak daha ikinci günde koleoptil büyümesi başlamış, bununla birlikte ilerleyen günlerde koleoptil büyümesinin kontrole göre engellendiği görülmüştür.

Duyarlı genotipler arasında kontrole göre PEG uygulamasına bağlı olarak radikula büyümesindeki en fazla engellenme Erginel-90'da olmuştur. Bu çeşitte radikula ortalama %56 engellenmiştir. Radikula boyundaki bu engelleme, Kıral-97'den yedi kat, Cumhuriyet-50'den ise yaklaşık iki kat fazladır. Bu çeşitler arasında koleoptil üzerine engellenme ise kontrole göre ortalama %27 ile en fazla Cumhuriyet-

50'de olmuştur. Koleoptil boyundaki bu engelleme Kırıl-97'ye göre öndört kat, Erginel-90'a göre yedi kat fazladır.

Dayanıklı genotipler arasında ise PEG etkisiyle kontrole göre radikula gelişimlerinde ortaya çıkan değişimler karşılaştırıldığında en az engellenme Tokak 157/37'de tespit edilmiştir. Bu çeşitte radikula boyu kontrole göre ortalama %27 engellenmiştir. Karatay-97'de ortaya çıkan engellenme ise Tokak 157/37'ye göre iki kat fazladır. Bu çeşitlerin koleoptil böylarında kontrole göre en az engelleme Tokak 157/37'de gerçekleşmiştir. Bu çeşitte görülen engelleme ortalama %20'dir. Karatay-97'de kontrole göre koleoptil boyunda ortaya çıkan engelleme Tokak 157/37'ye göre yaklaşık iki kat daha azdır.

Kurağa toleransı bilinmeyen 5600/MISC.S.CMB'de PEG 3000 etkisiyle kontrole göre radikula boyu ortalama %2, koleoptil büyümesi ise %1 azalmıştır.

Araştırılan tüm çeşitlerin radikula ve koleoptil büyümelerinde kontrole göre ortaya çıkan engellemeler karşılaştırıldığında, radikula büyümesinde en az engelleme 5600/MISC.S.CMB'dedir (%2). Bunu artan sıra ile Kırıl-97 (%8), Tokak 157/37 (%22), Karatay-97 (%33), Cumhuriyet-50 (%34) ve Erginel-90 (%56) izlemektedir. Koleoptil büyümesinde ise en az engellenme yine 5600/MISC.S.CMB'dedir (%1). Bu çeşidi artan sıra ile Kırıl-97 (%2), Erginel-90 (%4), Tokak 157/37 (%20), Cumhuriyet-50 (%27) ve Karatay-97'nin (%31) izlediği tespit edilmiştir.

PEG 6000 kullanılarak yapılan benzer bir araştırmada, kurağa duyarlı ve dayanıklı iki buğday genotipinde radikula büyümesinin %60 azaldığı bulunmuştur. Aynı araştırmada, duyarlı genotipin koleoptil büyümesinin radikula büyümesine göre PEG 6000 etkisine duyarlı olduğu, buna zıt olarak, dayanıklı genotipteki koleoptil büyümesinin duyarlı genotipe göre PEG 6000'den daha az etkilendiği de rapor edilmiştir (Öztürk, 1996). Bir başka araştırmada, arpada kuraklık

stresiyle kök büyümesinde gözlenen artışın su potansiyelini koruma ile ilişkili olduğu vurgulanmıştır (Ceccarelli, 1987). Bununla birlikte, kurağa dayanıklılıkta köklerle su alınımının artışı ve su kaybının azalması tipiktir (Blum and Ebercon, 1981). Ayrıca büyüme için gerekli enerjinin sağlanmasında üç biyokimyasal sentez önemlidir. Bunlar; (a) Hücre çeperinin genişlemesi için polisakkaritlerin sentezi (b) Protoplazmik artış için protein sentezi (c) Çekirdek bölünmesi ve bunların proteinlerinin sentez sistemlerindeki artış için nükleik asitlerin sentezidir. Bitkilerde büyüme ve gelişim olayları için gerekli enerjinin fosfat bağları halinde depolanması veya açığa çıkarılmasında ATP'nin (Adenozintrifosfat) sentezlenmesi fotosentez ve solunum olaylarında gerçekleşmektedir (Black and Edelman, 1970). Kuraklığa bağlı olarak stomaların kapanması ise fotosentezi azaltmaktadır (Levitt, 1980).

Kurağa duyarlı ve dayanıklı oldukları bilinen genotiplerde koleoptil büyümesi radikula büyümesi ile kıyaslandığında, kurağa toleransı bilinmeyen 5600/MISC.S.CMB diğer tüm genotiplere göre en az etkilenen çeşit olmuştur. Bunu artan sıra ile Kıral-97, Erginel-90, Tokak 157/37 ve Karatay-97 izlemektedir. Bu bağlamda, radikula boyu kuraklıktan en fazla engellenen genotipler Erginel-90 ve Cumhuriyet-50 olmuştur. Bunlara zıt olarak kurağa dayanıklı Tokak 157/37 ve Karatay-97 su alınımında, kuraklık stresiyle ortaya çıkan ve turgor kaybı ile başlayıp protein sentezindeki azalmayla devam eden ve hücre büyümesinin engellenmesiyle sonuçlanan kuraklık zararından en az etkilenmişlerdir (Levitt, 1980). Kıral-97'nin radikula ve koleoptil büyümesinin kontrole göre fazla engellenmemiştir. Kurağa duyarlı olduğu bilinmesine karşın PEG 3000 ile yaratılan ozmotik stresten birçok çeşide göre daha az etkilenmesi Kıral-97'nin içsel ozmotik potansiyelinin yüksek olmasıyla açıklanabilir. Buna bağlı olarak bu genotipin kurağa dayanıklı olabileceği de akla gelmektedir.

Kurağa toleransı bilinmeyen 5600/MISC.S.CMB gerek koleoptil gerekse radikula büyümesinde PEG 3000 uygulamasından kaynaklanan

ozmotik streten en az etkilenmesi, bu çeşidin su alınımında güçlü güçlü bir içsel ozmotik basınca sahip olmasıyla açıklanabilir. Bu nedenle, diğer çeşitlere göre difüzyon basıncı farkının yüksek oluşu, bu genotipin kurağa bağlı su alınımı eksikliğine toleranslı olduğunu ortaya koymaktadır.

4.1.2. PEG Uygulamasına Bağlı Olarak Total SOD Aktivitelerindeki Değişimler

PEG uygulaması ile total SOD aktivitelerinde ortaya çıkan değişimler kurağa duyarlı genotiplerde zamana bağlı olarak incelendiğinde; Kırıl-97'de kontrole göre dördüncü ve altıncı günde %50 azalmıştır. Erginel-90'da total SOD aktivitesi kontrole göre dördüncü gün %71 azalmış ve altıncı günde ise %7 artmıştır Cumhuriyet-50'de ise kontrole göre dördüncü gün %17 artan total SOD aktivitesi altıncı günde %38 azalmıştır.

Kurağa dayanıklı genotiplerden Tokak 157/37'de PEG uygulamasına bağlı olarak total SOD aktivitesi dördüncü gün %52 azalmış, altıncı günde ise %57 artmıştır. Kurağa dayanıklı Karatay-97'nin total SOD aktivitesi ise dördüncü gün %54 artmış, altıncı gün %18 azalmıştır.

