

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

**KURAKLIK STRESİNE MARUZ BIRAKILAN *Triticum aestivum* L.
(BUĞDAY) ÇEŞİTLERİNDE SİNYAL İLETİMİNDE ROL OYNAYAN
BAZI BİYOMOLEKÜLLERİN ARAŞTIRILMASI**

OĞUZ AYHAN KİREÇCİ

**DOKTORA TEZİ
BİYOLOJİ ANABİLİM DALI**

**MALATYA
MAYIS 2012**

Tezin Başlığı : **Kuraklık Stresine Maruz Bırakılan *Triticum aestivum* L. (Buğday) Çeşitlerinde Sinyal İletiminde Rol Oynayan Bazı Biyomoleküllerin Araştırılması**

Tezi Hazırlayan : Oğuz Ayhan KİREÇCİ

Sınav Tarihi : 23.05.2012

Yukarıda adı geçen tez jürimizce değerlendirilerek Biyoloji Anabilim Dalında Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir.

Sınav Jürisi Üyeleri

Prof. Dr. Serpil ÜNYAYAR (Başkan)	Mersin Üniversitesi	
Prof. Dr. Hikmet GEÇGİL (Üye)	İnönü Üniversitesi	
Prof. Dr. Füsun YÜREKLİ (Danışman)	İnönü Üniversitesi	
Yrd. Doç. Dr. Emel YİĞİT (Üye)	İnönü Üniversitesi	
Yrd. Doç. Dr. Fatma MUTLU (Üye)	İnönü Üniversitesi	

İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Onayı

Prof. Dr. Asım KÜNKÜL

Enstitü Müdürü

OĞLUM EYMEN'E.....

Onur Sözü

Doktora Tezi olarak sunduğum “Kuraklık Stresine Maruz Bırakılan *Triticum Aestivum* L. (Buğday) Çeşitlerinde Sinyal İletiminde Rol Oynayan Bazı Biyomoleküllerin Araştırılması” başlıklı bu çalışmanın, bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurmaksızın tarafımdan yazıldığını ve yararlandığım bütün kaynakların, hem metin içinde hem de kaynakçada yöntemine uygun biçimde gösterilenlerden oluştuğunu belirtir, bunu onurumla doğrularım.

Oğuz Ayhan KİREÇCİ

ÖZET
Doktora Tezi

**KURAKLIK STRESİNE MARUZ BIRAKILAN BUĞDAY (*Triticum aestivum* L.) ÇEŞİTLERİNDE SİNYAL İLETİMİNDE ROL OYNAYAN
BAZI BİYOMOLEKÜLLERİN ARAŞTIRILMASI**

Oğuz Ayhan KİREÇCİ
İnönü Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Biyoloji Anabilim Dalı
245+ xx sayfa
2012

Danışman: Prof. Dr. Füsün YÜREKLİ

Bu çalışmada kuraklık stresine dayanıklı (*Triticum aestivum* L. Doğu-88) ve hassas (*Triticum aestivum* L. Yıldırım) buğday bitkisinde kuraklık stresi ve farklı konsantrasyonlarda dışsal uygulanan sodyum nitroprusid (SNP) ve hidrojen peroksidin (H₂O₂), kök ve yaprak dokularında nitrik oksit (NO) düzeyleri, nitrik oksit sentaz (NOS) aktiviteleri, siklik guanozin monofosfat (cGMP) düzeyleri, süperoksit dismutaz (SOD), katalaz (CAT) ve glutatyon peroksidaz (GSH-Px) antioksidan enzim aktiviteleri, malondialdehit (MDA) içerikleri, toplam çözünebilir protein miktarları, hidrojen peroksit (H₂O₂) içerikleri ile oransal su içerikleri üzerine etkileri araştırılmıştır. Kuraklık stresi koşulunda yetiştirilen dayanıklı ve duyarlı buğday bitkisinde gerek antioksidan enzim aktiviteleri gerekse sinyal iletiminde rol aldığı varsayılan biyomoleküllerin işlevleri ile SNP ve H₂O₂ tarafından sinyal sisteminde oluşturulan olası değişikliklerin mekanizması deneysel sistem ile açıklanmaya çalışılmıştır.

Çalışmada buğday bitkilerine polietilen glikol (PEG) uygulaması yapılarak kuraklık stresi oluşturulmuştur. Hoagland kültür çözeltilisinde 15 gün yetiştirilen buğday bitkilerine 2. 4. ve 6. günlerde SNP ve H₂O₂ (10 µM, 100 µM, 1000 µM) uygulamaları, kuraklık (PEG) uygulaması, kuraklık uygulamasıyla eş zamanlı olarak SNP (PEG+SNP) ve H₂O₂ (PEG+H₂O₂) uygulamaları yapılmıştır. Kontrol grubu ise Hoagland kültür çözeltilisinde büyütülmüştür.

Çalışma sonucunda, Doğu-88 ve Yıldırım çeşitlerinin %10 kuraklık, değişik konsantrasyonlarda SNP ve H₂O₂ ile PEG+SNP ve PEG+H₂O₂ uygulanmış kök ve yaprak dokularında nitrik oksit (NO) düzeylerinin, nitrik oksit sentaz (NOS) aktivitelerinin, siklik

guanozin monofosfat (cGMP) düzeylerinin, süperoksit dismutaz (SOD), katalaz (CAT) ve glutatyon peroksidaz (GSH-Px) antioksidan enzim aktivitelerinin, malondialdehit (MDA) içeriklerinin, toplam çözünebilir protein miktarlarının, hidrojen peroksit (H₂O₂) içerikleri ile oransal su içeriklerinin günlere ve uygulama gruplarına bağlı olarak farklılık gösterdiği saptanmıştır. Oransal su içeriği ve çözünebilir protein miktarları özellikle Yıldırım çeşidinde artış göstermiştir.

Yaptığımız çalışma sonucunda elde ettiğimiz verilerden, bitkilerin kök ve yaprak dokularında stres şartlarına karşı oluşturulan sinyal iletiminin ve cevapların farklı olduğu görülmüştür. Çalışmamızda antioksidan enzim aktivitelerinin Yıldırım çeşidinde genel olarak arttığı, Doğu-88 çeşidinde ise azaldığı görülmektedir. Sinyal iletiminde rol oynadığı varsayılan NO, cGMP ve H₂O₂'nin her iki çeşitte genel olarak arttığı, Doğu-88'de daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Sinyal iletiminde ve antioksidan enzim aktiviteleri üzerinde H₂O₂'nin ve NO vericisi SNP'nin etkilerinin bulunduğu ve kuraklığa hassas buğday çeşidinde gözlenen artışlar hassas çeşidin stresten korunmasında rol oynadığı belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kuraklık stresi, *Triticum aestivum*, antioksidan enzim, nitrik oksit, cGMP, SNP, H₂O₂

ABSTRACT

Ph. D. Thesis

Oğuz Ayhan KİREÇCİ

THE INVESTIGATION OF SOME SIGNAL TRANSDUCTION BIOMOLECULES IN *Triticum aestivum* L. (WHEAT PLANT) EXPOSED TO DROUGHT STRESS

Inonu University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Biology
245+ xx pages
2012

Advisor: Füsün YÜREKLİ, Prof. Dr.

In this study, the effects of drought stress and externally applied different concentrations of sodium nitroprusside (SNP) and hydrogen peroxide (H₂O₂), on nitric (NO) levels, nitric oxide synthase (NOS) activity, cyclic guanosine monophosphate (cGMP) levels, superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT) and glutathione peroxidase (GSH-Px), antioxidant enzyme activities, malondialdehyde (MDA) content, total soluble protein concentrations, hydrogen peroxide (H₂O₂) and relative water content of the tolerant (*Triticum aestivum* L. Doğu-88) and sensitive (*Triticum aestivum* L. Yıldırım) wheat plant's root and leaf tissues were investigated. Both resistant and sensitive wheat crops grown in drought stress conditions, be involved in signal transduction and antioxidant enzyme activities and functions of biomolecules and possible changes caused by SNP and H₂O₂ signaling system were tried to explain the mechanism of the experimental system. In this study, polyethylene glycol (PEG) by application of drought stress created in the wheat plants. In this study, PEG by application of drought stress created in the wheat plants. Wheat plants grown in Hoagland culture solution 15 days, 2, 4 and 6 days SNP and H₂O₂ (10 µM, 100 µM, 1000 µM) applications drought (PEG) application and implementation of drought at the same time SNP (PEG+SNP) and H₂O₂ (PEG+ H₂O₂) were used. The control group was grown in Hoagland culture solution.

As a result, 10% of the Doğu-88 and Yıldırım varieties to drought, various concentrations of SNP and SNP+PEG and PEG+ H₂O₂ H₂O₂-treated root and leaf tissues, nitric oxide (NO) levels, nitric oxide synthase (NOS) activity, cyclic guanosine

monophosphate (cGMP) levels, superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT) and glutathione peroxidase (GSH-Px), antioxidant enzyme activities, malondialdehyde (MDA) content, total soluble protein amounts of hydrogen peroxide (H_2O_2) and relative water content and treatment days groups differ depending on the take. Relative water content and the amount of soluble protein in particular have increased Yıldırım variety. The result from our study, generated against the plant's root and leaf tissues, signal transduction, and responses to stress conditions found to be different. In our study, the antioxidant enzyme activities increased in Yıldırım variety and decreased in Doğu-88 variety. The assumed NO plays a role in signal transduction, cGMP and H_2O_2 were increased in both varieties but more increased levels detected in Doğu-88 variety. Signal transduction and antioxidant enzyme activities and NO donor SNP on the H_2O_2 and drought-sensitive wheat varieties containing the observed effects of stress increases the protection of sensitive varieties was determined to play a role.

Key Words: Drought stress, *Triticum aestivum*, antioxidant enzyme, nitric oxide, cGMP, SNP, H_2O_2

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın yürütülmesi ve sonuçlandırılmasında değerli düşünce ve katkılarıyla beni yönlendirilen, araştırmanın her aşamasında yardımlarını esirgemeyen çok değerli danışman hocam sayın Prof.Dr. Füsun YÜREKLİ'ye,

Tez İzleme Komitemde bulunan, her konuda yardım ve desteklerini esirgemeyen sayın Prof. Dr. Hikmet GEÇKİL ve sayın Yrd. Doç. Dr.Emel YİĞİT hocalarıma,

Tez çalışmamdaki antioksidan enzim analizleri içim laboratuvarını ve cihazlarını kullandığım, her konuda yardım ve desteklerini esirgemeyen sayın Doç. Dr. Yılmaz ÇİĞREMİŞ'e

Tez çalışmam esnasında yardımcı olan Dr. Abbas GÜNGÖRDÜ'ye Dr. Gülçin BEKER AKBULUT'a, Armağan KAYA'ya, Araştırma Görevlisi Miraç UÇKUN'a,

2010-11 nolu proje kapsamında bu çalışmayı destekleyen İnönü Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri birimine,

Tüm yaşamım boyunca maddi ve manevi desteklerini benden hiçbir zaman esirgemeyen, iyi ve kötü günlerimde her daim yanımda olan, bu uzun süreçte bana her zaman sabırla yaklaşan ve hiçbir fedakârlıktan kaçınmayan sevgili eşim Dilek'e, SONSUZ TEŞEKKÜRLERİMİ SUNARIM...

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	iii
TEŞEKKÜR.....	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiv
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xix
SİMGELER ve KISALTMALAR.....	xx
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ.....	28
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	45
3.1. Deney Materyali.....	45
3.2. Çalışmada Kullanılan Kültür Çözeltileri.....	45
3.3. Deneysel Koşullar.....	45
3.4. Bitkilerin Yetiştirilmesi.....	46
3.4.1. Tohum Çimlendirme Yöntemi.....	46
3.4.2. Kuraklığa En Hassas ve En Dayanıklı Buğday Çeşidinin Belirlenmesi.....	46
3.4.3. Polietilen Glikol 6000 (PEG 6000) Konsantrasyonunun Belirlenmesi.....	46
3.4.4. Kuraklık ve Diğer Uygulamaların Yapılması.....	46
3.5. Analizler.....	47
3.5.1. Örneklerin Alınması.....	47
3.5.2. Yapılan Analizler.....	47
3.5.2.1. Kök ve Yaprak Dokularında Nitrik Oksit (NO) Düzeyinin Belirlenmesi.....	47

3.5.2.2.	Kök ve Yaprak Dokularında Nitrik Oksit Sentaz (NOS)	
	Aktivitesinin Belirlenmesi.....	47
3.5.2.3.	Kök ve Yaprak Dokularında cGMP Düzeylerinin Belirlenmesi.....	47
3.5.2.4.	Kök ve Yaprak Örneklerinde Toplam Çözülebilir Protein	
	Miktarının Belirlenmesi.....	48
3.5.2.5.	Kök ve Gövde Dokularında Malondialdehit İçeriğinin Belirlenmesi.....	48
3.5.2.6.	Kök ve Yaprak Dokularında Süperoksit Dismutaz Enzim	
	Aktivitesinin Belirlenmesi.....	48
3.5.2.7.	Kök ve Yaprak Dokularında Katalaz Enzim Aktivitesinin Belirlenmesi.....	49
3.5.2.8.	Kök ve Yaprak Dokularında Glutasyon Peroksidaz Enzim Belirlenmesi.....	49
3.5.2.9.	Kök ve Yaprak Dokularında Oransal Su İçeriğinin Belirlenmesi.....	50
3.5.2.10.	Kök ve Yaprak Dokularında Hidrojen Peroksit İçeriğinin Belirlenmesi.....	50
3.6.	İstatistiksel Analizler.....	50
4.	ARAŞTIRMA BULGULARI.....	51
4.1.	<i>Triticum aestivum</i> L. cv “Doğu-88” ve <i>Triticum eastivum</i> L. cv.	
	“Yıldırım” Buğday Bitkilerinin Kök Dokularında %10 PEG (Kuraklık), SNP	
	ve H ₂ O ₂ (10 µM, 100 µM ve 1000 µM) Uygulamalarının Araştırma	
	Parametreleri Üzerine Etkileri.....	51
4.1.1.	<i>Triticum aestivum</i> L. cv “Doğu-88” Buğday Bitkisi Kök Dokusunda	
	Uygulama Gruplarının Nitrik Oksit (NO) Düzeyi	
	Üzerine Etkileri.....	51

4.1.2.	<i>Triticum aestivum</i> L. cv “Doğu-88” Buğday Bitkisi Kök Dokusunda	
	Uygulama Gruplarının Nitrik Oksit Sentaz (NOS) Aktivitesi	
	Üzerine Etkileri.....	54
4.1.3.	<i>Triticum aestivum</i> L. cv “Doğu-88” Buğday Bitkisi Kök Dokusunda	
	Uygulama Gruplarının Siklik Guanozin Monofosfat (cGMP)	
	Düzeyleri Üzerine Etkileri.....	57
4.1.4.	<i>Triticum aestivum</i> L. cv “Doğu-88” Buğday Bitkisi Kök Dokusunda	
	Uygulama Gruplarının Süperoksit Dismutaz (SOD) Aktivitesi	
	Üzerine Etkileri.....	60
4.1.5.	<i>Triticum aestivum</i> L. cv “Doğu-88” Buğday Bitkisi Kök Dokusunda	
	Uygulama Gruplarının Katalaz (CAT) Aktivitesi	
	Üzerine Etkileri.....	63
4.1.6.	<i>Triticum aestivum</i> L. cv “Doğu-88” Buğday Bitkisi Kök Dokusunda	
	Uygulama Gruplarının Glutasyon Peroksidaz (GSH-Px)	
	Aktivitesi Üzerine Etkileri.....	66
4.1.7.	<i>Triticum aestivum</i> L. cv “Doğu-88” Buğday Bitkisi Kök Dokusunda	
	Uygulama Gruplarının Malondialdehit (MDA) İçeriği	
	Üzerine Etkileri.....	69
4.1.8.	<i>Triticum aestivum</i> L. cv “Doğu-88” Buğday Bitkisi Kök Dokusunda	
	Uygulama Gruplarının Toplam Çözünbilir Protein	
	Miktarı Üzerine Etkileri.....	72

4.1.9.	<i>Triticum aestivum</i> L. cv “Doğu-88” Buğday Bitkisi Kök Dokusunda	
	Uygulama Gruplarının Hidrojen Peroksit (H ₂ O ₂) İçeriği	
	Üzerine Etkileri.....	75
4.1.10.	<i>Triticum aestivum</i> L. cv “Doğu-88” Buğday Bitkisi Kök Dokusunda	
	Uygulama Gruplarının Oransal Su İçeriği (OSİ)	
	Üzerine Etkileri.....	78
4.1.11.	<i>Triticum aestivum</i> L. cv “Yıldırım” Buğday Bitkisi Kök Dokusunda	
	Uygulama Gruplarının Nitrik Oksit (NO) Düzeyi	
	Üzerine Etkileri.....	81
4.1.12.	<i>Triticum aestivum</i> L. cv “Yıldırım” Buğday Bitkisi Kök Dokusunda	
	Uygulama Gruplarının Nitrik Oksit Sentaz (NOS) Aktivitesi	
	Üzerine Etkileri.....	84
4.1.13.	<i>Triticum aestivum</i> L. cv “Yıldırım” Buğday Bitkisi Kök Dokusunda	
	Uygulama Gruplarının Siklik Guanozin Monofosfat (cGMP) Düzeyi	
	Üzerine Etkileri.....	87
4.1.14.	<i>Triticum aestivum</i> L. cv “Yıldırım” Buğday Bitkisi Kök Dokusunda	
	Uygulama Gruplarının Süperoksit Dismutaz (SOD) Aktiviteleri	
	Üzerine Etkileri.....	90
4.1.15.	<i>Triticum aestivum</i> L. cv “Yıldırım” Buğday Bitkisi Kök Dokusunda	
	Uygulama Gruplarının Katalaz (CAT) Aktiviteleri	
	Üzerine Etkileri.....	93

4.1.16.	<i>Triticum aestivum</i> L. cv “Yıldırım” Buğday Bitkisi Kök Dokusunda Uygulama Gruplarının Glutasyon Peroksidaz (GSH-Px) Aktiviteleri Üzerine Etkileri.....	96
4.1.17.	<i>Triticum aestivum</i> L. cv “Yıldırım” Buğday Bitkisi Kök Dokusunda Uygulama Gruplarının Malondialdehit (MDA) İçeriği Üzerine Etkileri.....	99
4.1.18.	<i>Triticum aestivum</i> L. cv “Yıldırım” Buğday Bitkisi Kök Dokusunda Uygulama Gruplarının Toplam Çözünabilir Protein Miktarı Üzerine Etkileri.....	102
4.1.19.	<i>Triticum aestivum</i> L. cv “Yıldırım” Buğday Bitkisi Kök Dokusunda Uygulama Gruplarının Hidrojen Peroksit İçeriği Üzerine Etkileri.....	105
4.1.20.	<i>Triticum aestivum</i> L. cv “Yıldırım” Buğday Bitkisi Kök Dokusunda Uygulama Gruplarının Oransal Su İçeriği (OSİ) Üzerine Etkileri.....	108
4.2.	<i>Triticum aestivum</i> L. cv “Doğu-88” ve <i>Triticum eastivum</i> L. cv. “Yıldırım Buğday Bitkilerinin Yaprak Dokularında %10 PEG (Kuraklık), SNP ve H ₂ O ₂ (10 µM, 100 µM ve 1000 µM) Uygulamalarının Araştırma Paremetreleri Üzerine Etkileri.....	110
4.2.1.	<i>Triticum aestivum</i> L. cv “Doğu-88” Buğday Bitkisi Yaprak Dokusunda Uygulama Gruplarının Nitrik Oksit (NO) Düzeyi Üzerine Etkileri.....	110

4.2.2.	<i>Triticum aestivum</i> L. cv “Doğu-88” Buğday Bitkisi Yaprak Dokusunda Uygulama Gruplarının Nitrik Oksit Sentaz (NOS) Aktivitesi Üzerine Etkileri.....	113
4.2.3.	<i>Triticum aestivum</i> L. cv “Doğu-88” Buğday Bitkisi Yaprak Dokusunda Uygulama Gruplarının Siklik Guanozin Monofosfat (cGMP) Düzeyi Üzerine Etkileri.....	115
4.2.4.	<i>Triticum aestivum</i> L. cv “Doğu-88” Buğday Bitkisi Yaprak Dokusunda Uygulama Gruplarının Süperoksit Dismutaz (SOD) Enzim Aktivitesi Üzerine Etkileri.....	117
4.2.5.	<i>Triticum aestivum</i> L. cv “Doğu-88” Buğday Bitkisi Yaprak Dokusunda Uygulama Gruplarının Katalaz(CAT) Enzim Aktivitesi Üzerine Etkileri.....	120
4.2.6.	<i>Triticum aestivum</i> L. cv “Doğu-88” Buğday Bitkisi Yaprak Dokusunda Uygulama Gruplarının Glutasyon Peroksidaz (GSH-Px) Enzim Aktivitesi Üzerine Etkileri.....	122
4.2.7.	<i>Triticum aestivum</i> L. cv “Doğu-88” Buğday Bitkisi Yaprak Dokusunda Uygulama Gruplarının Malondialdehit (MDA) İçeriği Üzerine Etkileri.....	125
4.2.8.	<i>Triticum aestivum</i> L. cv “Doğu-88” Buğday Bitkisi Yaprak Dokusunda Uygulama Gruplarının Toplam Çözünebilir Protein Miktarı Üzerine Etkileri.....	127

4.2.9.	<i>Triticum aestivum</i> L. cv “Doğu-88” Buğday Bitkisi Yaprak Dokusunda Uygulama Gruplarının Hidrojen Peroksit (H ₂ O ₂) İçeriği Üzerine Etkileri.....	130
4.2.10.	<i>Triticum aestivum</i> L. cv “Doğu-88” Buğday Bitkisi Yaprak Dokusunda Uygulama Gruplarının Oransal Su İçeriği (OSİ) Üzerine Etkileri.....	132
4.2.11.	<i>Triticum aestivum</i> L. cv “Yıldırım” Buğday Bitkisi Yaprak Dokusunda Uygulama Gruplarının Nitrik Oksit (NO) Düzeyi Üzerine Etkileri.....	134
4.2.12.	<i>Triticum aestivum</i> L. cv “Yıldırım” Buğday Bitkisi Yaprak Dokusunda Uygulama Gruplarının Nitrik Oksit Sentaz (NOS) Aktivitesi Üzerine Etkileri.....	136
4.2.13.	<i>Triticum aestivum</i> L. cv “Yıldırım” Buğday Bitkisi Yaprak Dokusunda Uygulama Gruplarının Siklik Guanozin monofosfat (cGMP) Düzeyi Üzerine Etkileri.....	138
4.2.14.	<i>Triticum aestivum</i> L. cv “Yıldırım” Buğday Bitkisi Yaprak Dokusunda Uygulama Gruplarının Süperoksit Dismutaz (SOD) Aktivitesi Üzerine Etkileri.....	140
4.2.15.	<i>Triticum aestivum</i> L. cv “Yıldırım” Buğday Bitkisi Yaprak Dokusunda Uygulama Gruplarının Katalaz (CAT) Aktivitesi Üzerine Etkileri.....	142

4.2.16.	<i>Triticum aestivum</i> L. cv “Yıldırım” Buğday Bitkisi Yaprak Dokusunda Uygulama Gruplarının Glutasyon Peroksidaz (GSH-Px) Aktivitesi Üzerine Etkileri.....	145
4.2.17.	<i>Triticum aestivum</i> L. cv “Yıldırım” Buğday Bitkisi Yaprak Dokusunda Uygulama Gruplarının Malondialdehit (MDA) İçeriği Üzerine Etkileri.....	148
4.2.18.	<i>Triticum aestivum</i> L. cv “Yıldırım” Buğday Bitkisi Yaprak Dokusunda Uygulama Gruplarının Toplam Çözünebilir Protein Miktarı Üzerine Etkileri.....	151
4.2.19.	<i>Triticum aestivum</i> L. cv “Yıldırım” Buğday Bitkisi Yaprak Dokusunda Uygulama Gruplarının Hidrojen Peroksit (H ₂ O ₂) İçeriği Üzerine Etkileri.....	154
4.2.20.	<i>Triticum aestivum</i> L. cv “Yıldırım” Buğday Bitkisi Yaprak Dokusunda Uygulama Gruplarının Oransal Su İçeriği (OSİ) Üzerine Etkileri.....	156
5.	TARTIŞMA ve SONUÇ.....	158
6.	KAYNAKLAR.....	212
7.	ÖZGEÇMİŞ.....	245

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1.	Abiyotik stres şartlarına adaptasyon..... 4
Şekil 1.2.	Metabolik olaylar sonucu oksijen radikallerinin oluşumu..... 8
Şekil 1.3.	Abiyotik stres sonucu hücre ölümü..... 8
Şekil 1.4.	Süperoksit dismutaz enziminin etki mekanizması..... 11
Şekil 1.5.	Linoleik asidin OH• radikalının bulunduğu ortamda lipit peroksidasyonuna uğraması ve son ürün olarak farklı aldehid moleküllerinin oluşması..... 15
Şekil 1.6.	Nitrik oksit (NO) sentez yolları..... 17
Şekil 1.7.	Abiyotik streslere karşı bitkilerde nitrik oksidin aracılık ettiği sinyal yolunun genel bir modeli..... 21
Şekil 4.1.	<i>Triticum aestivum</i> L. cv “Doğu-88” buğday bitkisi kök dokusunda uygulama gruplarına günlere ve konsantrasyonlara bağlı olarak nitrik oksit (NO) düzeyinde meydana gelen değişimler..... 53
Şekil 4.2.	<i>Triticum aestivum</i> L. cv “Doğu-88” buğday bitkisi kök dokusunda uygulama gruplarına, günlere ve konsantrasyonlara bağlı olarak nitrik oksit sentaz (NOS) aktivitesinde meydana gelen değişimler..... 56
Şekil 4.3.	<i>Triticum aestivum</i> L. cv “Doğu-88” buğday bitkisi kök dokusunda uygulama gruplarına günlere ve konsantrasyonlara bağlı olarak siklik guanozin monofosfat (cGMP) düzeyinde meydana gelen değişimler..... 59
Şekil 4.4.	<i>Triticum aestivum</i> L. cv “Doğu-88” buğday bitkisi kök dokusunda uygulama gruplarına günlere ve konsantrasyonlara bağlı olarak süperoksit dismutaz (SOD) aktivitesinde meydana gelen değişimler..... 62
Şekil 4.5.	<i>Triticum aestivum</i> L. cv “Doğu-88” buğday bitkisi kök dokusunda uygulama gruplarına günlere ve konsantrasyonlara bağlı olarak katalaz (CAT) aktivitesinde meydana gelen değişimler..... 65
Şekil 4.6.	<i>Triticum aestivum</i> L. cv “Doğu-88” buğday bitkisi kök dokusunda uygulama gruplarına günlere ve konsantrasyonlara bağlı olarak glutatyon peroksidaz (GSH-Px) aktivitesinde meydana gelen değişimler..... 68

Şekil 4.7.	<i>Triticum aestivum</i> L. cv “Doğu-88” buğday bitkisi kök dokusunda uygulama gruplarına, günlere ve konsantrasyonlara bağlı olarak malondialdehit (MDA) içeriğinde meydana gelen değişimler.....	71
Şekil 4.8.	<i>Triticum aestivum</i> L. cv “Doğu-88” buğday bitkisi kök dokusunda uygulama gruplarına, günlere ve konsantrasyonlara bağlı olarak toplam çözünebilir protein miktarında meydana gelen değişimler.....	74
Şekil 4.9.	<i>Triticum aestivum</i> L. cv “Doğu-88” buğday bitkisi kök dokusunda uygulama gruplarına, günlere ve konsantrasyonlara bağlı olarak hidrojen peroksit (H ₂ O ₂) içeriğinde meydana gelen değişimler.....	77
Şekil 4.10.	<i>Triticum aestivum</i> L. cv “Doğu-88” buğday bitkisi kök dokusunda uygulama gruplarına, günlere ve konsantrasyonlara bağlı olarak oransal su içeriğinde (OSİ) meydana gelen değişimler.....	80
Şekil 4.11.	<i>Triticum aestivum</i> L. cv “Yıldırım” buğday bitkisi kök dokusunda uygulama gruplarına, günlere ve konsantrasyonlara bağlı olarak nitrik oksit (NO) düzeyinde meydana gelen değişimler.....	83
Şekil 4.12.	<i>Triticum aestivum</i> L. cv “Yıldırım” buğday bitkisi kök dokusunda uygulama gruplarına, günlere ve konsantrasyonlara bağlı olarak nitrik oksit sentaz (NOS) aktivitesinde meydana gelen değişimler.....	86
Şekil 4.13.	<i>Triticum aestivum</i> L. cv “Yıldırım” buğday bitkisi kök dokusunda uygulama gruplarına, günlere ve konsantrasyonlara bağlı olarak siklik guanozin monofosfat (cGMP) düzeyinde meydana gelen değişimler.....	89
Şekil 4.14.	<i>Triticum aestivum</i> L. cv “Yıldırım” buğday bitkisi kök dokusunda uygulama gruplarına, günlere ve konsantrasyonlara bağlı olarak süperoksit dismutaz (SOD) aktivitesinde meydana gelen değişimler.....	92
Şekil 4.15.	<i>Triticum aestivum</i> L. cv “Yıldırım” buğday bitkisi kök dokusunda uygulama gruplarına, günlere ve konsantrasyonlara bağlı olarak katalaz (CAT) aktivitesinde meydana gelen değişimler.....	95
Şekil 4.16.	<i>Triticum aestivum</i> L. cv “Yıldırım” buğday bitkisi kök dokusunda uygulama gruplarına, günlere ve konsantrasyonlara bağlı olarak glutatyon peroksidaz (GSH-Px) aktivitesinde meydana gelen değişimler.....	98
Şekil 4.17.	<i>Triticum aestivum</i> L. cv “Yıldırım” buğday bitkisi kök dokusunda uygulama gruplarına, günlere ve konsantrasyonlara bağlı olarak malondialdehit (MDA) içeriğinde meydana gelen değişimler.....	101

Şekil 4.18.	<i>Triticum aestivum</i> L. cv “Yıldırım” buğday bitkisi kök dokusunda uygulama gruplarına, günlere ve konsantrasyonlara bağlı olarak toplam çözünebilir protein miktarında meydana gelen değişimler.....	104
Şekil 4.19.	<i>Triticum aestivum</i> L. cv “Yıldırım” buğday bitkisi kök dokusunda uygulama gruplarına, günlere ve konsantrasyonlara bağlı olarak hidrojen peroksit (H ₂ O ₂) içeriğinde meydana gelen değişimler.....	107
Şekil 4.20.	<i>Triticum aestivum</i> L. cv “Yıldırım” buğday bitkisi kök dokusunda uygulama gruplarına, günlere ve konsantrasyonlara bağlı olarak oransal su içeriğinde (OSİ) meydana gelen değişimler.....	109
Şekil 4.21.	<i>Triticum aestivum</i> L. cv “Doğu-88” buğday bitkisi yaprak dokusunda uygulama gruplarına, günlere ve konsantrasyonlara bağlı olarak nitrik oksit (NO) düzeyinde meydana gelen değişimler.....	112
Şekil 4.22.	<i>Triticum aestivum</i> L. cv “Doğu-88” buğday bitkisi yaprak dokusunda uygulama gruplarına, günlere ve konsantrasyonlara bağlı olarak nitrik oksit sentaz (NOS) aktivitesinde meydana gelen değişimler.....	114
Şekil 4.23.	<i>Triticum aestivum</i> L. cv “Doğu-88” buğday bitkisi yaprak dokusunda uygulama gruplarına, günlere ve konsantrasyonlara bağlı olarak siklik guanozin monofosfat (cGMP) düzeyinde meydana gelen değişimler...	116
Şekil 4.24.	<i>Triticum aestivum</i> L. cv “Doğu-88” buğday bitkisi yaprak dokusunda uygulama gruplarına, günlere ve konsantrasyonlara bağlı olarak süperoksit dismutaz (SOD) aktivitesinde meydana gelen değişimler.....	119
Şekil 4.25.	<i>Triticum aestivum</i> L. cv “Doğu-88” buğday bitkisi yaprak dokusunda uygulama gruplarına, günlere ve konsantrasyonlara bağlı olarak katalaz (CAT) aktivitesinde meydana gelen değişimler.....	121
Şekil 4.26.	<i>Triticum aestivum</i> L. cv “Doğu-88” buğday bitkisi yaprak dokusunda uygulama gruplarına, günlere ve konsantrasyonlara bağlı olarak glutatyon peroksidaz (GSH-Px) aktivitesinde meydana gelen değişimler.....	124
Şekil 4.27.	<i>Triticum aestivum</i> L. cv “Doğu-88” buğday bitkisi yaprak dokusunda uygulama gruplarına, günlere ve konsantrasyonlara bağlı olarak malondialdehit (MDA) içeriğinde meydana gelen değişimler.....	126
Şekil 4.28.	<i>Triticum aestivum</i> L. cv “Doğu-88” buğday bitkisi yaprak dokusunda uygulama gruplarına, günlere ve konsantrasyonlara bağlı olarak toplam çözünebilir protein miktarında meydana gelen değişimler.....	129

Şekil 4.29.	<i>Triticum aestivum</i> L. cv “Doğu-88” buğday bitkisi yaprak dokusunda uygulama gruplarına, günlere ve konsantrasyonlara bağlı olarak hidrojen peroksit (H_2O_2) içeriğinde meydana gelen değişimler.....	131
Şekil 4.30.	<i>Triticum aestivum</i> L. cv “Doğu-88” buğday bitkisi yaprak dokusunda uygulama gruplarına, günlere ve konsantrasyonlara bağlı olarak oransal su içeriğinde (OSİ) meydana gelen değişimler.....	133
Şekil 4.31.	<i>Triticum aestivum</i> L. cv “Yıldırım” buğday bitkisi yaprak dokusunda uygulama gruplarına, günlere ve konsantrasyonlara bağlı olarak nitrik oksit (NO) düzeyinde meydana gelen değişimler.....	135
Şekil 4.32.	<i>Triticum aestivum</i> L. cv “Yıldırım” buğday bitkisi yaprak dokusunda uygulama gruplarına, günlere ve konsantrasyonlara bağlı olarak nitrik oksit sentaz (NOS) aktivitesinde meydana gelen değişimler.....	137
Şekil 4.33.	<i>Triticum aestivum</i> L. cv “Yıldırım” buğday bitkisi yaprak dokusunda uygulama gruplarına, günlere ve konsantrasyonlara bağlı olarak siklik guanozin monofosfat (cGMP) düzeyinde meydana gelen değişimler.....	139
Şekil 4.34.	<i>Triticum aestivum</i> L. cv “Yıldırım” buğday bitkisi yaprak dokusunda uygulama gruplarına, günlere ve konsantrasyonlara bağlı olarak süperoksit dismutaz (SOD) aktivitesinde meydana gelen değişimler.....	141
Şekil 4.35.	<i>Triticum aestivum</i> L. cv “Yıldırım” buğday bitkisi yaprak dokusunda uygulama gruplarına, günlere ve konsantrasyonlara bağlı olarak katalaz (CAT) düzeyinde meydana gelen değişimler.....	144
Şekil 4.36.	<i>Triticum aestivum</i> L. cv “Yıldırım” buğday bitkisi yaprak dokusunda uygulama gruplarına, günlere ve konsantrasyonlara bağlı olarak glutatyon peroksidaz (GSH-Px) aktivitesinde meydana gelen değişimler.....	147
Şekil 4.37.	<i>Triticum aestivum</i> L. cv “Yıldırım” buğday bitkisi yaprak dokusunda uygulama gruplarına, günlere ve konsantrasyonlara bağlı olarak malondialdehit (MDA) içeriğinde meydana gelen değişimler.....	150
Şekil 4.38.	<i>Triticum aestivum</i> L. cv “Yıldırım” buğday bitkisi yaprak dokusunda uygulama gruplarına, günlere ve konsantrasyonlara bağlı olarak toplam çözünebilir protein miktarında meydana gelen değişimler.....	153
Şekil 4.39.	<i>Triticum aestivum</i> L. cv “Yıldırım” buğday bitkisi yaprak dokusunda uygulama gruplarına, günlere ve konsantrasyonlara bağlı olarak hidrojen peroksit (H_2O_2) içeriğinde meydana gelen değişimler.....	155

Şekil 4.40.	<i>Triticum aestivum</i> L. cv “Yıldırım” buğday bitkisi yaprak dokusunda uygulama gruplarına, günlere ve konsantrasyonlara bağlı olarak oransal su içeriğinde (OSİ) meydana gelen değişimler.....	157
--------------------	--	-----

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa No

Çizelge 1.1.	Bitkilerde abiyotik ve biyotik stres oluşturan bazı faktörler.....	3
Çizelge 1.2.	Bitkilerde nitrik oksidin fizyolojik etkileri.....	19
Çizelge 1.3.	Abiyotik stres tarafından indüklenen nitrik oksit'in aracılık ettiği etkiler.....	22
Çizelge 1.4.	Türkiye'nin yıllara göre buğday üretimi.....	26
Çizelge 1.5.	Türkiye'de bölgelere göre buğday üretimi.....	27
Çizelge 3.1.	Hoagland kültür çözeltisinin bileşimi.....	45

SİMGELER ve KISALTMALAR

ABA	Absisik asit
AsA	Askorbat
APOX	Askorbat peroksidaz
cAMP	Siklik adenzin monofosfat
cGMP	Siklik guanozin monofosfat
CAT	Katalaz
FAO	Birleşmiş Milletler Besin ve Tarım Organizasyonu
GSNO	S-nitrosoglutatyon
GSH	İndirgenmiş glutatyon
GSH-Px	Glutatyon peroksidaz
GR	Glutatyon redüktaz
GSSG	Okside glutatyon
H₂O	Su
H₂O₂	Hidrojen peroksit
LPO	Lipit peroksidasyonu
MDA	Malondialdehit
MPa	Mega paskal
NO	Nitrik oksit
NOS	Nitrik oksit sentaz
OSİ	Oransal su içeriği
O₂	Oksijen
O₂⁻	Süperoksit radikali
O₂⁻²	Peroksi anyonu
OH•	Hidroksil radikali
PEG	Polietilen glikol
ROT	Reaktif oksijen türevleri
SNP	Sodyum nitroprussid
SNAP	S-nitroso-N asetilpenisillamin
SOD	Süperoksit dismutaz
TUİK	Türkiye İstatistik Kurumu

1. GİRİŞ

Çevresel faktörler arasında kuraklık stresi, tarımsal ekonomik öneme sahip bitkilerde ürün verimini ve kalitesini en çok sınırlandıran faktördür [1]. Kuraklık genel anlamda meteorolojik bir olgudur. Toprağın su içeriği ile bitki gelişiminde ciddi azalmaya neden olabilecek yağışsız dönem, kuraklık olarak tanımlanabilir [2–4]. Su noksanlığı bitkide fotosentezden, protein sentezine kadar pek çok biyokimyasal ve fizyolojik süreci etkilemektedir [5–7].