Kurağa toleransı bilinmeyen 5600/MISC.S.CMB'de ise PEG 3000 uygulamasıyla total SOD aktivitesi dördüncü günde kontrole göre değişmemiş, altıncı günde %35 azalmıştır.

Duyarlı genotipler arasında PEG uygulaması süresince (6 gün) kontrole göre ortalama total SOD aktivitesinde en şiddetli azalma %33 ile Erginel-90'da olmuştur. Erginel-90'da görülen bu azalma, Cumhuriyet-50'ye göre 2,5 kat, Kırıl-97'ye göre 1 kat fazladır.

Dayanıklı genotipler arasında PEG 3000 etkisiyle total SOD aktiviteleri Karatay-97'de ortalama %18 ile artış göstermiştir. Tokak

157/37'de ise ortalama total SOD aktivitesi kontrole göre değişmemiştir. Kurağa tepkisi bilinmeyen 5600/MISC.S.CMB'de ise ortalama total SOD aktivitesi kontrole göre ortalama %10 azalmıştır.

Araştırılan tüm çeşitlerin PEG 3000 uygulamasına bağlı olarak total SOD aktivitelerinde kontrole göre verdikleri yanıtlar karşılaştırıldığında bundan en az etkilenen çeşit ortalama %18'lik artışla Karatay-97'dir. Bu çeşidi azalan sıra ile Tokak 157/37, Cumhuriyet-50, 5600/MISC.S.CMB, Kıral-97 ve Erginel-90 izlemektedir. Tüm çeşitler arasında total SOD aktivitelerinde PEG uygulamasına bağlı olarak saptanan değişimler Student T-testi ile istatistiksel olarak incelenmiştir. Buna göre; Duyarlı genotiplerden Kıral-97, Erginel-90 ve kurağa dayanıklı Tokak 157/37'de dördüncü günde, kurağa toleransı bilinmeyen 5600/MISC.S.CMB'de ise altıncı günde ortaya çıkan azalmalar istatistiksel olarak anlamlıdır.

Kurağa dayanıklı ve duyarlı iki buğday genotipinde yapılan benzer bir araştırmada, PEG 6000 uygulanarak kuraklık stresi yaratılmıştır. Her iki genotipin total SOD aktivitesinin kontrole ve birbirlerine göre değişmediği belirlenmiştir (Öztürk, 1996). Foster ve Hess (1982) %75 oksijen içeren ortamda yetiştirilen yedi günlük mısır bitkisindeki SOD aktivitesinin, %21 oksijen içeren ortamda yetiştirilenlere göre değişmediğini rapor etmişlerdir. Bir başka araştırmada ise, su stresine dayanıklı ve duyarlı iki mısır hattında bazı oksidatif uygulamalarla yaşlanma süresince antioksidatif koruma izlenmiştir. Buna göre kurağa dayanıklı yedi günlük mısır çeşidinde SOD aktivitesi oksidatif uygulama ile 3-4 kat artmıştır (Pastori and Trippi, 1993). Artan kuraklık ve dehidrasyonla hücrede turgor ve hücre su potansiyeli azalmaktadır (Levitt, 1980). Bununla birlikte, stomaların kapanmasını interselüler alanlara CO₂'in difüzyonunu engellemektedir (Bowler *et al.*, 1992). Böylece fotosentez hızı azalmaktadır (Levitt, 1980; Elstner, 1982). Fotosentez olaylarının gerçeğe geçtiği kloroplastlarda fotosentetik elektron transferi boyunca, oksijen aktivasyonu ile siglet

oksijen(1O_2), süperoksit radikali ($^{\circ}O_2$) ve hidrojenperoksit (H_2O_2) oluşumu bilinmektedir (Eltner, 1982). Bu noktada kuraklığa bağlı stoma kapanması ve su bütçesindeki kayıplar nedeniyle fotosentez ve solunumda bu radikallerin konsantrasyonları artmakta, böylece oksidatif stres meydana gelmektedir (Scandalios, 1993; Bowler *et al.*, 1992). Kuraklı stresle ortaya çıkan stoma kapanmasını idare eden ABA miktarındaki artışın SOD aktivitesiyle ilişkili olduğu da bilinmektedir (Zhu and Scandalios, 1994). Oksidatif stresin nedeniyle oluşan reaktif oksijen türlerinin DNA'da, membran stabilitesinde ve proteinlerin denaturasyonunda oluşturduğu zarar karşı hücrenel savunmada SOD'un önemli rol oynayabileceği belirtilmiştir (Çakmak.1994; Çakmak *et al.*,1997; Scandalios, 1993; Bowler *et al.*,1992, Edreva, 1998).Enzimik savunma sisteminin ilk basamağında yer alan SOD, iki süperoksit anyonunu dismutasyon reaksiyonu ile hidrojen peroksit ve moleküler oksijene katalizler (Eltner, 1982). Böylece reaktif oksijen türlerinin toksik etkileri SOD ve diğer antioksidatif enzimlerce detoksifiye edilir (Öztürk,1996).Çimlenen soya fasulyesinde yapılan bir araştırmada, çimlenmenin erken dönemi boyunca tohum membranında lipid-çözülebilir antioksidantların ortaya çıkmasının, bunların serbest radikal toleransına yardım ettiği, ayrıca dehidrasyon toleransına da yardım edebileceği rapor edilmiştir (Seretna *et al.*, 1985).

Kurağa dayanıklı olduğu bilinen Karatay-97, araştırılan tüm çeşitlere göre PEG 3000 uygulamasına yanıtta total SOD aktivitesinde en çok artışa sahiptir. Bu çeşitte, kuraklık nedeniyle meydana gelen oksidatif strese karşı total SOD'nin artışı, ozmotik stresin etkisiyle oluşabilecek hücre içi zarara karşı bir dayanıklılığa işaret etmektedir. Bu çeşitte saptanan sonuçlar, mısır bitkisindeki sonuçlara uyum göstermektedir. Kurağa dayanıklı olduğu bilinen diğer genotip olan Tokak 157/37'de ise, PEG 3000 uygulaması boyunca ortalama total SOD aktivitesi kontrol bitkilerinki ile benzerlik göstermiştir. Bu çeşit, yaratılan ozmotik stresten etkilenmemekle birlikte, sonuçlar Öztürk'ün

(1996) buğday'da yapılan araştırma ile paraleldir. Bu, aynı zamanda kurağa dayanıklılıkta diğer antioksidatif enzimlerin çalışabileceğine de işaret etmektedir (Lu *et al.*, 1992; Dhindsa, 1991, Pastori and Trippi, 1993).

Kurağa duyarlı olduğu bilinen genotiplerin tümünde PEG 3000 uygulamasında, tüm deneme boyunca (6 gün) ortalama total SOD aktivitelerinde kontrole göre belirgin bir biçimde azalmaya neden olmuştur. Bu durum, kurağa duyarlı genotiplerin kuraklık stresine karşı enzimsel savunmada yetersiz kaldıklarını ya da diğer antioksidatif enzimlerin harekete geçirildiğini düşündürmektedir. Bir diğer yol ise, enzimsel olmayan diğer sekonder metabolitlerin sentezlenmesidir (Seratna *et al.*, 1985).

Kurağa toleransı bilinmeyen 5600/MISC.S.CMB'de PEG 3000 uygulaması sonucunda, ortalama total SOD aktivitesi, bu genotipin radikula ve koleoptil uzamasında sahip olduğu yüksek ozmotik basınca zıt olarak azalmıştır. Bu nedenle, kurağa karşı 5600/MISC.S.CMB'nin de diğer antioksidatif enzimler bakımından daha anlamlı sonuçlar verme olasılığı yüksektir.

Tüm genotiplerde PEG 3000 uygulamasına bağlı olarak ortalama total SOD aktivitesinde görülen azalmanın bir diğer nedeni ise süperoksit oluşumunun azalması olabilir. Çimlenme boyunca oksijen alınımına bağlı mitokondriyal $\cdot O_2$ ve H_2O_2 üretimi olasıdır. Bu bağlamda, SOD dışında AP'de belli farkların ortaya çıkışı rapor edilmiştir (Puntarulo *et al.*, 1991; Öztürk, 1996).

4.2. Su Kıtlığı Uygulaması

4.2.1. Su Kıtlığı Uygulamasına Bağlı Olarak Bağlı Nem İçeriğindeki Değişimler

Su kıtlığı (kuraklık) uygulaması ile duyarlı genotiplerin bağlı nem içeriklerinde kontrole göre ortaya çıkan değişimler zamana bağlı olarak

incelendiğinde Kırıl-97'de ikinci gün %4, sekizinci gün %8 azalmış diğer günlerde ise değişmemiştir. Erginel-90'da bağıl nem içeriği sekizinci gün %8 artarken diğer günlerde değişmemiştir. Cumhuriyet-50'de ise ikinci ve dördüncü günde sırasıyla %2 ve %10 azalan bağıl nem altı ve sekizinci günlerde %2 artmıştır. Kurağa dayanıklı olduğu bilinen genotiplerden Karatay-97'de su kıtlığı, bağıl nem içeriğinde zamana bağlı olarak ikinci ve altıncı günde sırasıyla %5 ve %3 azalırken, dördüncü gün %2, sekizinci gün ise %1 artmıştır. Kurağa dayanıklı diğer genotip Tokak 157/37'de bağıl nem içeriği kontrole göre ikinci gün %6, dördüncü gün %3 azalmış, altı ve sekizinci günde ise sırasıyla %2 ve %3 artmıştır.

Kurağa toleransı bilinmeyen 5600/MISC.S.CMB'nin bağıl nem içeriği ikinci günde kontrole göre değişmemiş, dört ve altıncı günde sırasıyla %6 ve %35 azalmış, sekizinci günde ise %3 artmıştır.

Kuraklık uygulaması süresince (8 gün), kurağa duyarlı genotiplerin kontrol ve stresli gruplarında ortalama bağıl nem içeriği, Kırıl-97'nin kontrol örneklerinde %4,47 , stres uygulanmış bitkilerde %7,78 azalmıştır. Erginel-90 çeşidinde bağıl nem içeriklerinde ortaya çıkan azalma, kontrol ve stresli grupta sırasıyla %9,44 ve %8,34 olmuştur. Cumhuriyet-50'de ise bağıl nem içeriğindeki azalma kontrol grubunda %20,41 su kıtlığı uygulanan grupta ise %15,45 olarak gerçekleşmiştir.

Kurağa dayanıklı olduğu bilinen genotiplerden Karatay-97'de bağıl nem içeriği kontrol grubunda ortalama %10,58 azalırken, su kıtlığı uygulanan grupta bu azalma %4,46'dır. Tokak 157/37'nin kontrol grubunda %16,36 azalan bağıl nem içeriği, stresli grupta %8,18 azalmıştır.

Kurağa toleransı bilinmeyen 5600/MISC.S.CMB'de ise ortalama ortalama bağıl nem içeriği kontrol grubunda %12,24 azalırken, su kıtlığı uygulanan grubundaki azalma %25,13 olarak gerçekleşmiştir.

Araştırılan tüm çeşitler arasında su (kuraklık) stresi uygulamasının bağıl nem içeriğinde neden olduğu değişimler karşılaştırıldığında en düşük azalma artan sıra ile Karatay-97, Kırıl-97, Tokak 157/37, Erginel-90, Cumhuriyet-50 ve 5600/MISC.S.CMB şeklinde olmuştur.

4.2.2. Su Kıtlığı Uygulamasıyla Total Protein Miktarlarında Ortaya Çıkan Değişimler

Kurağa duyarlı olduğu bilinen genotiplerde, su kıtlığı uygulaması ile zamana bağlı olarak total protein miktarlarında ortaya çıkan ortalama değişimler kontrollerle karşılaştırıldığında total protein miktarı Kırıl-97'de iki ve dördüncü günlerde %50 artmış, altıncı güne %50 azalmış, sekizinci günde ise %32 artmıştır. Erginel-90'da ise toplam protein içeriği iki ve sekizinci günlerde sırasıyla %30 ve %60 azalırken, dördüncü günde %52 artmış altıncı günde ise pek değişmemiştir. Cumhuriyet-50 çeşidinde total protein miktarı iki ve sekizinci günlerde sırasıyla %84 ve %78 azalırken dört ve altıncı günlerde %25 artış göstermiştir.

Kurağa dayanıklı genotiplerde kontrole göre zamana bağlı olarak total protein miktarlarında ortaya çıkan değişimler incelendiğinde Karatay-97'de iki, dört ve altıncı günlerde sırasıyla %25, %15 ve %55 artmış, sekizinci günde ise değişmemiştir. Tokak 157/37'de ise toplam protein miktarı iki, dört ve altıncı günlerde sırasıyla %10, %23 ve %43 artarken, sekizinci günde %12 azalmıştır.

Kurağa toleransı bilinmeyen 5600/MISC.S.CMB'nin total protein miktarında zamana bağlı olarak ortaya çıkan değişimler incelendiğinde, kontrole göre iki, altı ve sekizinci günlerde sırasıyla %83, %81 ve %46 arttığı, dördüncü günde %18 azaldığı görülmüştür.

Araştırılan tüm çeşitlerin total protein miktarları kuraklık stresi boyunca (8 gün) karşılaştırıldığında kontrole göre kurağa duyarlı

Cumhuriyet-50en fazla etkilenmiştir. Bu çeşitte toplam protein miktarı %28 azalmıştır. Bunu ortalama %10 azalma ile Erginel-90 izlemektedir. Bu iki genotipteki azalmaya karşın diğer genotiplerde total protein miktarları kuraklık uygulamasına bağlı olarak kontrole göre Tokak 157/37, Kıral-97, Karatay-97 ve 5600/MISC.S.CMB'de sırasıyla %16, %21, %24 ve %48 artış göstermiştir.

Oksijen radikallerine proteinlerin genel duyarlılığı bilinmektedir. Oksidatif değişimler hücre içi proteoliz için denatüre substratları oluşturmada veya doğrudan fragmentasyona neden olabilir (Davies, 1987), ayrıca su kaybı etkisi kuraklık uygulamasını takip eden ilk altı saat içinde serbest aminoasitleri %20 arttırmaktadır, 48 saat sonraki artış ise %250'den fazladır (Levitt, 1980). Enzimlerin yapısına bakıldığında bunların bir proteinik kısım (apoenzim) ile protein olmayan kısımdan (koenzim) oluştuğu ve bunların biyosentezinin protein sentezinden farklı olmadığı da çok iyi bilinmektedir (Dinçkaya, 1997).