Kuraklık stresi reaktif oksijen türleri (ROT)'nin hücrelerde toplanmasını uyarak membran lipidlerine, proteinlere ve nükleik asitlere zarar verir [8, 9]. Potansiyel olarak oldukça zararlı olabilen reaktif oksijen türlerini nötralize edebilmek için özel enzim sistemleri kullanılmaktadır. Toksik O_2^- , süperoksitdismutaz (SOD) tarafından dismutasyonla hidrojen peroksit (H_2O_2)'e dönüştürülür ve yüksek düzeylerde daha reaktif olan bu bileşik ise katalaz tarafından O_2 ve H_2O 'ya ayrıştırılır [10–12]. Bitkiler ROT'ların seviyelerini kontrol edecek antioksidan savunma sistemine sahiptirler ve bu sistem süperoksit dismutaz (SOD), katalaz (CAT), guaiakol peroksidaz (GPX), askorbat peroksidaz (APX), glutatyon redüktaz (GR) gibi enzimler ile askorbat ve glutatyon gibi enzimatik olmayan savunuculardan oluşur [13, 14]. Katalaz ve GSH-Px enzimleri, hidrojen peroksidi su ve moleküler oksijene çevirerek metabolize eder. Katalazın oksidatif strese karşı önemli enzimlerden biri olduğu bilinmektedir. Substrat olarak glutatyon kullanan GSH-Px ise radikallere karşı savunmada önemli bir enzimdir [15–18].

Memeli hayvanlarda nitrik oksit (NO) oldukça yaygın bir şekilde araştırılmış ve NO'nun bağışıklıkta, dolaşım ve sinir sisteminde önemli bir sinyal molekülü olduğu gösterilmiştir. Bitki sistemlerinde NO'nun yer aldığı hakkındaki bilgiler az olmasına rağmen bir sinyal molekülü olmasının yanında, bitki büyüme ve gelişmesinde, çimlenmede, polen tüpü oluşumunda, meyve olgunlaşmasında, savunma yanıtlarında rol oynadığı ileri sürülmektedir [18–24]. Nitrik oksit (NO), bitki hücrelerinde üretilen bir serbest radikaldir ve reaktif azot türleri olarak tanımlanan aileye aittir [25].

Nitrik oksit bitkilerde çok önemli rolü olan uçucu bir molekül olarak tanımlanmıştır [26]. NO bitkilerdeki tohum çimlenmesi, büyüme ve gelişme, senesens, stoma hareketleri gibi farklı birçok fizyolojik aşamada önemli rollere sahiptir. NO bitkilerde düşük ve yüksek konsantrasyonlarda farklı etkilere sahiptir. Bu durumun NO'nun bitki hücrelerindeki konsantrasyonuna ve bulunduğu yere bağlı olduğu bildirilmiştir. Abiyotik stres koşulları altında ROT'lar ile mücadele eden enzimlerin aktivasyonunda sinyal rolü oynayabildiği ve NO'nun kendisinin antioksidan etkiye sahip olduğu belirtilmektedir [27–29].

Dıştan uygulanan NO vericisi sodyum nitroprussid (SNP)'in, kurak şartlarda buğday yaprakları ve tohumunda su kaybını azalttığı aynı zamanda iyon akımında, transpirasyon oranında azalma ve stomaların kapanmasına neden olduğu ve böylece kuraklık stresine toleransı artırdığı bildirilmektedir [30]. NO'nun bitkilerde; tohum gelişiminin teşviki yada tohum dormansisinin azaltılması [31–34], bitki olgunlaşması ve senesensin düzenlenmesi [35–37], çiçeklenmenin engellenmesi [38], ABA uyartının aracısı olarak stoma hareketlerinin sağlanması [30,39–43], kuraklık, tuzluluk, sıcaklık ve hastalık enfeksiyonları, çeşitli biyotik ve abiyotik stres tiplerine yanıt verilmesi gibi bazı fizyolojik aşamalarda önemli rol oynadığı [44–51] ortaya konmuştur. Benzer şekilde biyotik ve abiyotik stresin bitkilerde NO üretimini değiştirdiği, dıştan uygulanmış NO vericilerinin ise spesifik streslere karşı bitkinin toleransını geliştirdiği belirtilmiştir [46,49–51]. Dıştan uygulanan NO'nun *Vicia faba*, *Salpichroa organifolia* ve *Tradescantia spp.* gibi bazı türlerde transpirasyonu azalttığını ve stoma kapanmasına neden olduğu gösterilmiştir [28]. Benzer şekilde dıştan uygulanan NO'nun biyotik ve abiyotik stres şartlarında meydana gelen olumsuz etkileri azalttığı da bildirilmiştir [52]

NO bitki sinyal iletiminde bir anahtar sinyal molekülü olarak ortaya çıkmaktadır. cGMP bu konuda bir aracı olabilir. NO'nun doğrudan ya da dolaylı olarak hidrojen peroksit, salisilik asit ve sitosolik Ca^{+2} gibi diğer sinyal molekülleri ile ilişkili olabileceği belirtilmektedir [53–57]. Bunun yanında NO'nun strese dayanıklılık yanıtlarında reaktif oksijen türevlerinin zararlı etkilerini engelleyebileceği ve sinyal rolüne ek olarak, gen ifadesinde düzenleyici işlev yapabileceği de bildirilmiştir [58].

Bitkilerde NO'nun hücreyi öldürücü veya hücreyi koruyucu olarak biyolojik işlevleri kontrol ettiği bildirilmektedir [59–61]. NO'nun güçlü oksidan veya etkili antioksidan olarak bu çift etkisi çevre şartlarına ve NO konsantrasyonuna bağlı olarak ortaya çıkmaktadır. NO yüksek dozda uygulandığı zaman belirgin bir şekilde normal bitki metabolizmasını bozmaktadır. Bu durum NO'nun bitkilerde proteinlere, nükleik asitlere ve membrana zarar verici bir kapasiteye sahip olduğunu göstermektedir [60, 62].

Yapılan bu çalışma ile kuraklığa dayanıklı ve duyarlı buğday bitkilerinde bazı antioksidan enzim aktivitelerinin yanı sıra sinyal iletim mekanizmasında rol oynayan cGMP düzeyi kuraklık stresine bağlı olarak araştırılarak bitkilerde meydana gelen bazı fizyolojik ve biyokimyasal parametrelerdeki değişimler açıklanmaya çalışılmıştır.

1.1 STRES

Stres; fiziksel açıdan bir nesneye birim alan başına uygulanan güç olarak tanımlanabilir. Stres uygulanan bir nesnede çeşitli değişiklikler meydana gelir. Bitkilerde bir

stres faktörü tarafından uygulanan gücü ölçmek zor olduğundan biyolojik açıdan stresi tanımlamak zordur. Biyolojik koşullarda bir bitki için stres oluşturan durum başka bir bitki için optimum şartları sağlayabilir. Biyolojik stresin en pratik tanımı ise bitkiler gibi biyolojik sistemlerde normal fonksiyonları ve oluşumları engelleyen olumsuz şartlar olarak tanımlanabilir [63–65].

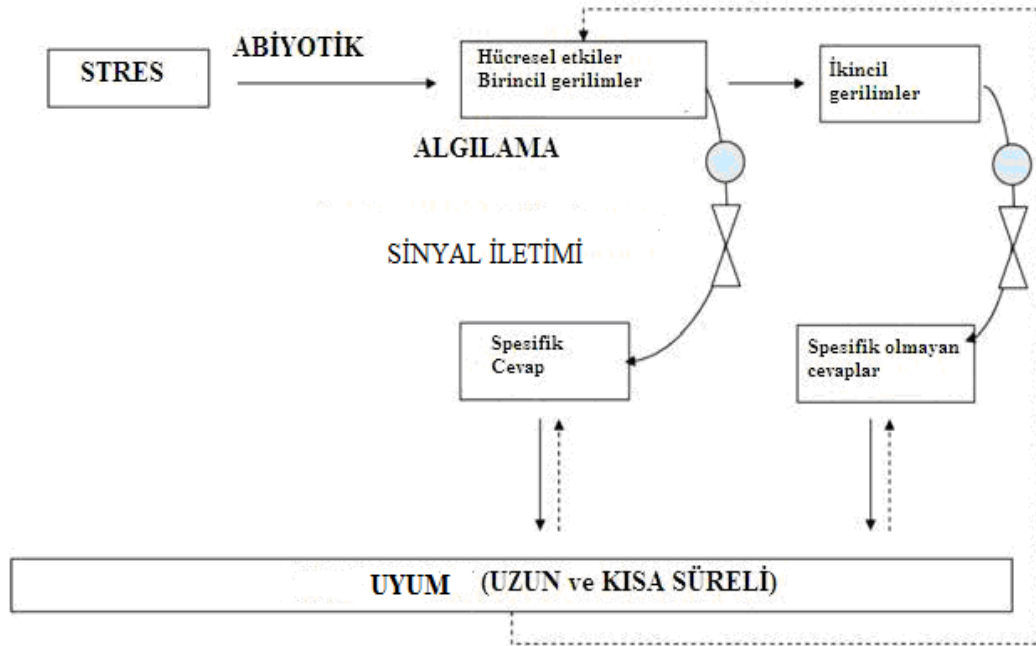
Stres organizmada var olan dengeyi bozma eğilimindeki değişmiş fizyolojik şartlardır. Bunun yanında normal metabolizmanın esnekliği çevresel değişimlere karşı başlangıçta düzenli döngüsel yanıtlar verebilir. Bu nedenle meydana gelen her değişiklik stres oluşturmayabilir.

Çizelge 1.1. Bitkilerde abiyotik ve biyotik stres oluşturan bazı faktörler [66]

Abiyotik Stres Faktörleri	Biyotik Stres Faktörleri
Soğuk ve don	Patojenler (Virüs-Bakteri-Mantar)
Yüksek sıcaklık	
Tuzluluk	Böcekler
Kuraklık	
Aşırı su	Herbivorlar
Radyasyon	
Kimyasallar ve kirlilik	Kemirgenler
Oksidatif stres	
Rüzgâr	
Toprakta besin yoksunluğu	

Hücreler etraflarındaki fizyolojik bariyer ile çevrelerinden ayrılırlar. Bu bariyer plazma membranıdır. Sadece steroid hormonlar gibi küçük yağ moleküllerine geçirgen olan bu membran suda çözünen iyonlar, proteinler ve diğer makromoleküller için yarı geçirgendir. Hücresel yanıtlar başlangıçta hücre dışı moleküllerin plazma membran proteinleri ile etkileşimlerinin sonucunda ortaya çıkar. Bu moleküller hücreler arası ligandlar olarak adlandırılır. Plazma membran proteinleri ise reseptör olarak adlandırılmaktadır. Stres ilk önce plazma membranı üzerindeki reseptörler tarafından algılanır. Bundan sonra stres değerlendirilerek kalsiyum, G protein aracılıklı uyarılar, reaktif oksijen türleri (ROT) ve inositol fosfat gibi ikincil mesajcıların üretimi gerçekleşir. Bu sensör proteinleri diğer ilişkili sensörlerle beraber ilgili genleri aktive ederler. Bu şekilde bitkinin strese karşı uyumu ve hayatta kalmasına yardımcı olunur. Böylece bitki herhangi bir stres etkenine karşı özel

hücreleri ve tüm organizmanın sinerjisi ile yanıt verir. Strese bağlı olarak ABA ve etilen gibi hormonların üretiminde ve çeşitli genlerin ifadelerinde değişimler meydana gelir [66–68].



Şekil 1.1. Abiyotik stres şartlarına uyum [69]

1.2. Kuraklık

Beslenmesi doğrudan veya dolaylı olarak toprağa bağlı olan insanoğlunun yaşamını etkileyen en önemli olumsuz etkilerden birisi kuraklıktır. İstatistiklere göre 1970’lerden 2000’li yılların başlarına kadar dünyada kuraklıktan etkilenen tarım alanı iki kattan daha fazla artmıştır [70, 71]. Abiyotik stres dünya genelinde ürün kaybının başlıca nedenini oluşturmaktadır. Temel ürünlerin ortalama veriminin % 50’den fazlasının kaybına neden olmaktadır [72–74].

Kuraklık, tuzluluk ve olumsuz sıcaklıklar gibi abiyotik stres şartları bitkilerin büyüme ve gelişmelerini sınırlayan ana faktörlerdendir. Meteorolojik bir terim olarak kuraklık uzun süren yağışsız dönemi ifade eder. Yağışsız dönemin kuraklık oluşturması ise; toprağın su tutma kapasitesi ve bitkiler tarafından gerçekleştirilen evapotranspirasyon hızına bağlı olarak gerçekleşmektedir. Kuraklık stresi; su içeriğinin azalması, yaprak su potansiyelinin kısıtlanması ve turgor kaybı, stoma kapanması, hücre büyüme ve gelişmesinin azalmasıyla karakterize edilir [63, 75, 76].

Kuraklık; süresine, diğer stres çeşitleriyle ilişkisine, strese maruz kalan bitkinin genotipine ve gelişim basamağına bağlı olarak bitkilerde uyum sağlayacak birçok fizyolojik, moleküler ve biyokimyasal cevabı uyarır. Ciddi kuraklık stresi fotosentezin engellenmesine, metabolizmanın bozulmasına ve sonuçta bitkinin ölümüne yol açabilir [77, 78].

Kuraklık; su eksikliği ve kuruma şeklinde olabilir. Su noksanlığı stomalarda kapanmaya ve gaz değişiminde kısıtlamaya neden olan orta düzeydeki su kaybıdır. Kuruma ise metabolizma ve hücre yapısının tamamen bozulmasına ve sonuç olarak enzimsel reaksiyonların durmasına neden olabilecek aşırı su kaybıdır [4, 79].

Kuraklık stresi genel olarak topraktaki kullanılabilir suyun azalması veya terleme ve buharlaşma yoluyla atmosferik şartlardaki değişim sonucunda meydana gelir. Kuraklık stresine karşı tolerans, neredeyse tüm bitkilerde var olan bir durum olmasına rağmen türden türe hatta türler içinde bile değişmektedir. Kuraklık stresi su içeriğinin azalması, turgor kaybı, stomaların kapatılması ve hücre büyüme ve genişlemesinde azalma ile karakterize edilir. Bu stres çeşidi hücre bölünmesinden çok hücre genişlemesini inhibe eder. Kuraklık bitkilerde terleme, buharlaşma, fotosentez, iyon salınımı, karbonhidrat ve besin metabolizması gibi çeşitli fizyolojik ve biyokimyasal aşamaları etkileyerek bitki gelişiminde gerilemeye neden olur. Bitkiler gelişimleri süresince meydana gelen olumsuz durumlara karşı çeşitli biyokimyasal ve fizyolojik uyum mekanizmalarına sahiptir [77, 79–83].

Hücreden su kaybıyla beraber hücre membranının yapısı değişir ve fosfolipitlerin hidrofilik kısımlarının birbirine yaklaşması sonucu membranlar jel-faz durumuna gelir. Su kaybına bağlı olarak plazmoliz durumu ortaya çıkar. Gerilim altındaki plazma membranı ve tonoplastta oluşan çökmeler, yırtılmalar neden olarak sitoplazmanın otolizine yol açabilir [84, 85]. Su kaybı sonucunda proteinlerin yapısında bulunan hidrofobik ve hidrofilik aminoasitlerin su ile etkileşimleri de bozulur. Bunun sonucunda da protein denatürasyonları ve enzim inhibisyonları meydana gelir [86, 87]. Su noksanlığı bitkilerde turgor kaybıyla beraber ozmotik potansiyelin de azalmasına neden olmaktadır. Su noksanlığına bir yanıt olarak ortaya çıkan bu durum, bitkide çeşitli eriyebilir maddelerin birikimine neden olmakta ve vakuolden yapraklara su ile birlikte taşınan ozmotik maddelerin miktarlarında artışlar görülmektedir. Bu durum kök bölgesindeki ozmotik potansiyel ve su alımı mekanizması çerçevesinde ozmotik uyum veya ozmoregülasyon olarak tanımlanmaktadır. Ozmotik uyum; kuraklık, su ve tuz stresine karşı bitkinin yaşamsal faaliyetlerini sürdürebilmesi açısından oldukça önemli bir mekanizmadır. Bu yaşamsal faaliyetler arasında stomatal ve fotosentetik uyum mekanizmaları, bitki gelişmesi ve ürün vermesi ile hücre gelişiminin devamlılığı sayılabilir. Mineral besin değişimi ve hormonal denge bitkinin uyum mekanizmasına katkıda bulunur [88–92].

Kuraklığın bitki üzerindeki bir diğer olumsuz etkisi de oksidatif etkidir. Bu durum özellikle reaktif oksijen türleri (ROT)'nin oluşumunu içermektedir. Yaklaşık 2.7 milyar yıl önce çevremizdeki fotosentetik organizmalar tarafından moleküler oksijen üretilmiştir ve

ROT'lar oksijenli hayatın istenmeyen ürünleri olmuştur [66, 93]. ROT, hücrede membran lipitleri, nükleik asitler, proteinler, klorofiller ve diğer makromoleküllere zarar vermektedir [94–99].

Serbest radikaller eşleşmemiş elektron içeren moleküllerdir. Bu nedenle de oldukça aktiftir. Su kısıtlı hale gelirken bitki daha fazla su kaybetmemek için stomalarını kapatır. Bunun sonucunda fotosentezle fiksasyon için gerekli olan CO₂'nin alınımı sınırlandırılır. Bu durum ise NADP⁺'nin yetersiz hale gelmesine sebep olarak ferrodoksinin NADP⁺ yerine oksijeni redüklemesine ve böylece fotosistem I elektronlarının O₂'ye transferine neden olarak reaktif O₂⁻ radikalinin oluşmasını sağlar [100–102].

Artan kuraklık şartlarına bağlı olarak bitkilerde ROT düzeylerinde de artış meydana gelir. Hidrojen peroksit, süperoksit anyonu, hidroksil radikali ve tekil oksijen gibi ROT'lar hücreler için zararlıdır. ROT'lar aerobik metabolizmanın ürünü olarak meydana gelir. Stres bulunmayan ortamlarda ROT'lar enzimatik veya enzimatik olmayan yollarla etkili şekilde elimine edilirken kurak şartlarda üretilen ROT'lar antioksidan savunma sisteminin uzaklaştırıcı kapasitelerinin çok üzerinde artarak oksidatif strese neden olur. ROT'ların birikimi, protein ve yağlara zarar vererek hücrelerin ölümüne ve bitki gelişiminin engellenmesine yol açabilir. Birçok türde, kuraklık stresi altında artan O₂⁻ oluşum hızı lipid peroksidasyonuna, yağ asidi doymuşluğuna ve sonuç olarak membranın tamamen zarar görmesine yol açabilir. Bitkiler bu durumda antioksidan savunma sistemlerinin aktivitesini artırarak savunma durumuna geçerler. Düşük miktardaki ROT normal metabolizma ile yok edilebilmektedir [103–111]. Oldukça reaktif olan ROT'lar membranlarda, yağlarda, enzimlerde, DNA'da, RNA'da ve proteinlerde ciddi zararlara sebep olur [66, 112–119].

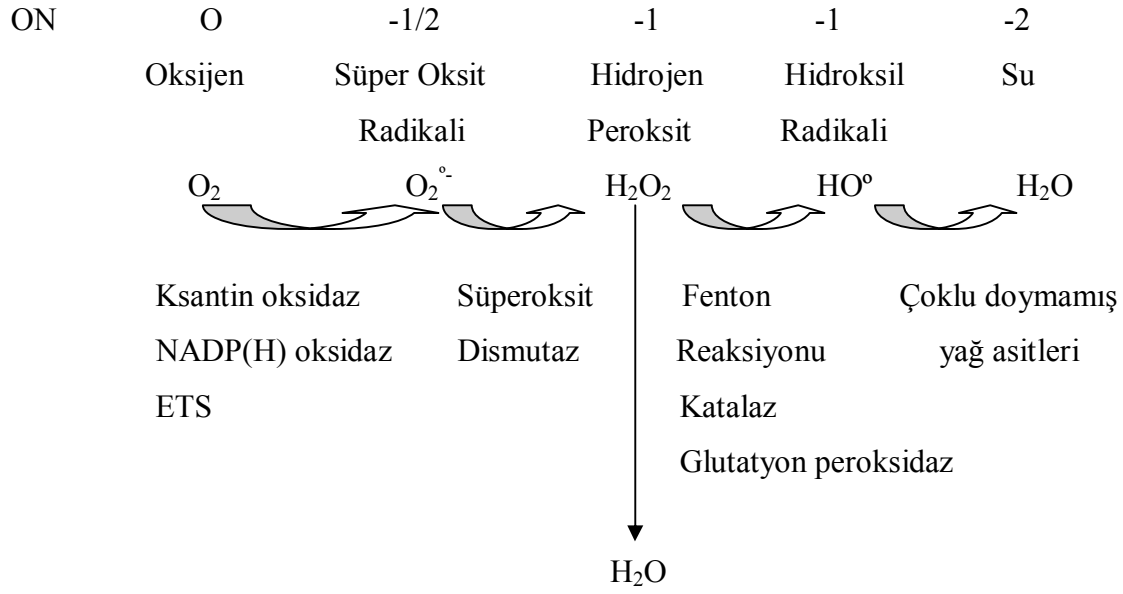
Süperoksit, H₂O₂ ve OH oluşturarak etkili olur [66, 120–122]. Hidrojen peroksit, Calvin döngüsünün pek çok enzimini inhibe eder [123, 124]. Süperoksit ve hidrojen peroksidin OH radikalini oluşturmak üzere tepkimesi sırasında oluşan demir ve bakır gibi metaller oksidatif hasarın artmasına yol açabilir [4]. Kuraklık stresine maruz kalan bitkiler antioksidan savunma sistemlerin bazılarını veya tamamını kullanarak oksidatif stresin üstesinden gelebilirler [125–128].

Kuraklık stresinin bitki tarafından algılanması, iletilmesi ve toleransının biyokimyasal ve moleküler mekanizmalarının anlaşılması biyolojide oldukça güçtür. Genel olarak abiyotik streslere tolerans oldukça kompleks bir sistemdir. Çünkü stres faktörleri ile bitki büyüme ve gelişimini etkileyen çeşitli moleküler, biyokimyasal ve fizyolojik olayın arasında oldukça karmaşık etkiler mevcuttur [129–130]. ROT'lara verilecek özel biyolojik yanıtlar; ROT'ların kimyasal yapısına, uyarının yoğunluğuna, bitkinin gelişim basamağına, önceki stres şartlarına,

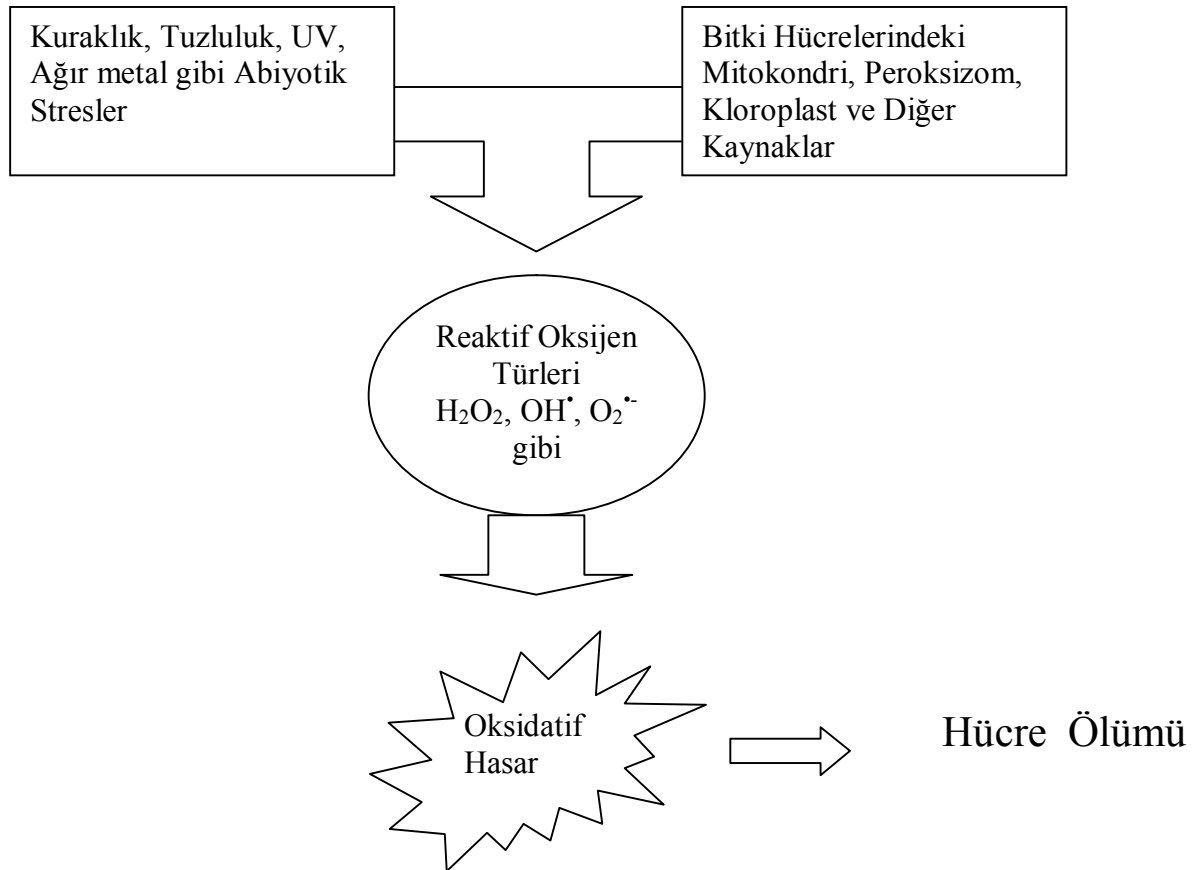
bitki hormonları, mesajcılar ve nitrik oksit gibi sinyal molekülleriyle olan ilişkilerine bağlıdır. Kuraklık stresine tolerans hemen hemen tüm bitkilerde görülür fakat türden türe farklılık göstermektedir [131, 132]. Geliştirilmiş kuraklık toleransı için bitki hücrelerini doğrudan koruyan gen ya da transkripsiyon faktörleri ile sinyal faktörlerinin anlaşılması üzerine çeşitli araştırmalar yapılmaktadır [72, 133]. Bitkilerin kuraklık stresine yanıtları, strese maruz kalma süresine ve stres şiddetine göre değişebileceği gibi bitki türüne ve bitkinin gelişim basamağına göre de çeşitlilik gösterir [130, 134, 135]. Kuraklık stresi bitki büyümesinin başlangıç aşamasında hem uzamayı hem de genişlemeyi engelleyerek önemli bir sınırlayıcı faktör olarak rol oynar [130, 136–139].

Doğal ve zirai alanlarda ozmotik etki oluşturarak, büyüme inhibisyonundan hücrenin ozmotik potansiyelini arttırıcı bazı toksik olmayan bileşiklerin sentezine kadar birçok cevabı uyaran kuraklık, böylece bazı antioksidan enzimlerin aktivitelerinin sürekliliğini sağlamaktadır. Antioksidan enzimler arasındaki işbirliği ve etkileşim bitkinin çevresel stres şartlarına karşı toleransının artmasını sağlar. [104, 126, 140, 141]. Son zamanlarda yapılan çalışmalar, pek çok bitkinin büyüme oranının doğrudan topraktaki suyun kullanılabilirlik oranına bağlı olduğunu göstermektedir [5, 142].

Serbest radikallerin zararlı etkilerine karşı hücre veya organizmalar koruyucu mekanizmalara sahiptirler. Bu mekanizmalardan bir kısmı serbest radikal oluşumunu, bir kısmı ise oluşmuş serbest radikallerin zararlı etkilerini önler. Bu işlevleri yapan maddelerin tamamına genel olarak antioksidanlar denir. Bitki dokularındaki oksidatif hasar enzimatik ve enzimatik olmayan mekanizmalar tarafından baskılanmaktadır. β -karoten, α -tokoferol, askorbat, glutatyon ile süperoksit dismutaz (SOD), peroksidaz (POX), askorbat peroksidaz (APX), katalaz (CAT) ve glutatyon redüktaz (GR) enzimleri bu mekanizma içerisinde yer almaktadır [104, 143–145].



Şekil 1.2. Metabolik olaylar sonucu oksijen radikallerinin oluşumu [146]



Şekil 1.3. Abiyotik stres sonucu hücre ölümü [120]

1.3. Süperoksit Radikali

Biyolojik sistemlerdeki en önemli serbest radikaller oksijenden oluşmuş radikallerdir [147, 148]. Moleküler oksijen, dış orbitallerinde paylaşılmamış iki elektron içermektedir. Bu elektronlar paylaşılmadığında, ayrı ayrı orbitallerde bulunduklarında ve spinleri aynı yönde olduğunda en düşük enerji seviyesine sahip olurlar. Bu dış orbitallerden her biri birer elektron daha alabilirler. Bu orbitallerin tek elektron alması ile süperoksit anyonu oluşurken süperoksit radikali ($O_2^{\cdot-}$), iki elektron alması ile de peroksi anyonu (O_2^{2-}) oluşur [120, 149, 150-152]. Hem çevresel etkenler, hem de organizmalardaki enzimatik ve enzimatik olmayan tepkimelerle en çok ve en kolay oluşan oksijen radikali süperoksit radikalidir. Serbest süperoksit radikal anyonu ($O_2^{\cdot-}$) hemen tüm aerobik hücrelerde oksijenin bir elektron alarak indirgenmesi sonucu meydana gelir [147,153]. Süperoksit radikali normalde mitokondriyal solunum esnasında oluşmaktadır. Oksijen mitokondride redükte olduğunda primer ürün olarak su meydana gelir. Su, sitokrom oksidaz tarafından moleküler oksijene 4 elektron eklediğinde oluşan toksik olmayan bir moleküldür. Nadir olarak O_2 diğer elektron taşıma sistemi (ETS) elemanları ile reaksiyona girerek bir elektron alır ve bu durumda oldukça reaktif olan $O_2^{\cdot-}$ oluşur. Bitki dokularında oksijenin %1–2 oranında tüketilmesi süperoksit radikalinin üretilmesine sebep olur [66, 120, 154–156].

Süperoksit anyonu, diğer moleküllerden elektronları çekerek enerji gereksinimlerini karşılayabildiklerinden, oksitleyici ajanlar olarak kabul edilir. Ayrıca süperoksit radikali aldığı elektronu başka bir elektron alıcıya vererek tekrar oksijene oksitlenebilir ve böylece bir indirgeyici olarak davranabilir [153, 157]. Canlılarda, süperoksit radikallerinin oluşumuna neden olan olaylar iki grupta toplanabilir:

1. Çeşitli çevresel etkilerle (fiziksel ve kimyasal) süperoksit radikali oluşabilir. Örneğin, yüksek enerjili ışıklardan beta, gama ve X ışınları süperoksit radikalleri yanında diğer radikallerin oluşumunu da gerçekleştirirler [158].

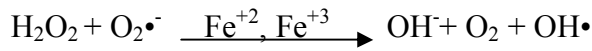
2. Canlı sistemler radikal oluşumuna neden olan çevre koşullarından tümüyle izole edilseler bile; eğer moleküler oksijeni metabolize ediyorsa, canlı sistemdeki yükseltgenme indirgenme tepkimeleri sırasında $O_2^{\cdot-}$ üretebilirler [159].

Süperoksit radikali hemen tüm aerobik hücrelerde oluşan, indirgen ve orta derecede yükseltgen olan bir ajandır. Asıl önemli olduğu nokta; hidrojen perokside kaynaklık etmesi ve geçiş metal iyonlarının indirgeyicisi olmasıdır. Süper oksit radikali uzun bir yarı ömre sahip olup, lipofilik özellik gösterir. Bu özelliğinden dolayı da oluştuğu yerden uzak bölgelere difüzyonla yayılabilmektedir [160, 161]. Ancak doğrudan doğruya hasar yapıcı etkisi çok fazla değildir. En çok mitokondri, endoplazmik retikulum ve kloroplast gibi hücresel

organellerde, elektron transport zincirinin çeşitli komponentlerinden O₂'ye elektron sızması ile oluşur.

1.4. Hidroksil Radikali (OH•)

Hidroksil radikali, kimyada en aktif radikal olarak bilinir. Bu nedenle *in vivo*'da oluşan bir OH• radikali hemen her moleküle saldırarak büyük hasara neden olabilir. Radikal olmayan biyolojik moleküllerle zincirleme reaksiyonlar başlatabilir [145, 162, 163]. OH• radikali, hidrojen peroksidin geçiş metalleri varlığında indirgenmesi ile (Fenton reaksiyonu) oluşan son derece reaktif bir radikaldir. Ayrıca hidrojen peroksidin süperoksit radikali ile reaksiyonu sonucunda da (Haber-Weiss reaksiyonu) meydana gelir. Bu reaksiyon katalizörsüz çok yavaş olduğu halde Fe⁺³ katalizörlüğünde çok hızlı oluşur [164, 165].



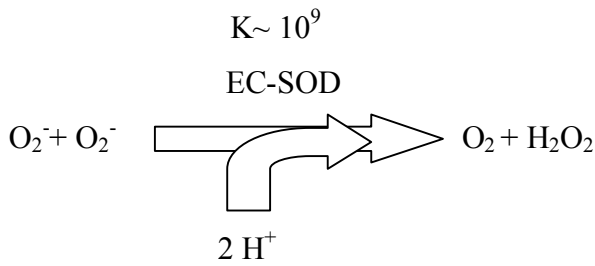
OH• radikali; DNA, proteinler, yağlar ve neredeyse hücreler ile ilişkisi olan tüm biyolojik moleküller için oldukça reaktiftir. Bir OH• radikali, yüzlerce yağ asidini ve yan zincirini lipid hidroperoksitlere çevirebilir. Hidroperoksitler birikerek membran bütünlüğünü bozar. Ayrıca bu hidroperoksitlerden son ürün olarak toksik ve reaktif olan aldehitler de oluşabilir. Bunların içinde en önemli olan aldehitlerden birisi malondialdehit (MDA)'dır [166–169],

OH• radikali, organik ve inorganik bileşiklerde elektron transfer tepkimelerine neden olur, ancak normalde OH• radikalının oluşması oldukça güçtür. Çünkü OH• oluşumu için moleküler oksijenin üç değerlikli olarak indirgenmesi gerekir ancak bu oldukça zordur. OH• meydana gelebilmesi için O₂⁻ ve H₂O₂ gereklidir. Bunlar da SOD, CAT veya GSH-Px sistemiyle uzaklaştırılır. Bu antioksidan moleküllerin aktivitesi sonucunda fizyolojik şartlarda fazla miktarlarda OH• oluşamaz [168, 170].

Biyomoleküllerin tüm büyük sınıfları serbest radikaller tarafından etkilenmektedirler ve bunlardan lipidler en duyarlı olanlarıdır [157]. Tüm biyolojik zarlar, çoklu doymamış yağ asitleri ile amfipatik lipidler ve zar proteinlerinin birleşmesinden oluşur. Lipit peroksidasyonu (LPO), çoklu doymamış yağ asitlerinin radikaller ile oksidasyonu sonucu başlayan ve otokatalitik zincir reaksiyonları şeklinde uzayan, lipid peroksitlerinin aldehit türevleri, hidrokarbon radikalleri ve uçucu bazı ürünlere çevrilmesi şeklinde sonlanan süreçtir [160, 162]. Lipit peroksidasyonu (LPO) ile meydana gelen membran hasarı geri dönüşümsüzdür. LPO, membranlara yakın bölgelerde ortaya çıkan OH• radikalının membran fosfolipidlerinin yağ asidi yan zincirlerine saldırmasıyla oluşur [153, 161].

1.5. Süperoksit Dismutaz

Aerobik organizmalar reaktif oksijen türlerinin sebep olduğu toksisiteye karşı hem kimyasal hem de enzimatik korunma sistemlerine sahiptir [170, 171]. Süperoksit radikalleri, sulu ortamda büyük ölçüde birikmezler ve dismutasyon ile ortamdan temizlenirler [155, 172]. Süperoksit radikali, yüksek katalitik etkiye sahip süperoksit dismutaz (SOD) enziminin etkisiyle dismutasyona girerek konsantrasyonu azalır. SOD tarafından katalizlenen bu reaksiyon dismutasyon tepkimesi olarak adlandırılır [171, 173]. Süperoksit dismutaz, $O_2^{\cdot-}$ anyonunu, daha az reaktif türler olan O_2 ve H_2O_2 'ye dönüştürür.



Şekil 1.4. Süperoksit Dismutaz enziminin etki mekanizması [174]

SOD enzimi aktif bölgesinde bulunan metal kofaktörlere göre Fe-SOD, Mn-SOD ve Cu/Zn-SOD olarak üç tipte sınıflandırılır. Mantarlarda ve hayvanlarda yalnızca Cu/Zn-SOD ve Mn-SOD bulunurken, bazı bitki türlerinde ve bakterilerde üç izoenzim tipi de bulunmaktadır. Bitkilerde SOD izoenzimleri farklı hücre bölümlerinde yer alır. Fe-SOD genelde bitkilerde belirlenememelerine karşın tespit edildikleri zaman kloroplast kısımlarında, Mn-SOD mitokondri ve peroksisomlarda, Cu/Zn-SOD kloroplast, sitoplazma ve hücrelerarası boşlukta bulunur [120, 175–178]. SOD izoenzimlerinin aktiviteleri, negatif boyanmaları ve potasyum siyanür (KCN) ve hidrojen peroksit duyarlılıklarına göre belirlenir. SOD'un enzimatik reaksiyonu sonucu H_2O_2 ve O_2 oluşur [178–180]. Oluşan H_2O_2 'nin hücreye zarar vermemesi için hemen ortamdan uzaklaştırılması gereklidir. Çünkü H_2O_2 belirli metal iyonları ve şelatların varlığında yüksek derecede reaktif OH radikalini oluşturur. Süperoksit dismutaz çeşitlerinin düzenlenmesi biyotik ve abiyotik streslerin neden olduğu oksidatif stres ile mücadelede ve çevresel stres şartları altındaki bitkinin hayatta kalabilmesinde hayati rol oynar [120]. Çeşitli çevresel stres şartları reaktif oksijen türlerinin üretiminde artışa neden olurken süperoksit dismutaz enzimi reaktif oksijen türlerinin miktarlarının azaltılmasında ve bertaraf edilmesinde önemli bir antioksidandır. Moleküler oksijenin çevresindeki moleküllerden iki elektron alması veya süperoksitin bir elektron alması sonucu peroksit meydana gelir. SOD dismutasyonla $O_2^{\cdot-}$ molekülünü uzaklaştırır. Peroksit molekülü de iki hidrojen atomu ile

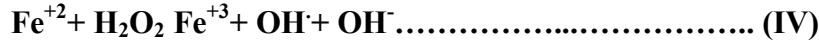
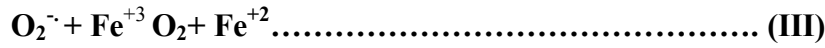
birleşerek hidrojen peroksidi (H_2O_2) oluşturur [162, 170, 181]. H_2O_2 , süperoksit dismutaz tarafından katalizlenen dismutasyon reaksiyonu sonucu ortaya çıkar. İki süperoksit molekülü iki proton alarak H_2O_2 ve moleküler oksijeni oluştururlar. Reaksiyon sonucu radikal olmayan ürünler meydana geldiğinden bu bir dismutasyon reaksiyonu olarak bilinir.