Kurağa duyarlı olduğu bilinen genotiplerden Cumhuriyet-50 ve Erginel-90'da, kuraklık stresi altında total protein miktarının kontrole göre azalması bunların protein biyosentezinde meydana gelen bir azalma ile açıklanabilir. Diğer bir duyarlı genotip olan Kıral-97'nin total protein miktarında görülen artış ise diğer genotiplere göre bu genotipin su kaybından doğabilecek zararlara toleranslı olduğuna işaret etmektedir.

Kurağa dayanıklı genotiplerde total protein miktarında görülen artış, total SOD aktivitesindeki olası artışların yanısıra, çeşitli streslere yanıtta iş gören birçok birincil yada ikincil metabolitin sentezlenmesini de beraberinde getirebilir. Bu genotiplerde elde edilen sonuçlar Davies'in (1987) bulgularıyla paralellik göstermektedir. Bu aşamada, kuraklık eşliğinde ortaya çıkan oksidatif strese bağlı olarak reaktif oksijen türlerinin artış göstermesi mümkündür (Bowler et al., 1992; Scandalios, 1993; Elsner, 1982). Bu bağlamda, kuraklık stresi boyunca

protein sentezindeki artışın bu çeşitlerde, total SOD aktivitesi ve sekonder metabolitlerin üretiminin yanı sıra, yapısal proteinlerin sentezinin de artması mümkündür.

Tüm çeşitler arasında, kurağa toleransı bilinmeyen 5600/MISC.S.CMB kontrole göre total protein miktarında en fazla artışa sahiptir. Bu durum, yeni proteinlerin senteziyle yakından ilişkilidir. Bu nedenle, bu genotipte total SOD aktivitesinde önemli bir artış beklenmiş ancak tam tersine bir azalma saptanmıştır.

4.2.3. Su Kıtlığı Uygulamasıyla Total SOD Aktivitesinde Ortaya Çıkan Değişimler

Genel olarak kuraklık stresine maruz bırakılmış duyarlı genotiplerin total SOD aktivitelerinde kontrole göre ortaya çıkan değişimler zamana bağlı olarak incelendiğinde, bu genotiplerde iki, dört ve altıncı günlerde sırasıyla %11, %15 ve %18 artış sekizinci günde ise %18 azalma saptanmıştır. Erginel-90'da ise total SOD aktivitesi 8 günlük su kıtlığı uygulaması süresince iki, dört, altı ve sekizinci günlerde sırasıyla %5, %7, %8 ve %6 artmıştır. Cumhuriyet-50'nin total SOD aktivitesi kuraklık uygulamasıyla iki ve sekizinci günlerde kontrole göre sırasıyla %84 ve %78 azalırken, dört ve altıncı günlerde %25 artmıştır.

Kurağa dayanıklı olduğu bilinen genotiplerde su kıtlığı uygulaması süresince ortaya çıkan değişimler incelendiğinde ise total SOD aktivitesi Karatay-97'de ikinci günde %12 artmış, dört, altı ve sekizinci günlerde sırasıyla %14, %12 ve %10 azalmıştır. Tokak 157/37'de ise total SOD aktivitesi kontrole göre iki, dört, altı ve sekizinci günlerde sırasıyla %23, %38, %15 ve %13 artış göstermiştir.

Kurağa toleransı bilinmeyen 5600/MISC.S.CMB'de ise kuraklık uygulaması zamana bağlı olarak incelendiğinde total SOD aktivitesi

kontrole göre ikinci günde %13 azalırken, dört,altı ve sekizinci günlerde sırasıyla %27, %11 ve %18 artmıştır.

Su kıtlığı uygulaması sonunda (8 gün), kurağa duyarlı olduğu bilinen genotiplerin total SOD aktivitesinde ortaya çıkan değişim incelendiğinde Kırak-97 ve Cumhuriyet-50'de sırasıyla %13 ve %28 azaldığı, Erginel-90'da ise %7 arttığı görülmüştür. Kurağa dayanıklı genotiplerden Karaty-97'de kontrole göre total SOD aktivitesindeki ortalama değişim %6 azalırken, Tokak 157/37'de ise %22 artış tespit edilmiştir. Kurağa toleransı bilinmeyen 5600/MISC.S.CMB'de ise kuraklık uygulaması sonunda total SOD aktivitesinde görülen değişim %11 artış olmuştur.

Tüm genotiplerin kuraklık stresine verdiği yanıtlar karşılaştırıldığında, total SOD aktivitesindeki artışın kontrole göre değişiminin ortalaması en fazla Tokak 157/37'de saptanmıştır. Bunu azalan sıra ile 5600/MISC.S.CMB, Erginel-90, Kırak-97, Karatay-97 ve Cumhuriyet-50 izlemektedir.

Kuraklıkla artan oksidatif stres sekizinci gün sonunda Kırak-97 dışındaki tüm genotiplerde total SOD aktivitesinin kontrole göre artmasına neden olmuştur. Araştırılan tüm çeşitlerin total SOD aktiviteleeri, Student T-testi kullanılarak istatistiksel olarak incelenmiştir. Buna göre, kuraklık stresine bağlı olarak total SOD aktivitesi açısından en düşük aktivite Tokak 157/37'de saptanmıştır. Bu bağlamda yalnızca Tokak-157/37'de dördüncü günde oluşan fark istatistiksel olarak anlamlıdır ($p < 0,05$). Tüm çeşitler ele alındığında ise en düşük SOD miktarı 422,62 U en fazla ise 867,61 U olarak saptanmış ve bazı çeşitler dışında istatistiksel olarak anlamlı farklar oluşmamıştır.

Reaktif oksijen türlerinin lipid peroksidasyona neden olduğu bu durumun kuraklık dışındaki çevresel streslerin etkisiyle de gerçekleşebileceği bilinmektedir. Buna göre yapılan bir araştırmada; aşırı su bulunması durumunda, buna duyarlı *Iris germanica* 'da ortaya

çıkan lipid peroksidasyon dayanıklı varyete olan *Iris pseudochorus* rizomlarına göre anoksi koşulların, dirençli varyetedeki total SOD miktarının duyarlı varyeteye göre 13 kat daha fazla arttırdığı belirlenmiştir (Bowler et al., 1992). Çay bitkisinin kuvvetli osmotik strese maruz kalan tohumları, yüksek SOD, CAT ve POD aktivitesi göstermişlerdir (Lu et al., 1992).

Heksaploid, tetraploid ve diploidlerden oluşan dokuz buğday türünde kuraklık etkisiyle SOD ve CAT aktiviteleri zamana bağlı olarak artmış veya kuraklığın erken evresinde mevcut düzeylerini korumuşlardır (Zhang and Kirkham, 1994).

Bazı mısır kültürleriyle yapılan bir çalışmada (Li et al., 1994), ozmotik stres altında SOD ve CAT aktivitelerinin yavaşça arttığı saptanmıştır. Kurağa dirençli bir hibritte SOD, CAT ve POD aktiviteleri, bu hibritin parental hatlarının kurağa duyarlı olanlarına göre daha fazla artış göstermiştir. *Sorghum bicolor* (L.)'un yüksek ışık, yüksek sıcaklık ve düşük su stresine maruz bırakılan kurağa toleranslı kültürlerde SOD ve CAT aktiviteleri artmıştır (Jagtab and Bhorgova, 1995). Kuraklık stresine dirençli ve duyarlı iki mısır hattında, yaprağın yaşlanması süresince antioksidant enzimlerin düzeyi belirlenmiştir. Paraquat ve hidrojenperoksit kullanılarak yaratılan oksidatif strese bağlı olarak duyarlı olana göre dirençli kültürün genç ve yaşlı yapraklarında GR aktivitesi 3 - 6 kat, SOD aktivitesi 3 - 4 kat, AP aktivitesi ise 2 kat artmıştır (Pastori and Trippi, 1993). Bir başka araştırmada ise Avrupa kıtasında yayılış gösteren tek yıllık dokuz tür artan kuraklık stresine bağlı olarak incelenmiştir. Buna göre, bu türlerdeki total SOD ve CAT aktiviteleri stressiz koşullardaki bitkilere göre artış göstermiştir. Bununla birlikte, total SOD ve CAT aktivitesindeki artışların istatistiksel olarak anlamlı olmadığı da tespit edilmiştir (Price and Hendry; 1998). İnci vd. (1993), altı farklı türk buğday varyetesinde kuraklık stresine SOD izozimlerinin tümünde önemli bir artış olduğunu rapor etmişlerdir. Malan et al.. (1990); kurağa toleranslı ve duyarlı iki

mısır hattında, kurağa dayanıklılıkta Cu/Zn SOD ve GR aktiviteleri arasında doğrusal bir ilişki bulmuşlardır. Bir başka araştırmada ise, oksidatif stresin yaşlanma ile ilişkili olarak SOD'nin transkript seviyesindeki etkileri genç ve yaşlı arpa yapraklarında incelenmiştir. Buna göre; yaşlanan arpa yapraklarındaki SOD transkript seviyeleri genç yapraklara göre azaldığı, buna bağlı olarak da yaşlanan arpa yapraklarının yetersiz antioksidatif savunmaya sahip oldukları rapor edilmiştir (Casano *et al.*, 1994).

Kurağa duyarlı genotiplerden Cumhuriyet-50'nin su kıtlığından kaynaklanan ve kontrole göre azalan total SOD aktiviteleri, bu çeşidin total protein miktarlarında görülen azalmayla ilişkilidir. Erginel-90'da ise azalan total protein miktarına zıt olarak total SOD aktivitesinde az da olsa bir artış göstermiştir. Su kıtlığı ile artan dehidrasyonun proteinlerin yapısını değiştirdiği, membran ve lipidlerden elektron alma eğilimindeki reaktif oksijen türlerinin proteinlerin denatürasyonuna neden olduğu bilinmektedir (Levitt, 1980; Edreva, 1998; Scandalios, 1993). Erginel-90'da bu durumun görülmesi bu genotipin, kuraklık stresine bağlı olarak oluşan reaktif oksijen türlerine antioksidantların üretimi açısından zayıf yanıt verdiğini düşündürmektedir. Kurağa duyarlı diğer genotip olan Kıral-97'de ise toplam protein miktarındaki artışa zıt olarak ortalama total SOD aktivitesi kuraklık stresi etkisiyle azalmıştır. Prolin gibi bazı sekonder metabolitlerin kuraklık stresi ile arasındaki ilişki arpa ve kızılcım'da gösterilmiştir (Levitt, 1980; Türkan ve Yazıcı, 1998). Bu bağlamda, Kıral-97'nin protein miktarındaki artışın total SOD aktivitesine yansımaması, bu çeşidin kurağa tepkisinde ortaya çıkabilecek diğer enzimsel aktiviteleri ile sekonder metabolit sentezindeki artışların belirlenmesi gereklidir.

Kurağa dayanıklı genotiplerden Karatay-97'de su kıtlığına bağlı olarak ortalama total SOD aktivitesinde saptanan azalma, bu çeşidin toplam protein miktarıyla ters orantılıdır. Kuraklık stresine yanıtta, sadece SOD aktivitelerindeki değişimin araştırılması yetersiz olabilir

(Price and Hendry,1981). Bu bağlamda, toplam protein miktarındaki artış, sadece SOD aktivitesinde bir değişimin değil, GR, AP veya CAT aktivitelerindeki bir değişimin sonucu da olabilir. Kurağa dayanıklı diğer genotip Tokak 157/37'de ise total SOD aktivitesi toplam protein miktarı ile birlikte artış göstermişlerdir. Bu sonuç, Tokak 157/37'nin kuraklık stresiyle oluşan oksidatif zarara karşı Halliwell-Asada Yolu'ndaki enzimsel savunma mekanizmasının kullanıldığını göstermektedir.

Kurağa toleransı bilinmeyen 5600/MISC.S.CMB'de ise total SOD aktivitesinde kontrole göre ortaya çıkan artış toplam protein miktarında görülen artışla paraleldir. Başka bir deyişle, 5600/MISC.S.CMB'nin kurağa yanıtta diğer antioksidatif savunma enzimlerini de kullanabilmesi mümkündür. Bu bağlamda, 5600/MISC.S.CMB'nin kurağa dayanıklı genotiplere benzer iyi bir antioksidatif potansiyele sahip olduğu anlaşılmaktadır.

Hem PEG 3000 hem de su kıtlığı uygulaması kurağa duyarlı Kıral-97'de yüksek su tutma potansiyeli ve total proteindeki artışa rağmen total SOD aktivitesinde kontrole göre azalmaya yol açmıştır. Bu durum dikkate alındığında, kurak stresine tepkide duyarlı olduğu anlaşılmaktadır. Ancak total SOD yerine diğer antioksidatif enzimler veya sekonder metabolitler ile kuraklığa tepkinin gerçekleşme olasılığı yüksektir.

Kurağa duyarlı diğer bir genotip olan Cumhuriyet-50 her iki kuraklık uygulaması ile su tutma kapasitesi, total protein ve total SOD aktiviteleri azalmıştır. Kuraklık ile ortaya çıkan bu zararlar, Cumhuriyet-50'nin kurağa duyarlı genotiplerin tipik tepkisine sahip olduğunu göstermektedir.

Kurağa dayanıklı olduğu bilinen genotiplerden Karatay-97 PEG 3000 ve su kıtlığı uygulamalarıyla su tutma kapasitesi ve total SOD aktiviteleri azalmasına karşın, total protein miktarı artmıştır. Bu

anlamda Karatay-97'nin kurağa dayanıklılıkta total SOD aktivitesinin önemli bir rol oynamadığı anlaşılmaktadır. Bu çeşidin, kurağa dayanıklılığında protein miktarındaki artışa bağlı olarak diğer antioksidatif enzimlerin ve sekonder metabolitlerin araştırılmasının daha anlamlı sonuçlar vermesi olasıdır. Benzer durum kurağa dayanıklı diğer genotip Tokak-157/37'de saptanmıştır. Total protein miktarındaki artış bu çeşidin total SOD aktivitesindeki artışlarla paraleldir. Bu nedenle, Tokak-157/37'nin kurağa dayanıklılıkta total SOD ve dolayısıyla diğer antioksidatif mekanizmaları çalıştırdığı anlaşılmaktadır.