H_2O_2 membranlardan geçebilen uzun ömürlü bir oksidandır. Kendisi bir serbest radikal olmadığı halde, reaktif oksijen türleri içine girer ve serbest radikal biyokimyasında önemli rol oynar. Geçiş metal iyonları varlığında daha da hızla gerçekleşen bir reaksiyonla süperoksit anyon radikali ile birlikte en reaktif radikal olan hidroksil radikalini oluşturur [171, 182, 183].



Bu reaksiyona Haber-Weiss reaksiyonu adı verilir. Katalizörlü veya katalizörsüz oluşabilen “Haber- Weiss” reaksiyonunda katalizörsüz reaksiyon oldukça yavaş ilerler. Bu durumda ortamdaki H_2O_2 ve $O_2^{\cdot-}$ antioksidanlar tarafından kolayca elimine edilir [32, 33]. Demir gibi geçiş metallerinin katalizörlüğünde gerçekleşen katalizörlü reaksiyon şekli ise çok hızlıdır [153, 181, 182]. Bu reaksiyonda önce ferri demir (Fe^{+3}), süperoksit tarafından ferro demire (Fe^{+2}) indirgenir. Sonra bu ferro demir kullanılarak ‘Fenton Reaksiyonu’ ile hidrojen peroksitten $OH^{\cdot}$ ve OH^- üretilir. Reaksiyon mekanizması aşağıdaki gibidir:



Hidrojen peroksit özellikle proteinlerdeki hem grubunda bulunan demir ile tepkimeye girerek yüksek oksidan düzeyindeki reaktif demir formlarını oluşturur. Bu formdaki demir çok güçlü oksitleyici özelliklere sahip olup, hücre zarlarında lipid peroksidasyonu gibi radikal tepkimeleri başlatabilir. Oksitleyici özelliği nedeniyle biyolojik sistemlerde oluşan H_2O_2 ’nin hızlı bir şekilde ortamdan uzaklaştırılması gerekir.

1.6. Katalaz

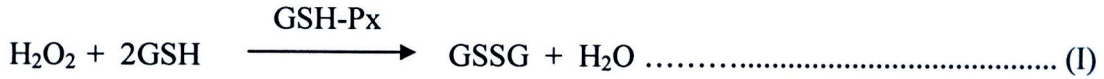
Katalaz (KAT), her biri yaklaşık 60 kDa ağırlığındaki dört alt ünitenin tetrahedral düzenlenmesiyle oluşan, tetramerik bir enzimdir. Katalaz, H_2O_2 ’nin hiçbir konsantrasyonu ile doyumluğa ulaştırılamayan tek enzimdir. Bir molekül katalaz dakikada 6 milyon molekül H_2O_2 ’yi, H_2O ve O_2 ’ye dönüştürür ve CAT izozimleri yüksek bitkilerde oldukça detaylı şekilde çalışılmıştır. [120, 175, 184]. SOD aktivitesi sonucunda oluşan H_2O_2 ’nin büyük bir kısmı, CAT tarafından H_2O ve O_2 ’ye dönüştürülür. Bu nedenle H_2O_2 katalaz enzimi yada askorbat-glutatyon döngüsünde askorbatı elektron vericisi olarak kullanan askorbat peroksidaz (APX) enzimi tarafından hızlıca H_2O ’ya indirgenir [120, 185]. Bu reaksiyon

sonucu okside olan askorbat (monodehidro askorbat), monodehidro askorbat redüktaz (MDAR) enzimi ile yeniden askorbata çevrilir. Monodehidro askorbat bir radikal olduğu için hızlı bir şekilde askorbat ve dehidroaskorbata indirgenmesi gereklidir. Dehidroaskorbat (DHA) ve indirgenmiş glutatyon (GSH) dehidroaskorbat redüktaz (DHAR) enzimi ile okside glutatyon (GSSG) ve askorbata çevrilir. GSSG, elektron donorü olarak NADPH'yi kullanarak glutatyon redüktaz (GR) enzimi aracılığı ile indirgenmiş glutatyonla dönüşür [97, 120].



1.7. Glutatyon Peroksidaz

Reaksiyonun sonucunda okside glutatyon (GSSG) oluşmaktadır [120]. Hücrelerde oluşan hidroperoksitlerin uzaklaştırılmasından sorumlu olan bir enzimdir. Molekül ağırlığı ise yaklaşık olarak 85 kDa'dur. Birbirinin aynı dört alt ünitelerden oluşan tetramerik bir enzimdir. Her alt ünite bir selenyum atomu içerir. Bu nedenle hücreleri çeşitli hasarlara karşı koruyan bir selenoenzim olduğu düşünülür [181, 182, 186]. Bu enzimin varlığı ilk defa Mills tarafından 1957 yılında memeli eritrositlerinde saptanmıştır. Glutatyon peroksidaz (GSH-Px), intrasellüler mesafede lipidleri peroksidasyondan koruyan en önemli enzimdir. Bu nedenle hücrenin özellikle sitozolik kompartmanında yer alan bu enzim hücrenin yapısını ve fonksiyonunu korur [120, 153, 181, 187]. GSH-Px, aşağıdaki reaksiyonları katalizler:



1.8. Glutatyon S-Transferaz

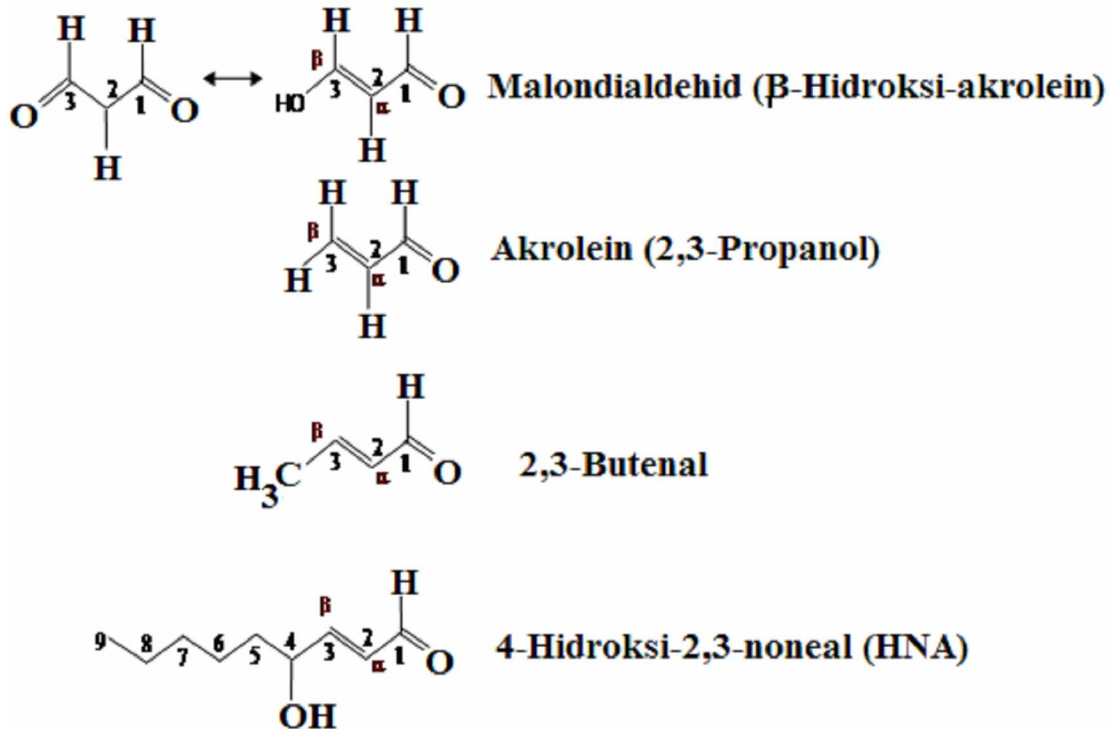
“Selenyuma bağlı olmayan GSH-Px” olarak adlandırılır. Membran lipid peroksidasyonu (LPO)'nu yalnızca fosfolipaz A2'nin varlığında inhibe eder. Öncelikle araşidonik asit ve lineolat hidroperoksitleri olmak üzere lipid peroksitlerine karşı Se bağımsız GSH peroksidaz gibi aktivite göstererek antioksidan etki gösterir [153, 161, 188].



1.9. Lipit Peroksidasyonu

Lipit peroksidasyonu, yaşayan her canlı organizmada meydana gelen ve organizmaya en çok zarar veren aşama olarak düşünülür. Lipit peroksidasyonu; membrandaki doymamış

yağ asitlerinin serbest oksijen radikalleri tarafından alkoller, aldehitler, hidroksi yağ asitleri, etan ve pentan gibi çeşitli ürünlere yıkılması reaksiyonudur. Serbest radikaller özellikleri nedeniyle lipidler, proteinler ve nükleik asitler ile etkileşerek hücreye zarar vermektedir. Çeşitli patolojik durumlar sırasında birçok hücre tipinde O_2 'nin redüksiyonundan oluşan türlerin üretimiyle oksidatif stres meydana gelir. Bunun sonucunda hücre yapısındaki lipidlerde bozulmalar olur. Lipit peroksidasyonun tüm süreci başlangıç, ilerleme ve bitiş olmak üzere üç farklı aşamadan oluşur [189–193]. Malondialdehit (MDA), biyolojik sistemde lipidlerin oksidasyonu sonucunda oluşmaktadır. MDA reaktif bir aldehittir. MDA ölçümü ile LPO'nun değerlendirilmesi yapılabilir. Bu bileşikler ya hücre olarak metabolize olurlar ya da başlangıçta etkili oldukları bölgeden difüze olarak hasarı hücrenin diğer bölümlerine yayarlar. MDA tipik şekilde bitki membranlarında peroksidize doymamış yağ asitlerinin üretimini bozar ve transkripsiyonel stres yanıtlarını tetikler. Lipit radikallerinin hidrofobik yapıda olması dolayısı ile reaksiyonların çoğu membrana bağlı moleküllerde meydana gelmektedir. Okside lipoproteinler hücre fonksiyonlarının bozulmasına aracılık edebilirler. LPO reaksiyonu ya toplayıcı antioksidan reaksiyonlarla sonlandırılır veya otokatalitik yayılma reaksiyonları ile devam eder. Aldehitler, membran komponentlerinin çapraz bağlanma ve polimerizasyonuna neden olarak membranlarda, reseptörleri ve membrana bağlı enzimleri inaktive ederler. Bunun sonucunda membran proteinlerinde de ciddi hasarlar meydana getirebilirler. İyon transportunu etkileyebilirler. Plazma lipoproteinleri ile özellikle düşük dansiteli lipoproteinler de oksidasyona uğrayabilirler. Okside lipoproteinler hücre fonksiyonlarının bozulmasına aracılık edebilirler [193–197].



Şekil 1.5. Linoleik asidin $\text{OH}\cdot$ radikalinin bulunduğu ortamda lipid peroksidasyona uğraması ve son ürün olarak farklı aldehid moleküllerinin oluşması [120, 161, 183]

1.10. NİTRİK OKSİT (NO)

Yaygın bir şekilde nitrik oksit (NO) olarak bilinen Nitrojen monoksit lipofilik özellikte bir serbest radikaldır ve doğada uçucu halde bulunur [25, 198-201].

Nitrik oksit hayvanlarda olduğu kadar bitkilerde de birçok fizyolojik aşamaları düzenleyen önemli bir sinyal molekülü olarak hareket eder [202–205, 208–210].

Son 10 yıldan bu yana nitrik oksit biyolojik bilimler, tıp, biyokimya, fizyoloji ve genetik dahil olmak üzere bir çok dalda önemli bir biyolojik mesajcı olarak kabul edilmektedir. Oldukça reaktif bir radikal olan NO, endotelyumun kuvvetli bir endojen vazodilatörü olarak tanımlandığından bu yana biyologların dikkatini çekmiştir [206]. 1998 yılında Fizyoloji ve Tıp alanında Nobel Ödülü, biyolojik aracı olarak memeli hücrelerinde üretilen NO'nun keşfedilmesine verilmiştir.

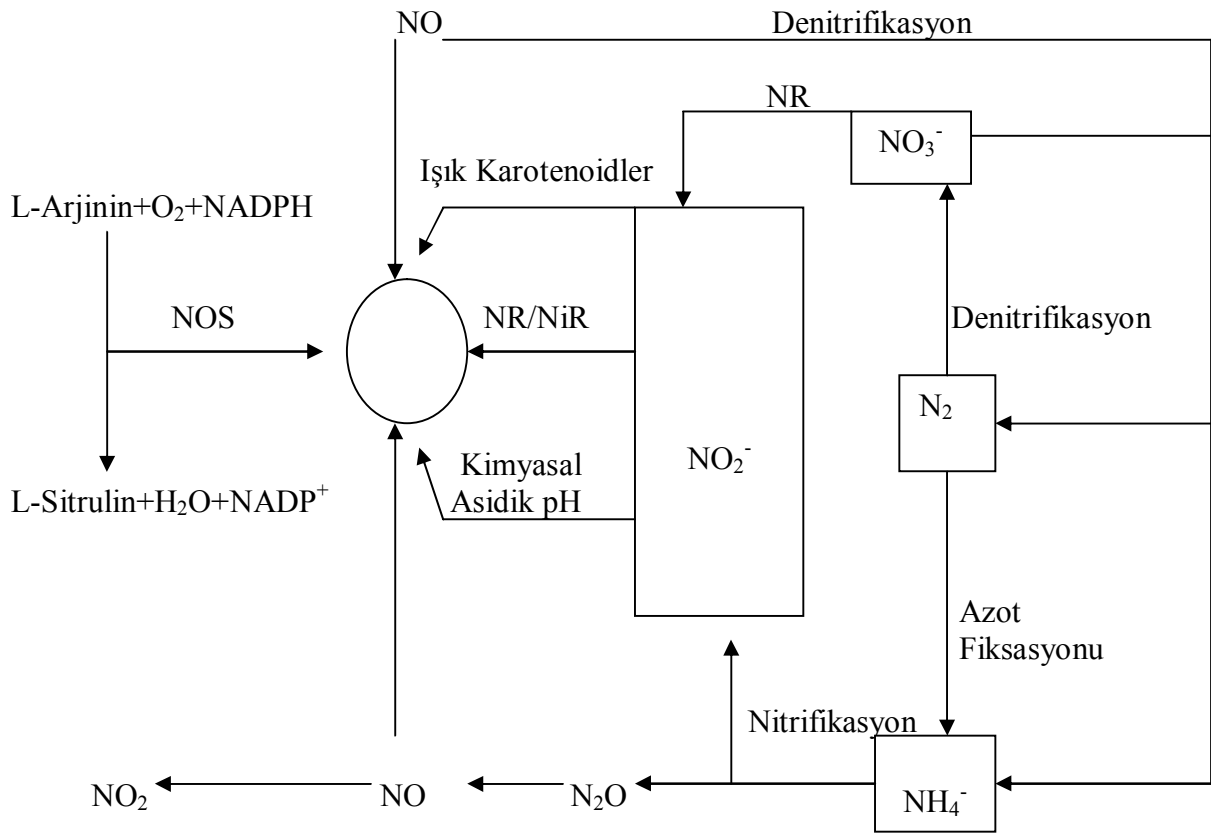
Bitkilerin atmosferik Nitrik oksidi toplama ve metabolize etme yeteneğinden dolayı, NO'nun rolleri sadece hayvanlar alemiyle sınırlandırılmaz. Klepper [211] fasulyede ilk kez NO üretimini fotosentetik inhibitör uygulaması [212, 213], diğer kimyasallar [214, 215] veya anaerobik şartlar altında gözlemlemiştir [214, 216]. Endojen NO'nun bitki büyüme ve gelişmesi ya da strese karşı oluşturulan bitki yanıtlarının bir düzenleyicisi olarak etki ettiğini gösteren çok az kanıt olmasına rağmen [14, 217] bitki yaşam döngüsünün en azından bazı

olaylarında rol oynadığı kesinlik kazanmıştır. NO'nun tohum çimlenmesi, deetiylasyon ve yaprak genişlemesini teşvik ettiği, hipokotil ve internod uzamasını inhibe ettiği, savunma genleri ve fitoaleksinin üretimini arttırdığı bilinmektedir [199, 218]. Marul tohumlarının ışık varlığında çimlenmesi sodyum nitroprusid (SNP) ve S-nitroso-N asetilpenisillamin (SNAP) gibi NO donörleri tarafından teşvik edilir [218]. Araştırmacılar NO'nun bitkilerin özellikle gövdelerinde çeşitli metabolik ve gelişimsel süreçlerde rol oynadığını kanıtlamışlardır. Karanlıkta ya da düşük ışık şiddetinde büyüyen farklı bitki türlerinde (*Arabidopsis thaliana*, *Lactuca sativa*, *Solanum tuberosum*) nanomolar düzeydeki NO'nun hipokotil ve internod uzamasını belirgin bir şekilde azalttığı [34], bazı bitkilerde NO'nun yapraklarda olduğu gibi [44], köklerde de düşük konsantrasyonlarda doku genişlemesini teşvik ettiği ancak yüksek konsantrasyonlarda engellediğiyle ilgili kaynaklar mevcuttur [219].

Köklerde farklı NO üretim yolları mevcuttur ve nitrik oksit sentaz (NOS)'a benzer bir protein kökün gelişim bölgesine bağlı olarak ya sitosolde ya da nukleusda bulunur. Kök uzama bölgesinde meydana gelen hızlı büyüme için gerekli olan nuklear transkripsiyon faktörü NO ile aktive edilmektedir [220]. Ayrıca Ferrer ve Ros Barcelo [221] tarafından NO'nun bitki peroksidazları ve ksilem elemanlarının lignifikasyonu üzerine etkileri de rapor edilmiştir.

Bitkilerde NO enzimatik ve nonenzimatik yollarla üretilir. Enzimatik yol sitozolik nitrat redüktaz (cNR), NOS veya NOS benzeri enzimler ve Nitrit:NO redüktaz (Ni-NOR) tarafından katalize edilirken nonenzimatik yol ise nitritin asidik pH'da nitrat ve NO'ya dismutasyonu ile oluşur [57, 222]. Hayvanlarda nitrik oksit üretiminden sorumlu olan enzim NOS'dur. Bitkilerde de NOS benzeri aktivite saptanmıştır. NOS benzeri protein olan AtNOS1 *Arabidopsis* genomundan izole edilmiştir. Bu protein büyüme ve hormonal sinyal aşamalarını kapsamaktadır [43]. Nitrik oksit aynı zamanda NOS'dan farklı diğer enzimler tarafından da üretilir. NR bunlardan bir tanesidir. İn vitro ve in vivo'da NR yoluyla NO üretimi belirlenmiştir. NR, NO₂⁻den NAD(P)H etkisiyle NO sentezler. NO₂⁻den NO oluşumunda muhtemelen molibden kofaktör olarak aracılık eder. Bu sentez dokudaki nitrit ve nitrat içeriğiyle yakından ilişkilidir. Ksantin oksiredüktaz (XOR) bir diğer NO üretimiyle ilgili enzim olup hem hayvanlarda hem de bitkilerde NO üretiminde bulunur. Ksantin oksiredüktaz, ksantin oksidaz ve ksantin dehidrojenaz şeklinde iki formdan oluşur. Bir diğer enzim ise bütün köklerinin plazma membranına bağlı enzim olan Ni-NOR'dur ki bu enzim nitritten NO üretebilir [221–226]. Bu enzim nitrat redüktazdan (NR) daha yüksek molekül ağırlığına sahiptir. NO içeriğinin enzimatik üretiminde diğer önemli üyeleri sitokrom P450 [227], katalaz ve hemoglobindir [228]. Sitokrom P450 hem proteinleri, NO üretimini oksijen (O₂) ve

NADPH tarafından N-hidroksi-arginin (NOHA)'nin oksidasyonu ile gerçekleştirildiği bitkisel ve hayvansal sistemlerde gösterilmiştir [228, 229]. Benzer şekilde katalaz ve hemoglobin de NO ve diğer nitrojen oksitlerin üretimine katılmaktadır [227]. Bitkilerde NO aynı zamanda enzimatik olmayan yollarla da üretilir. Nitrifikasyon/denitrifikasyon döngüsü atmosfere N_2O 'nun ürünü olarak NO sağlar [230]. Bilindiği üzere nitritin enzimatik olmayan indirgenmesi NO oluşumuna yol açabilir ve bu reaksiyon asidik pH değerlerinde meydana gelebilir [57, 224, 230]. Nitrit, kimyasal olarak pH 3-6 aralığında askorbik asit tarafından NO ve dehidroaskorbik aside indirgenir. Bu reaksiyon askorbik asit varlığında apoplastik boşlukta ve kloroplastta meydana gelebilir. Bunun yanında ışık aracılığıyla NO_2^- 'nin karotenoidler tarafından indirgenmesiyle de NO oluşmaktadır [231–233].



Şekil 1.6. NO sentez yolları [234]

Bitkilerde nitrik oksit (NO) varlığının keşfinden sonra NO'nun fitohormon olup olmadığı sorusu ortaya çıkmıştır [235]. Bilindiği gibi; molekülün biyosentez yeri, hedef hücreye taşınması ve yanıtların kontrolünde kimyasalın içsel miktarındaki değişimler klasik hormon tanımındaki üç temel unsurdur. Araştırmacılar, NO'nun aktif olan embriyonik eksen ve kotiledonlar gibi büyüme hücrelerindeki varlığı, miktarının olgun ve yaşlanmış organlarda azalması [33, 232], NO'nun hormonlar gibi kolayca taşındığı anlamına gelen küçük miktarlarının biyolojik membranlar boyunca etkili difüzyon oranı ve hedef hücrelerdeki NO

düzeylerinin hassasiyetinden dolayı NO'nun bazı bilim adamlarınca geniş bir anlamıyla bitki büyüme düzenleyicisi olarak tanımlanmasına sebep olmuştur [236–238].

Daha sonra yapılan araştırmalar NO'nun su ve yağda çözündüğünü ortaya koymuştur. NO; radikal form (NO[•]), nitrosonium katyonu (NO⁺) ve nitroksil anyonu (NO⁻) olmak üzere üç farklı değişebilir formda bulunur. Lipofilik doğasından dolayı NO membranlar boyunca diffüz edebilir [26]. Birçok fizyolojik fonksiyonda hücreler arası ve hücreler içi mesajcı gibi hareket eder. Nitrik oksit bitkilerde birçok kimyasal ve fizyolojik işlevle ilgili bir sinyal molekülü olarak ortaya çıktığı ve bir fitohormon olarak sınıflandırıldığı bildirilmiştir [152, 199, 237]. Bunun yanında farklı bir bitki büyüme düzenleyicisi olarak da kabul edilir [218]. Konsantrasyonuna bağlı olarak farklı çevresel şartlar altında bitki büyüme ve gelişmesi ile tohum çimlenmesi, çiçeklenme, olgunlaşma ve senesense, kök organogenezi, hipokotil büyümesi, savunma yanıtları, stomatal hareket, apoptozis, hipersensitif yanıtlar, büyüme, gelişme ve fitoaleksinin üretimi gibi çok sayıda farklı fizyolojik aşamaları da düzenlediği ve bu aşamalarda rol oynadığı ifade edilmiştir [34, 52, 56, 57, 210, 237, 239–245]. Yapılan bir çalışmada, *Phytophthora infestans* mantarı tarafından enfekte olmuş patates yapraklarında NO'nun klorofil kaybını önlediği rapor edilmiştir [246]. Ayrıca SNP ve SNAP gibi iki NO vericisinin herbisit ile işlem görmüş patates yaprakları ve izole kloroplastlarda lipid peroksidasyonu, protein ve RNA yıkımını indirdiği saptanmıştır [247]. *Glycine max* L. (soya fasulyesi) süspansiyon hücre kültürleri *Pseudomonas syringae* gibi bakteriyel bir patojenle enfekte edildiğinde aşırı duyarlılık cevabında NO oksidatif hücre ölümüne neden olan aktif oksijen ara ürünleri ile sinerjistik olarak etkileşime girdiği rapor edilmiştir. Aynı zamanda bu etki NO'nun doğrudan ya da dolaylı olarak bitkilerde hücre ölümüne neden olan mekanizmada rol oynadığını da göstermektedir [51, 248]. Yabani tip *Arabidopsis thaliana* ve NR mutantlarının yapraklarında mekanik stres ve yaralanma ile NO üretiminin arttığı ve bunu NOS aktivitesiyle gerçekleştirdiği bulunmuştur [253]. Ciddi kuraklık stresi koşullarından sonra 150 µM SNP ile muamele görmüş buğday yapraklarının su içeriğinin arttığı ve transpirasyon oranının azaldığı tespit edilmiştir. Bu deneylere paralel olarak stres koşullarında NO'nun *Tradescantia* sp. ve *Vicia faba*'da stoma kapanmasını teşvik ettiği bildirilmiştir [30, 250]. Cheng vd [251]'nin yaptıkları çalışmada su eksikliği ile teşvik edilen pirinç yapraklarının senesensinin NO tarafından inhibisyonunun artan SOD aktivitesi ve azalan lipid peroksidasyonu ile ilgili olduğu gösterilmiştir.

Çizelge 1.2. Bitkilerde Nitrik oksidin fizyolojik etkileri. Beligni ve Lamattina'dan düzenlenmiştir [218]

Bitki Organı veya Kısım	Fizyolojik Etkileri	Örnek Bitki
Tohum	Çimlenme Teşviki İmbisilyondan sonra solunum inhibisyonu Alevron hücrelerinin ölümünün inhibisyonu	<i>Paulownia tomentosa</i> , <i>Emmenanthe peduliflora</i> , Soya Fasulyesi Arpa
Kök	Uzama Lateral ve Adventif kök oluşumunu teşvik etme	Mısır Salatalık, <i>Lavandula</i> spp.
Tuber	Tuberizasyon	Patates
Hipokotil	Düşük ışık koşullarında uzamanın inhibisyonu	Marul <i>Arabidopsis thaliana</i>
Gövde	Düşük ısı koşullarında internod uzamasının inhibisyonu	Patates
Yaprak	Deetilesyon teşviki Senesens ertelenmesi Stoma kapanması Yaprak genişliği Savunma cevabı oluşumunu teşvik Hücre ölümü inhibisyonu	Arpa, Buğday Bezelye Buğday, <i>Vicia faba</i> , Bezelye <i>A. thaliana</i> , Tütün, Patates

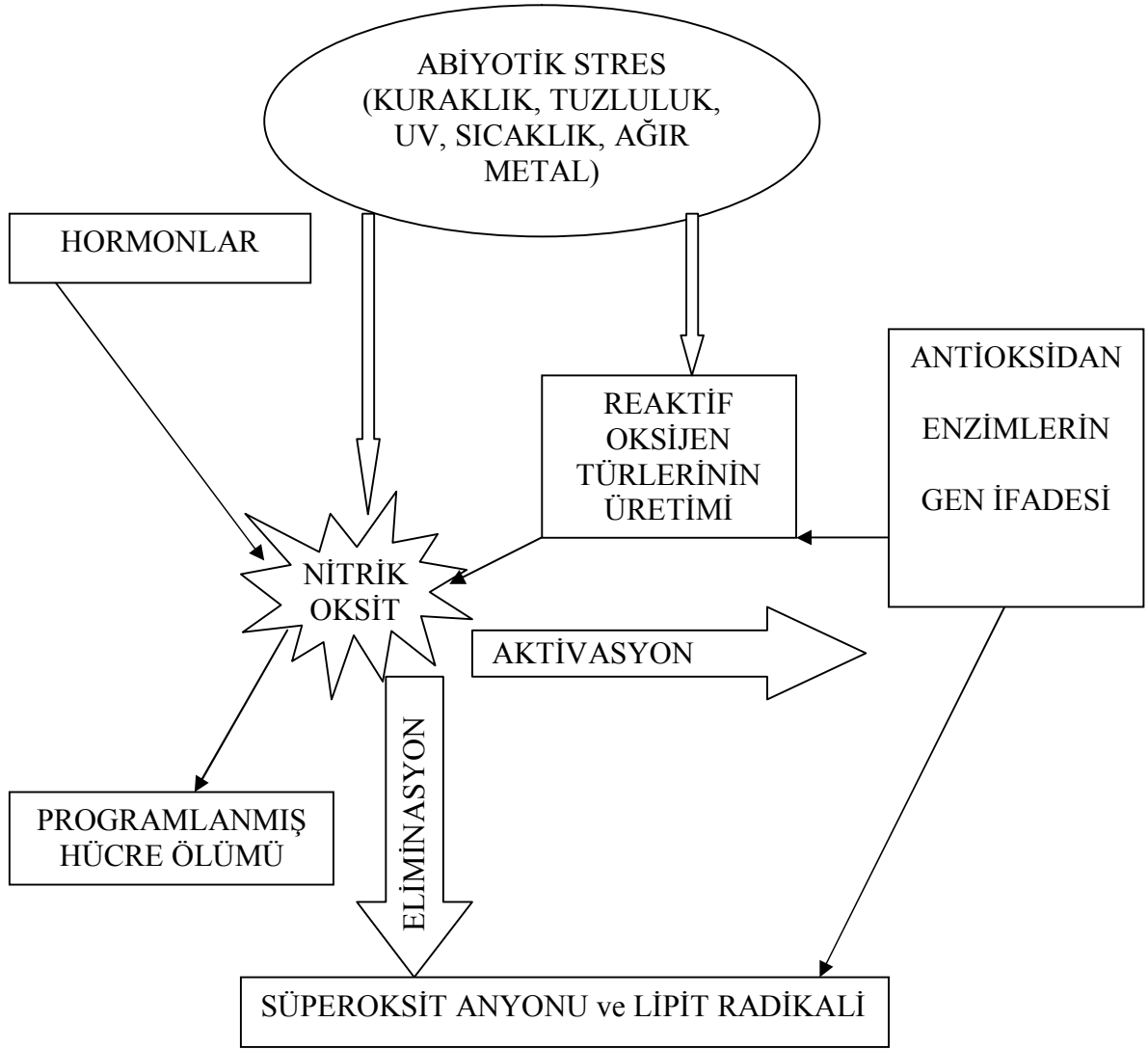
1.10.1. NO ve Abiyotik Stres

Nitrik oksitin çeşitli kimyasal, mekanik ve çevresel stresin farklı faktörleri tarafından hızlıca uyarıldığı ve abiyotik strese karşı bitki yanıtlarını düzenlediği bildirilmiştir. Neredeyse tüm abiyotik strese neden olan serbest radikal ve diğer oksidanlar kloroplast, mitokondri ve

peroksizomlar gibi bitki hücrelerinde ROT'ların miktarlarında artışa neden olurlar. ROT'lar sadece oksidatif zarara neden olmaz aynı zamanda bazı sinyal yanıtlarının oluşmasını da sağlar. NO ve ROT'ların hızlı üretimi bitkilerde hormonal sinyal iletimi, programlı hücre ölümü, hücre uzaması ve gelişimi gibi farklı fizyolojik aşamaları ortaya çıkarmaktadır. [209, 252].

Düşük konsantrasyonlu NO, süperoksit anyonu O_2^- ve lipid radikali $R^\cdot$ aktivitelerini bertaraf eder. O_2^- 'nin NO tarafından yok edilmesi peroksinitritin oluşmasına neden olur. Peroksinitrit hayvansal hücreler için oldukça toksik iken bitki hücreleri için toksik değildir [51, 58]. NO'nun antioksidan rolü büyük ölçüde onun hücrel redoks dengesini sağlama ve ROT'ların toksik etkisini düzenleme yeteneğine dayanmaktadır. Dahası, NO bitki hücreleri için aşırı nitriti bertaraf eder çünkü yüksek konsantrasyonlardaki nitrit bitkiler için toksiktir [253, 254]. NO'nun abiyotik stresteki bir önemli rolü de onun sinyal molekülü özelliğine dayanmaktadır. NO jasmonik asit sentezini azaltırken, hidrojen peroksit sentezini artırdığı ve abiyotik stres dayanıklılığını kapsayan bazı genlerin ifadesini düzenlediği bildirilmiştir [255, 256]. ABA biyosentezinde ROT ile NO arasında sinerjistik etki vardır [257]. NO sorbitol tarafından neden olunan ozmotik ya da tuzluluk stresine yanıtta kalsiyum miktarını etkiler [48, 258].

NO bitkilerde yaralanma, enfeksiyon, kuraklık, düşük ve yüksek sıcaklık, ultraviyole (UV), ozon gibi çeşitli biyotik ve abiyotik streslere karşı bitki yanıtlarında hem antioksidan hem de antistres ajan olarak görev yaptığı rapor edilmiştir [57]. Bu şekilde stres altında yetişen bitkilerde NO miktarında aşırı miktarda artışların olduğu bildirilmiştir [249]. Biyotik streste aşırı duyarlılık cevabının teşviki sırasında patojen saldırısını takiben NO'nun haberci rol oynadığı gösterilmiştir [51, 259]. NO'nun buğday fidelerinde kuraklıktan kaynaklanan oksidatif strese karşı koruyucu olduğu bildirilmiştir [30]. NO'nun kuraklık stresine toleransta ve stoma hareketlerinde rol oynayan bir moleköl olduğu ortaya çıkmıştır [21].



Şekil 1.7. Abiyotik streslere karşı bitkilerde nitrik oksidin aracılık ettiği sinyal yolunun genel bir modeli [27]

Nitrik oksidin farklı kimyasal, mekanik ve çevresel stres şartları altındaki bitki türlerinde stres yanıtlarını düzenlediği ve abiyotik stres şartlarında aracılık ettiği etkiler çeşitli çalışmalarda bildirilmiştir (Çizelge 1.3).

Çizelge 1.3. Abiyotik stres tarafından indüklenen nitrik oksit'in aracılık yaptığı etkiler. Qiao ve Fan [28]'a göre düzenlenmiştir

Stres Etkeni	NO Aracılıklı Etki	Örnek Tür	Kaynaklar
Kuraklık/ Ozmotik Stres	ABA uyartı, Stoma Kapanması, ABA Sentezi, Geç embriyogenez bulunması ifadesi	<i>Nicotiana tabacum</i> <i>Pisum sativum</i>	Gould vd. [258] Leshem ve Haramaty [59]
Tuzluluk	Ozmotik toleransın artması, Na^+/H^+ antiport gen ifadesinin artması	<i>Nicotiana tabacum</i> <i>Zea mays</i>	Gould vd. [258] Zhang vd. [260]
Ağır Metal Toksikitesi	Kök uzamasında artış; NOS aktivitesinde azalış	<i>Hibiscus moscheutos</i>	Tian vd. [261]
Herbisit	Antioksidan enzimlerin aktivitesinde artış	<i>Scenedesmus obliquus</i> <i>Cylamydomonas reinhardtii</i>	Mallick vd. [262] Sakihama vd. [263]
Yüksek Sıcaklık	Tohumların toleransında artış; Hızlı NO salınımı	<i>Medicago sativa</i> <i>Nicotiana tabacum</i>	Lehsem vd. [37] Gould vd. [258]
Düşük Sıcaklık	ROT miktarlarında Azalış	<i>S. obliquus</i>	Mallick vd. [262]
Mekanik Yaralanma	Hücre ölümünde NO patlaması	<i>A. thaliana</i> <i>Taxus brevifolia</i>	Garces vd. [249] Pedrosa vd. [264]
UV-B Radyasyon	CHS genlerinin ifadesinde artış	<i>A. thaliana</i>	Mackerness vd. [265]

1.10.2. NO ve Kuraklık Stresi

Kuraklık, ürün verimliliğini azaltan en önemli faktörlerden biridir. Dıştan uygulanan NO vericisi sodyumnitroprussid (SNP), kurak şartlarda buğday yaprakları ve tohumunda su kaybını azalttığı aynı zamanda iyon akımında, transpirasyon oranında azalma ve stoma kapanmasında artış meydana getirdiği belirtilmiştir. Böylece kuraklık stresine karşı toleransın arttığı rapor edilmiştir [30]. Abiyotik stres çeşidi olan kuraklık, doğrudan veya dolaylı

yollardan ROT'ların oluşumuna neden olarak bitkiye zarar verir. NO, ROT ve zincir reaksiyonlarıyla mücadele yeteneğinde olan bir moleküldür [29, 266].

1.10.3. Bitki Stres Yanıtlarında NO Uyarısının Diğer Sinyal Molekülleri ile İlişkisi

Nitrik oksit üretimi bitkilerdeki bir çok fizyolojik durum ile ilişkilidir ve NO bitkinin hayatı boyunca önemli bir sinyal molekülüdür [53, 267].

Birçok koşulda önemli roller oynayan bir molekül olarak tanımlanmasına rağmen üretimi, geri dönüşümü ve etki mekanizması tam olarak anlaşılamamıştır [28, 53, 209, 268].

Nitrik oksit hayvanlarda yaygın olarak bulunan bir sinyal molekülüdür. Çok sayıda bitkisel sinyal sisteminde de tanımlanmıştır. Bitki hücre gelişiminde NO'nun ana rolü üzerine yapılan çalışmalar, cGMP ve NO'nun rollerinin anlaşılmasına odaklanmıştır. Yapılan çalışmalarda kalsiyum, NO ve cGMP arasında ilişki olduğu düşünülmektedir. [21, 269, 270].