5600/MISC.S.CMB ise her iki kuraklık uygulaması sonucu su tutma kapasitesinin yüksekliği ile diğer çeşitlerden daha dayanıklı tepki vermiştir. Buna göre, bu genotip PEG 3000 uygulamasında azalan total SOD aktivitesine, su kıtlığı uygulamasında yüksek total protein miktarı ve total SOD aktivitesine sahiptir. Bu bağlamda, PEG 3000 uygulamasında azalan total SOD aktivitesine sahip olması bu çeşidin orta dayanıklı olabileceğine işaret etmektedir. Ashraf ve Açıkğöz (1998) yaptıkları bir araştırmada 5600/MISC.233 isimli arpa çeşidinin tuza dayanıklı ve verimli bir genotip olduğunu rapor etmişlerdir. Tuz stresine dayanıklı bir genotipin kuraklık stresine dayanıklılıkla ilişkili olduğuda bilinmektedir (Bozcuk ve Topçuoğlu, 1984; Topçuoğlu ve Çakırlar, 1985). Bu bağlamda sonuçlarımız bu genotip için paralellik göstermektedir.

Tüm sonuçlar karşılaştırıldığında araştırmada kullanılan ve kurağa duyarlı ve dayanıklı oldukları bilinen genotipler, kurağa tepkide, total SOD aktiviteleri yönünden kontrole göre belirgin artışlara sahiptirler. Bununla birlikte, SOD dışındaki diğer antioksidatif enzimlerden birinin daha açık tepki verebileceği de bilinmektedir. Bu bakımdan ilerideki çalışmalarda diğer antioksidatif enzimlerin çalışılması yararlı olacaktır. Kuraklığa toleransı bilinmeyen 5600/MISC.S.CMB, tüm bulguları karşılaştırıldığında orta-duyarlı tepki verdiği anlaşılmıştır. Tüm çeşitlerde tespit edilen total SOD aktiviteleri birçok araştırmaya paralel

artışlara sahiptir. Bununla birlikte, tespit edilen artışlardan bir kısmı dışındaki sonuçlar istatistiksel olarak anlamsız bulunmuştur. Ayrıca, sadece SOD aktivitesinin yüksek düzeyinin kurağa toleransta tek başına yeterli olmadığı da bilinmektedir. Bu da araştırmamızda kullanılan arpa çeşitlerinde diğer tahıllara göre antioksidatif direncin çalışılmasında, Haliwell-Asada yolunda bulunan diğer antioksidatif enzimlerin SOD'a göre daha aktif olabileceğini düşündürmektedir.

Araştırma sonuçlarımıza göre SOD, çalışılan arpa çeşitlerinden Kırıl-97 ve Karatay-97 için kuraklıkla ilişkili kesin bir kriter olarak kullanışlı değildir. Bu nedenle aynı çeşitler üzerine kuraklık etkisiyle GR, AP vd. antioksidatif enzimlerin aktiviteleri çalışılması gerek bu arpa çeşitlerinde gerekse başka çeşitlerde daha anlamlı sonuçlara ulaşılmasını sağlayacaktır.

5. KAYNAKLAR DİZİNİ

- Ashraf, M. M. ve Açıkgöz, N.,** 1998, Arpada Tuza Dayanıklı Genotiplerin Seleksiyonu için Uygun Yöntem Saptanması Üzerine Bir Araştırma, Bitkilerde Stres Fizyolojisinin Moleküler Temelleri Sempozyumu, 22 – 26 Haziran, EBİLTEM, Bornova, İzmir.
- Ashraf, M. Y., Azmi, A. R., Khan, A. H. and Ala, S.A.,** 1984, Effect of Water Stress on Total Phenols, Peroxidase Activity and Chlorophyll Content in Wheat, *Acta Physiol. Plantarum.* 16: (3) 185 – 191 pp.
- Beauchamp, C. And Fridovich, I.,** 1971, Superoxide Dismutase: Improved Assays and Applicable to Acrylamide Gels, *Analytical Biochemistry*, 44 : 276 – 287 pp.
- Black, M. and Edelman, J.,** 1970, *Plant Growth*, Heinemann Educational Publications Books Ltd., London, 193 pp.
- Blum, A. and Ebercon, A.,** 1983, Cell Membrane Stability as a Measure of Drought and Heat Tolerance in Wheat, *Crop Sci.*, 21, 43 – 47 pp.
- Bridges, S. M. and Salin, M. L.,** 1981, Distribution of Iron Containing Superoxide Dismutase in Vascular Plants, *Plant Physiol.*, 68: 275 – 278 pp.
- Bowler, C., Van Montagu, M. And Inze, D.,** 1992, Superoxide Dismutase and Stress Tolerance., *Annu. Rev. Plant Physiol., Plant Mol. Biol.*, 43: 83 – 116.
- Bozcuk, S. ve Topçuoğlu, Ş.F.,** 1984, Değişik Su Stresi Koşullarında Bitkilerde Absisik Asit (ABA) Miktarının Değişimi ve Bunun Fizyolojik Olaylar Üzerine Etkileri, *Doğa*, A2, 8 (2): 265 – 272 s.
- Bradford, M. M.,** 1976, A Rapid and Sensitive Method for the Quantitation of Microgram Quantities of Protein Utilizing the Principle of Protein-Dye Binding, *Analytical Biochemistry*, 72: 248 – 254 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Burke, J. J., Gamble, P. E., Hatfield, J. L. and Quisenberry, J. E.,** 1985, Plant Morphological and Biochemical Responses to Field Water Deficits. I. Responses of Gluthathione Reductase Activity and Paraquat Sensitivity, *Plant Physiol.*, 79: 415 – 419 pp.
- Burke, J. J. and Oliver, M. J.,** 1992, Differential Temperature Sensitivity of Pea Superoxide Dismutases, *Plant Physiol.*, 100: 1595 – 1598 pp.
- Casano, L. M., Martin, M. and Sabater, B.,** 1994, Sensitivity of Superoxide Dismutase Transcript Levels and Activities to Oxidative Stress is Lower in Mature-Senescent than in Young Barley Leaves, *Plant Physiol.*, 106: 1033 – 1039 pp.
- Ceccarelli, S.,** 1987, Tolerance to Climatic Stress, *Barley Genetics*, V:689 – 702 pp. L
- Çakmak, İ. and Marschner, H.,** 1992 a, Magnesium Deficiency and High Light Intensity Enhance Activities of Superoxide Dismutase, Ascorbate Peroxidase, and Glutathione Reductase in Bean Leaves, *Plant Physiol.* (1992) 98, 1222 – 1227 pp.
- Çakmak, İ. and Marschner, H.,** 1992 b, Magnesium Deficiency Enhances Resistance to Paraquat Toxicity in Bean Leaves, *Plant Cell and Environment*, 15, 955 – 960.
- Çakmak, İ. and Marschner, H.,** 1993, Effect of Zinc Nutritional Status On Activities of Superoxide Radical and Hydrogen Peroxide Scavenging Enzymes in Bean Leaves, *Plant and Soil*, 155 / 156: 127 – 130 pp.
- Çakmak, İ.,** 1994, Activity of Ascorbate - Dependent H₂O₂ – Scavenging Enzymes and Leaf Chlorosis are Enhanced in Magnesium- and Potassium-Deficient Leaves, but not in Phosphorus – Deficient Leaves, *Journal of Exp. Botany*, 45 (278): 1259 – 1266 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Çakmak, İ., Öztürk, L., Eker, S., Torun, B., Kalfa, H. I. and Yılmaz, A., 1997, Concentration of Zinc and Activity of Copper / Zinc – Superoxide Dismutase in Leaves of Rye and Wheat Cultivars Differing in Sensitivity to Zinc Deficiency, J. of Plant Physiol. 151: 91 – 95 pp.**
- Davies, K. J. A., 1987, Protein Damage and Degradation by Oxygen Radicals, I. General Aspects, The Journ. of Biological Chemistry, 262 (20): 9895 – 9901 pp.**
- Decleire, M., De Cat, M., De Temmerman, L. and Baeten, H., 1984, Changes of Peroxidase, Catalase, and Superoxide Dismutase Activities in Ozone-fumigated Spinach Leaves, J. plant Physiol., 116: 147 – 152 pp.**
- Dhindsa, R. S., 1991, Drought Stress, Enzymes of Glutathione Methabolism, Oxidation Injury, and Protein Synthesis in *Tortula ruralis*, Plant Physiol., 95: 648 – 651 pp.**
- Dinçkaya, E., 1997, Enzimoloji Lisansüstü Yaz Okulu, 21 – 27 Eylül, Ed. Azmi Telefoncu, Kuşadası, Aydın, Türkiye, 446 s.**
- Donahue, J. L., Okpodu, C. M., Cramer, C. L., Grabau, E. A. and Alscher, R. G., 1997, Responses of Antioxidants to Paraquat in Pea Leaves, Plant Physiol., 113: 249 – 257 pp.**
- Edreva, A., 1998a, Stress Physiology, Definitions and Concepts of Stress. Classifications of Stress Factors, Approaches Applied in Stress Research, Bitkilerde Stres Fiziyojisinin Moleküler Temelleri Sempozyumu, 22 – 26 Haziran, EBİLTEM, Bornova, İzmir.**
- Elstner, E. F., 1982, Oxygen Activation and Oxygen Toxicity, Annu. Rev. Plant Physiol., 33: 73 – 96 pp.**

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Foster, J. G. and Hess, J. L.,** 1982, Oxygen Effects on Maize Leaf Superoxide Dismutase and Glutathion Reductase, *Phytochem.*, 21 (7): 1527 – 1532 pp.
- Fridovich, I.,** 1974, Superoxide Dismutases, *Advances in Enzimology*, 41: 35 – 97 pp.
- Fridovich, I.,** 1986, Superoxide Dismutases, *Advances in Enzimology*, 58: 61 –97 pp.
- Giannopolitis, N. and Ries, S. K.,** 1977, Superoxide Dismutase. I. Occurence in Higher Plants, *Plant Physiol.*, 59: 309 – 314 pp.
- Gottlieb, M.L. and Bray, E.A.,** 1991, The Induction of Free Prolin Accumulation, by Endogenous ABA in *Arabidopsis thaliana* During Drought, Annu. Meet. Of the american Soc. of Plant Physiologists, July 28 – August 1, 1991, Albuquerque, New Mexico, p.21.
- Ho, T-H. D.,** 1993, Hormone and Stress Regulated Gene Expression in Cereal Plants, *Bot. Bull. Acad. Sci.*, 34: 103 –113 pp.
- Hewitt, E. J.,** 1963, Mineral Nutrition of Plants in Culture Media, *Plant Physiology*, Vol. III, Ed. F. C. Steward, Academic Press, New York and London, 797 pp.
- İnci, F., Öktem, H. A. and Yücel, M.,** 1993, Characterization of Superoxide Dismutase Isozymes in Wheat Varieties Under Stress Conditions, *Medcampus, ODTU, Ankara*, 37 – 42 pp.
- Inze, D. and Van Montagu, M.,** 1995, Oxidative Stress in Plants, *Curr. Opin Biotechnol.* 6: 153 –158 pp.
- Jagtab, V. And Barghava, S.,** 1995, Variation in the Antioxiant Metabolism of Drought Susceptible Varieties of *Sorghum bicolor* L. Moench. Exposed to High Light, Low Water and High Temperature Stress, *J. of Plant Physiol.*, 145: 1 – 2, 195- 197 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Kenyon, W. H. and Duke, S. O.**, 1985, Effects of Acifluorfen on Endogenous Antioxidants and Protective Enzymes in Cucumber (*Cucumis saivus* L.) Cotyledons, *Plant Physiol.*, 79: 862 – 866 pp.
- Krebs, C. J.**, 1985, *Ecology*, Harper & Row, Publishers, Third Edition, New York, 795 pp.
- Li, G. M., Tang, L. S., Shang, Z. Q. and Chi, S. M.**, 1994, Effect of osmotic Stress on Protective Enzyme Systems in Maize Seedling and Its relationships to Drought Resistance, *J. of Hebei Agricultural University*, 17: (2), 1 – 5.
- Lichtenthaler, H. K.**, 1996, *Vegetation Concept*, *J. of Plant Phisiology*,
- Levitt, J.**, *Responses of Plants to Environmental Stresses*, Vol. II, Water, Radiation, Salt, and Other Stresses, Acadmic Press, Inc., 2nd Edition, 607 pp.
- Lu, D. B. and Tong, Q. Q.**, 1992, Studies on Drought Injury with Relation to Activated Oxygen Metabolism in Tea Plants, 18: Suppl., 56 – 62 pp.
- Malan, C., Groyling, M. M. and Gressel, J.**, 1990, Correlation between Cu/Zn Superoxide Dismutase and Glutathione Reductase and Environmental and Xenobiotic Stress Tolerance in Maize Inbreds, *Plant Sci.*, 69: 157 – 166 pp.
- McAinsh, M. R., Clayton, H., Mansfield, T. A. and Hetherington, A. M.**, 1996, Changes in Stomatal Behavior and Guard Cell Cytosolic Free Calcium in Response to Oxidative Stress, *Plant Physiol.*, 111: 1031 – 1042 pp.
- Monneveux, P. and Belhassen, E.**, 1996, The Diversity of Drought Adaptation in the Wide, Drought Tolerance in Higher Plants, Ed. Eric Belhassen, *Plant Growth Regulation*, 20: 85 – 92 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Mishra, N. P., Mishra, R. K. and Singhal, G. S.,** 1993, Changes in the Activities of Anti-Oxidant Enzymes during Exposure of Intact Wheat Leaves to strong Visible Light at Different Temperatures in the Presence of Protein Synthesis Inhibitors, *Plant Physiol.*, 102: 903 – 910 pp.
- Öztürk, L.,** 1996, Influence of Drought Stress on the Levels of Antioxidative Defence Systems During Germination and Early Tillering Stages in wheat Genotypes Differing in Drought Susceptibility, Master Thesis, Adana, 60 pp.
- Passioura, J. B.,** 1996, Drought and Drought Tolerance, Drought Tolerance in Higher Plants, Ed. Eric Belhassen, *Plant Growth Regulation*, 20: 70 – 83 pp.
- Price, A. H. and Hendry, G. A. F.,** 1989, Stress and The Role of Activated Oxygen Scavengers and Protective Enzymes in Plants Subjected to Drought, *Biochemical Society Transactions*, 629th Meeting, London, Vol. 17: 493 – 494 pp.
- Pastori, G. M. and Trippi, V. S.,** 1993, Antioxidative Protection in a Drought - Resistant Maize Strain During Leaf Senescence, *Physiologia Plantarum* 87: 227 – 231 pp.
- Puntarulo, S., Galleano, M. Sanchez, R. A. and Boveris, A.,**1991, Superoxide Anion and Hydrogen Peroxide Metabolism in Soybean Embryonic Axes During Germination, *Biochim. et Biophysica Acta*, 1074: 277 – 283 pp.
- Rabinowitch, H. D. and Fridovich, I.,**1983, Superoxide Radicals, Superoxide Dismutases and Oxygen Toxicity in Plants, *Photochem. Photobiol.*, 37: 679 – 690 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Reddy, P. C. and Vajranabhaiah, S. N.**, 1993, Drought Induced Lipid Peroxidation; Defence Mechanism in Upland Rice (*Oryza sativa* L.) Seeds During Germination, *Advances in Plant Sciences*, 6 (2): 229 – 236 pp.
- Scandalios, J. G.**, 1993, Oxygen Stress and Superoxide Dismutases, *Plant Physiol.*, 101: 7 – 12 pp.
- Seçmen, Ö., Gemici, Y., Leblebici, E., Görk, G. ve Bekat, L.**, 1992, Tohumlu Bitkiler Sistematiği, Ege Üniv. Fen Fak. Kitaplar Serisi No: 116, 3. Baskı, İzmir, 396 s.
- Sen Gupta, A., Alscher, R. G. and McCune, D.**, 1991, Response of Photosynthesis and Cellular Antioxidants to Ozone in Populus Leaves, *Plant Physiol.*, 96: 650 – 655 pp.
- Sen Gupta, A., Webb, R. P., Holaday, A. C. and Allen, R. D.**, 1994, Overexpression of Superoxide Dismutase Protects Plants from Oxidative Stress, *Plant Physiol.*, 103: 1067 - 1073 pp.
- Senaratna, T., McCersie, B.D. and Stinson, R. H.**, 1985, Antioxidant Levels in Germinating Soybean Seed Axes in Relation to Free Radical and Dehydration Tolerance, *Plant Physiol.* 78: 168 – 171 pp.
- Smart, R. E. and Bingham, G. E.**, 1974, Rapid Estimates of Relative Water Content, *Plant Physiol.*, 53: 258 – 260 pp.
- Steward, F.C.**, 1963, *Plant Physiology*, Academic Press, New York and London, 797 p.
- Stryer, L.**, *Biochemistry*, 3rd Edition, 422 – 423 pp.
- Topçuoğlu, Ş.F. ve Çakırlar, H.**, 1985, Tuz Stresi Koşulunda Bitkilerde Absisik Asit (ABA) ve Sitokinin Miktarının Değişimi ve Bunun Fizyolojik Olaylar Üzerine Etkileri, *Doğa*, A2, 9 (2): 439 – 448 s.