Strese karşı bitki yanıtlarında NO uyarısının mekanizması üzerine yapılan çalışmalar tamamlanamamıştır. Ancak koruyucu hücrelerde, NO'ya ilave olarak hidrojen peroksit bir diğer sinyal molekülü olarak tanımlanmıştır ve absisik asit (ABA) hem NO hem de hidrojen peroksit sentezini uyarır. Dışsal hidrojen peroksit uygulamasının koruyucu hücrelerde NO üretimini uyardığı gözlenmiştir. Bu durum NOS benzeri bir etki yapmaktadır. *Cistus albidus*'ta yaz kuraklığına uyumda H₂O₂'nin etkili olduğu açıklanmıştır. Yapılan başka bir çalışmada, farklı konsantrasyonlarda hidrojen peroksit uygulanan ve günlük 300 mL hidrojen peroksit çözeltisi ile sulanan kavun bitkisinin yapraklarında ve meyvesinde glukoz, fruktoz, sükroz ve nişasta birikiminin arttığı rapor edilmiştir [271–273]. ABA teşvikli NO sentezinin hem *V. faba*'da hem de *Arabidopsis* de hidrojen peroksit üretimine bağlı olduğu bildirilmiştir [38, 40]. Antioksidan veya hidrojen peroksit sentez inhibitörü NAD(P)H oksidaz aktivitesi kullanılarak hidrojen peroksidin uzaklaştırılması, hem NO üretimini hem de stoma kapanmasını engellemektedir. Benzer şekilde 2-fenil-4,4,5,5-tetrametilimidazoline-1-oksil-3-oksit (PTIO) tarafından NO'nun uzaklaştırılması hidrojen peroksit ve ABA tarafından stoma kapanmasının indüksiyonunu tehlikeye sokmaktadır. Hidrojen peroksidin, NO sentezini artırdığının tam olarak anlaşılmasına rağmen NO sentezinin düzenlenmesi konusunda bazı uyumsuzluklar bulunduğu bildirilmiştir [269]. *V.faba*'da hidrojen peroksit sentezinin NO sentezini düzenlemesi hem She vd [269], hem de He ve vd [38] tarafından bildirilmiştir. Ancak bu durum *V. faba*'nın bekçi hücrelerinden başka gruplar tarafından gözlenmemiştir [271]. Benzer durum *Arabidopsis* bekçi hücrelerinde de gözlenmiştir [40]. Bu farklılığın kullanılan dokuların fizyolojik durumlarındaki farklılıklardan kaynaklandığı açıklanmaktadır [21].

Hidrojen peroksit ve NO'nun artma ve azalmasında yatan sinyal kanıtlarının anlaşılmasında, stomatal hareketin düzenlenmesinde bu iki molekülün arasındaki ilişkinin belirlenmesi ipucu olabileceği [28] ayrıca, NO'nun doğrudan ya da dolaylı olarak hidrojen peroksit, salisilik asit ve sitosolik Ca^{+2} gibi diğer sinyal molekülleri ile ilişkili olabileceği belirtilmektedir [55, 57, 274].

Hayvan hücrelerinde NO hareketi bir diğer sinyal molekülü olan cGMP nin sentezine ihtiyaç duyar. cGMP sentezi bitkilerde belirlenmiş olup, cGMP sentezinin NO tarafından artırıldığı bildirilmiştir [57, 275–279]. cGMP, bitkileri içeren birçok prokaryot ve ökaryot grupta ikinci mesajcı olarak görev yaptığı bildirilmiştir [278–280].

Reaktif oksijen türü olan hidrojen peroksidin (H_2O_2) hücrel hasara neden olduğu bilinmektedir. H_2O_2 'in toksik etkisi biyolojik membranlardan kolayca difüze olma kapasitesinden anlaşılmaktadır [281]. Ancak H_2O_2 'in birçok bitkinin fizyolojik aşamalarında faydalı bir molekül olarak kullanıldığı da bilinmektedir [282–285]. NO ve H_2O_2 'nin kuraklık, UV, ozon, biyotik stres gibi çeşitli stres şartlarında fonksiyonları bulunmaktadır [286, 287]. H_2O_2 'in dış streslere karşı bitki hücre çeperinde lignin biyosentezinde ve patojenlere karşı savunma mekanizmasında kullanıldığı bildirilmiştir. Eksojen hidrojen peroksit uygulamasının bekçi hücrelerinde NO üretimini uyardığı belirtilmektedir [38, 269, 288]. Bunun yanında H_2O_2 'nin sekonder bir haberci olarak hücrelerde sinyal iletiminde fonksiyon gösterdiği de bilinmektedir [284, 290]. H_2O_2 ve NO'nun bitkilerde sinyal molekülü olarak görev yaptığı açık şekilde anlaşılmıştır. Abiyotik ve biyotik stres şartlarında çok çeşitli kaynaklar tarafından H_2O_2 üretimi gerçekleştirilmektedir [290].

1.11. Buğday

Buğday bitkisi, Gramineae familyasından *Triticum* cinsine ait bir bitkidir. Monokotil bir bitki olan buğday kendi kendini dölleyebilen, kökleri saçaklı, meyvesi karyopsis tipinde olan, tek yıllık bir bitkidir [215, 216].

Buğday

Alem	: Plantae
Bölüm	: Magnoliophyta (Kapalı tohumlular)
Sınıf	: Liliopsida (Bir çenekliler)
Takım	: Poales
Familya	: Poaceae (Buğdaygiller)
Cins	: Triticum

Buğday, dünya üzerinde kültürü yapılan bitkiler arasında ekiliş bakımından ilk sırada, üretim bakımından mısırdan sonra ikinci sırada yer alan ve insan beslenmesinde büyük öneme

sahip olan bir kültür bitkisidir [291]. Buğday bitkisinin, diploid ($2n=14$ kromozomlu), tetraploid ($2n=28$ kromozomlu) ve heksaploid ($2n=42$ kromozomlu) türleri mevcuttur. 42 kromozomlu *Triticum aestivum* L. (ekmeklik buğday) ve 28 kromozomlu *Triticum durum* Desf. (durum buğdayı) ülkemizde yetiştirilen en yaygın buğday türleridir [292].

Buğday, gerek dünyada gerekse Türkiye’de stratejik bir bitki olup, insanların temel enerji ve protein kaynağı durumundadır. Dünya’da insanların sağladıkları günlük kaloringin % 50’sinden fazlası tahıllardan karşılanmakta olup bunun da % 20’lik kısmı doğrudan buğdaydan karşılanmaktadır. Ülkemizde günlük kaloringin tahminen % 65-70’inin tahıl ürünlerinden sağlandığı ve bulgur, makarna, bisküvi ile diğer unlu mamuller çıkarıldıktan sonra, tahıldan yapılan yiyeceklerin yaklaşık % 80’inin ekmek olduğu, ülkemizde kişi başına günlük ekmek tüketiminin 400–500 g dolayında olduğu bildirilmektedir [293].

Buğday, insan beslenmesinde kullanılan kültür bitkileri arasında ekim alanı ve üretim bakımından dünya ve ülkemizde ilk sırada yer almaktadır. Günümüzde dünya buğday ekim alanı 225 437 694 ha, üretimi 681 915 838 ton ve dekara tane verimi 302,48 kg olup FAO verilerine göre [294] 2009 yılında Türkiye’de buğday ekim alanı 8 026 898 ha, üretimi 20 600 000 ton ve dekara verimi 256,63 kg’dır. TÜİK’in 2008 verilerine göre [295] ise Türkiye’de 8,6 milyon hektarlık ekiliş ve 17 milyon tonluk üretime sahip olan buğdayın dekara verimi 220 kg/da olarak belirlenmiştir.

Türkiye’de 2010 yılında 2009 yılına göre % 29 fazla olarak, 227,852 ton sertifikalı buğday tohumu üretilmiştir. 2011 sezonundaki toplam buğday ekilen alanın 7.4 milyon hektar olduğu ancak sadece 1.14 milyon hektarlık alanda sertifikalı tohum kullanıldığı bildirilmiştir. Ülkemizin temel besin maddesi konumunda olan buğday, ülkemizin hemen her bölgesinde üretilmekte olup, tarla ürünleri içerisinde ekiliş alanı ve üretim miktarı bakımından ilk sırayı almaktadır. 1987–2005 yılları arasında buğday ekim alanlarında önemli bir değişiklik olmamış, ekim alanları 9-9,5 milyon hektar civarında değişmiştir. 2006 yılında ise buğday ekim alanları düşüş göstererek 8.5 milyon hektara gerilerken, 2007 yılında da gerilemeye devam etmiş ve 8.1 milyon hektar olmuştur. 2005 yılında uygun hava koşulları buğday verimini artırırken üretimimiz 21.5 milyon ton seviyesine ulaşmıştır. 2006 yılında verimi düşüren sıcak ve kurak hava koşulları etkisini 2007 yılında da göstermiş ve ülkemiz üretiminin 17.2 milyon ton seviyesine düşmesine neden olmuştur. 2008 yılında 17.8 milyon ton seviyesinde gerçekleşen buğday üretimi uygun hava koşulları sayesinde 2009 yılında 20.6 milyon ton seviyesinde gerçekleşmiştir. Buğday ekimine ayrılan ortalama 9 milyon hektar arazi dikkate alındığında hektara 200 kg tohumluk kullanımı ile yıllık tohumluk talebi yaklaşık 1.8 milyon tondur. Buğdayın kendine döllen bir bitki olması nedeniyle tohumluğun üç yılda bir

yenilenmesi gerekmektedir. Ekilen alanların tamamında sertifikalı tohumluk kullanılacağı düşünüldüğünde yıllık tohumluk talebi yaklaşık 600 bin ton civarındadır. Ülkemiz topraklarının yaklaşık %32'si (24.3 milyon hektar) tarım yapılabilir özelliktedir. Tarım alanlarının % 67.5'i (16.4 milyon hektar) tarla ziraatına ayrılmıştır. Tarla ziraat alanının %73'üne (12 milyon hektar) hububat ekilmektedir. Hububat ekim alanı içerisinde yaklaşık % 67.5'lik pay ile ilk sırada buğday yer almaktadır [296, 297].

Çizelge 1.4. Türkiye'nin yıllara göre buğday üretimi [296]

Yıllar	Buğday Ekim Alanı (Bin Ha)	Buğday Üretimi (Bin Ton)
1999	9.380	18.000
2000	9.400	21.000
2001	9.350	19.000
2002	9.300	19.500
2003	9.100	19.000
2004	9.300	21.000
2005	9.250	21.500
2006	8.490	20.010
2007	8.098	17.234
2008	8.090	17.782
2009	8.100	20.600

Çizelge 1.5. Türkiye’de bölgelere göre buğday üretimi [297]

Bölge	2010 Yılı Ortalama Verimi (Ton/Ha)	Uzun Vade Ortalama Verimi (Ton/Ha)	Hasat Zamanı	2011 Üretimi Tahmini (Ton)	Hasat Edilen Alan (Ha)
Çukurova (Adana-Mersin)	3.5–4.5	4.5–5.5	10 Mayıs- 10 Haziran	1.050.000	210.000
Amik	3	5–5.5	25 Mayıs- 25 Haziran	350.000	80.000
GAP	2	3–3.5	15 Mayıs- 15 Haziran	1.900.000	65.000
İç Anadolu	2-2.5	1.5-2	25 Haziran- 25 Temmuz	6.000.000	3.000.000
Polatlı	2.8-3	3.5	15 Haziran- 20 Temmuz	380.000	130.000
Ege	2-2.5	3	25 Mayıs- 25 Haziran	1.500.000	500.000
Aydın	4.5	4	10 Mayıs- 10 Haziran	20.000	5.000
Trakya	4	4.5-5	15 Haziran- 15 Temmuz	2.500.000	600.000
Diğer	1.35	1.5	15 Haziran- 15 Temmuz	3.000.000	2.300.000

Tüm dünyada, buğday iyi bir besin hammaddesi oluşu, uyum sınırının genişliği, üretiminin kolay oluşu, taşıma, depolama ve işleme kolaylığı gibi nedenlerden dolayı dünya nüfusunun yaklaşık %35’ inin temel besini durumundadır. Buğday ve buğdaydan elde edilen ürünler, içerdikleri yüksek düzeydeki karbonhidratlara bağlı olarak enerji sağlamakta ve azımsanamayacak düzeyde protein, lipid, B1 ve niasin gibi temel besin öğelerini de içermektedir [305].

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Yüksek derecede uyarılabilen bir molekül olan nitrik oksit (NO) kuraklık, soğuk ve patojen enfeksiyonları gibi stres yanıtları süresince oldukça fazla birikebilir. Gaz yapıdaki bu molekülün, bitki hayatındaki birçok önemli aşamada sinyal etkisinin olduğu, bunların arasından çimlenme, deetilasyon, yönelme yanıtları ve kök gelişmesindeki etkileri belirgin bir şekilde açıklanmıştır. NO'nun bitki büyüme ve stres düzenleyicisi olarak önemi belirgin şekilde ortaya çıkmış olmasına rağmen bu molekülle ilgili bilgiler hala sınırlıdır [299].

Sekmen vd. [300] yaptıkları çalışmada; *Gypsophila oblongeolata* bitkisinin çimlenme ve vejetatif safhaları süresince tuz stresine karşı farklı antioksidan savunma yanıtlarını araştırmışlardır. Araştırmacılar, 0, 50, 100, 150 ve 300 mM NaCl uygulamaları ile oluşturdukları tuz stresi şartlarında, çimlenme süresince antioksidan enzimlerin [Süperoksit dismutaz (SOD), katalaz (CAT) ve peroksidaz (POX)] aktivitelerindeki değişimler ile stresten sonraki iyileşmeyi belirlemişlerdir. Aynı zamanda 60 günlük bitkilerde vejetatif gelişme süresince fizyolojik parametrelerdeki değişimi, iyon konsantrasyonlarını, SOD, CAT ve POX enzimleri ile askorbat peroksidaz (APX), glutatyon redüktaz (GR), aktiviteleri, NADPH aktivitesi, hidrojen peroksit (H_2O_2) ve malondialdehit (MDA) içeriklerini incelemişlerdir. Araştırmacılar, tuz stresinin çimlenme oranında azalmaya neden olduğunu bildirmişlerdir. 100 mM NaCl uygulamasında çimlenmenin az olduğu, yüksek konsantrasyondaki NaCl uygulamalarında ise çimlenmenin kalıcı olarak inhibe edildiği rapor edilmiştir. 50 mM NaCl uygulamasının ise SOD, CAT ve POX enzimlerinin aktivitelerinde azalmaya neden olduğu saptanmıştır. Stres şartlarından sonra, iyileşen bitkilerdeki antioksidan enzim aktivitelerinde arttığı saptanmıştır. Vejetatif gelişme süresince 50 ve 100 mM NaCl uygulamalarında saptanan SOD, CAT ve POX gibi enzimlerin aktivitesinde artış olduğu ve bu durumun oksidatif hasardan kaçınmaya yardımcı olabileceğini bildirmişlerdir. Yüksek konsantrasyonda uygulanan NaCl stresinde ise CAT, POX ve GR enzimlerindeki uyarılmaların artan reaktif oksijen türleri (ROT) üretimi ve malondialdehit (MDA) içeriğiyle başa çıkamadıklarını belirtmişlerdir. Araştırmacılar bu sonuçlardan; bitkinin tuz stresine karşı düşük seviyede dayanıklı olduğunu, çimlenme ve vejetatif gelişim süresince tuz stresine karşı farklı antioksidan enzim yanıtları ve metabolizması olduğunu rapor etmişlerdir.

Chou vd. [301] tarafından yapılan bir çalışmada sıcaklık ve kadmiyum (Cd) etkisindeki pirinç fidelerinin yapraklarında GR'nin ve APX'in ifadesinde meydana gelen değişimlerde hidrojen peroksidin (H_2O_2) etkisi araştırılmıştır. Sıcaklık uygulamasının H_2O_2 miktarında artış sağlamasından önce APX ve GR aktivitesinde artış sağladığı rapor edilmiştir. Araştırmacılar H_2O_2 üretimindeki artış ile GR ve APX enzimlerinin aktivitelerindeki artışın

ise NADPH oksidazın inhibitörleri olan difenil iodoniyum (DPI) ve imidazol (IMD) tarafından engellendiği de bildirilmiştir. Sıcaklık etkisi ile teşvik edilen OsAPX2 gen ifadesinin sıcaklık etkisi ile teşvik edilen APX aktivitesi ile ilişkili olduğu ancak bu durumun H₂O₂ tarafından düzenlenemediği belirtilmiştir. Kadmiyum uygulamasının H₂O₂ içeriğinde ve GR ile APX enzimlerinin aktivitesinde artış sağladığı ancak bu artışın sıcaklık uygulamasına nazaran daha az olduğu bildirilmiştir. Kadmiyum uygulamasının sıcaklık olmadan tek başına OsAPX2 ve OsGR2 genlerinin ifadesini artıramadığı da araştırmacılar tarafından rapor edilmiştir. Araştırmacılar, kadmiyum uygulamasının sıcaklık etkisi olmadan APX ve GR enzim aktivitelerinden önce H₂O₂ içeriğini artırdığını, DPI ve IMD ile muamelenin ise kadmiyum tarafından teşvik edilen H₂O₂ içeriğindeki artış ile GR ve APX aktivitesindeki artışı güçlü bir şekilde inhibe ettiğini hatta IDM ve DPI uygulamasının H₂O₂ uygulamasına yardımcı olabileceğini ve bu sonuçlardan pirinç yapraklarında sıcaklık ve kadmiyumun APX ve GR enzimlerinin aktivitelerindeki artışı H₂O₂'nin düzenleyici etki yapabileceği sonucuna vardıklarını bildirmişlerdir.

Wang vd. [302] azot veya sitokinin uygulamasının, genetiği değiştirilmiş sert çimen bitkisinde sıcaklık stresinin etkilerini azaltabileceğini bildirmişlerdir. Bu amaçla L-93 sert çimen bitkisine 0, 10 ve 100 µM konsantrasyonlarda sitokinin uygulaması ile iki haftada bir 2.5 kg N/ha (düşük azot uygulaması) ve 7.5 kg N/ha (yüksek azot uygulaması) dozlarında iki farklı azot uygulamaları yaparak gece 28°C ve gündüz 38°C sıcaklıkta büyütülen bitkileri 28 gün sonra hasat etmişlerdir. Araştırmacılar yüksek azot şartlarında yetişen bitkinin köklerinde yüksek düzeyde süperoksit radikali (O₂⁻) üretimi, hidrojen peroksit konsantrasyonu ve malondialdehit içeriği bulunduğunu saptamışlardır. Yüksek azot uygulamalarında düşük azot uygulamalarına göre süperoksit dismutaz (SOD) aktivitesinde %19, askorbat peroksidaz aktivitesinde (APX) %22 ve guaikol peroksidaz (POD) aktivitesinde ise %24 artış olduğunu bildirmişlerdir. Sıcaklık stresinin 22. gününde SOD, APX ve POD enzimlerinin yoğunluğunda veya izoformlarında artış olduğunu ve bunun sıcaklık stresinden önceki bitki yanıtları olduğunu belirtmişlerdir. Bunun yanında uygulamalar arasında belirgin bir farklılık olmadığını da bildirmişlerdir. SOD ve POD enzimlerinin kök ve gövdede farklı izoformlarının bulunmasının bu izoformların dokuya özel fonksiyon gösterdiği şeklinde açıklamışlardır. Ayrıca, sitokinin uygulamasının bu enzimler üzerine herhangi bir etkisinin olmadığını da saptamışlardır. Araştırmacılar elde ettikleri sonuçlara göre; sıcaklık stresi şartlarındaki bitkiye azot uygulamasının, antioksidan enzimler üzerine etkilerinin kök ve gövdede farklı olduğunu rapor etmişlerdir.

Li ve Zhang [303] tarafından yapılan bir çalışmada; mısır filizlerinde absisik asit (ABA) ve sodyum nitroprusid (SNP) uygulamalarının soğuk stresine karşı dayanıklılığı oldukça artırdığı saptanmıştır. NO ile ABA kombinasyonunun, ABA'nın sağladığı soğuk stres toleransını oldukça geliştirdiği belirtilmiştir. Bununla birlikte, NO süpürücüsü PTIO'nun soğuk stresi toleransında SNP'nin artan etkisini etkisiz bıraktığı bildirilmiştir. Aynı şekilde ABA ve PTIO kombinasyonun da ABA'nın sağladığı soğuk stresi toleransını azalttığı rapor edilmiştir. Süperoksit dismutaz (SOD) ve katalaz (CAT) aktiviteleri ile hidrojen peroksit (H_2O_2) içeriği ve lipid peroksidasyonu miktarının ölçümünün soğuk stresinin, mısır fidelerinde oksidatif stresi artırdığı belirtilmiştir. Araştırmacılar, soğuk stresi altındaki mısır fidelerinde ABA uygulamasının SOD ve CAT gibi enzimlerin yüksek aktivitelerinin sürdürülmesini sağladığını ve H_2O_2 ve lipid peroksidasyonu miktarında ise azalmaya neden olduğunu saptamışlardır. Araştırmacılar, ABA ile SNP kombinasyonun ise bu etkileri artırdığını belirtmişlerdir. ABA ve PTIO kombinasyonun ise ABA ve SNP'nin etkisine zıt etki yaptığını ve bu sonuçlardan ABA'nın NO tarafından sağlanan soğuk stresi toleransını artırdığını, NO'nun ABA'nın sağladığı artan antioksidan enzim aktivitelerine ve içsel H_2O_2 birikiminde meydana getirdiği azalmaya katkıda bulunduğunu rapor etmişlerdir.

Jiang vd. [304] çalışmalarında; *Lathyrus sativus* L. bitkisinin çimlenmesi süresince ilk köklerin horizontal hareketinde ve kök gravitropizmasında hidrojen peroksidin etkilerini araştırmışlardır. Bu amaçla, saf su içerisinde çimlendirilen bitkiler petri kaplarına horizontal olarak yerleştirilmiş ve gravitropizmanın sağlanması için *Lathyrus sativus* L. bitkisinin ilk köklerinin petri kabında dik olarak büyümesi sağlanmıştır. Dışsal hidrojen peroksit (H_2O_2) içerisinde çimlendirilen bitkilerde köklerin asimetric şekilde ve petrinin tabanına paralel olarak büyüerek horizontal hareket ettiklerini saptamışlardır. Çimlenme sonrasında uygulanan H_2O_2 'nin ise kök hareketlerine etkisiz kaldığını saptamışlardır. Bunun nedenini ise H_2O_2 süpürücüsü olan dimetiltiyoüre (DMTU)'nin etkisiyle açıklamışlardır. Dışsal olarak uygulanan H_2O_2 'nin H_2O_2 süpürücüsü enzimlerin [askorbat peroksidaz (APX), katalaz (CAT), peroksidaz (POX)] aktivitelerinde artış sağladığı böylece içsel H_2O_2 seviyesinde azalma sağlandığı ve kök canlılığına katkıda bulunulduğu rapor edilmiştir.

Sabra vd. [305] üç ekinezya türünün (*Echinacea purpurea*, *Echinacea pallida* ve *Echinacea angustifolia*) hidroponik kültürasyonda tuz stresine karşı (0, 50, 75 ve 100 mM) fizyolojik ve biyokimyasal yanıtlarını araştırmıştır. Tuz uygulamasından iki hafta sonra, büyüme, yaralanma indeksi, gaz değişimi, iyon birikimi, pigment içeriği, elektrolit sızıntısı ve antioksidan enzim aktiviteleri ölçülmüştür. Tuzluluğun her üç ekinezya türünde de kök ve gövde biyokütlesinde herhangi bir değişikliğe neden olmadığı bildirilmiştir. Bununla birlikte

en yüksek hayatta kalma oranı % 96.8 ile *Echinacea purpurea*'da en düşük oran ise % 70.7 ile *Echinacea angustifolia*'da saptanmıştır. Buna paralel olarak *Echinacea angustifolia* türünde daha yüksek derecede yaralanma indeksi ve elektrolit sızıntısı olduğu belirtilmiştir. Böylece en düşük tuz konsantrasyonunun belirlenmesi sağlanmıştır. *Echinacea angustifolia* türünde tüm tuz konsantrasyonlarında stoma geçirgenliğinde, fotosentez ve terleme oranlarında azalma görüldüğü saptanmıştır. Bunun yanında *Echinacea pallida* türünde ise sadece 75 mM ve 100 mM NaCl konsantrasyonlarında fotosentez oranında azalma olduğu tespit edilmiştir. Üç ekinezya türünde de Na^+ ve Cl^- içerikleri ile yüksek ilişkisi olan gaz değişimi belirlenmiştir. Yapılan çalışmada, *Echinacea purpurea* türünde tüm tuz konsantrasyonlarında süperoksit dismutaz (SOD) ve askorbat peroksidaz (APX) enzim aktivitelerinde artış olduğu belirlenmiştir. Bunun yanında tuz stresinin katalaz (CAT) aktivitesinde azalma meydana getirdiği ve glutatyon redüktaz (GR) aktivitesinde ise hiçbir değişiklik oluşturmadığı bildirilmiştir.

Sanchez-Rodriguez vd. [306] su stresine karşı toleransları farklı olan Zarina ve Josefina domates çeşitlerinin, ciddi stres şartları altında yaprak biyokütlesinin ve antioksidan yanıtın üretilmesinde kök ve gövdelerin rollerini araştırmışlardır. Yapılan çalışmada, kuraklığa maruz kalan domates çeşitlerinden; kuraklığa dayanıklı Zarina çeşidinde antioksidan enzim aktivitelerinin oldukça yüksek ve stabil olduğunu, kuraklığa duyarlı olan Josefina çeşidinde ise oldukça düşük olduğunu rapor edilmiştir.

Kumar vd. [307] yaptıkları çalışmada; Pigeonpea'da polietilen glikol (PEG) ile oluşturulan su eksikliğinin fizyolojik ve biyokimyasal değişimleri üzerine etkilerini incelemiştir. Araştırmacılar bitkileri hafif ve sert stres şartları olmak üzere iki aşamalı strese tabi tutmuşlardır. Su stresi şartlarını PEG'li besin çözeltisi ile 14 gün boyunca sulayarak ozmotik potansiyelin -0,04 MPa'ya düşürülmesiyle sağlamışlardır. Çalışmada oransal su içeriğinin su stresi altında belirgin şekilde azaldığı, serbest prolin içeriğinin stres şartları süresince arttığı, CAT aktivitesinde azalma, SOD ve peroksidaz aktivitelerinde ise artış olduğu belirtilmiştir. Araştırma sonucunda su stresi süresince gelişmiş bir antioksidan savunma sisteminin aktif olduğunu ve prolin içeriğiyle su stresi arasında ilişki bulunduğunu rapor etmişlerdir.

Iannone vd. [308] yaptıkları çalışmada nitrat redüktaz (NR)'ın nitrat asimilasyonunda bulunan bir enzim olduğunu ve bitkilerde NO üretimine katıldığını, buğday yaprağı bölümlerinin SNP veya S-nitrosoglutatyon (GSNO) ile maruz kaldığında NR aktivitesinin belirgin şekilde farklı derecelerde azaldığını ve enzim aktivitesinin NO süpürücüsü cPTIO kullanıldığında kısmen düzeldiğini rapor etmişlerdir. Çalışmada, 10 mM SNP uygulamasıyla

NR aktivitesinin 21 saatte % 38, 500 mM SNP uygulamasıyla ise % 91 oranında azaldığını belirtmişlerdir. GSNO'nun ise NR aktivitesini sadece 3 saatte %18-%26 arasında azalttığını, inkübasyon solüsyonunun doğrudan eklendiğinde (10 veya 500 mM SNP) NR aktivitesinin hızlı şekilde ve kalıcı olarak % 90'dan daha fazla oranda azaldığını, 10 mM GSNO'nun ise inkübasyonun 30. dakikasında enzim aktivitesinde ortalama % 50 azalışa neden olduğunu bildirmişlerdir. Yapılan çalışmada, NG-monometil-L-arjinin (L-NAME) ve D-arjinin'in muamelenin 21. saatinde NR aktivitesini sırasıyla %14 ve %52 oranında artırdığı ve bu durumun içsel NOS bağlı NO formasyonunun NR aktivitesini düzenleyebileceği ifade edilmiştir. Araştırmacılar 3. veya 21. saatlerde 10 mM ya da 100 mM SNP'nin NR protein ifadesini etkilemediğini, tirozinin nitrasyonun NR proteininde belirlenmediğini bildirmişlerdir.

Masoumil vd. [309] yaptıkları çalışmada her iki yılda 4 tekrarlı ve rastgele parsellenmiş arazi kurarak soya fasulyesinde su eksikliği stresine karşı oluşabilecek yanıtları araştırmışlardır. Yaptıkları çalışmanın sonuçlarına göre su eksikliği stresinin süperoksit dismutaz (SOD), katalaz (CAT) ve glutatyon peroksidaz (GPX) gibi antioksidanların içeriğinde önemli bir artış sağladığını bildirmişlerdir.

Zhang vd. [310] düşük ışık altındaki salatalık (*Cucumis sativus* cv. Jinchun no. 4) yapraklarında dışsal olarak uyguladıkları hidrojen peroksit (H_2O_2)'in antioksidan enzim aktivitesi ve lipid peroksidasyonu üzerine etkilerini araştırmışlardır. Bu amaçla 12 saat süreyle 1.5 mM H_2O_2 ile muamele ettikleri salatalık fidelerini $100 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ düşük ışık yoğunluğunu altında 144 saat süreyle yetiştirmişlerdir. Düşük ışığın süperoksit radikali, içsel H_2O_2 ve MDA miktarlarında, SOD, GSH-Px, APX, monodehidroaskorbat redüktaz (MDHAR), glutatyon redüktaz (GR), indirgenmiş glutatyon (GSH) ve askorbat (AsA) gibi bazı antioksidan enzim aktivitelerinde de artış sağladığını belirtmişlerdir. Bunun yanında 12 saat süreyle H_2O_2 uygulamasının ciddi stres oluşturduğunu ve APX aktivitesini artırdığını saptamışlardır. H_2O_2 ile ön uygulama yapılan fidelerin düşük ışığa 144 saat süreyle maruz bırakıldıklarında SOD, CAT, GSH-Px, APX, dehidroaskorbat redüktaz (DHAR), MDHAR, GR aktivitelerinde ve AsA ve GSH içeriğinde artış olduğunu bildirmişlerdir. Dışsal uygulanan H_2O_2 ve düşük ışık kombinasyonunun içsel H_2O_2 , süperoksit radikali ve MDA seviyelerinde azalmaya neden olduğunu bildirmişlerdir. Bu sonuçlardan dışsal H_2O_2 uygulamasının antioksidanların aktivitesini etkileyebileceğini ve lipid peroksidasyonunu azaltabileceğini, böylece düşük ışık stresinin etkisini azaltabileceğini rapor etmişlerdir.

Ishibashi vd. [282] fasulye bitkilerinde H_2O_2 uygulamasının kuraklık stresinin etkilerini azaltabileceğini bildirmiştir. Bu amaçla fasulye bitkisinin yapraklarına H_2O_2

püskürterek kuraklık stresine karşı etkisini incelemişlerdir. Araştırmacılar, yapraklara H_2O_2 ön uygulaması yapılan bitkilerde distile su ile uygulama yapılanlara göre kuraklık stresinin neden olduğu yaprakta sararmanın engellendiğini belirtmişlerdir. Ayrıca, kuraklık stresi etkisindeki bitkilerde belirlenen oransal su içeriğinin de H_2O_2 ön uygulaması yapılan bitkilerde distile su uygulaması yapılanlara göre daha yüksek olduğunu saptamışlardır. Benzer şekilde fotosentetik parametreler ile oligosakkaritlerin miktarının da H_2O_2 ön uygulaması yapılan bitkilerde distile su uygulaması yapılanlara göre daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir. Bunun yanında D-myo-inositol 3-fosfat sentaz 2 (GmMIPS2)'nin mRNA miktarlarında ve galaktinol sentaz (GoIS) enziminde H_2O_2 ön uygulaması yapılan bitkilerde distile su uygulaması yapılanlara göre artış olduğunu bildirmişlerdir. Bu sonuçlardan fasulye bitkisinin yapraklarına hidrojen peroksit püskürtmesinin kuraklık stresine karşı dayanıklılığı artırıcı etki yaptığını, oligosakkarit biyosentezinin artması ile yaprak oransal su içeriğinin arttığı rapor edilmiştir.

Sirova vd. [311] bitki tohumlarından salınan, dormansi ve çimlenme periyotlarını kontrol eden etilen, gibberellik asit (GA) ve absisik asit (ABA)'in sinyal yolu ile NO uyartının ilişkilerini açıklamaya çalışmışlardır. Tohumun gelişim aşaması süresince bitki ontogenezinin başlangıcında NO ROT arasında ilişki olduğunu ve bitki polen hidrasyonu, çimlenme, tüp gelişimi, polen oluşumu gibi mekanizmalarda da NO ve ROT arasında sıkı bir ilişkinin olduğunu bildirmişlerdir. Polende, NO ile ROT ve Ca^{+2} , siklikadenozin mono fosfat (cAMP) ve cGMP gibi ikincil mesajcılar arasındaki etkileşimin NO uyartının yaygın mekanizmasını gösterdiğini belirtmişlerdir.

Ferreira vd. [312] yaptıkları çalışmada soya fasulyesinde laktopen tarafından oluşturulan oksidatif strese karşı nitrik oksit donörü sodyum nitroprussid (SNP) ile ön muamelenin koruyucu rolünü araştırmışlardır. Çalışmanın amacına uygun olarak soya fasulyesi laktopen ile uygulama yapılmadan önce SNP ile ön muameleye tabi tutulmuşlardır. Araştırmacılar, lipoperoksidazların ve klorofil pigmentlerinin miktarları ile glutatyon S-transferaz (GST), SOD, CAT ve peroksidaz (POD) gibi antioksidan enzimlerin aktivitelerini ölçmüşler ve lipid peroksidasyonunun tamamen önlenememesine rağmen NO'nun ROT üretimiyle mücadele edebildiğini, fotosentetik pigment yıkımını önlediğini bunların sonucunda da bitkileri oksidatif stres şartlarına karşı koruyucu rolleri olan SOD, CAT ve POD enzimlerinin kullanılabilir substratlarını azalttığını bildirmişlerdir.

Xu vd. [313] çayır otunun 2 varyetesinin (Arid3 ve Houndog5) yapraklarında ışığın yüksek miktarlarınca oluşturulan oksidatif hasar üzerine NO'nun etkilerini araştırmışlardır. Çalışmada kullanılan materyallerden Houndog5'in yapraklarının Arid3'e göre yüksek ışık

stresine karşı daha duyarlı olduğu rapor edilmiştir. Stres şartlarına maruz bırakmadan önce yapraklar NO donörü olan sodyum nitroprussid (SNP) ile muamele edilmiş ve sonuç olarak malondialdehit, hidrojen peroksit ve süperoksit radikallerinin içeriğinde azalma olduğu tespit edilmiştir. Yüksek ışık stresi altındaki iki varyetede de SNP varlığında süperoksit dismutaz (SOD), katalaz (CAT), askorbat peroksidaz (APX) ve glutatyon redüktaz (GR) aktivitelerinde artış, lipoksigenaz aktivitesinin ise inhibe olduğu saptanmıştır. Çalışmada bu yanıtların NO süpürücüsü PTIO)muamelesiyle tersinebileceği belirtilmiştir. Işığa toleranslı Arid3 varyetesinde yüksek ışık stresine maruz kaldıktan sonra nitrik oksit sentaz (NOS) aktivitesinde ve NO salınımında belirgin bir artış, daha duyarlı olan Houndog5 varyetesinde ise çok düşük miktarda artış olduğu bildirilmiştir. NOS inhibitörü N^o-nitro-L-arginin (LNNA) ile ön muamelenin ise oksidatif hasarda artışa neden olduğu, bunun sonucunda Arid3'te Houndog5'ten daha fazla zarar oluştuğunu bildirmişlerdir. Bu sonuçlardan yüksek ışık stresinin NOS aktivitesinde artış sağladığı ve bununda NO'yu artırdığı rapor edilmiştir. Ayrıca NO'nun bir sinyal molekülü olarak antioksidan enzimlerin aktivitesini artırıcı şekilde etki edebileceği ve yüksek ışık stresinin neden olduğu yaralanmalara karşı daha fazla koruma sağlayabileceği de ileri sürülmüştür.

Wang vd. [314] yaptıkları çalışmada su altı bitkisi *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle üzerinde yarım gün ile 4 gün süreyle 25-400 µM dışsal SNP uygulamasının etkilerini araştırmışlardır. Araştırmada bitki gelişimindeki değişimler ile malondialdehit (MDA), toplam klorofil ve hidrojen peroksit (H₂O₂) içeriklerindeki değişimler incelenmiştir. Çalışma sonucunda 25–100 µM SNP uygulamasının bitki gelişimi ile toplam klorofil içeriğinde artış sağladığı H₂O₂ miktarında ise azalışa neden olduğu belirlenmiştir. 200–400 µM SNP uygulamasında ise H₂O₂ ve MDA içeriğinde artış ve toplam klorofil içeriğinde ise azalma meydana geldiği rapor edilmiştir. Katalaz ve peroksidaz enzim aktivitelerinin ise 25–400 µM SNP uygulamasında azaldığı, süperoksit dismutaz aktivitesinin ise 25–50 µM SNP uygulamasında baskılandığı da bildirilmiştir. Çalışma sonucuna göre 25–100 µM SNP uygulamasının bitki gelişimini artırdığı ve oksidatif stresi hafiflettiği, 200–400 µM SNP uygulamasının ise oksidatif stresi artırdığı bildirilmiştir. Araştırmacılar bu sonuçlardan nitrik oksidin *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle'da reaktif oksijen türleri mekanizması ve bitki gelişmesi üzerine ikili etki yaptığını rapor etmişlerdir.

Basu vd. [315] pirinçte yaptıkları çalışmada IR-29 (tuza duyarlı), Pokkali (tuza dayanıklı) ve Pusa Basmati (PB) çeşitlerini, PEG (6000) kullanarak oluşturdukları kuraklık stresi koşullarında yetiştirmişler, stres sonunda yapraklarda SOD, CAT ve GPX enzim aktivitelerini belirlemişlerdir. Çalışma sonucunda PB ve IR-29 çeşitlerinde SOD ve CAT

aktiviteleri azalma gösterirken, Pokkali çeşidinde herhangi bir değişim meydana gelmediği, GPX aktivitesinin ise tüm çeşitlerde artış gösterdiği bildirilmiştir. Ayrıca IR-29 çeşidinde oksidatif zararın daha fazla olduğu, Pokkali çeşidinde ise enzim aktivitelerinin diğer çeşitlere nazaran daha yüksek olduğu ve bu şekilde tuza tolerans seviyesinin de arttığı rapor edilmiştir.

Sanchez-Rodriguez vd. [316] kuraklık stresinin domateste, bitki gelişimi ve yaprak oransal su içeriğinin olumsuz etkilediğini, stres ile birlikte yaprak dokularında malondialdehit (MDA) miktarında artış meydana geldiğini bildirmişlerdir. Araştırmacılar, stres koşullarında GR, APX ve CAT enzim aktivitelerinin artış gösterdiğini saptamışlardır.

Wang vd. [317] yaptıkları çalışmada nitrik oksidin mitokondriyal respirasyondaki rolünü yabancı *Arabidopsis* ile *Atnoa1* mutantında araştırmışlardır. Yabancı *Arabidopsis* kalluslarının uzun süreli SNP'ye maruz kalmasının hem sitokrom hem de alternatif yollarda mitokondriyal respirasyonu artırdığını, *Atnoa1* kalluslarında sitokrom ve alternatif yolların kapasitesinin yabancı tipe göre daha düşük olduğunu bildirmişlerdir. Çalışmada yabancı tip *Arabidopsis* ve *Atnoa1* kalluslarında nitrik oksidin mitokondriyal respirasyon zincir proteinlerini kodlayan genlerin miktarında artış sağladığı, NADH-ubikinon redüktazın 75 kDa'lık alt ünitesindeki protein ifadesi kadar ve alternatif oksidazdaki protein ifadesinin yarısı kadar artırdığını belirtilmiştir. Nitrik oksit süpürücüsü PTIO'nun her iki örnekte de NO'nun etkilerini inhibe ettiği saptanmıştır. Kallusların guanilat siklaz inhibitörü olan 1H-[1,2,4]oksadiazol[4,3-a]quinoksalin-1-one (ODQ) ile tekrar inkübe edilmenin NO etkilerini durdurduğu da bildirilmiştir. Membranlardan geçen cGMP analogu 8Br-cGMP'nin NO etkilerini taklit ettiği, gen transkripsiyonunda, protein ifadesinde ve oksijen tüketiminde alternatif yolun sitokrom yoluna göre hücresel cGMP değişimine karşı daha duyarlı olduğu da bildirilmiştir. Araştırmacılar bu sonuçlar ışığında NO'nun cGMP'ye bağlı olarak, *Arabidopsis*'te hem sitokrom hem de alternatif yollarda mitokondriyal respirasyonu artırıcı etkisinin bulunabileceği sonucuna varmışlardır.

Arasimowicz-Jelonek vd. [318] yaptıkları çalışmada salatalık bitkisinin köklerinde su eksikliğinin nitrik oksit (NO) üretimi üzerine etkilerini araştırmışlardır. Bu amaçla bitkinin köklerine 5–10 saat süreyle orta şiddette su eksikliği, 17 saat süreyle de kuvvetli stres şartları uygulanmıştır. Araştırmada orta şiddette uygulanan stres sonucunda kökün uzama bölgesi çevresinde NO miktarında kısmen artış olduğu, kuvvetli kuraklık stresinde ise uzama bölgesi içerisinde ve üzerinde yoğun şekilde NO miktarında artış olduğu bildirilmiştir. Araştırmacılar su eksikliği teşvikli NO üretiminin özel NO süpürücüsü olan 2-(4-karboksifenil)-4,4,5,5-tetrametilimidazolin-1-oksil-3-oksid (cPTIO), NR ve NOS inhibitörleri tarafından engellendiğini ileri sürmüşlerdir. Çalışmada salatalık bitkisinin kök dokularının su eksikliğine

uyum yanıtlarında NO kapasitesinin anlaşılması için farmakolojik bir yaklaşım kullanılmıştır. Dehidrasyon aşaması süresince ölçülen oransal su içeriğinde ve bitki hidrasyon durumunda NO vericilerinin ön uygulaması arasında pozitif bir korelasyon bulunduğu bildirilmiştir. Araştırmacılar erken kuraklık stresi şartları süresince NO'nun lipit peroksidasyonunun zamana bağlı artışıyla lipoksigenaz aktivitesindeki periyodik artış arasında korelasyon sağladığı, ciddi kuraklık stresi şartlarında eksojen NO'nun lipoksigenaz aktivitesinde azalma sağladığı, kuraklık teşvikli membran geçirgenliğini ve lipit peroksidasyonun etkilerini düzelttiğini belirtmişlerdir. Bunların sonucunda NO'nun şiddetli su eksikliğinin etkilerini azalttığını ve doku dehidrasyonunun başlangıç safhasında bitkinin korunmasına yardımcı olduğunu ileri sürmüşlerdir.

He vd. [319] H_2O_2 ile ön muamele yapılan buğday tohumlarının kuraklığa dayanıklılığını araştırmışlardır. Araştırmacılar, PEG ile oluşturulan kuraklık stresi şartları altında H_2O_2 ile ön muamele yapılan tohumların su ile muamele yapılanlara nazaran %56 fazla çimlenme oranına sahip olduklarını bildirmişlerdir. H_2O_2 uygulanmış olan filizlerin kontrol grubuna göre daha düşük gelişme gösterdiği ve bunun nedeni ise içsel antioksidan sistemleri olduğu rapor edilmiştir. Çalışmada bu filizlerin yüksek fotosentez oranına, yaprak alanına ve kuru ağırlığa sahip oldukları saptanmıştır. Bunun yanında H_2O_2 uygulamasının, su kullanım verimliliğini ve prolin miktarını artırdığı belirtilmiştir. H_2O_2 ön muamelesinin membran stabilitesini geliştirdiği, membran hasar oranında ve MDA içeriğinde azalma sağladığı belirtilmiştir. Filizlerde, CAT ve APX gibi antioksidan enzimlerin ifadesinde artış saptanmıştır. Çalışmanın ardından H_2O_2 'nin stres şartları altında antioksidan enzimlerin aktivasyonunu tetiklediği böylece oksidatif hasarın hafifletildiği ve kuraklık şartları altında filizlerin fizyolojik davranışlarını iyileştirdiği rapor edilmiştir.

Zaefyzadeh vd. [320] yaptıkları bir çalışmada; İran ve Azerbaycan'daki kuraklık ve normal şartlar altındaki 13 makarnalık buğday ırklarındaki SOD aktivitesini araştırmışlardır. Çalışmada, kuraklık stresinin SOD, klorofil içerik indeksi (CCI) ve klorofil parçalanması üzerine etkileri araştırılmıştır. Araştırmacılar, SOD ve CCI içeriği bakımından genotipler ve genotip çevre etkileşimi arasında önemli farklılıklar olduğunu belirtmiştir. SOD ve CCI için strese tolerans indeksi, dirençli ve duyarlı ırkları farklı gruplarda sınıflandırmayı sağladığı böylece bu iki karakterin, kuraklığa dirençli bitki materyallerini belirlemek için bir ayırma kriteri olarak kullanılabileceği sonucu rapor edilmiştir.

Yaşar vd. [95] tuz stresinin karpuz (*Citrullus lanatus* (Thunb.) Mansf.) yapraklarındaki antioksidatif enzim aktiviteleri (SOD, CAT, APX ve GR) üzerine etkisini belirlemek için yaptıkları çalışmada; tuza duyarlı Golden Crown F1, Crimson Sweet ile tuza-

tolerant Diyarbakır ve Midyat yerel genotipinin fideleri kontrollü iklim odasında su kültüründe test etmişlerdir. Fidelerde 4–5 gerçek yaprak oluştuktan sonra, 10 günlük süreyle 100 mM NaCl stresine maruz bırakılmıştır. Tuz uygulanan parsellerde, tuza dayanıklılık genotiplerin SOD, CAT, APX ve GR enzim aktivitelerinin duyarlı olanlara göre çok yüksek olduğu saptanmıştır. Midyat yerel genotipi SOD, CAT ve GR enzim aktiviteleri; Diyarbakır genotipi ise APX enzim aktivitesi bakımından diğerlerine göre daha yüksek bulunmuştur. Ayrıca kontroldeki (0 mM NaCl) Midyat yerel genotipi fidelerinin yaprak SOD, APX ve GR enzim aktivitelerinin, tuzlu ortamda kültüre alınan duyarlı genotiplerden fazla olduğu saptanmıştır. Elde edilen bulgulara göre antioksidan enzim aktivitelerinin tuza dayanıklılık üzerinde etkili olduğu; tuzlu koşullarda kültüre alınan karpuz genotiplerinin antioksidatif enzim sistemlerini duyarlı çeşitlere göre çok daha aktif kullandıkları belirlenmiştir.

Tanou vd. [321] tarafından yapılan çalışmada 150 mM NaCl ile 16 gün boyunca uygulama yapılan ve yapılmayan narenciye bitkisinin köklerinin, 8 saat süreyle 10 mM H₂O₂ ve 48 saat süreyle 100 µM SNP uygulamasına bağlı olarak bitkinin yapraklarındaki birincil antioksidan savunma yanıtları araştırılmıştır. Çalışmada NaCl ile stres oluşturulmamış şartlarda SOD, CAT, APX ve GR aktivitelerinde ve bunlarla ilgili izoformların ifadesinde artış olduğu rapor edilmiştir. Tuzlulukla beraber gerçek enzim aktivitelerinin H₂O₂ veya SNP'ye yanıt olarak yeniden düzenlendiği bildirilmiştir. Çalışmada tuz stresinin her iki grupta da indirgenmiş askorbat düzeyinde azalmaya neden olduğu sonucuna varılmıştır. Normal şartlarda ve NaCl stres şartlarında, indirgenmiş glutatyon düzeyinin ise SNP tarafından artırıldığı belirtilmiştir. Araştırmada gerçek zamanlı nitrik oksit üretiminin vasküler dokularda ve epidermal hücrelerde olduğu saptanmıştır.

Wang vd. [322] tarafından yapılan farklı bir çalışmada; alfaalfa bitkisinin (*Medicago sativa* L.) çevresel strese uyumunun anlaşılabilmesi amacıyla çimlenme süresince uygulanan tuzluluk ve kuraklık stresinin, bitkinin kök ve gövdesindeki CAT, APX, POD ve SOD gibi antioksidan enzimlerin aktivitelerine etkileri araştırılmıştır. Araştırmacılar %35 polietilen glikol (PEG) veya 200 mM NaCl uygulamalarında 6 alfaalfa varyetesinin çimlenme oranını karşılaştırmalı olarak çalışmışlardır. Çalışmada Xinmu No.1 varyetesi strese dayanıklı, Northstar varyetesi ise strese duyarlı olarak belirlenmiştir. NaCl veya PEG uygulamasından sonra Xinmu No.1 varyetesinin Northstra varyetesine göre yüksek düzeyde fide gelişimi sergilediği saptanmıştır. Xinmu No.1 çeşidinin daha düşük seviyelerde H₂O₂ ve MDA içeriğine sahip olduğu da belirtilmiştir. Ayrıca, Xinmu No.1'in daha yüksek antioksidan enzim aktivitesine sahip olduğu belirtilmiştir.

Moussa ve Abdel-Aziz [323] tarafından yapılan çalışmada; kuraklığa dayanıklı Giza 2 ve duyarlı olan Trihybrid 321 mısır genotipleri, ozmotik potansiyelleri 0, -5, -10 ve -20 bar olacak şekilde PEG solüsyonu kullanılarak oluşturulan kuraklık stresi ortamında 21 gün süre ile yetiştirilmiştir. Stres sonucu dayanıklı olan Giza 2 genotipinde MDA ve H₂O₂ birikiminin azaldığı, SOD, CAT ve POX enzim aktivitelerinin ise kuraklık stresi koşullarında arttığı saptanmıştır. Çalışmada, Giza 2 genotipi en yüksek su tutma kapasitesine sahip olan genotip olarak Trihybrid 321 genotipi ise membran hasarlarının en yüksek olduğu genotip olarak belirlenmiştir. Araştırmacılar Giza 2'nin stres arttıkça organik bileşiklerinin sentezini artırarak ozmotik dengeyi sağlamaya çalıştığını rapor etmişlerdir.

Bitkilerdeki antioksidanlar zengin redoks tamponu ve önemli redoks sinyal bileşenleridir. Bu antioksidanlar biyomembran ile ilişkili kısımlarla etkileşim halindedirler. Yüksek bitkilerde oksijenli hayatın bir sonucu olarak reaktif oksijen türevleri moleküler oksijenin redüksiyonu ile oluşmaktadır. Enzimatik ve enzimatik olmayan antioksidanlar yüksek bitkileri oksidatif hasara karşı korurlar ve reaktif oksijen türevleri ile mücadele ederler. Bunun yanında antioksidanlar bitki gelişimi ve büyümesinde mitozdan hücre genişlemesine, senesenceye ölümüne kadar birçok aşamada rol alırlar. Daha önemlisi biyotik ve abiyotik stres şartlarında savunma ve hayatta kalmanın sürdürülebilmesinde gen ifadelerinin düzenlenmesi ve hücrel redoks durumunda önemli bilgiler sağlarlar [324].

Xue ve Liu [325] yaptıkları tuz stresinin enzim aktiviteleri üzerindeki etkilerinin araştırıldığı bir çalışmada; tuza dayanıklı Dafeg ve tuz stresine duyarlı olduğu belirlenen Wuxi enginar çeşitlerini kullanmışlardır. Dafeg çeşidinin tuz stresi koşullarında SOD, CAT ve POD enzim aktivitelerinin kontrol bitkilerine ve Wuxi çeşidine oranla daha yüksek olduğu belirlenmiştir. MDA miktarının her iki çeşitte de artış göstermesine rağmen duyarlı olan Wuxi çeşidinde bu artışın daha belirgin gerçekleştiği belirtilmiştir. Araştırmacılar enginarda tuza dayanıklı olan çeşitlerin antioksidan enzim aktivitelerini artırarak reaktif oksijen türevlerine karşı kendilerini korumuş olabileceklerini rapor etmişlerdir.

Zhao vd. [326] yaptıkları çalışmada PEG-6000 ile oluşturulan ozmotik stres şartları altında bataklık kamış bitkisi kültür süspansiyonu, kısmen dayanıklı olan kumul kamış kültür süspansiyonu ile kıyaslandığı zaman yüksek miktarda iyon sızıntısı, membran lipidlerinde ve proteinlerinde yüksek oksidatif hasar gösterdiği saptanmıştır. Bataklık kamışı ekotipinde SNP ile yapılan muamelenin PEG'in neden olduğu iyon sızıntısı, tiyobarbiturik asit reaktif maddeleri (TBARS) ve karbonil içerikleri gibi durumları düzeltici etki yaptığı saptanmıştır. Ozmotik stres altındaki her iki kültürde de SNP varlığında H₂O₂ ve O₂⁻ seviyesinin azaldığı, SOD, CAT ve APX gibi antioksidan enzimlerin aktivitesinde artış meydana geldiği,

lipoksigenaz aktivitesinin ise inhibe edildiği bildirilmiştir. NO, oksit süpürücüsü olan PTIO'nun, SNP'nin aracılık ettiği korunmayı bloke ettiği belirtilmiştir. Tek başına PEG uygulaması ile kıyaslandığı zaman PTIO tarafından içsel NO'nun tüketilmesi kumul kamış ekotipinde şiddetli genişlemiş oksidatif hasara yol açarken bataklık kamışı ekotipinde bir etkisinin olmadığı saptanmıştır. Çalışmada NO üretiminin ozmotik stres altında stabil tutulan bataklık kamışı ekotipinin aksine kumul kamış ekotipinde belirgin şekilde arttığı bulunmuştur.

Tan vd. [327] yaptıkları çalışmada; SNP ve cPTIO kullanarak dışsal NO'nun ozmotik stres uygulanmış buğday filizlerinde oksidatif hasarı azaltmasını, prolin birikimini hızlandırmasını ve yapraklardaki fotosentez artışını araştırmışlardır. Buğday filizleri %15 PEG içeren hoagland solüsyonu ile %15 PEG yanında 0.03 mmol/L SNP, %15 PEG yanında 0.03 mmol/L SNP ve 0.5 mmol/L cPTIO içeren solüsyonlar ile 24 saat muamele edilmiştir. Çalışmada, ozmotik stresin buğday yapraklarında SOD ve CAT aktivitesinde azalmaya neden olduğu, süperoksit üretiminde artış sağladığı saptanmıştır. Bu durumun ise lipid peroksidasyonunda artışa ve fotosentezde düşüşe neden olduğu bildirilmiştir. SNP uygulamasının ise SOD ve CAT aktivitesini düzeltirken, süperoksit miktarında artırıcı ve lipid peroksidasyonunu inhibe edici etki yaptığı bildirilmiştir. Ozmotik stres altında uygulanan SNP'nin yaprak su kaybının azalmasına, yüksek oransal su içeriğine ve artmış prolin içeriğine neden olduğu belirtilmiştir. Bunun yanında SNP'nin bu etkilerinin cPTIO ile tersine çevrildiği sonucuna varılmıştır. Sonuçlardan NO'nun buğday yapraklarında ozmotik stresin neden olduğu spesifik hasarları engellediği rapor edilmiştir.

Sang vd. [328] çalışmalarında; su stresi altındaki mısır bitkisi yapraklarında nitrik oksit üretim kaynaklarının, su stresinin neden olduğu hidrojen peroksit birikiminde ve antioksidan enzimlerin subelular aktivitelerinde nitrik oksidin rolünü araştırmışlardır. Çalışmada su stresinin savunmayı teşvik ettiği ve mısır mezofil hücrelerinde nitrik oksit üretiminin, sitozolik ve mikrozomal bölümlerde ise NOS aktivitesinin arttığı saptanmıştır. Su stresinin sonucunda meydana gelen nitrik oksit üretimindeki bu artışın NOS ve NR inhibitörleri ile ön muamele yapılmasıyla bloke edildiği, bu sebeple su stresi altındaki mısır yapraklarında nitrik oksit üretiminin, NOS ve NR'den kaynaklandığının düşünüldüğü belirtilmiştir. Su stresinin aynı zamanda kloroplastik ve sitozolik antioksidan enzimlerin (süperoksit dismutaz, askorbat peroksidaz, glutatyon redüktaz) aktivitelerini artırdığı, bu durumun da NOS ve NR inhibitörleri ile ön muamele yapılarak tersine çevrildiği bildirilmiştir. Aynı çalışmada, dışsal olarak uygulanan nitrik oksidin, su stresinin neden olduğu subelular antioksidan enzimlerin aktivitelerini artırdığı ve hidrojen peroksit birikimini azalttığı görülmüştür. Bu sonuçlardan NOS ve NR'nin su stresinin neden olduğu nitrik oksit

üretimiyle ilişkili oldukları sonucuna varılmıştır. Araştırmacılar, ayrıca nitrik oksidin hidrojen peroksitle mücadele yeteneğinin, kısmen de olsa subselular antioksidan enzim savunmasının etkisiyle olabileceğini bildirmişlerdir.

Simova-Stoilova vd. [329] dört kışlık buğday varyetesinin yapraklarında farklı alanlardaki kuraklık dayanıklılıklarını, tohum aşamasından itibaren 7 gün boyunca susuz bırakarak ve ardından tekrar sulama yaparak araştırmışlardır. Çalışmada kuraklık şiddetine yanıt olarak elektrolit sızıntısında 3 kat artış ve prolin birikiminde keskin bir azalış olduğunu saptamışlardır. Düşük stres şartlarında hidrojen peroksit içeriği ve katalaz aktivitesinin korunduğu bildirilmiştir. Araştırmacılar peroksidaz aktivitesinin artarken süperoksit dismutaz aktivitesinin ise çok az değiştiğini belirtmişlerdir. Askorbat içeriği ve düşük moleküllü tiyollerin ciddi kuraklık şartları altında azaldığı ve şartlar eski haline döndüğünde tekrar arttıkları saptanmıştır. MDA miktarının kuraklık uygulanmış bitkilerde çok fazla değişmediğini ancak geri sulamadan sonra arttığını bildirmişlerdir. Peroksidaz aktivitesinin azalırken katalaz aktivitesinin iyileştirici etkisinin arttığını, SOD'un 3, katalazın 1 ve peroksidazın da 3 izoformunun ortaya çıktığını bildirmişlerdir. Prolin birikiminin kuraklık stresinde baskın bir role sahip olduğunu belirtmişlerdir. Araştırmacılar, erken gelişim aşamalarında, antioksidan yanıtlar ile kuraklık hassasiyeti veya toleransında varyetelerde önemli bir ilişki bulunmadığını rapor etmişlerdir.

Lei vd. [330] buğday tohumlarının prolin metabolizması ve büyümesi üzerine SNP ön uygulamasının ve ozmotik stresin etkileri araştırmıştır. Çalışmada PEG-6000 uygulaması 2, 4 ve 6 gün hafif, orta ve şiddetli stres olarak uygulanmıştır. Çalışmada oransal su içeriğinde azalma olduğu belirlenmiştir. Şiddetli ozmotik stres şartlarının gelişme ve fotosentetik verimlilikte önemli ölçüde azalmaya yol açarken prolin sentezinin aktivasyonu yolu ile prolin içeriğinde artışa neden olduğu rapor edilmiştir. 0.2 mM SNP ön uygulamasının buğday filizlerinin büyümesini geliştirdiği, F_v/F_m oranını artırırken prolin içeriğini azalttığı görülmüştür. Bununla birlikte 2 mM SNP'nin filiz büyümesini ve klorofil a'nın ışıklanmasını geciktirirken prolin birikimini artırdığı da belirtilmiştir. Bulgulardan NO'nun ozmotik stresin düzenlenmesinde konsantrasyona bağlı olarak etki ettiği belirtilmiştir.

Khanna-Chopra ve Selote [331] tarafından yapılan bir çalışmada; iki buğday varyetesinin yapraklarında oksidatif stres kontrolünün ortaya çıkarılması amaçlanmıştır. Bunun için kuraklığa dayanıklı olarak C306 ve kuraklığa duyarlı olarak da Moti çeşitleri kullanılmıştır. Çalışmada örnekler doğrudan kuraklık stresine tabi tutulmuştur. Bunun yanında geri sulamayla kuraklığa alıştırma şeklinde de uygulama yapılmıştır. Hafif kuraklık stresi durumunda C306'nın gelişiminin Moti'den daha iyi olduğu rapor edilmiştir. Kuvvetli stres

koşulları süresince kuraklığa alıştırılan C306 bitkilerinin kuraklığa alıştırmaya yapılmayan C306 bitkilerine göre daha iyi su içeriğine sahip oldukları ve düşük miktarda hidrojen peroksit birikiminden dolayı membran zararının daha az olduğu bildirilmiştir. Bu durumun özellikle APX ve POX gibi antioksidan enzimlerin aktivitelerinden kaynaklandığı belirtilmiştir. Moti bitkilerinde ise düşük turgor, yüksek hidrojen peroksit ve zayıf antioksidan enzim yanıtları gözlemlendiği de saptanmıştır. Buna bağlı olarak da ciddi su stresi şartlarında yüksek miktarda membran zararları olduğu bildirilmiştir. Araştırmacılar bu sonuçlardan kuraklık toleransında genotipik farklılıkların, su eksikliği şartlarına bitkilerin uyumu ve antioksidan savunmayı teşvik edebileceğini rapor etmişlerdir.

Shi vd. [332] tarafından yapılan farklı bir çalışmada; dışsal SNP'nin mitokondrideki ROT metabolizması ile plazma membranı ve tonoplasttaki fonksiyonları 100 μ M NaCl ile muamele edilmiş salatalık köklerinde çalışılmıştır. NaCl uygulamasının mitokondride önemli derecede H_2O_2 birikimini teşvik ettiği ve yoğun lipid peroksidasyonuna neden olduğu belirtilmiştir. 50 μ M SNP uygulanması ile ROT ile mücadele eden enzimlerin uyarıldığı ve H_2O_2 birikiminin azaltıldığı aynı çalışmada saptanmıştır.

Song vd. [333] tahıl, pamuk ve meyve üretim alanlarında yabancı otların kontrolü için yaygın şekilde kullanılan klorotoluron'un oluşturduğu toksik etki sonucu meydana gelen oksidatif stresin etkilerini buğday bitkilerinde araştırmışlardır. Bu amaçla buğday bitkileri 0-25 mg/kg klorotoluron konsantrasyonu içeren topraklarda yetiştirilmiştir. Klorotoluron toplanmasının dışsal klorotoluron içeriğiyle doğru orantılı olduğu ancak bitki gelişimiyle ters orantılı olduğu belirtilmiştir. Klorotoluron ile muamelenin yapraklarda O_2^- ve H_2O_2 birikimini teşvik ettiği ve bitkinin plazma membran lipidlerinde peroksidasyona yol açtığı saptanmıştır. İçsel prolin içeriğinin klorotolurona maruz kalmış kök ve yapraklarda oldukça uyarılmış olduğu belirtilmiştir. Herbiside biyokimyasal cevabın anlaşılması için SOD, POD, CAT ve APX gibi antioksidan enzimlerin aktiviteleri araştırılmıştır. SOD aktivitesinin analizleri poliakrilamid jel elektroforezinde yapılmış olup kök ve yapraklarda 3 farklı izoformunun bulunduğu ancak dokulardaki izoformların farklı yapı gösterdikleri bildirilmiştir. POD'un yapraklarda 10, köklerde 6 izoformunun bulunduğu, APX'in aktivitesinin kök ve yapraklarda benzer olduğu, CAT'ın aktivitesinin ise baskılandığı rapor edilmiştir.

Terzi ve Kadioğlu [334] *Ctenanthe setosa* (Rosc.)'nın yaprak, petiyol ve köklerinde yaprak kıvrılması süresince antioksidan enzim sisteminin kuraklık toleransı ile ilişkisini araştırmıştır. Çalışmada klorofil ve karetonoid içeriği ile klorofil kararlılık verisi kuraklık stresinin erken dönemlerinde azalırken, uzun dönemde arttığı saptanmıştır. Oransal su içeriğinin azaldığı, kök-gövde oranının ise arttığı tespit edilmiştir. Çalışmada, lipid

peroksidasyonunun da arttığı, aynı kuraklık şartlarında klorofil pigment içeriğine göre ise azaldığı bildirilmiştir. Yapraklardaki SOD enzim aktivitesinin önemli bir değişim göstermediği, petiyol ve kökte ise kuraklığın erken dönemlerinde azaldığı, uzun dönemde ise arttığı belirtilmiştir. Kontrol ile kıyaslandığında glutatyon redüktaz aktivitesinin yaprak ve petiyolde önemli bir değişiklik göstermediği ancak kökte arttığı, peroksidaz aktivitesinin ise kökte azalırken yaprak ve petiyolde arttığı bildirilmiştir. Çalışmalarının sonucunda kuraklık stresi ile antioksidan enzim sisteminin yakından ilişkili olduğunu belirtmişlerdir.

Tian ve Lei [335] tarafından yapılan farklı bir çalışmada; buğday filizlerinde polietilen glikol ile farklı periyotlarda oluşturulan kuraklık stresi üzerine nitrik oksit vericisi olan sodyum nitroprussidin etkileri araştırılmıştır. Çalışmada % 15'lik PEG konsantrasyonu kullanılmış ve 2. gün hafif, 4. gün orta ve 6. gün ise şiddetli stres olarak tanımlanmıştır. Kuraklık stresinin H₂O₂ birikimi ile lipit peroksidasyonunda artışa neden olduğu bildirilmiştir. SOD, CAT ve L-fenilalanin amonia liyaz (PAL) aktivitelerinin ise hafif stres şartları altında arttığı şiddetli stres şartlarında ise azaldığı belirtilmiştir. 0.2 mM SNP uygulamasının ise filizlerin gelişimini artırdığı ve yüksek oranda su içeriği sağladığı saptanmıştır. Araştırmacılar 0.2 mM SNP eklenmesiyle oksidatif hasarın azaltıldığını da bildirmiştir. Bunun yanında 2 mM SNP uygulamasının ise reaktif oksijen türlerinin üretiminin kontrol edilememesi sonucunda stres şartlarını artırdığı ve antioksidan savunma sisteminin etkisiz olduğu saptanmıştır.

Araştırmacılar PEG tarafından oluşturulan stres şartlarında *Spathiphyllum* (Barış Çiçeği) bitkisinin içine yerleştirilen ve alıştırılan dağ ginseng kök ekstraktlarının doku kültürünün (TCGM) olası antioksidan aktivitesini araştırmışlardır. Bitkilere %0 PEG, %10 PEG ve TCMG (Ginseng) ile %10 PEG ile 10 ve 20 gün süreyle uygulama yapılmıştır. TCMG kök ekstraktı eklenmiş ve thiobarbutirik asit reaktif maddeleri (TBARS), H₂O₂ ve antioksidan enzimler PEG tarafından oluşturulan stres şartlarında Barış çiçeğinde ölçülmüştür. PEG uygulanmış bitkilerde TBARS'ın birikiminin etkisiyle CAT, GR, GPx ve glutatyon S-transferaz (GST) aktivitelerindeki inhibisyonun oksidatif stresi ortaya çıkardığı bildirilmiştir. TCMG kök ekstraktı eklenmiş kuraklık stresi şartlarındaki Barış çiçeği yapraklarında SOD, APX, guaiakol peroksidaz (G-POD), GPx aktivitelerindeki önemli artışın ise TCMG kök ekstraktlarının stres şartlarını azalttığı şeklinde yorumlanmıştır. PEG uygulanmış bitkilerde fotosentetik verimlilikte azalma olduğu, net CO₂ taşınımı, stomatal geçirgenlik, terleme oranı, oransal su içeriği ve yaprak ozmotik potansiyelinin PEG uygulanan bitkide düştüğü saptanmıştır. Bunun yanında bu parametrelerin PEG ile beraber TCMG (Ginseng) kök ekstraktını içeren bitkilerde iyi bir şekilde korunduğu bildirilmiştir [336].

Türkan vd. [104] tarafından yapılan çalışmada, polietilen glikol (PEG) ile oluşturulan stres ortamında bitki gelişmesindeki değişim, oransal su içeriği, stomatal geçirgenlik, lipid peroksidasyonu, prolin ve antioksidan sistem tolerans ilişkisi kuraklığa duyarlı *P. vulgaris* L. ile kuraklığa dayanıklı *P. acutifoliusta* araştırılmıştır. Su stresinin başlatılması için 35 günlük fasulye filizleri -0.40 MPa ozmotik potansiyel altında PEG-6000 ile 14 gün muamele edilmiştir. Vejetatif gelişmenin *P. vulgaris*'te daha az olduğu gözlenmiştir. Kök ve gövde kuru ağırlığında ise *P. vulgaris*'te azalma saptanmıştır. *P. acutifolius* bitkisindeki oransal su içeriğinde herhangi bir değişiklik olmazken *P. vulgaris*'te azalma olduğu görülmüştür. *P. acutifolius*'ta *P. vulgaris*'ten daha kararlı stomatal geçirgenlik olduğu bulunmuştur. Yine *P. acutifolius*'taki lipid peroksidasyon seviyesi *P. vulgaris*'ten düşük bulunmuştur. SOD, CAT, APOX ve POXs gibi enzimlerin aktivitelerinin *P. acutifolius*'ta *P. vulgaris*'ten daha yüksek olduğu ve SOD, APOX ve GR aktivitesinin ise su stresi şartlarında arttığı saptanmıştır.

Kolbert vd. [337] yaptıkları çalışmada; *Pisum sativum* L. ve *Triticum aestivum*'un köklerinde ozmotik stres şartları altında doku, zaman ve konsantrasyona bağlı olarak nitrik oksit üretimini araştırmıştır. Çalışmada aynı zamanda *Petroselinum crispum* L. bitkisinde kuraklık stresi altında aynı parametreler de çalışılmıştır. Buğday ve bezelye bitkisindeki ozmotik stres polietilen glikolün besin çözeltisine eklenmesiyle, kuraklık stresi ise sudan mahrum bırakarak gerçekleştirilmiştir. Nitrik oksit, 4,5-diaminofluorescein-diacetate (DAF-2DA) tarafından Zeiss Axiowert 200 M floresan mikroskobu kullanılarak belirlenmiştir. Araştırmada nitrat redüktaz aktivitesindeki değişimlerde belirlenmiştir. Araştırma sonuçlarına göre nitrik oksit üretiminin ozmotik konsantrasyonla orantılı olarak arttığı saptanmıştır. Yine şiddetli kuraklık durumunda da benzer sonuca varılmıştır. Araştırmacılar nitrik oksit üretim yerlerinin buğday ve bezelyede meristematik ve uzama bölgeleri ile kök şapkasında olduğunu bildirmişlerdir. Maydanoz köklerinde ise ekzodermis ile merkezi silindirde çok yoğun şekilde nitrik oksit birikimi olduğunu belirtmişlerdir. Bezelye ve buğdayda kısa süreli ve kalıcı olmayan nitrik oksit üretimi olduğunu ve bunun nedeninin enzimatik olmayan sebeplerden, kalıcı artışın ise enzimatik reaksiyonlardan kaynaklanabileceği belirtilmiştir. Çalışmanın sonucunda; nitrik oksidin ozmotik ve kuraklık stresi şartlarında bir sinyal molekülü olarak rol oynadığı bildirilmiştir.

Neto vd. [338] tuza duyarlı mısır genotipinin kök ve yapraklarında tuz stresi uyumunda dışsal uygulanan hidrojen peroksidin bitki gelişimi, lipid peroksidasyonu ve antioksidan enzim aktiviteleri üzerine etkilerini araştırmıştır. 2 gün boyunca 1 μ M H₂O₂'nin hidroponik solüsyonu ile ön muamele edilen bitkide, ilerleyen zamanda oluşturulan tuz stresi süresince tuz toleransına karşı bir artış olduğu belirtilmiştir. Bu durum bitki gelişimi, lipid

peroksidasyonu ve antioksidan enzim aktivitesinin ölçülmesi ile kanıtlanmıştır. Çalışmada tuzluluk şartlarına uyum sağlamış ve sağlamamış bitkilerin kök ve yapraklarındaki antioksidan enzimlerde (süperoksit dismutaz, askorbat peroksidaz, katalaz, glutatyon redüktaz, guaiakol peroksidaz) ve lipid peroksidasyonundaki varyasyonların mısırın tuzluluk uyumunda hidrojen peroksidin bir sinyal molekülü olabileceği ifade edilmiştir.

Xu ve Zhao [339] *Triticum aestivum* L. (buğday), *Malaxis monophyllos* L. (orkide) ve *Aloe vera* L. (aloe) bitkilerinin yapraklarında NO içeriğini araştırmıştır. Araştırmacılar yaptıkları çalışmada, ısıtma veya mikrodalga uygulaması ile NO içeriğinin % 90 azaldığını bildirmiştir. Bu sonuçtan, NO'nun enzimatik olarak üretildiği belirtilmiştir. Molibden eksikliğinde yetiştirilen buğday fidelerinde NR aktivitesi ve NO içeriğinin sırasıyla %74 ve %56 oranında olduğu saptanmıştır. Buğday filizi ekstraktlarında sodyum tungstat'ın NR aktivitesini neredeyse tamamen inhibe ettiği ve NO içeriğini yaklaşık % 90 oranında düşürdüğü rapor edilmiştir. Kontrol grubu buğday fidelerinde NR gen ifadesinin KNO₃ ve ışık gibi faktörlerle etkileşiminin NR aktivitesini %30 civarında, NO içeriğini ise % 20 civarında azalttığı, bu sonuçlara göre buğday filizlerinde NO'nun, NR'nda rol oynadığı mekanizma ile üretildiği sonucunun düşünüldüğü bildirilmiştir. Hasattan hemen önce 10 saat süreyle karanlıkta NaNO₂ ile muamele edilen buğday filizlerinde NO içeriğinin arttığı ancak ısıtma veya mikrodalga uygulaması ile muamele edildiğinde ise belirgin şekilde düştüğü belirtilmiştir.

Zhang vd. [340] tarafından yapılan çalışmada *Triticum aestivum* L. (buğday) tohumlarında reaktif oksijen türlerinin (ROT) çimlenme ve metabolizma üzerine SNP'nin etkileri araştırılmıştır. Çalışmada ozmotik stres altındaki çimlenme süresince buğday tohumlarının çimlenmesinin, radikula ve plumulanın genişlemesinin SNP tarafından belirgin şekilde artırıldığı rapor edilmiştir. Ozmotik stresin ardından tohumların yaşamsal faaliyetlerinin devam ettiği, CAT ve APX aktiviteleri ile prolin içeriğinin SNP muamelesi ile arttığı, lipoksigenaz (LOX) aktivitesinin ise azaldığı ve bu her iki durumun ozmotik stres şartları altında çimlenen buğday tohumlarının çimlenmesi süresince antioksidan kapasitenin güçlendirilmesine katkıda bulunduğu da rapor edilmiştir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Deney Materyali

Çalışmada kullanılacak kuraklığa dayanıklı ve duyarlı buğday (*Triticum aestivum* L.) bitkisi tohumları Tarımsal Araştırma Enstitülerinden istenmiştir. Yapılan çimlenme ve kuraklık uygulamaları ön çalışmalarının ardından Doğu Anadolu Tarımsal Araştırma Enstitüsünden temin edilen tohumların kullanılmasına karar verilmiştir. Çalışmamızda; kuraklığa dayanıklı olarak Doğu-88 çeşidinin ve duyarlı olarak Yıldırım çeşidinin tohumları kullanılmıştır.

3.2. Çalışmada Kullanılan Kültür Çözeltisi

Bu çalışmada esas kültür çözeltisi olarak, Hoagland kültür çözeltisi kullanılmıştır. Hoagland kültür çözeltisinin bileşimi Hoagland ve Arnon [341]'a göre hazırlanmıştır (Çizelge 3.1).

Çizelge 3.1. Hoagland kültür çözeltisinin bileşimi [341]

Makro elementler	g/L
$\text{Ca}(\text{NO})_3 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	0.821
KNO_3	0.506
KH_2PO_4	0.136
$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	0.120
Mikro elementler	mg/L
$\text{C}_6\text{H}_5\text{FeO}_7 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (Ferrik sitrat)	50.00
$\text{MnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	1.47
H_3BO_3	2.90
ZnCl_2	0.12
CuCl	0.03

Hazırlanan kültür çözeltisinin pH'sı 5.6–5.8 olarak uygun miktarda KOH ile ayarlanmıştır.

3.3. Deneysel Koşullar

Çimlenme ve büyütme devresini kapsayan tüm çalışmalar bitki büyütme odasında kontrollü koşullar altında yapılmıştır. Bitki büyütme odasındaki aydınlatma şiddeti bitki

yaprak yüzeyinde 222 $\mu\text{mol/m}^2\text{s}$ 'dir. Aydınlatma şiddetinin %90'ı floresans lamba, %10'u inkandescent lamba ile sağlanmıştır.