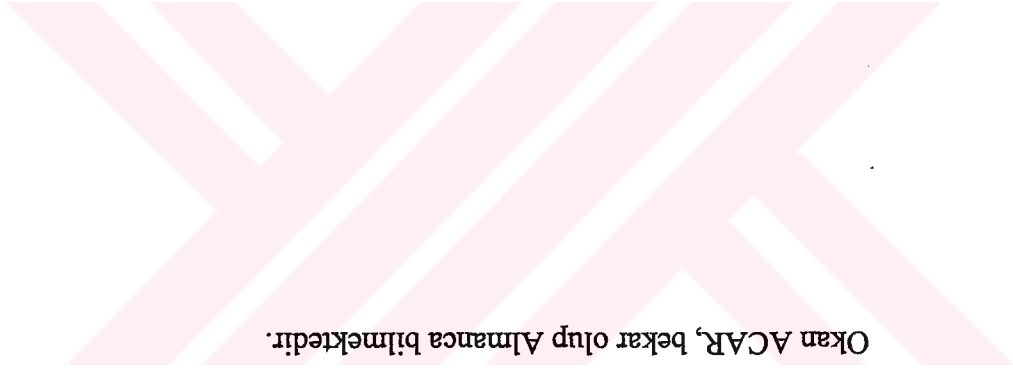
KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Turcsanyi, E., Suranyi, G., Lehoczki, E. and Borbely, G., 1994,** Superoxide Dismutase Activity in Response to Paraquat Resistance in *Coryza canadensis* (L.) Cronq., J. of Plant Physiol. 144: 599 – 606 pp.
- Türkan, İ. ve Yazıcı, I., 1998,** Kuraklık Stresinin Kızıl Çam (*Pinus brutia* Ten.) Fidanlarının Büyüme ve Bazı Fizyolojik Özellikleri Üzerine Etkisinin Araştırılması, Bitkilerde Stres Fizyolojisinin Moleküler Temelleri Sempozyumu, 22 – 26 Haziran, EBİLTEM, Bornova, İzmir.
- Van Camp, W., Capiou, K., Van Montagu, M., Inze, D. and Slooten, L., 1994,** Enhancement of Oxidative Stress Tolerance in Transgenic Tobacco Plants Overproducing Fe – Superoxide Dismutase in Chloroplasts, Plant Physiol., 112: 1703 – 1714 pp.
- Vaughan, D., DeKock, P. C. and Ord, B. C., 1983,** Effects of Benzyladenine and Absisic Acid on Superoxide Dismutase in fronds of the Duckweed *Lemna gibba*, Physiol. Plant, 58: 239 – 242 pp.
- Yazıcı, Z. I., 1996,** Kuraklık Stresinin Kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) Fidanlarının Büyüme ve Bazı Fizyolojik Özellikleri Üzerine Etkisinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Bornova, İzmir, 100 pp.
- Zhang, J. X. and Kirkham, M. B., 1994,** Drought Stress Induced Changes in Activities of Superoxide Dismutase, Catalase, and Peroxidase in Wheat Species, Plant and Cell Physiol., 35 (5): 785 – 791 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Zhu, D. and Scandalios, J. G., 1994, Differential Accumulation of Manganese-Superoxide Dismutase Transcripts in Maize in Response to Absisic Acid and High Osmoticum, Plant Physiol., 106: 173 – 178 pp.





Okkan ACAR, bekar olup Almanca bilmektedir.

Araştırmacı, 1969 yılında İzmir’de doğmuştur. İlk, orta ve lise öğrenimini İzmir’de in çeşitli okullarda tamamlamıştır. 1986 yılında girdiği E.Ü. Fen Fakültesi Biyoloji Bölümü’nden 1990 yılında mezun olarak lisans eğitimi bitirmiştir. 1991 yılında adı geçen bölümde açılan yüksek lisans sınavını kazanarak, 1993 yılında Prof. Dr. Ahmet YAYINTAŞ danışmanlığında “Dumanlı Dağ Karayosunu Florası” isimli yüksek lisans çalışmasını tamamlamıştır. 1993 yılında, yine aynı bölümde, Prof. Dr. İsmail TÜRKAN yönetiminde çalışmalarına başlayan araştırmacı, 1992 yılında bu yana E.Ü. Fen Fakültesi Biyoloji Bölümü’nde Araştırma Görevlisi olarak görev yapmaktadır.

6. ÖZGEÇMİŞ