3.4. Bitkilerin Yetiştirilmesi

3.4.1. Tohum Çimlendirme Yöntemi

Tohumlar 24 saat süreyle saf su içerisinde şişmeye bırakılmıştır. Şişme sırasında tohumlar akvaryum pompasına bağlanan havalandırma sistemi ile havalandırılmıştır. Uygulamalar için çimlenme ortamı olarak perlit bulunan saksılar içinde 24 °C sıcaklıkta 16 saat aydınlık, 8 saat karanlık, % 60–70 nemli ortamda, 2 hafta bitki büyütme odasında yetiştirilmiştir.

3.4.2. Kuraklığa En Hassas ve En Dayanıklı Buğday Çeşidinin Belirlenmesi

Kuraklığa en duyarlı ve dayanıklı Buğday çeşidini belirlemek için, çimlenmeyi takip eden 15. gün % 5, % 10, % 15 ve % 20'lik polietilen glikol ile 10 gün boyunca uygulama yapılmıştır. Yapılan bu çalışma ile bitkide gözlemlenen yaprak kıvrılması, yaprak renginde değişim, turgor kaybı gibi değişimler göz önünde bulundurularak kuraklığa en duyarlı çeşidin Yıldırım, en dayanıklı çeşidin ise Doğu-88 olduğu tespit edilmiştir.

3.4.3. Polietilen Glikol 6000 (PEG 6000) Konsantrasyonunun Belirlenmesi

Uygulama yapılmadan önce kuraklığa duyarlı ve dayanıklı bitkiler farklı konsantrasyonlarda (% 5, % 10, % 15, % 20) polietilen glikol 6000 (PEG 6000) içeren ortamda denemeler yapılarak bitkilerin dayanabildiği maksimum konsantrasyon saptanmıştır. % 10'luk (v/v) PEG konsantrasyonunun uygulama dozu olarak kullanılabileceği tespit edilmiştir.

3.4.4. Kuraklık ve Diğer Uygulamaların Yapılması

Kuraklık şartlarının sağlanabilmesi için sudan yoksun bırakılarak PEG6000 uygulaması yapılmıştır. Her iki örnek grupta da ayrı ayrı hem kuraklık hem de kontrol grubu kurulmuştur. Kontrol grubu bitkiler deney sonuna kadar Hoagland kültür çözeltisi ile sulanmıştır. Dışsal sodyum nitroprussid (SNP) ve hidrojen peroksit (H_2O_2) kuraklık stresi uygulanan ve uygulanmayan gruplara kullanılmıştır. SNP ve H_2O_2 'nin 10, 100 ve 1000 μM konsantrasyonları ile uygulama yapılmıştır. Uygulamalar 6 gün sürdürülmüştür. Gruplardan 2 gün aralıklarla analiz için örnekler alınmıştır.

Dayanıklı ve duyarlı buğday bitkilerinde deney grupları; Kontrol (Hoagland kültür çözeltisi), Kontrol + H_2O_2 , Kontrol + SNP, PEG 6000, PEG 6000 + H_2O_2 , PEG 6000 + SNP şeklinde oluşturulmuştur.

3.5. Analizler

3.5.1. Örneklerin Alınması

Bitkilerden rastgele alınan yeterli miktardaki örnekler alüminyum folyoya sarılarak hızla sıvı azot içerisinde dondurulmuştur. Ardından derin dondurucuda (-40 C°) yapılacak olan analizler için saklanmıştır.

3.5.2. Yapılan Analizler

Çalışmada alınan kök ve yaprak örneklerinden; nitrik oksit düzeyi, nitrik oksit sentaz aktivitesi, cGMP düzeyi, toplam çözünebilir protein miktarı, MDA içeriği, oransal su içeriği, katalaz, süperoksit dismutaz, glutatyon peroksidaz enzim aktiviteleri ve hidrojen peroksit içeriği analizleri yapılmıştır.

3.5.2.1. Kök ve Yaprak Dokularında Nitrik Oksit (NO) Düzeyinin Belirlenmesi

Yaprak ve kök dokularında NO düzeyleri Mata ve Lamattina [30]'ya göre belirlenmiştir. 1 g bitki dokusu (yaprak ve kök) tartılarak 4 mL sodyumfosfat (pH=7.2) tamponunda homojenize edilmiştir. Homojenatlar ependorf tüplerine alınarak ilk önce +4°C'de 13.000 g'de 15 dakika santrifüj edilmiş, elde edilen süpernatantlar +4°C'de 30.000 g'de 10 dakika daha santrifüj edilmiştir (OLE DICH Instrument makers APS Microcentrifuge 157 MP). Santrifüj işleminden sonra elde edilen süpernatantların absorbans değerleri Cayman Chem. NO ölçüm kiti (Katalog no. 780001) kullanılarak mikrolaka okuyucu (Molecular Devices Corp., Versamax®) ile 550 nm'de belirlenmiştir. Nitrik oksit düzeyleri, nitrik oksit standart eğrisi kullanılarak absorbans değerlerinden hesaplanmıştır.

3.5.2.2. Kök ve Yaprak Dokularında Nitrik Oksit Sentaz (NOS) Aktivitelerinin Belirlenmesi

NOS aktivitesi Guo vd. [36]'ne göre nitrik oksit sentaz ölçüm kiti kullanılarak yapılmıştır. Araştırmacılardan farklı olarak kolorimetrik metot kullanılarak NOS aktivite tayini yapılmıştır. Bunun için Oxford Biyomedikal'in NOS ölçüm kiti kullanılmıştır (katalog no. NB78). Örnekler 4 °C'de, 12.500 g'de 5 dakika santrifüj edildikten sonra elde edilen süpernatantların absorbans değerleri mikrolaka okuyucu (Molecular Devices Corp., Versamax®) ile 540 nm'de belirlenmiştir [342]. Nitrik oksit sentaz aktiviteleri nitrik oksit sentaz standart eğrisi kullanılarak absorbans değerlerinden hesaplanmıştır.

3.5.2.3. Kök ve Yaprak Dokularında cGMP Düzeylerinin Belirlenmesi

Hücrel cGMP çözümleri guanilil siklaz ve partikülat guanilil siklaz enzimi aracılığı ile sentezlenir ve sentez işlemini nitrik oksit tetikler. Ölçüm işleminde Hu vd. [343] tarafından bildirildiği şekilde cGMP ölçüm kiti kullanılmıştır. Bu amaçla Cayman Chem. cGMP ölçüm kiti (Katalog no. 581021) kullanılmıştır. Donmuş dokulardan alınan 1 gr örnek 5–10 ml %5

trikloroasetik asit (TCA) içerisinde politron tip homojenizatör kullanılarak buz üzerinde homojenize edilmiştir. Ardından homojenat 1.500 x g'de 10 dakika boyunca santrifüj edilmiştir. 1 hacim süpernatantın üzerine 5 hacim eter eklenerek 10 dakika süreyle karıştırıldıktan sonra oluşan organik ve sulu fazın ayrılması sağlanmıştır. Bu işlem 2 kez tekrarlanmıştır. Sulu fazda kalan eterin tamamen ortamdan uzaklaştırılması için örnekler 70 °C'de 5 dakika süreyle muamele edilmiştir. Ölçüm, santrifüj sonrası hücre süpernatantlarında yapılmıştır. Ardından 405-420 nm dalga boyu arasında absorbans değerleri mikropilok okuyucu (Molecular Devices Corp., Versamax®) ile ölçülmüştür.

3.5.2.4. Kök ve Yaprak Örneklerinde Toplam Çözünabilir Protein Miktarının Belirlenmesi

Buğday kök ve yaprak dokularındaki toplam çözünabilir protein miktar tayini Bradford [344] yöntemine göre yapılmıştır. Bu yöntemde standart protein olarak BSA (Bovine Serum Albumin) ve kör olarak deiyonize su kullanılmıştır. Standart eğri hazırlanarak, toplam çözünabilir protein ölçümü aşağıdaki sıraya göre yapılmıştır. Yaprak ve kök dokularından 1'er gr tartılarak 4 mL sodyum-fosfat tamponunda (pH=7.2) Kinematik Polytron homojenizatör kullanılarak homojenize edilmiştir. Homojenizasyon işlemini takiben homojenatlar ependorf tüplerine alınmış ve 3000 rpm'de +4°C'de 10 dakika santrifüj edilerek süpernatantlar elde edilmiştir. Elde edilen süpernatantlara Bradford boya çözeltisi pipetlenerek 595 nm'de absorbans değerleri belirlenmiştir. Belirlenen absorbans değerlerinden standart ölçümler kullanılarak toplam çözünabilir protein miktarı belirlenmiştir.

3.5.2.5. Kök ve Yaprak Dokularında Malondialdehit İçeriğinin Belirlenmesi

Malondialdehit ölçümü için; örneklerden 1 gr alındıktan sonra üzerine % 0,6'lık 1 ml TBA çözeltisi, %20'lik 1 ml TCA çözeltisi, 1 ml %4'lük HCl ile 1 ml distile su ilave edilerek vortekslenmiştir. Daha sonra 95 °C'de 60 dakika inkübasyona bırakılmıştır. Reaksiyon sonucu oluşan pembe renk 3 ml n-bütanol ile ekstrakte edilmiştir. Santrifüj edilen örneklerin süpernatant kısmın absorbansı kör karşı 532 nm dalga boyunda spektrofotometrede saptanmıştır. Standart olarak 1,1,3,3-Tetraethoxypropane (TEP) kullanılmıştır ve okunan değerler kalibrasyon eğrisine göre hesaplanmıştır. Sonuçlar nmol/ml olarak verilmiştir [345].

3.5.2.6. Kök ve Yaprak Dokularında Süperoksit Dismutaz Enzim Aktivitesinin Belirlenmesi

Stres altında oluşan süperoksit radikalleri nitroblue tetrazolium (NBT) ile reaksiyona girerek mavi renkli formazon oluşumuna neden olur. Ortamda süperoksit dismutaz varlığında formazon oluşumu inhibe edilir. Renk oluşumu ile enzim konsantrasyonu arasında ters orantı bulunmaktadır. Süperoksit dismutaz enziminin aktivitesinin belirlenmesinde Sairam vd. [141]

tarafından belirtilen yöntem, modifiye edilerek kullanılmıştır. Buna göre; elde edilen ekstraksiyon sıvısından alınan örnek üzerine 1'er mL. substrat tamponu ve katalizör eklenmiştir. 15 W'lık ışık kaynağı altında 15 dakika bekletilen karışım 560nm dalga boyunda spektrofotometrik olarak ölçülmüştür [141]. 1 ünite süperoksit dismutaz %50'lik NBT inhibisyonu meydana getiren enzim miktarıdır. Enzim aktivitesi; enzim ünitesi mg/protein olarak hesaplanmıştır.

3.5.2.7. Kök ve Yaprak Dokularında Katalaz Enzim Aktivitesinin Belirlenmesi

Hidrojen peroksit (H_2O_2) ultraviyole spektrumunda absorpsiyon veren bir maddedir. Maksimum absorbansı 240 nm'de vermektedir. Deney ortamına ilave edilen hidrojen peroksidin katalaz tarafından su ve oksijene parçalanması 240 nm'de absorbans azalması ile kendini gösterir. Absorbansta meydana gelen azalış katalaz aktivitesi ile doğru orantılıdır. Katalaz aktivitesinin belirlenmesinde pH'sı 7 olan fosfat tamponuna 30 mM H_2O_2 eklenerek elde edilen hidrojen peroksitli fosfat tamponu kullanılmıştır [346]. Ekstraksiyon üst sıvısından alınan 2 mL örnek üzerine 1 mL hidrojen peroksitli fosfat tamponu eklenerek 240 nm'de H_2O_2 konsantrasyonundaki azalışa göre spektrofotometre ile ölçüm yapılmıştır. Ölçüm 15 saniye aralıklarla 90 saniye boyunca yapılmıştır.

3.5.2.8. Kök ve Yaprak Dokularında Glutasyon Peroksidaz Enzim Aktivitesinin Belirlenmesi

Glutasyon peroksidaz (GSH-Px), redükte glutasyonu kullanarak hidrojen peroksidi suya parçalayan reaksiyonu katalizleyen bir enzimdir. Reaksiyonun sonunda redükte glutasyon okside forma dönüşür. Yeni bir H_2O_2 'nin suya katalizi için de okside glutasyonun redükte forma dönüşmesi gereklidir. Bu işlem ise ortamda redükte NADP varlığında glutasyon peroksidaz tarafından gerçekleştirilmektedir. Bu işlem sırasında redükte NADP okside forma dönüşürken okside glutasyon da redükte forma dönüşür. Redükte NADP 340 nm'de maksimum absorbans veren bir maddedir. Glutasyon redüktaz aktivitesi devam ettikçe redükte NADP okside forma dönüştüğü için absorbans azalması meydana gelecektir. 340 nm'de ölçülen bu azalış da enzim aktivitesi ile doğru orantılıdır. Deneyin yapılışında; 50 mg GSH, 65 mg NaN_3 , 5 mg NADPH 1'er mL. pH'sı 7 olan 50 mM fosfat tamponunda çözülmüştür. Bunlar kullanımdan hemen önce hazırlanmıştır. GSH redüktaz enzimi deney ortamına ilave edilmiştir. Fosfat tamponu ile 50 mM H_2O_2 çözeltisi, saf su ile 3.2 M amonyum sülfat çözeltisi hazırlanmıştır. 2.65 mL fosfat tamponunun üzerine 0,1'er mL. redükte GSH ile NADPH, 0,01'er mL. GSH redüktaz, NaN_3 ve amonyum sülfat çözeltisi, 0.02mL örnek eklenmiştir. İyice karıştırılan tüpler oda sıcaklığında yarım saat inkübe edilmiştir. İnkübasyon sonunda 0.1 mL H_2O_2 tüplere eklenmiştir. 340 nm dalga boyunda

spektrofotometrik olarak 5 dakika süreyle absorbans azalması takip edilmiştir. Son absorbans değerinden ilk absorbans değeri çıkarılarak 5 dakikalık net değişim hesaplanmıştır. Elde edilen sonucun 5'e bölünmesiyle de 1 dakikada meydana gelen absorbans değeri bulunmuştur [347].

Aktivite; U/L= dakikadaki absorbans değişiminin 24115 ile çarpılmasıyla hesaplanmıştır.

3.5.2.9. Kök ve Yaprak Dokularında Oransal Su İçeriğinin Belirlenmesi

Kök ve yaprak dokularındaki oransal su içeriği (OSİ) Mata ve Lamattina'nın belirttiği şekilde [30] yapılmıştır. Oransal su içeriği (%)= $[(YA-KA)/(TA-KA)] \times 100$ formülü ile hesaplanmıştır. YA; yaş ağırlığı, KA; kuru ağırlığı TA; turgor ağırlığını ifade etmektedir. Yaş ağırlık; kuraklık uygulamasının hemen ardından, kuru ağırlık ise örnekler, 75 °C'de 24 saat tutulduktan sonra, turgor ağırlığı kuraklık uygulamasından 2 saat sonra örneklerdeki rehidrasyon durumundan elde edilmiştir.

3.5.2.10. Kök ve Yaprak Dokularında Hidrojen Peroksit İçeriğinin Belirlenmesi

Hidrojen peroksit içeriği kontrol ve uygulama bitkilerinin kök ve yaprak dokularında xilenol-orange metodu kullanılarak saptanmıştır. Bu yöntemde H_2O_2 asidik ortamda ferroz iyonu ile indirgenerek ferrik hale dönüştürülür ve xilenol-orange kompleksi meydana gelir. Oluşan kompleksin 560 nm dalga boyunda absorbans değerleri ölçülerek H_2O_2 içeriği g/taze doku başına μ mol olarak ifade edilmiştir [348].

3.6. İstatistiksel Analizler

Verilerin istatistik analizi için, SPSS 15.0 software programı kullanılmıştır. Kontrol grubu ile deneysel gruplar arasındaki karşılaştırma varyans analizi (ANOVA) ve LSD (Least Significant Difference) testleri kullanılarak yapılmıştır ($p \leq 0.05$). Sonuçlar ortalama $\pm$ standart hata olarak verilmiştir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

İki farklı buğday çeşidinin (*Triticum aestivum* L. cv. “Doğu-88” ve *Triticum aestivum* L. cv. “Yıldırım”) kök ve yaprak dokularında, %10 polietilen glikol (PEG) (kuraklık), sodyum nitroprussid (SNP) ve hidrojen peroksit (H_2O_2) uygulamalarına bağlı olarak, nitrik oksit (NO) düzeyi, nitrik oksit sentaz (NOS) aktivitesi, siklik guanozin monofosfat (cGMP) düzeyi, süperoksit dismutaz (SOD), katalaz (CAT) ve glutatyon peroksidaz (GSH-Px) aktiviteleri, malondialdehit (MDA) içeriği, hidrojen peroksit (H_2O_2) içeriği, oransal su içeriği (OSİ) ve toplam çözünebilir protein miktarları araştırılmıştır.

4.1. *Triticum aestivum* L. cv. “Doğu-88” ve *Triticum aestivum* L. cv. “Yıldırım” Buğday Bitkilerinin Kök Dokularında %10 PEG (Kuraklık), SNP ve H_2O_2 (10 μ M, 100 μ M ve 1000 μ M) Uygulamalarının Araştırma Parametreleri Üzerine Etkileri

4.1.1. *Triticum aestivum* L. cv. “Doğu-88” Buğday Bitkisi Kök Dokusunda Uygulama Gruplarının Nitrik Oksit (NO) Düzeyi Üzerine Etkileri

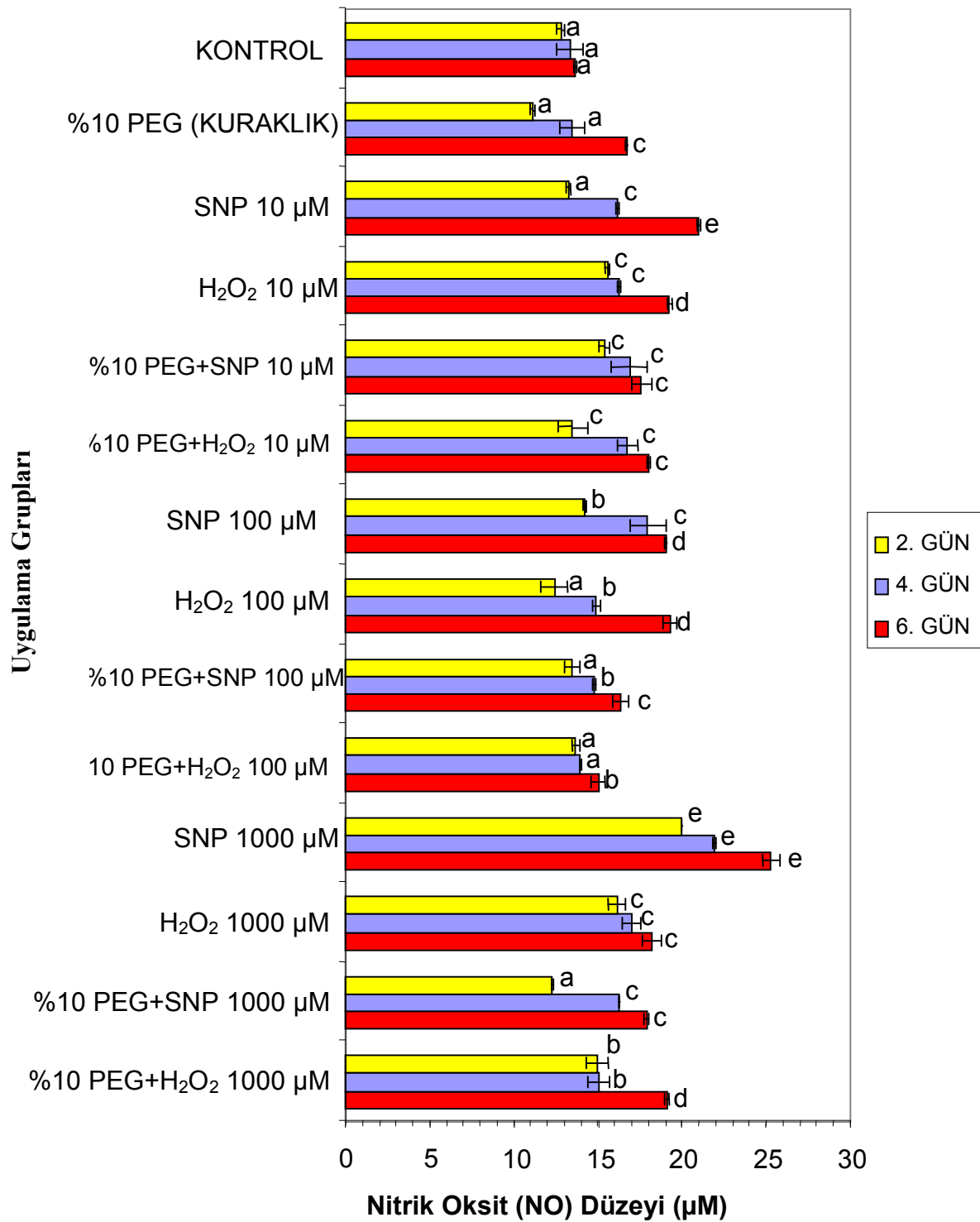
Triticum aestivum L. cv. “Doğu-88” buğday bitkisinin kök dokusunda nitrik oksit düzeyi kuraklık, SNP ve H_2O_2 uygulamalarına ve günlere göre farklılık gösterdiği saptanmıştır (Şekil 4.1).

Doğu-88 çeşidi kök dokusunda nitrik oksit düzeyinin tüm uygulamalarda günlere bağlı olarak arttığı saptanmıştır (Şekil 4.1). Kuraklık uygulamasına bağlı olarak NO düzeylerinde kontrol grubuna göre 2. günde azalma, 4. ve 6. günlerde ise artışların olduğu bulunmuştur. 6. günde en yüksek NO düzeyi 16.70 ± 0.12 μ M olarak belirlenmiştir. Yapılan istatistik analize göre, kuraklık uygulamasının her üç gününde belirlenen NO düzeyleri arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemli olduğu saptanmıştır ($p \leq 0.05$).

Doğu-88 buğday çeşidinin kök dokusunda, SNP’nin her üç konsantrasyonunun günlere bağlı olarak uygulanması sonucunda NO düzeylerinin kontrol grubuna göre arttığı ($p \leq 0.05$) ve en yüksek NO düzeyinin 1000 μ M SNP uygulamasının 6. gününde 25.30 ± 0.15 μ M olduğu belirlenmiştir. Şekil 4.1 incelendiğinde, SNP uygulamasının 10 μ M konsantrasyonunda 2. 4. ve 6. günde sırasıyla 13.26 ± 0.51 μ M, 16.16 ± 0.55 μ M ve 21.00 ± 0.58 μ M olarak belirlenen NO düzeyinin 100 μ M konsantrasyonun 2. 4. ve 6. günlerinde sırasıyla 14.20 ± 0.81 μ M, 17.96 ± 0.20 μ M ve 19.03 ± 0.43 μ M, 1000 μ M konsantrasyonda ise 2. 4. ve 6. günlerde sırasıyla 19.96 ± 0.15 μ M, 21.93 ± 0.06 μ M ve 25.30 ± 0.15 μ M olduğu görülmektedir. Yapılan istatistik analize göre, SNP uygulamasının günlere ve konsantrasyona bağlı olarak NO düzeyindeki farkların istatistiksel açıdan önemli olduğu bulunmuştur ($p \leq 0.05$). PEG+SNP uygulamasında günlere bağlı olarak NO düzeylerinde artışların olduğu saptanmıştır. Şekil 4.1 incelendiğinde, 100 μ M PEG+SNP uygulamasında NO düzeylerinin 10 μ M konsantrasyona

göre azaldığı, 1000 μM konsantrasyonda ise 10 μM konsantrasyona göre azalma ve artmanın olduğu görülmektedir. En yüksek NO düzeyi 1000 μM konsantrasyonda 6. günde 17.90 ± 0.06 μM olduğu bulunmuştur. Yapılan istatistik analize göre, PEG+SNP uygulanan grupların 2. gündeki 100 μM ve 1000 μM konsantrasyonlarında NO düzeyleri, 4. ve 6. günlerde 10 μM ile 1000 μM konsantrasyonlarındaki NO düzeylerinin birbirlerine göre önemsiz ($p > 0.05$), 100 μM konsantrasyonundaki NO düzeylerine göre ise önemli olduğu ($p \leq 0.05$) belirlenmiştir. 6. günde elde edilen NO düzeylerinin de 10 μM ile 1000 μM konsantrasyonlarında birbirine göre önemsiz ($p > 0.05$), 100 μM konsantrasyonundaki NO düzeyine göre ise önemli olduğu ($p \leq 0.05$) saptanmıştır (Şekil 4.1).

Triticum aestivum L. cv. “Doğu-88” çeşidinin kök dokusunda H_2O_2 uygulamasına bağlı olarak kontrol grubuna göre her üç konsantrasyonda ve günlere bağlı olarak, 100 μM uygulama grubunun 2. günü hariç, NO düzeylerinde artış olduğu saptanmıştır. NO düzeyleri 6. günde tüm konsantrasyonlarda diğer günlere göre artış göstermiş ancak 1000 μM konsantrasyondaki NO düzeyindeki artışın 10 μM ve 100 μM konsantrasyonlarındaki düzeylerine göre daha az olduğu belirlenmiştir. En yüksek NO düzeyi 100 μM H_2O_2 uygulamasının 6. gününde 19.30 ± 0.05 μM olarak saptanmıştır. Yapılan istatistik analize göre, H_2O_2 uygulamasında 10 μM ve 1000 μM konsantrasyonlarda 2. ve 4. günlerde, 10 μM ile 100 μM konsantrasyonda 6. günde belirlenen NO düzeyleri arasındaki farklar hariç, diğer gün ve konsantrasyonlarda belirlenen NO düzeyleri arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemli olduğu saptanmıştır ($p \leq 0.05$). PEG+ H_2O_2 uygulamasında NO düzeylerinin her üç konsantrasyonda günlere bağlı olarak arttığı saptanmıştır. 100 μM konsantrasyonda günlere bağlı olarak gözlenen NO düzeyindeki artışın 10 μM ve 1000 μM konsantrasyonda gözlenenlere göre daha az olduğu belirlenmiştir. Şekil 4.1’den görüldüğü gibi, PEG+ H_2O_2 uygulamasının 6. gününde 10 μM , 100 μM ve 1000 μM konsantrasyondaki NO düzeyleri sırasıyla 18.06 ± 0.49 , 15.00 ± 0.60 ve 19.10 ± 0.06 μM olarak saptanmıştır. En yüksek NO düzeyi ise 1000 μM konsantrasyonun 6. gününde 19.10 ± 0.06 μM olarak belirlenmiştir. Yapılan istatistik analize göre, 10 μM ve 100 μM konsantrasyonlarda 2. günde, 10 μM ile 1000 μM konsantrasyonlarda 6. günde belirlenen NO düzeyleri arasındaki farklar hariç diğer gün ve konsantrasyonlarda belirlenen NO düzeyleri arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemli olduğu bulunmuştur ($p \leq 0.05$).



Şekil 4.1. *Triticum aestivum* L. cv. “Doğu-88” buğday bitkisi kök dokusunda kuraklıkuygulama gruplarına günlere ve konsantrasyonlara bağlı olarak nitrik oksit düzeyinde meydana gelen değişimler. Sütunlardaki hata çubukları ortalama $\pm$ standart hatayı göstermektedir

4.1.2. *Triticum aestivum* L. cv. “Doğu-88” Buğday Bitkisi Kök Dokusunda Uygulama Gruplarının Nitrik Oksit Sentaz (NOS) Aktivitesi Üzerine Etkileri

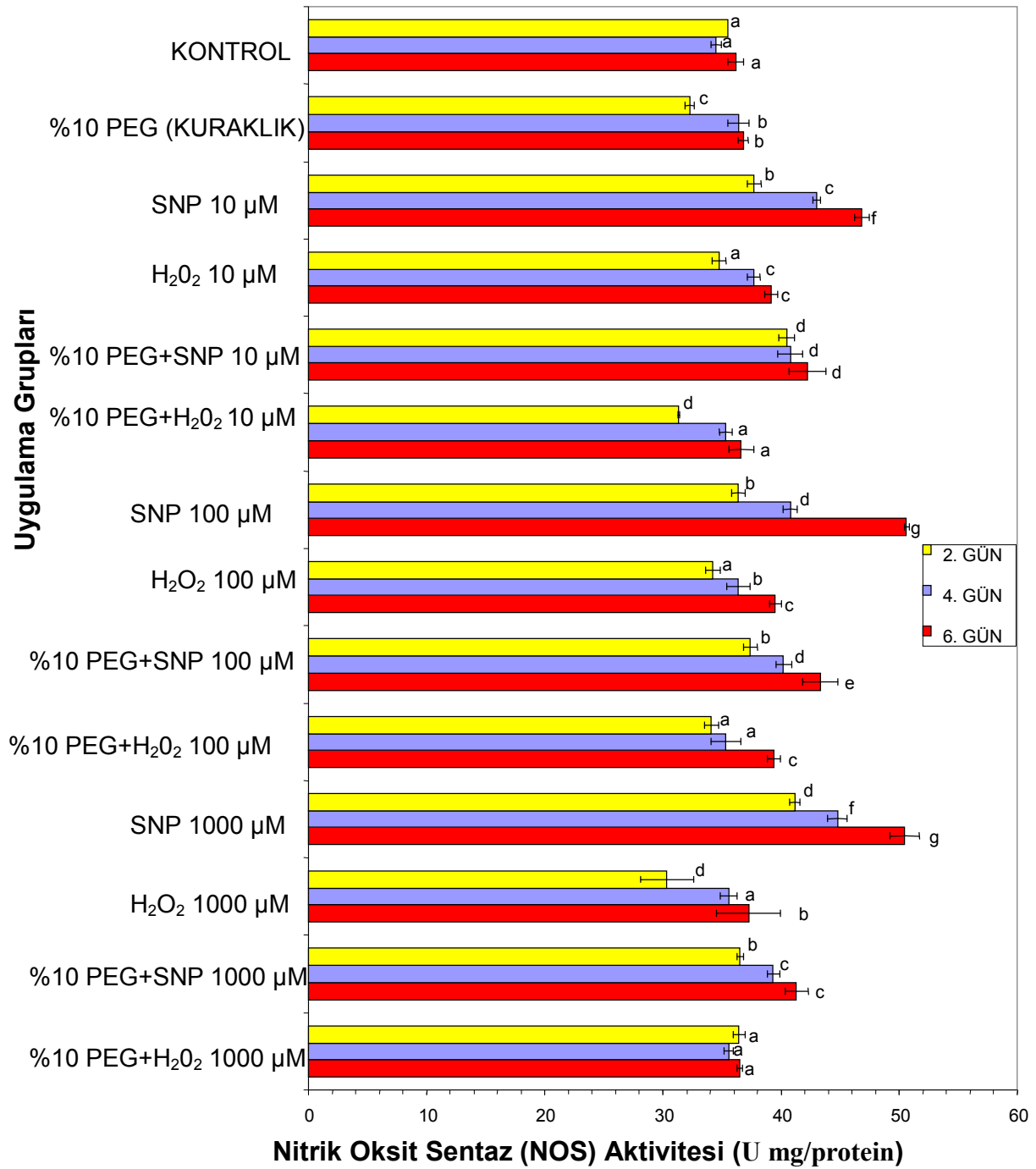
Triticum aestivum L. cv. “Doğu-88” buğday bitkisinin kök dokusunda nitrik oksit sentaz aktivitesi kuraklık, SNP ve H₂O₂ uygulamalarına ve günlere göre farklılık gösterdiği saptanmıştır (Şekil 4.2).

Doğu-88 çeşidi kök dokusunda nitrik oksit sentaz aktivitesinin tüm uygulamalarda günlere bağlı olarak arttığı saptanmıştır (Şekil 4.2). Kuraklık uygulamasına bağlı olarak kontrol grubuyla karşılaştırıldığında NOS aktivitelerinde 2. günde azalma, 4. ve 6. günlerde ise artışların olduğu bulunmuştur.

Şekil 4.2 incelendiğinde, SNP uygulamasının her üç konsantrasyonda ve günlere bağlı olarak NOS aktivitelerinde kontrol grubuna göre artışların meydana geldiği ve bu artışların istatistiksel olarak önemli olduğu ($p \leq 0.05$) saptanmıştır. En yüksek NOS aktivitesinin 100 μ M SNP uygulamasının 6. gününde 50.62 ± 0.51 U mg/protein olduğu belirlenmiştir. Yapılan istatistik analize göre, 10 μ M ile 100 μ M SNP uygulamasının 2. gün ve 100 μ M ile 1000 μ M uygulamalarının 6. gününde NOS aktivitesi arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemsiz ($p > 0.05$), diğer gün ve konsantrasyonlar arasındaki farkların önemli ($p \leq 0.05$) olduğu saptanmıştır. PEG+SNP uygulamasında günlere bağlı olarak NOS aktivitelerinde artış olduğu saptanmıştır. Şekil 4.2 incelendiğinde, 100 μ M konsantrasyondaki NOS aktivitelerinin 10 μ M konsantrasyonda 2. ve 4. güne göre azaldığı, 6. güne göre arttığı, 1000 μ M konsantrasyonda ise 10 μ M konsantrasyona göre azalmaların olduğu, 100 μ M konsantrasyonun 6. gününde 43.33 ± 1.04 U mg/protein olarak belirlenen NOS aktivitelerinin 10 μ M ve 1000 μ M konsantrasyondakine göre yüksek olduğu görülmektedir. En yüksek NOS aktivitesinin de 100 μ M konsantrasyonun 6. gününde olduğu belirlenmiştir (43.33 ± 1.04 U mg/protein). Yapılan istatistik analize göre, PEG+SNP uygulanan grupların 2. gündeki 100 μ M ve 1000 μ M konsantrasyonlarda saptanan NOS aktiviteleri arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemsiz ($p > 0.05$), 10 μ M konsantrasyonda saptanan NOS aktivitesinin ise 100 μ M ve 1000 μ M konsantrasyonlara göre önemli ($p \leq 0.05$) olduğu bulunmuştur. 4. günde 100 μ M ile 1000 μ M uygulama gruplarında NOS aktiviteleri arasındaki farkların istatistiksel olarak önemsiz ($p > 0.05$), 10 μ M konsantrasyondaki NOS aktivitesine göre önemli ($p \leq 0.05$), 6. günde ise 100 μ M konsantrasyondaki NOS aktivitesinin 10 μ M ve 1000 μ M konsantrasyonlardaki NOS aktiviteleri arasındaki farklara göre önemli ($p \leq 0.05$) olduğu saptanmıştır.

Doğu-88 çeşidi kök dokusunda H₂O₂ uygulamasına bağlı olarak 10 μ M, 100 μ M ve 1000 μ M konsantrasyonlarının 2. günündeki NOS aktivitelerinin kontrol grubuna göre daha az olduğu, 4. ve 6. günündeki NOS aktivitelerinin ise yüksek oldukları belirlenmiştir. Ayrıca

H₂O₂ uygulamalarında günlere bağılı olarak her üç konsantrasyonda NOS aktivitelerinde artış olduğu saptanmıştır (Şekil 4.2). En yüksek NOS aktivitesi 39.49±0.21 U mg/protein olarak 100 µM H₂O₂ uygulamasının 6. gününde saptanmıştır. En düşük NOS aktivitesi ise 1000 µM H₂O₂ uygulamasının 2. gününde 30.35±0.59 U mg/protein olarak belirlenmiştir. Yapılan istatistik analize göre, 10 µM ile 100 µM konsantrasyonların 2. gündeki NOS aktiviteleri arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemsiz ($p>0.05$), 1000 µM konsantrasyona göre ise önemli olduğu ($p\leq 0.05$) 4. gün uygulamalarında 10 µM ile 100 konsantrasyonda belirlenen NOS aktiviteleri arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemsiz, 1000 µM konsantrasyona göre önemli olduğu ($p\leq 0.05$), 6. gün uygulamalarında ise 10 µM ile 100 µM konsantrasyonlarındaki NOS aktiviteleri arasındaki farkların önemsiz ($p>0.05$), 1000 µM konsantrasyona göre önemli olduğu ($p\leq 0.05$) saptanmıştır. PEG+H₂O₂ uygulamalarında NOS aktivitelerinin Şekil 4.2’de görüldüğü gibi 10 µM konsantrasyonun 2. gününde saptanan NOS aktivitesinin (31.36±0.59 U mg/protein) 100 µM ve 1000 µM konsantrasyonlarının 2. gününde saptanan NOS aktivitelerinden (sırasıyla 34.11±0.08 U mg/protein ve 36.45±0.39 U mg/protein) daha az olduğu belirlenmiştir. PEG+H₂O₂ uygulamasının 4. gününde her üç konsantrasyondaki NOS aktivitelerinin birbirine yakın olduğu 6. gün uygulamalarında ise NOS aktivitelerinde her üç konsantrasyonda (10 µM, 100 µM, 1000 µM) 4. güne göre artışların olduğu saptanmıştır. Şekil 4.2 incelendiğinde, PEG+H₂O₂ uygulamalarının 6. günündeki NOS aktivitelerinin 10 µM ile 1000 µM konsantrasyonlarında hemen hemen aynı miktarda (sırasıyla 36.60±1.49 U mg/protein ve 36.51±0.64 U mg/protein), 100 µM konsantrasyonda ise daha yüksek miktarda (39.39±1.55 U mg/protein) olduğu görülmektedir. Yapılan istatistik analize göre, PEG+H₂O₂ uygulama grubunun 2. günündeki NOS aktiviteleri arasındaki farkların her üç konsantrasyonda (10 µM, 100 µM, 1000 µM) önemli olduğu ($p\leq 0.05$) belirlenmiştir. 4. gündeki NOS aktivitelerinin her üç konsantrasyonda da önemsiz olduğu ($p>0.05$), 6. gün uygulamalarından elde edilen NOS aktiviteleri arasındaki farkın 10 µM ile 1000 µM konsantrasyonlarında önemsiz ($p>0.05$), 100 µM konsantrasyonda ise 10 µM ile 1000 µM konsantrasyonlara göre önemli ($p\leq 0.05$) olduğu saptanmıştır.



Şekil 4.2. *Triticum aestivum* L. cv. “Doğu-88” buğday bitkisi kök dokusunda uygulama gruplarına, günlere ve konsantrasyonlara bağlı olarak nitrik oksit sentaz aktivitesinde meydana gelen değişimler. Sütunlardaki hata çubukları ortalama $\pm$ standart hatayı göstermektedir

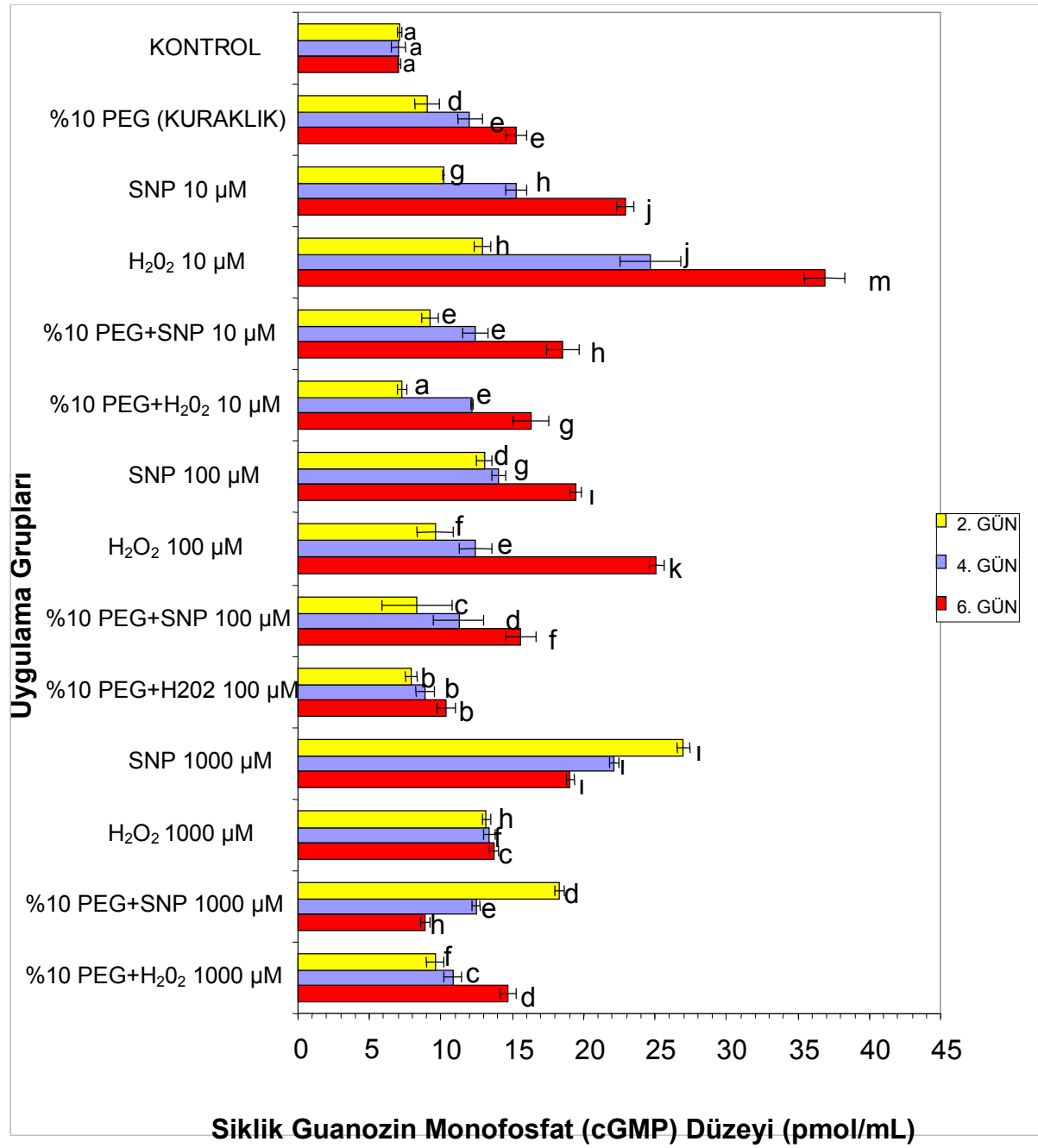
4.1.3. Doğu-88 Çeşidi Buğday Bitkisi Kök Dokusunda Uygulama Gruplarının Siklik Guanozin Monofosfat (cGMP) Düzeyi Üzerine Etkileri

T. aestivum L. cv. “Doğu-88” buğday bitkisinin kök dokusunda siklik guanozin monofosfat (cGMP) düzeyi kuraklık, SNP ve H₂O₂ uygulamalarına ve günlere göre farklılık göstermiştir (Şekil 4.3).

Şekil 4.3’ten görüldüğü gibi, Doğu-88 çeşidi kök dokusunda cGMP düzeylerinin tüm uygulama gruplarında günlere bağlı olarak arttığı saptanmıştır ($p \leq 0.05$). Kuraklık uygulamasına bağlı olarak kontrol grubuyla karşılaştırıldığında cGMP düzeylerinde 2. 4. ve 6. günlerde artışların (sırasıyla 9.04 ± 1.12 pmol/mL, 12.04 ± 0.57 pmol/mL ve 15.24 ± 1.37 pmol/mL) ($p \leq 0.05$) olduğu belirlenmiştir.

Doğu-88 çeşidi kök dokusunda SNP uygulamalarında cGMP düzeylerinin 10 μ M, 100 μ M ve 1000 μ M uygulamalarının 2. 4. ve 6. günlerinde kontrol grubuna göre arttığı ($p \leq 0.05$) belirlenmiştir. Şekil 4.3 incelendiğinde, SNP uygulamalarında konsantrasyonlara ve günlere bağlı olarak cGMP düzeylerinde artışların olduğu görülmektedir. Yapılan istatistik analize göre, 10 μ M, 100 μ M ile 1000 μ M konsantrasyonların 2. ve 6. günlerinde saptanan cGMP düzeyleri arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemli ($p \leq 0.05$) olduğu belirlenirken 10 μ M ile 100 μ M uygulamalarının 4. gününde belirlenen cGMP düzeyleri arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemsiz ($p > 0.05$), 1000 μ M uygulamasında elde edilen cGMP düzeyinin ise bunlara göre önemli olduğu belirlenmiştir ($p \leq 0.05$). PEG+SNP uygulamasının cGMP düzeyleri üzerine etkilerinin farklı olduğu Şekil 4.3’ten görülmektedir. PEG+SNP uygulamasında her üç konsantrasyonda cGMP düzeylerinin kontrol grubuna göre arttığı belirlenmiştir ($p \leq 0.05$). PEG+SNP uygulamasının 10 μ M konsantrasyonun 2. gününde 9.25 ± 1.61 pmol/mL olarak belirlenen cGMP düzeyinin 4. günde artarak 12.39 ± 0.66 pmol/mL olduğu ve 6. günde ise 18.55 ± 0.63 pmol/mL değerine ulaştığı Şekil 4.3’te görülmektedir. 10 μ M konsantrasyonun 6. gününde belirlenen cGMP düzeyinin (18.55 ± 0.63 pmol/mL) PEG+SNP uygulama grubundaki en yüksek cGMP düzeyi olduğu saptanmıştır. 100 μ M konsantrasyonun 2. 4. ve 6. günlerinde sırasıyla 8.33 ± 1.15 pmol/mL, 11.23 ± 1.18 pmol/mL ve 15.62 ± 1.15 pmol/mL olarak saptanan cGMP düzeylerinin, 1000 μ M konsantrasyonun 2. 4. ve 6. günlerinde sırasıyla 8.88 ± 0.88 pmol/mL, 12.48 ± 0.60 pmol/mL ve 18.30 ± 0.57 pmol/mL olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.3). Yapılan istatistik analize göre, 10 μ M, 100 μ M ve 1000 μ M konsantrasyonların 2. ve 4. gününde ve 10 μ M ile 1000 μ M konsantrasyonların 6. gününde belirlenen cGMP düzeyleri arasındaki farklar hariç, diğer gün ve konsantrasyonlarda belirlenen cGMP düzeyleri arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemli ($p \leq 0.05$) olduğu saptanmıştır.

Doğu-88 çeşidi kök dokusunda hidrojen peroksit (H_2O_2) uygulamalarında günlere bağlı olarak cGMP düzeylerinin arttığı saptanmıştır (Şekil 4.3). H_2O_2 uygulama gruplarında belirlenen cGMP düzeylerinin kontrol grubundaki cGMP düzeylerine göre istatistiksel açıdan önemli olduğu ($p \leq 0.05$) ve en yüksek cGMP düzeyinin 36.89 ± 0.57 pmol/mL değeriyle $10 \mu M$ H_2O_2 uygulamasının 6. gününde olduğu saptanmıştır. Yapılan istatistik analize göre, H_2O_2 uygulamalarında $10 \mu M$ ile $1000 \mu M$ konsantrasyonların 2. günü ile $100 \mu M$ ve $1000 \mu M$ konsantrasyonların 4. günü hariç, diğer gün ve konsantrasyonlarda cGMP düzeyleri arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemli ($p \leq 0.05$) oldukları saptanmıştır. PEG+ H_2O_2 uygulamalarındaki cGMP düzeylerinin de uygulama konsantrasyonlarına ve günlere bağlı olarak değişiklik gösterdiği Şekil 4.3'ten görülmektedir. $10 \mu M$ uygulamasının 2., 4. ve 6.günlerindeki cGMP düzeyleri sırasıyla 7.27 ± 1.19 pmol/mL , 12.15 ± 1.16 pmol/mL ve 16.30 ± 0.65 pmol/mL olarak saptanmıştır. $10 \mu M$ konsantrasyonun 2. gününde belirlenen cGMP düzeyinin kontrol grubuna göre daha az olduğu belirlenmiştir. Yapılan istatistik analize göre, PEG+ H_2O_2 uygulamalarında $10 \mu M$ ile $100 \mu M$ konsantrasyonların 2. günü hariç, diğer gün ve konsantrasyonlarda saptanan cGMP düzeyleri arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemli ($p \leq 0.05$) olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4.3. *Triticum aestivum* L. cv. “Doğu-88” buğday bitkisi kök dokusunda uygulama gruplarına günlere ve konsantrasyonlara bağlı olarak siklik guanozin monofosfat (cGMP) düzeyinde meydana gelen değişimler. Sütunlardaki hata çubukları ortalama $\pm$ standart hatayı göstermektedir

4.1.4. *Triticum aestivum* L. cv. “Doğu-88” Buğday Bitkisi Kök Dokusunda Uygulama Gruplarının Süperoksit Dismutaz (SOD) Enzim Aktivitesi Üzerine Etkileri

T. aestivum L. cv. “Doğu-88” buğday bitkisi kök dokusunda süperoksit dismutaz (SOD) aktivitesi, kuraklık, SNP ve H₂O₂ uygulamalarına ve günlere göre farklılık göstermiştir (Şekil 4.4).

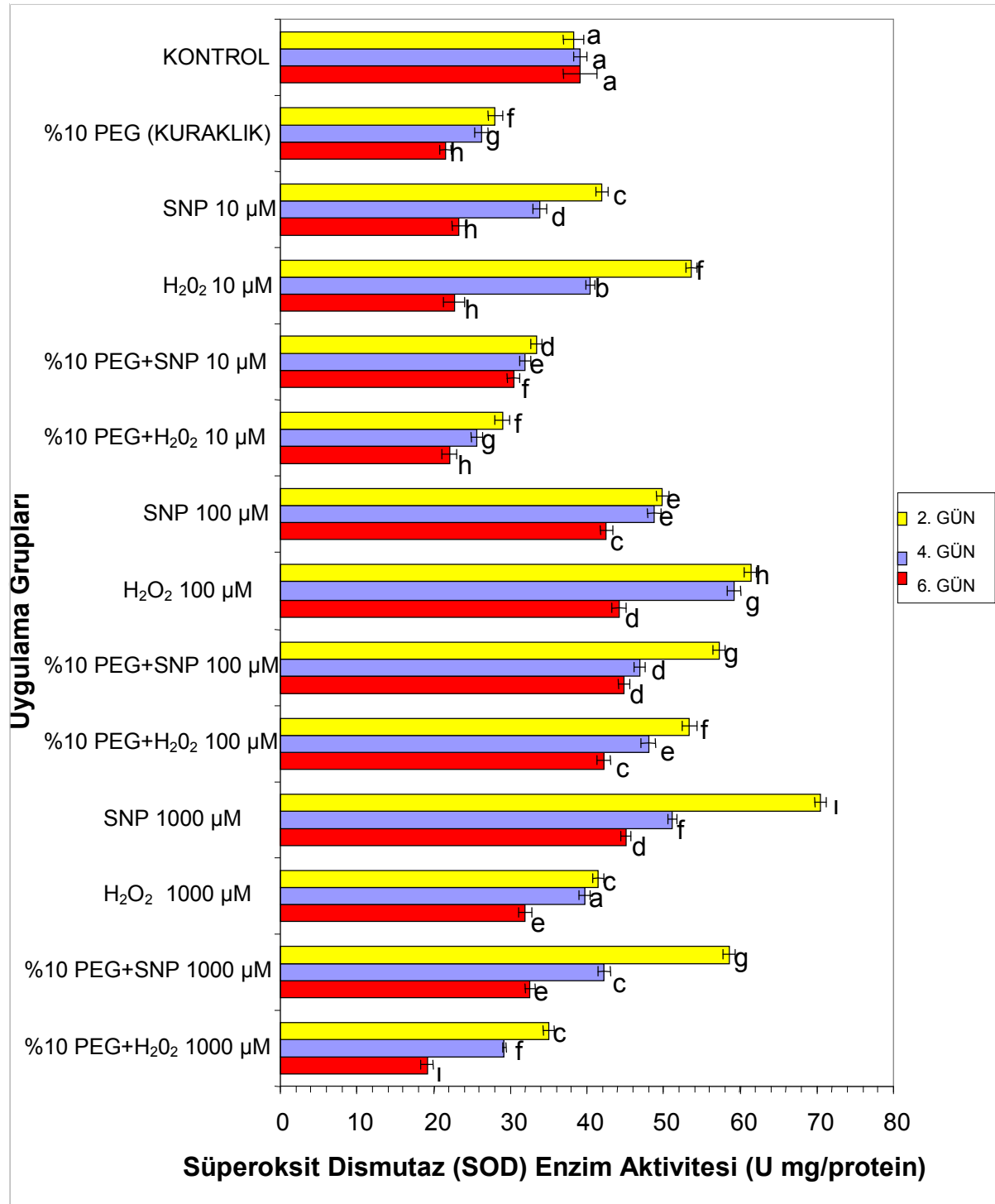
Doğu-88 çeşidi buğday bitkisi kök dokusunda SOD enzim aktivitesinin tüm uygulamalarda günlere bağlı olarak azaldığı tespit edilmiştir (Şekil 4.4).

Şekil 4.4 incelendiğinde, SOD enzim aktivitesinin tüm uygulamalarda günlere bağlı olarak azaldığı görülmektedir. Doğu-88 çeşidi kök dokusunda kuraklık uygulamasında SOD enzim aktivitesinin günlere bağlı olarak azaldığı ve kontrol grubuna göre daha az olduğu ($p \leq 0.05$) belirlenmiştir. Kuraklık uygulamasının 2. gününde saptanan SOD enzim aktivitesinin (28.04 ± 0.96 U mg/protein), 4. günde azaldığı (26.21 ± 0.85 U mg/protein) ve bu azalışın 6. günde de devam ettiği (21.53 ± 0.79 U mg/protein) saptanmıştır. Yapılan istatistik analize göre, kuraklık uygulamasının her üç gününde saptanan SOD enzim aktivitesi arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemli olduğu saptanmıştır ($p \leq 0.05$).

Doğu-88 çeşidi kök dokusunda SNP uygulamalarında SOD enzim aktivitesinin konsantrasyona ve günlere bağlı olarak azaldığı saptanmıştır. 10 μ M SNP uygulamasının 2. gününde 41.95 ± 0.79 U mg/protein olarak saptanan SOD enzim aktivitesinin kontrol grubundan yüksek olduğu belirlenmiştir ($p \leq 0.05$). 10 μ M konsantrasyonun 4. ve 6. gününde sırasıyla 33.85 ± 0.88 U mg/protein ve 23.29 ± 0.91 U mg/protein olarak belirlenen enzim aktivitelerinin kontrol grubuna göre daha az olduğu ($p \leq 0.05$) tespit edilmiştir. Şekil 4.4 incelendiğinde, 100 μ M ve 1000 μ M SNP uygulamalarında SOD enzim aktivitelerinin günlere bağlı olarak azaldığı, 2. 4. ve 6. günlerde belirlenen SOD enzim aktivitelerinin kontrol grubundan yüksek olduğu ($p \leq 0.05$) görülmektedir. En yüksek SOD enzim aktivitesi 1000 μ M SNP uygulamasının 2. gününde 70.43 ± 0.74 U mg/protein olarak saptanmıştır. Yapılan istatistik analize göre, SNP uygulamasının her üç konsantrasyonunda (10 μ M, 100 μ M, 1000 μ M) 2. 4. ve 6. günlerde saptanan SOD enzim aktivitesi arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemli ($p \leq 0.05$) olduğu bulunmuştur. Şekil 4.4 incelendiğinde, PEG+SNP uygulamalarında konsantrasyonlara ve günlere bağlı olarak SOD enzim aktivitelerinin azaldığı görülmektedir. 10 μ M konsantrasyonun 2. 4. ve 6. günlerinde saptanan enzim aktivitelerinin kontrol grubuna göre daha az olduğu belirlenmiştir ($p \leq 0.05$). Şekil 4.4 incelendiğinde, 100 μ M konsantrasyonda 2. 4. ve 6. günde sırasıyla 57.22 ± 0.74 U mg/protein, 46.89 ± 0.71 U mg/protein ve 44.84 ± 0.70 U mg/protein olarak belirlenen enzim aktivitesinin kontrol grubundan yüksek olduğu görülmektedir ($p \leq 0.05$). 1000 μ M uygulamasının 2. ve 4.

gününde belirlenen SOD enzim aktivitelerinin (sırasıyla 58.55 ± 0.82 U mg/protein ve 42.22 ± 0.81 U mg/protein) kontrol grubundan yüksek 6. günde belirlenen SOD enzim aktivitesinin ise (32.58 ± 0.61 U mg/protein) kontrol grubunun 6. gününde belirlenen SOD enzim aktivitesinden az olduğu saptanmıştır. Yapılan istatistik analize göre, PEG+SNP uygulamasının 2. gününde $100 \mu\text{M}$ ile $1000 \mu\text{M}$ konsantrasyonları hariç, diğer günlerde her üç konsantrasyonunda ($10 \mu\text{M}$, $100 \mu\text{M}$, $1000 \mu\text{M}$) belirlenen SOD enzim aktiviteleri arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemli ($p \leq 0.05$) olduğu bulunmuştur.

Şekil 4.4 incelendiğinde, Doğu-88 çeşidi kök dokusunda H_2O_2 uygulamalarında SOD enzim aktivitesinin günlere bağlı olarak azaldığı görülmektedir. $10 \mu\text{M}$ H_2O_2 uygulamasının 2. ve 4. gününde belirlenen SOD enzim aktivitesinin kontrol grubundan yüksek ($p \leq 0.05$) 6. günde aktivitenin ise (22.68 ± 1.40 U mg/protein) kontrol grubundan az olduğu ($p \leq 0.05$) saptanmıştır. $100 \mu\text{M}$ H_2O_2 uygulamasının 2. 4. ve 6. gününde sırasıyla 61.32 ± 0.83 U mg/protein, 59.23 ± 0.85 U mg/protein ve 44.19 ± 0.97 U mg/protein olarak belirlenen SOD enzim aktivitelerinin kontrol grubundan yüksek olduğu ($p \leq 0.05$) saptanmıştır. $1000 \mu\text{M}$ H_2O_2 uygulamasının 6. gününde belirlenen SOD enzim aktivitesinin ise (31.92 ± 0.83 U mg/protein) kontrol grubundan az, 2. ve 4. günde belirlenen SOD enzim aktivitelerinin ise kontrol grubunun 2. ve 4. gününde belirlenen SOD enzim aktivitelerinden yüksek olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.4). Yapılan istatistik analize göre, H_2O_2 uygulamasında $10 \mu\text{M}$ ile $1000 \mu\text{M}$ konsantrasyonların 4. gününde saptanan SOD enzim aktiviteleri arasındaki farklar hariç, diğer gün ve konsantrasyonlarda saptanan SOD enzim aktiviteleri arasındaki farkların önemli olduğu ($p \leq 0.05$) bulunmuştur. PEG+ H_2O_2 uygulamasının 2. 4. ve 6. günlerinde belirlenen SOD enzim aktivitelerinin günlere bağlı olarak azaldığı saptanmış olup $100 \mu\text{M}$ H_2O_2 uygulamasında belirlenen SOD enzim aktivitelerinin kontrol grubundan yüksek olduğu ($p \leq 0.05$) belirlenmiştir (Şekil 4.4). Yapılan istatistik analize göre, PEG+ H_2O_2 uygulamasının her üç konsantrasyonunda günlere bağlı olarak saptanan SOD enzim aktivitesi arasındaki farkların istatistiksel olarak önemli ($p \leq 0.05$) olduğu bulunmuştur.



Şekil 4.4. *Triticum aestivum* L. cv. “Doğu-88” buğday bitkisi kök dokusunda uygulama gruplarına, günlere ve konsantrasyonlara bağlı süperoksit dismutaz (SOD) aktivitesinde meydana gelen değişimler. Sütunlardaki hata çubukları ortalama $\pm$ standart hatayı göstermektedir

4.1.5. *Triticum aestivum* L. cv. “Doğu–88” Buğday Bitkisi Kök Dokusunda Uygulama Gruplarının Katalaz (CAT) Aktivitesi Üzerine Etkileri

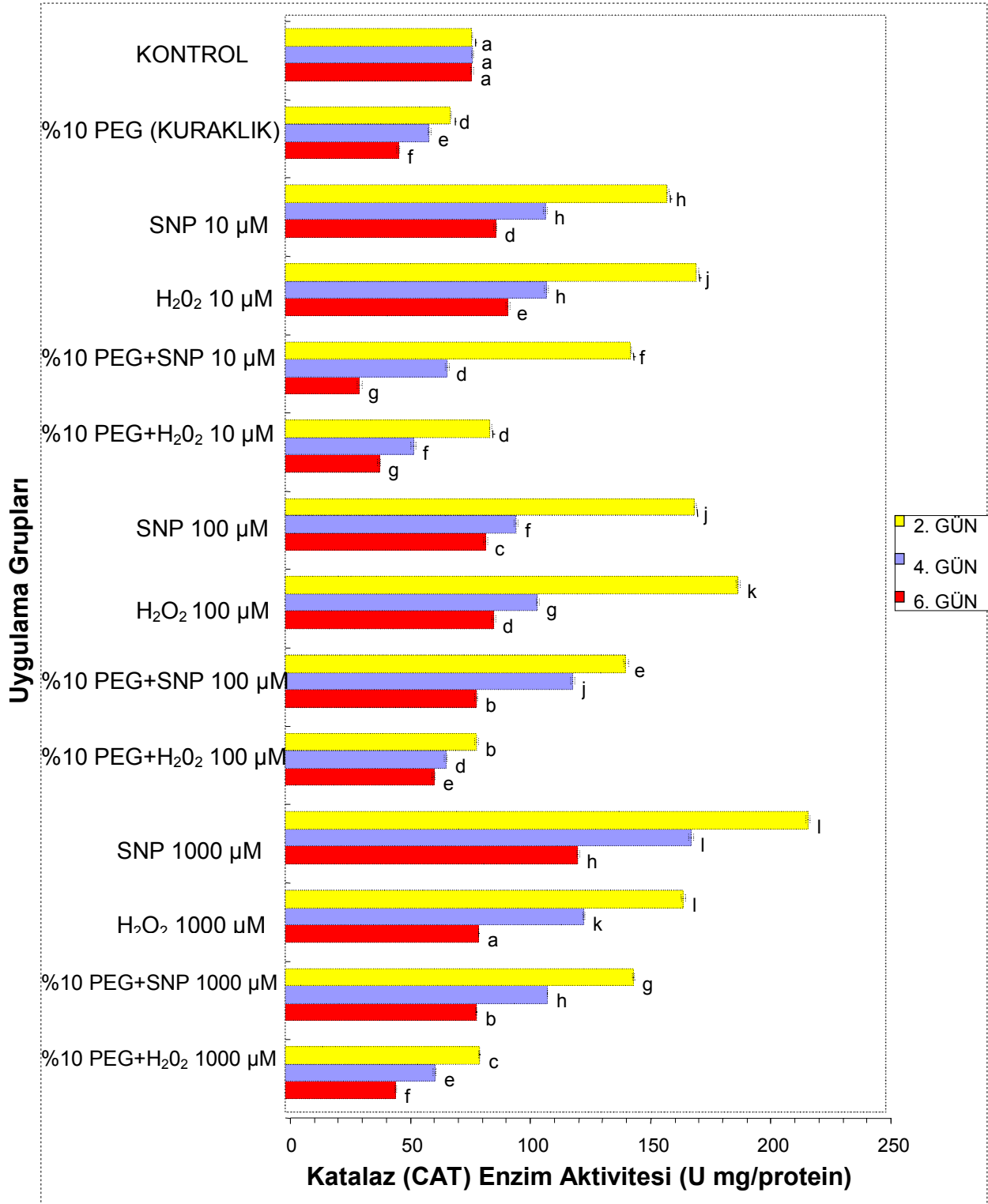
T. aestivum L. cv. “Doğu–88” buğday bitkisinin kök dokusunda katalaz (CAT) aktivitesi, kuraklık, SNP ve H₂O₂ uygulamalarına ve günlere göre farklılık göstermiştir (Şekil 4.5).

Şekil 4.5 incelendiğinde, Doğu–88 çeşidi kök dokusunda CAT enzim aktivitesinin tüm uygulamalarda günlere bağlı olarak azaldığı görülmektedir. Doğu–88 çeşidi buğday bitkisinin kök dokusundaki CAT enzim aktivitesi kontrol grubunda 2. 4. ve 6. günlerde sırasıyla 77.61±0.45 U mg/protein, 78.01±0.32 U mg/protein ve 77.71±0.65 U mg/protein olarak bulunmuştur. Kuraklık uygulamasına bağlı olarak CAT enzim aktivitesinde 2. 4. ve 6. günlerde azalma meydana geldiği saptanmış olup bu değerlerin kontrol grubuna göre daha az olduğu ($p \leq 0.05$) belirlenmiştir. Kuraklık uygulamasının 2. gününde 68.90±0.10 U mg/protein olan CAT enzim aktivitesinin 4. günde 59.98±0.63 U mg/protein değerine gerilediği 6. günde ise azalmaya devam ederek 47.08±0.67 U mg/protein olduğu belirlenmiştir. Yapılan istatistik analize göre, kuraklık uygulamasının her üç gününde saptanan CAT enzim aktiviteleri arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemli ($p \leq 0.05$) olduğu saptanmıştır.

Doğu–88 çeşidinin kök dokusunda SNP uygulamalarına bağlı olarak her üç konsantrasyonunda CAT enzim aktivitelerinin günlere bağlı olarak azaldığı ve kontrol grubuna göre yüksek olduğu saptanmıştır. 10 µM SNP uygulamasının 2. gününde 159.10±0.56 U mg/protein olarak belirlenen CAT enzim aktivitesinin 4. günde 108.48±0.88 U mg/protein ve 6. günde ise 87.53±0.77 U mg/protein olduğu belirlenmiştir. 100 µM SNP uygulamasının 2. 4. ve 6. günlerinde CAT enzim aktivitesi sırasıyla 170.35±0.78 U mg/protein, 96.07±0.77 U mg/protein ve 83.74±0.64 U mg/protein olarak saptanmış olup bu değerlerin kontrol grubundaki değerlerden yüksek oldukları ($p \leq 0.05$) bulunmuştur. 1000 µM SNP uygulamasının 2. 4. ve 6. gününde CAT enzim aktivitesi sırasıyla 217.67±0.89 U mg/protein, 168.89±0.90 U mg/protein ve 122.01±0.65 U mg/protein olarak saptanmıştır. En yüksek CAT enzim aktivitesi 1000 µM SNP uygulamasının 2. gününde belirlenmiştir (217.67±0.89 U mg/protein). Yapılan istatistik analize göre, SNP uygulamasının her üç konsantrasyonunda (10 µM, 100 µM, 1000 µM) günlere bağlı olarak saptanan CAT enzim aktiviteleri arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemli olduğu ($p \leq 0.05$) bulunmuştur. PEG+SNP uygulamalarında CAT enzim aktivitelerinin günlere bağlı olarak azaldığı belirlenmiştir (Şekil 4.5). 10 µM konsantrasyonun 4. ve 6. gününde sırasıyla 67.51±0.82 U mg/protein ve 30.84±0.99 U mg/protein olarak belirlenen CAT enzim aktivitesinin kontrol grubuna göre daha az olduğu ($p \leq 0.05$) saptanmıştır. Yapılan istatistik analize göre, PEG+SNP

uygulamasında 100 μ M ile 1000 μ M konsantrasyonların 6. gününde saptanan CAT enzim aktiviteleri arasındaki farklar hariç, diğer günlerde ve konsantrasyonlarda belirlenen CAT enzim aktiviteleri arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemli oldukları ($p \leq 0.05$) bulunmuştur.

Doğu-88 çeşidi kök dokusunda H_2O_2 uygulamalarında CAT enzim aktivitelerinin günlere bağlı olarak azaldığı saptanmıştır (Şekil 4.5). En yüksek CAT enzim aktivitesi 100 μ M konsantrasyonun 2. gününde 188.40 ± 0.73 U mg/protein olarak belirlenmiştir. Yapılan istatistik analize göre, H_2O_2 uygulamasının her üç konsantrasyonunda (10 μ M, 100 μ M, 1000 μ M) günlere bağlı olarak saptanan CAT enzim aktiviteleri arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemli olduğu ($p \leq 0.05$) bulunmuştur. PEG+ H_2O_2 uygulamalarının her üç konsantrasyonunda 2. gün belirlenen CAT enzim aktivitelerinin kontrol grubuna göre yüksek ($p \leq 0.05$), 4. ve 6. günlerde belirlenen CAT enzim aktivitelerinin ise kontrol grubuna göre daha az ($p \leq 0.05$) olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.5). PEG+ H_2O_2 uygulamalarında belirlenen en yüksek CAT enzim aktivitesi 10 μ M konsantrasyonun 2. gününde 85.13 ± 0.98 U mg/protein olarak saptanmıştır. Yapılan istatistik analize göre, PEG+ H_2O_2 uygulamalarının üç konsantrasyonunda günlere bağlı olarak saptanan CAT enzim aktiviteleri arasındaki farkların istatistiksel olarak önemli olduğu ($p \leq 0.05$) bulunmuştur.



Şekil 4.5. *Triticum aestivum* L. cv. “Doğu-88” buğday bitkisi kök dokusunda uygulama gruplarına, günlere ve konsantrasyonlara bağlı katalaz (CAT) aktivitesinde meydana gelen değişimler. Sütunlardaki hata çubukları ortalama $\pm$ standart hatayı göstermektedir

4.1.6. *Triticum aestivum* L. cv. “Doğu–88” Buğday Bitkisi Kök Dokusunda Uygulama Gruplarının Glutasyon Peroksidaz (GSH-Px) Aktivitesi Üzerine Etkileri

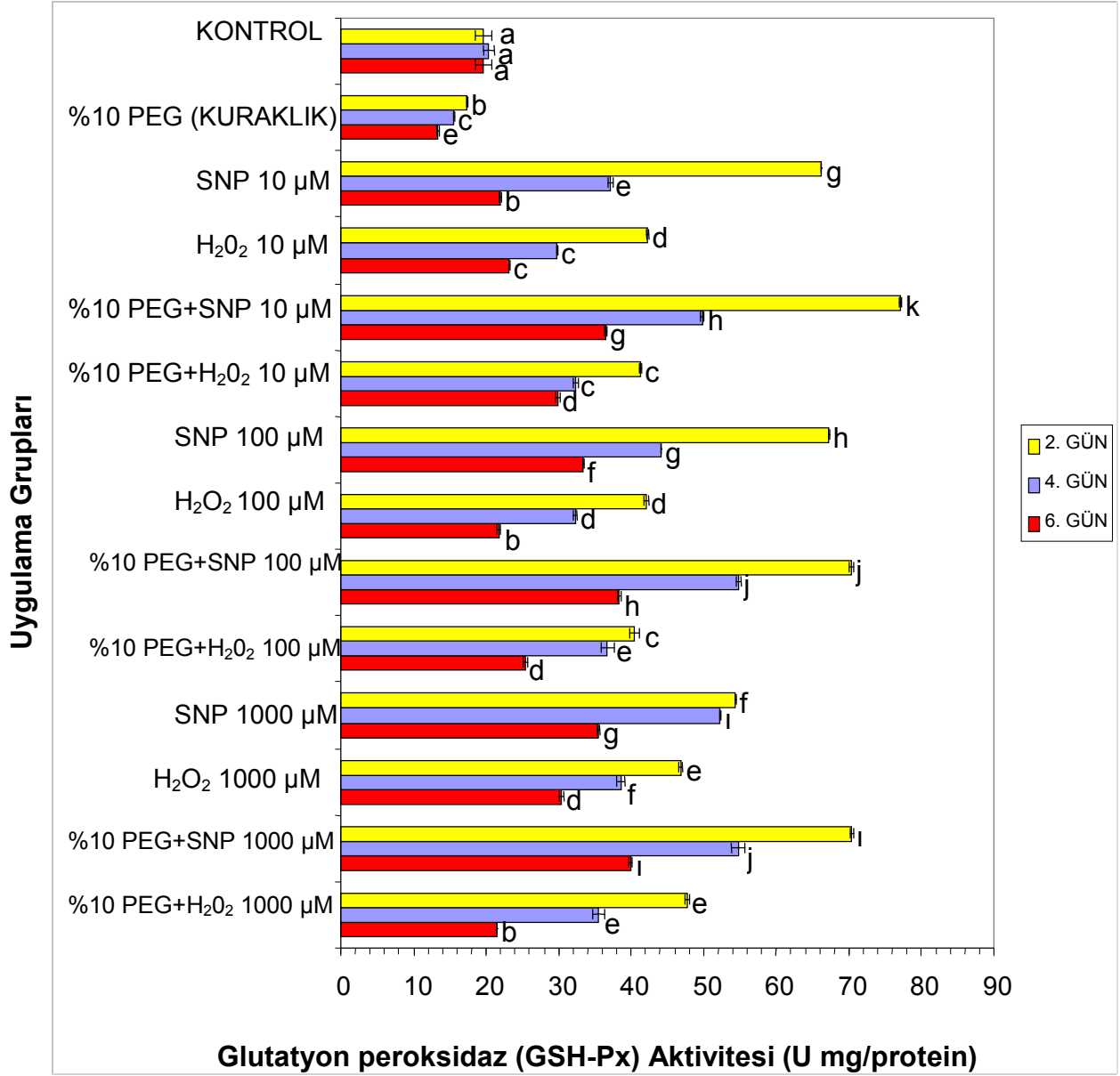
T. aestivum L. cv. “Doğu–88” buğday bitkisinin kök dokusunda glutasyon peroksidaz (GSH-Px) aktivitesi, kuraklık, SNP ve H₂O₂ uygulamalarına ve günlere göre farklılık göstermiştir (Şekil 4.6).

Doğu–88 çeşidi kök dokusunda GSH-Px enzim aktivitesinin tüm uygulama gruplarında günlere bağlı olarak azaldığı saptanmıştır. Şekil 4.6 incelendiğinde, Doğu–88 çeşidi kök dokusunda glutasyon peroksidaz enzim aktivitesinin 2. 4. ve 6. günde sırasıyla 19.63±1.10 U mg/protein, 20.34±0.77 U mg/protein ve 19.65±1.23 U mg/protein olduğu görülmektedir. Kuraklık uygulamasına bağlı olarak kontrol grubuyla karşılaştırıldığında GSH-Px enzim aktivitelerinin azaldığı belirlenmiştir ($p \leq 0.05$). Doğu–88 çeşidi kök dokusunda kuraklık uygulamasına bağlı olarak 2. gün 17.42±0.03 U mg/protein olan GSH-Px enzim aktivitesinin 4. günde 15.58±0.12 U mg/protein olduğu ve 6. günde daha da azalarak 13.41±0.15 U mg/protein olduğu belirlenmiştir. Yapılan istatistik analize göre, kuraklık uygulamasının her üç gününde saptanan GSH-Px enzim aktiviteleri arasındaki farkın istatistiksel açıdan önemli olduğu ($p \leq 0.05$) bulunmuştur.

Doğu–88 çeşidi kök dokusunda SNP uygulamasında, GSH-Px enzim aktivitelerinin günlere bağlı olarak azaldığı belirlenmiş olup, bu değerlerin kontrol grubundan yüksek olduğu ($p \leq 0.05$) saptanmıştır (Şekil 4.6). SNP uygulamasında belirlenen en yüksek GSH-Px enzim aktivitesi 100 µM uygulamasının 2. gününde 67.28±0.10 U mg/protein olarak saptanmıştır. En düşük GSH-Px enzim aktivitesi ise 10 µM konsantrasyonun 6. gününde 21.94±0.16 U mg/protein olarak saptanmıştır. Yapılan istatistik analize göre, SNP uygulamasının her üç konsantrasyonunda (10 µM, 100 µM, 1000 µM) günlere bağlı olarak saptanan GSH-Px enzim aktiviteleri arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemli olduğu ($p \leq 0.05$) bulunmuştur. Şekil 4.6 incelendiğinde, PEG+SNP uygulamasında GSH-Px enzim aktivitelerinin günlere bağlı olarak azaldığı görülmektedir. En yüksek GSH-Px enzim aktivitesi 10 µM konsantrasyonun 2. gününde 77.12±0.20 U mg/protein olarak belirlenirken, en düşük GSH-Px enzim aktivitesi ise 10 µM konsantrasyonun 6. gününde 36.48±0.13 U mg/protein olarak saptanmıştır. Yapılan istatistik analize göre, 100 µM ile 1000 µM konsantrasyonun 4. günündeki enzim aktiviteleri arasındaki farklar hariç, diğer günler ve konsantrasyonlarda belirlenen enzim aktiviteleri arasındaki farkların istatistiksel olarak önemli ($p \leq 0.05$) olduğu bulunmuştur.

Doğu–88 çeşidi kök dokusunda H₂O₂ uygulamasında GSH-Px enzim aktivitesinin günlere bağlı olarak azaldığı ve kontrol grubundan yüksek olduğu saptanmıştır (Şekil 4.6). H₂O₂ uygulama grubunun 1000 µM konsantrasyonunun 2. 4. ve 6. günlerinde saptanan GSH-

Px enzim aktivitelerinin 10 μ M ve 100 μ M konsantrasyonlarda belirlenen enzim aktivitelerinden yüksek olduğu belirlenmiştir. En yüksek GSH-Px enzim aktivitesi 1000 μ M konsantrasyonun 2. gününde saptanmıştır (46.84 ± 0.23 U mg/protein). Yapılan istatistik analize göre, 10 μ M ile 100 μ M konsantrasyonların 2. günlerinde belirlenen enzim aktiviteleri arasındaki farklar hariç ($p > 0.05$), diğer gün ve konsantrasyonlarda belirlenen enzim aktiviteleri arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemli ($p \leq 0.05$) olduğu bulunmuştur. PEG+H₂O₂ uygulamasında GSH-Px enzim aktivitesinin günlere bağlı olarak azaldığı ve kontrol grubundan yüksek olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.6). En yüksek GSH-Px enzim aktivitesi 1000 μ M konsantrasyonun 2. gününde 47.71 ± 0.32 U mg/protein olarak belirlenmiştir. Yapılan istatistik analize göre, 10 μ M ile 100 μ M konsantrasyonların 2. günlerinde belirlenen enzim aktiviteleri arasındaki farklar hariç ($p > 0.05$), diğer gün ve konsantrasyonlarda belirlenen enzim aktiviteleri arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemli ($p \leq 0.05$) olduğu bulunmuştur.



Şekil 4.6. *Triticum aestivum* L. cv. “Doğu-88” buğdaybitkisi kök dokusunda kuraklık uygulama gruplarına, günlere ve konsantrasyonlara bağlı glutatyon peroksidaz (GSH-Px) aktivitesinde meydana gelen değişimler. Sütunlardaki hata çubukları ortalama $\pm$ standart hatayı göstermektedir

4.1.7. *Triticum aestivum* L. cv. “Doğu-88” Buğday Bitkisi Kök Dokusunda Uygulama Gruplarının Malondialdehit (MDA) İçeriği Üzerine Etkileri

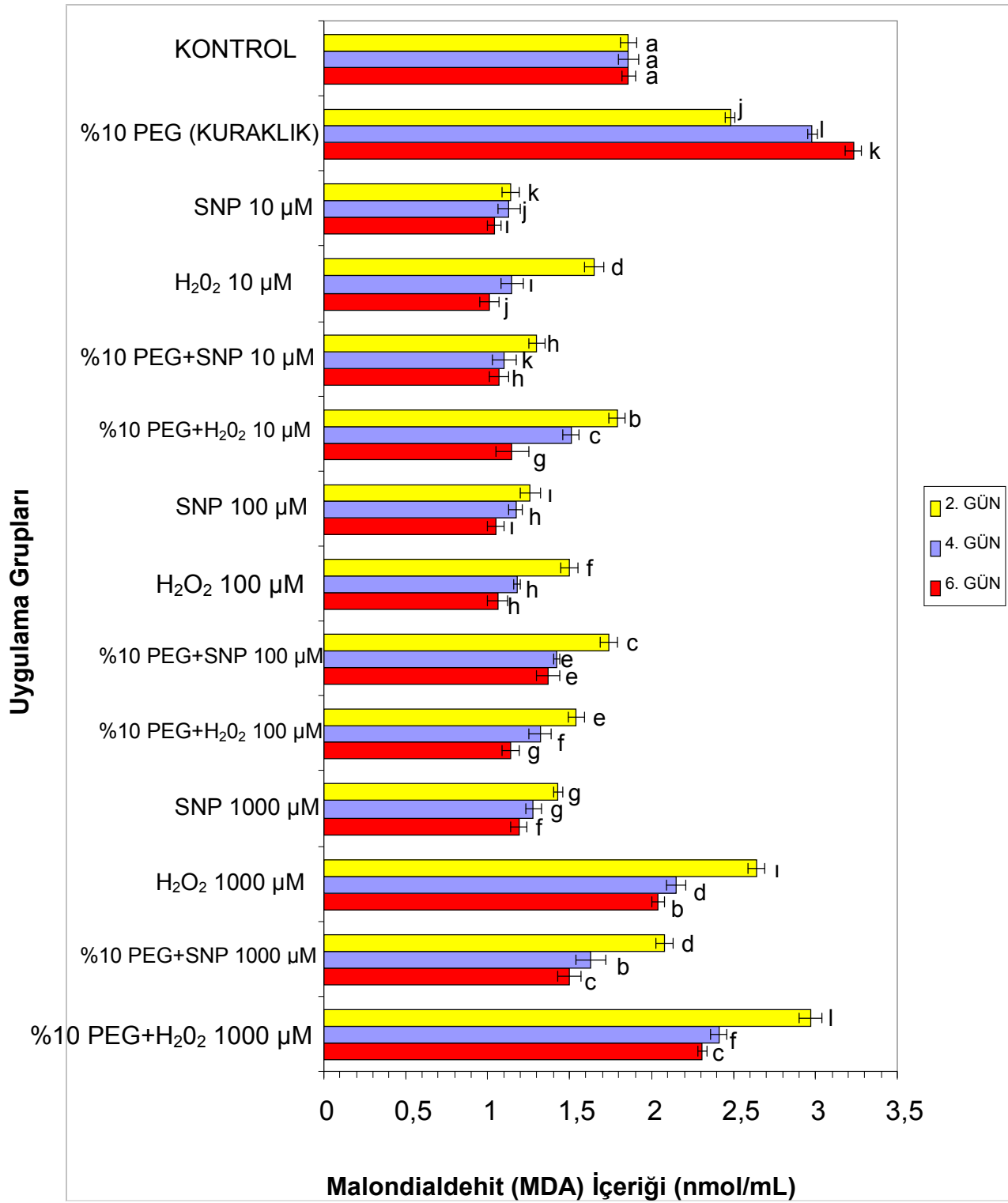
T. aestivum L. cv. “Doğu-88” buğday bitkisinin kök dokusunda malondialdehit (MDA) düzeyi, kuraklık, SNP ve H₂O₂ uygulamalarına ve günlere göre farklılık göstermiştir (Şekil 4.7).

Doğu-88 çeşidi kök dokusunda kuraklık uygulamasına bağlı olarak 2. günde 2.48±0.03 nmol/mL olarak belirlenen MDA içeriğinin, 4. günde 2.98±0.03 nmol/mL ve 6. günde 3.23±0.05 nmol/mL olduğu saptanmıştır. Şekil 4.7 incelendiğinde, kuraklık uygulamasına bağlı olarak belirlenen MDA içeriklerinin kontrol grubundan yüksek olduğu ($p \leq 0.05$) görülmektedir. Yapılan istatistik analize göre, kuraklık uygulamasının her üç gününde belirlenen MDA içerikleri arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemsiz olduğu belirlenmiştir ($p > 0.05$).

Şekil 4.7’de görüldüğü gibi, Doğu-88 çeşidi kök dokusunda SNP uygulamalarında MDA içeriklerinin her üç konsantrasyonda günlere bağlı olarak azaldığı belirlenmiştir. Uygulama grubunda saptanan en yüksek MDA içeriğinin 1000 µM konsantrasyonun 2. gününde 1.43±0.03 nmol/mL, en düşük MDA içeriğinin ise 10 µM konsantrasyonun 6. gününde 1.04±0.04 nmol/mL olduğu belirlenmiştir. SNP uygulamalarında belirlenen MDA içeriklerinin kontrol grubunda belirlenen MDA içeriklerinde göre daha az oldukları ($p \leq 0.05$) tespit edilmiştir. Yapılan istatistik analize göre, SNP uygulamalarının 2. gününde 10 µM ile 100 µM konsantrasyonlarında 4. ve 6. günlerinde her üç konsantrasyonda belirlenen MDA içerikleri arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemsiz ($p > 0.05$) olduğu bulunmuştur. PEG+SNP uygulamasında MDA içeriklerinin günlere bağlı olarak azaldığı saptanmıştır. PEG+SNP uygulamalarında belirlenen MDA içerikleri kontrol grubuyla karşılaştırıldığında 1000 µM konsantrasyonun 2. gününde belirlenen MDA içeriğinin kontrol grubunda belirlenen MDA içeriğinden yüksek olduğu, diğer gün ve konsantrasyonlarda belirlenen MDA içeriklerinin ise kontrol grubundan daha az olduğu belirlenmiştir. Yapılan istatistik analize göre, PEG+SNP uygulamasının 2. gün 10 µM ile 100 µM konsantrasyonlarında, 4. ve 6. günlerde her üç konsantrasyonunda günlere bağlı olarak saptanan MDA içerikleri arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemsiz olduğu ($p > 0.05$) bulunmuştur.

Doğu-88 çeşidi kök dokusunda H₂O₂ uygulamalarında günlere bağlı olarak MDA içeriklerinin azaldığı saptanmıştır. Şekil 4.7 incelendiğinde, 1000 µM konsantrasyonun 2. 4. ve 6. gününde sırasıyla 2.64±0.05 nmol/mL, 2.15±0.06 nmol/mL ve 2.04±0.04 nmol/mL olarak belirlenen MDA içeriklerinin kontrol grubundan yüksek olduğu, en yüksek MDA içeriğinin 1000 µM konsantrasyonun 2. gününde (2.64±0.06 nmol/mL), en düşük MDA

içeriğinin ise 10 μM konsantrasyonun 6. gününde (1.01 ± 0.06 nmol/mL) bulunduğu görülmektedir. Yapılan istatistik analize göre, 10 μM ile 100 μM konsantrasyonların 2. 4. ve 6 günlerinde belirlenen MDA içerikleri arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemsiz ($p > 0.05$) olduğu bulunmuştur. PEG+H₂O₂ uygulamasında MDA içeriklerinin günlere bağlı olarak azaldığı saptanmıştır. En düşük MDA içeriği 100 μM konsantrasyonun 6. gününde 1.14 ± 0.05 nmol/mL, en yüksek MDA içeriği ise 1000 μM konsantrasyonun 2. gününde 2.97 ± 0.07 nmol/mL olarak belirlenmiştir (Şekil 4.7). Yapılan istatistik analize, göre PEG+H₂O₂ uygulamalarında 10 μM ve 100 μM konsantrasyonların 2. 4. ve 6. gününde belirlenen MDA içerikleri arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemsiz ($p > 0.05$) olduğu bulunmuştur.



Şekil 4.7. *Triticum aestivum* L. cv. “Doğu-88” buğday bitkisi kök dokusunda uygulama gruplarına, günlere ve konsantrasyonlara bağlı malondialdehit (MDA) içeriğinde meydana gelen değişimler. Sütunlardaki hata çubukları ortalama $\pm$ standart hatayı göstermektedir

4.1.8. *Triticum aestivum* L. cv. “Doğu-88” Buğday Bitkisi Kök Dokusunda Uygulama Gruplarının Toplam Çözünabilir Protein Miktarı Üzerine Etkileri

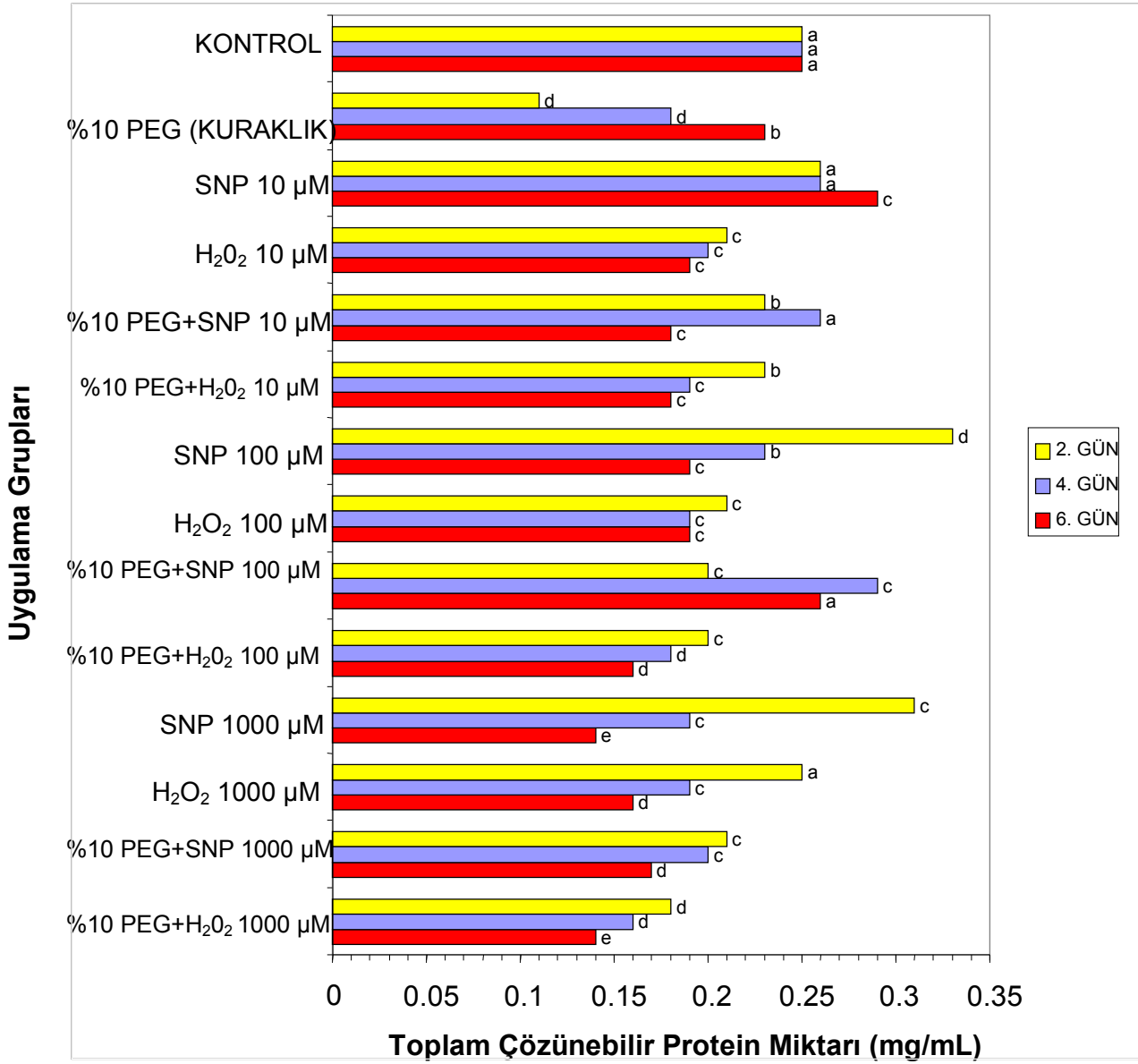
T. aestivum L. cv. “Doğu-88” buğday bitkisinin kök dokusunda toplam çözünabilir protein içeriği, kuraklık, SNP ve H₂O₂ uygulamalarına ve günlere göre farklılık göstermiştir (Şekil 4.8).

Doğu-88 çeşidi kök dokusunda toplam çözünabilir protein miktarının kontrol grubunda 2. 4. ve 6. günlerde sırasıyla 0.23±0.00 mg/mL, 0.27±0.00 mg/mL ve 0.24±0.00 mg/mL olduğu belirlenmiştir. Toplam çözünabilir protein miktarının kuraklık uygulamasında günlere bağlı olarak arttığı saptanmıştır. Kuraklık uygulamasına bağlı olarak 2. 4. ve 6. günlerde sırasıyla 0.11±0.00 mg/mL, 0.18±0.00 mg/mL ve 0.23±0.00 mg/mL olarak belirlenen toplam çözünabilir protein miktarının kontrol grubunun 2. 4. ve 6. günlerinde belirlenen toplam çözünabilir protein miktarına göre azaldıkları Şekil 4.8’de görülmektedir. Yapılan istatistik analize göre, kuraklık uygulamasının 2. 4. ve 6. gününde belirlenen toplam çözünabilir protein miktarı arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemli olduğu ($p \leq 0.05$) saptanmıştır.

SNP uygulamasına bağlı olarak 100 µM ve 1000 µM konsantrasyonlarda toplam çözünabilir protein miktarının 2. 4. ve 6. günlerde azaldığı belirlenmiştir (Şekil 4.8). 10 µM SNP uygulamasında ise 2. ve 4. günlerde birbirine yakın olan toplam çözünabilir protein miktarının 6. günde arttığı (0.29±0.00 mg/mL) saptanmıştır. 10 µM konsantrasyonun 2. ve 6. günlerinde saptanan toplam çözünabilir protein miktarının kontrol grubundan yüksek olduğu belirlenmiştir. Yapılan istatistik analize göre, SNP uygulamasının 100 µM ile 1000 µM konsantrasyonunda 2. ve 4. günlerde toplam çözünabilir protein miktarları arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemsiz olduğu, diğer konsantrasyon ve günlerde belirlenen toplam çözünabilir protein miktarları arasındaki farkların ise önemli olduğu ($p \leq 0.05$) belirlenmiştir. PEG+SNP uygulamasının 10 µM konsantrasyonunun 2. gününde 0.23±0.00 mg/mL olan toplam çözünabilir protein miktarının 4. günde 0.26±0.0 mg/mL ve 6. günde ise 0.18±0.00 mg/mL olduğu saptanmıştır. Şekil 4.8 incelendiğinde, 100 µM konsantrasyonda 2. gün 0.20±0.00 mg/mL olan toplam çözünabilir protein miktarının 4. günde 0.29±0.00 mg/mL olduğu, 6. günde ise 0.26±0.00 mg/mL olduğu görülmektedir. 1000 µM SNP uygulamasında günlere bağlı olarak azalan toplam çözünabilir protein miktarı saptanmıştır. En yüksek toplam çözünabilir protein miktarının 100 µM PEG+SNP uygulamasının 4. günde 0.29±0.00 mg/mL olduğu belirlenmiştir. En düşük toplam çözünabilir protein miktarının ise 1000 µM PEG+SNP uygulamasının 6. günde 0.17±00 mg/mL olduğu saptanmıştır. Yapılan istatistik analize göre, PEG+SNP uygulamasının 2. günde her üç uygulama konsantrasyonunda, 4. günde 10 µM

ve 100 μM konsantrasyonları ile 6. gündeki 10 μM ile 1000 μM konsantrasyonlarında belirlenen toplam çözünebilir protein miktarları arasındaki farkların önemsiz olduğu ($p>0.05$) saptanmıştır.

Doğu-88 çeşidi kök dokusunda H_2O_2 uygulamalarında toplam çözünebilir protein miktarlarının her üç konsantrasyonda da günlere bağlı olarak azaldığı saptanmıştır. Şekil 4.8 incelendiğinde, en düşük toplam çözünebilir protein miktarının 1000 μM uygulamasının 6. gününde 0.16 ± 0.00 mg/mL en yüksek toplam çözünebilir protein miktarının 1000 μM H_2O_2 uygulamasının 2. gününde 0.25 ± 0.00 olduğu görülmektedir. Yapılan istatistik analize göre, 10 μM ve 100 μM H_2O_2 uygulamalarının 2. her üç konsantrasyonun 4. ve 6. günlerindeki toplam çözünebilir protein miktarları arasındaki farkların önemsiz olduğu belirlenmiştir ($p>0.05$). PEG+ H_2O_2 uygulamasında toplam çözünebilir protein miktarlarının günlere bağlı olarak azaldığı saptanmıştır. Şekil 4.8 incelendiğinde, uygulama grubundaki belirlenen en yüksek toplam çözünebilir protein miktarının 10 μM konsantrasyonun 2. gününde 0.22 ± 0.00 mg/mL olduğu, en düşük toplam çözünebilir protein miktarının ise 1000 μM konsantrasyonun 6. gününde 0.14 ± 0.00 mg/mL olduğu görülmektedir. PEG+ H_2O_2 uygulamalarında kontrol grubuna göre daha az toplam çözünebilir protein miktarları ($p\leq 0.05$) saptanmıştır. Yapılan istatistik analize göre, PEG+ H_2O_2 uygulamalarında 2. 4. ve 6. günlerinde uygulanan her üç konsantrasyonda belirlenen toplam çözünebilir protein miktarları arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemsiz olduğu ($p>0.05$) saptanmıştır.



Şekil 4.8. *Triticum aestivum* L. cv. “Doğu-88” buğday bitkisi kök dokusunda uygulama gruplarına, günlere ve konsantrasyonlara bağlı toplam çözünebilir protein miktarında meydana gelen değişimler. Sütunlardaki hata çubukları ortalama $\pm$ standart hatayı göstermektedir

4.1.9. *T. aestivum* L. cv. “Doğu-88” Buğday Bitkisi Kök Dokusunda Uygulama Gruplarının Hidrojen Peroksit (H₂O₂) İçeriği Üzerine Etkileri

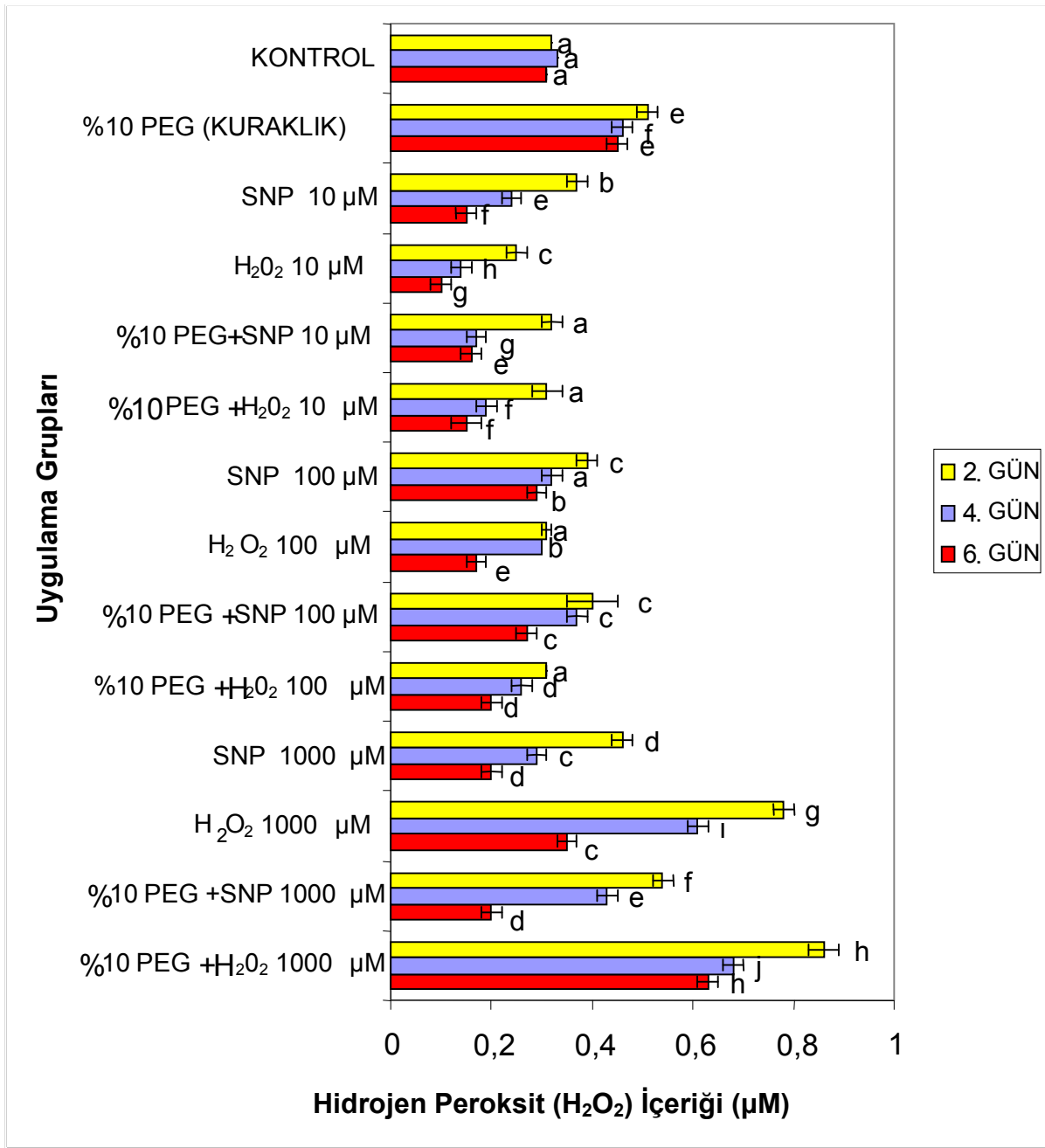
T. aestivum L. cv. “Doğu-88” buğday bitkisinin kök dokusunda hidrojen peroksit içeriği, kuraklık, SNP ve H₂O₂ uygulamalarına ve günlere göre farklılık göstermiştir (Şekil 4.9).

Doğu-88 çeşidi kök dokusunda hidrojen peroksit içeriğinin kuraklık uygulamasında günlere bağlı olarak azaldığı saptanmış. Şekil 4.9 incelendiğinde, kuraklık uygulamasının 2. gününde 0.51±0.02 µM olan H₂O₂ içeriğinin 4. günde 0.46±0.02 µM olduğu ve 6. günde ise 0.45±0.02 µM değerine ulaştığı ve bu değerlerin kontrol grubundan yüksek olduğu görülmektedir.

Doğu-88 çeşidi kök dokusunda SNP uygulamasının üç konsantrasyonunda günlere bağlı olarak H₂O₂ içeriğinde azalmaların olduğu belirlenmiştir. 10 µM SNP uygulamasının 2. 4. ve 6. günlerinde sırasıyla, 0.37±0.02 µM, 0.24±0.02 µM ve 0.15±0.02 µM olarak saptanan H₂O₂ içeriğinin 4. ve 6. günde kontrol grubuna göre daha az olduğu (p≤0.05) belirlenmiştir. 100 µM SNP uygulamasında saptanan H₂O₂ içeriklerinin ise 2. gün 0.39±0.02 µM, 4. gün 0.32±0.02 ve 6. gün 0.29±0.02 µM olduğu ve 4. gün ile 6. günde belirlenen değerlerin kontrol grubuna göre daha az olduğu belirlenmiştir. Şekil 4.9 incelendiğinde, 1000 µM SNP uygulamasında günlere bağlı olarak H₂O₂ içeriğinde azalış olduğu 2. günde kontrol grubundan daha yüksek olan H₂O₂ içeriğinin (p≤0.05) 4. ve 6. günlerde azaldığı (p≤0.05) görülmektedir. En düşük H₂O₂ içeriği 10 µM SNP uygulamasının 6. gününde 0.15±0.02 µM olarak saptanırken en yüksek H₂O₂ içeriğinin 1000 µM konsantrasyonun 2. gününde 0.46±0.02 µM olduğu belirlenmiştir. Yapılan istatistik analize göre, SNP uygulamasının her üç konsantrasyonunda günlere bağlı olarak saptanan H₂O₂ içerikleri arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemli olduğu (p≤0.05) bulunmuştur. PEG+SNP uygulamasında H₂O₂ içeriklerinin günlere bağlı olarak azaldığı belirlenmiştir (Şekil 4.9). 100 µM ile 1000 µM PEG+SNP uygulamasında 2. ve 4. gününde saptanan H₂O₂ içeriğinin kontrol grubuna göre yüksek olduğu görülmektedir (p≤0.05). En yüksek H₂O₂ içeriği 1000 µM konsantrasyonun 2. gününde 0.54±0.02 µM, en düşük H₂O₂ içeriği ise 10 µM konsantrasyonun 6. gününde 0.16±0.02 µM olarak belirlenmiştir. Yapılan istatistik analize göre, PEG+SNP uygulamalarının her üç konsantrasyonunda günlere bağlı olarak saptanan H₂O₂ içerikleri arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemli olduğu (p≤0.05) bulunmuştur.

T. aestivum L. cv. “Doğu-88” buğday çeşidi kök dokusunda H₂O₂ uygulamalarında günlere bağlı olarak H₂O₂ içeriğinde azalmaların olduğu saptanmıştır. 10 µM ile 100 µM H₂O₂ uygulamalarında saptanan H₂O₂ içeriğinin kuraklık uygulamasındaki değerlerinden

daha az olduğu belirlenmiştir. şekil 4.9 incelendiğinde, 1000 μM uygulama grubunda H_2O_2 iğeriği 2.,4. ve 6. günlerde sırasıyla $0.78 \pm 0.02 \mu\text{M}$, $0.61 \pm 0.02 \mu\text{M}$ ve $0.35 \pm 0.02 \mu\text{M}$ olarak saptanmıştır. En yüksek H_2O_2 iğeriği 1000 μM uygulamasının 2. gününde ($0.78 \pm 0.02 \mu\text{M}$) ve en düşük H_2O_2 iğeriğinin ise 10 μM uygulamasının 6. gününde olduğu ($0.10 \pm 0.02 \mu\text{M}$) bulunmuştur. Yapılan istatistik analize göre, H_2O_2 uygulamasının her üç gününde belirlenen H_2O_2 içerikleri arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemli ($p \leq 0.05$) olduğu bulunmuştur. PEG+ H_2O_2 uygulamasında her üç konsantrasyonda H_2O_2 içerikleri günlere bağlı olarak azaldığı saptanmıştır (şekil 4.9). PEG+ H_2O_2 uygulama grubunun 1000 μM konsantrasyonunda saptanan H_2O_2 iğeriğinin kontrol grubundan yüksek olduğu ($p \leq 0.05$) belirlenmiştir. En düşük H_2O_2 iğeriği 10 μM H_2O_2 uygulamasının 6. gününde $0.15 \pm 0.03 \mu\text{M}$, en yüksek H_2O_2 iğeriği ise 1000 μM H_2O_2 uygulamasının 2. gününde $0.86 \pm 0.03 \mu\text{M}$ olarak saptanmıştır (şekil 4.9). Yapılan istatistik analize göre, PEG+ H_2O_2 uygulamalarının 10 μM , 100 μM PEG+ H_2O_2 uygulamalarının 2. günü hariç diğer gün ve konsantrasyonlarda belirlenen H_2O_2 içerikleri arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemli olduğu ($p \leq 0.05$) bulunmuştur.



Şekil 4.9. *Triticum aestivum* L. cv. “Doğu-88” buğday bitkisi kök dokusunda uygulama gruplarına, günlere ve konsantrasyonlara bağlı hidrojen peroksit (H₂O₂) içeriğinde meydana gelen değişimler. Sütunlardaki hata çubukları ortalama $\pm$ standart hatayı göstermektedir

4.1.10. *T. aestivum* L. cv. “Doğu-88” Buğday Bitkisi Kök Dokusunda Uygulama Gruplarının Oransal Su İçeriği (OSİ) Üzerine Etkileri

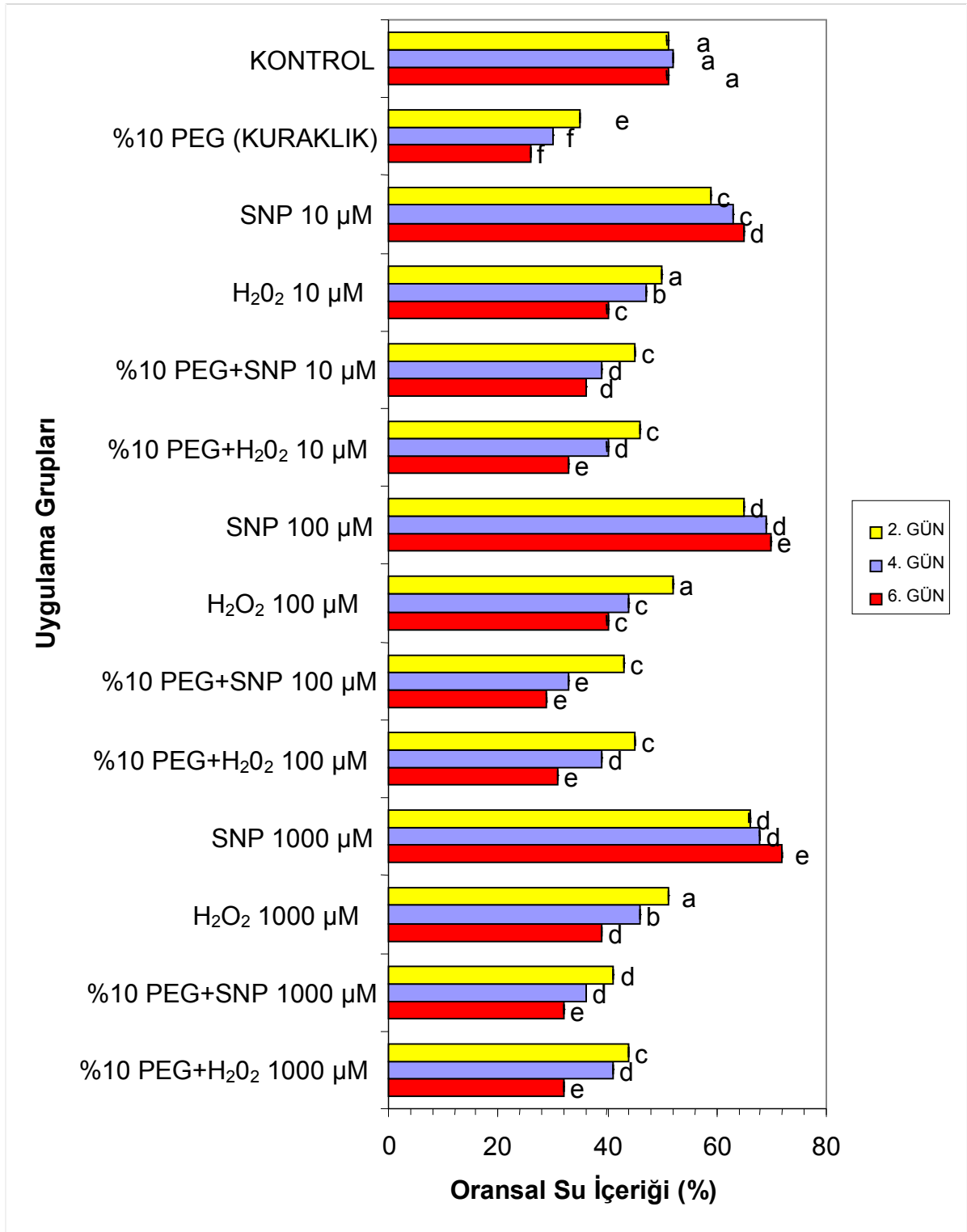
T. aestivum L. cv. “Doğu-88” buğday bitkisinin kök dokusunda oransal su içeriği (OSİ) (%), kuraklık, SNP ve H₂O₂ uygulamalarına ve günlere göre farklılık göstermiştir (Şekil 4.10).

Doğu-88 çeşidi kök dokusunda oransal su içeriğinin (%) kuraklık uygulamasında günlere bağlı olarak azaldığı ve kontrol grubundan daha az düzeyde olduğu saptanmıştır ($p \leq 0.05$). Yapılan istatistik analize göre, kuraklık uygulamasının her üç gününde saptanan OSİ değerleri arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemli olduğu ($p \leq 0.05$) bulunmuştur.

Doğu-88’in kök dokusunda SNP uygulamasında her üç konsantrasyonda oransal su içeriğinin günlere bağlı olarak arttığı saptanmıştır. Şekil 4.10 incelendiğinde, SNP uygulamalarında belirlenen oransal su içeriği değerlerinin kontrol ve kuraklık uygulama gruplarından yüksek seviyede olduğu görülmektedir ($p \leq 0.05$). En yüksek OSİ değerinin 1000 μ M konsantrasyonun 6. gününde 72 ± 0.02 (%) olduğu belirlenmiştir. Yapılan istatistik analize göre, 100 μ M ve 1000 μ M SNP uygulamalarının 2. ve 4. gününde oransal su içerikleri arasındaki farklar hariç, diğer gün ve konsantrasyonlardaki farkların istatistiksel açıdan önemli ($p \leq 0.05$) olduğu bulunmuştur. PEG+SNP uygulama grubunda günlere bağlı olarak oransal su içeriklerinin azaldığı saptanmıştır. PEG+SNP uygulamasında saptanan oransal su içeriklerinin kontrol grubundan daha az olduğu Şekil 4.10’dan anlaşılmaktadır ($p \leq 0.05$). PEG+SNP uygulamasında belirlenen en yüksek OSİ değerinin 10 μ M konsantrasyonun 2. gününde 45 ± 0.01 (%) olduğu belirlenmiştir. Yapılan istatistik analize göre, PEG+SNP uygulama grubunun 2. gününde 10 μ M ve 100 μ M konsantrasyonlarında belirlenen oransal su içerikleri arasındaki farklar hariç, diğer gün ve konsantrasyonlarda saptanan oransal su içerikleri arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemli olduğu ($p \leq 0.05$) bulunmuştur.

Doğu-88 çeşidi kök dokusunda H₂O₂ uygulamalarında oransal su içeriklerinin günlere bağlı olarak azaldığı tespit edilmiştir. Uygulama grubunun her üç konsantrasyonunun 2. gününde belirlenen OSİ değerleri dışında, 4. ve 6. günlerde belirlenen OSİ değerlerinin kontrol grubundan daha az olduğu saptanmıştır (Şekil 4.10). Hidrojen peroksit uygulamasında belirlenen en yüksek OSİ değerinin 100 μ M konsantrasyonun 2. gününde 52 ± 0.00 (%) olduğu belirlenmiştir. Yapılan istatistik analize göre, 2. ve 6. gün uygulamalarında elde edilen oransal su içerikleri arasındaki, 100 μ M ile 1000 μ M konsantrasyonun 4. günü arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemsiz ($p > 0.05$) olduğu saptanmıştır. PEG+H₂O₂ uygulamalarında elde edilen oransal su içeriklerinin kontrol grubuna göre daha az olduğu ve günlere bağlı olarak azaldığı belirlenmiştir (Şekil 4.10). PEG+H₂O₂ uygulamalarında belirlenen en yüksek OSİ

değerinin 10 µM konsantrasyonun 2. gününde 46 ± 0.00 (%) olduğu tespit edilmiştir. Yapılan istatistik analize göre, PEG+H₂O₂ uygulamalarında günlere ve konsantrasyonlara göre belirlenen oransal su içerikleri arasındaki farkların önemsiz ($p > 0.05$) olduğu saptanmıştır.



Şekil 4.10. *Triticum aestivum* L. cv. “Doğu-88” buğday bitkisi kök dokusunda uygulama gruplarına, günlere ve konsantrasyonlara bağlı oransal su içeriğinde (OSİ) meydana gelen değişimler. Sütunlardaki hata çubukları ortalama $\pm$ standart hatayı göstermektedir

4.1.11. *T. aestivum* L. cv. “Yıldırım” Buğday Bitkisi Kök Dokusunda Uygulama Gruplarının Nitrik Oksit (NO) Düzeyi Üzerine Etkileri

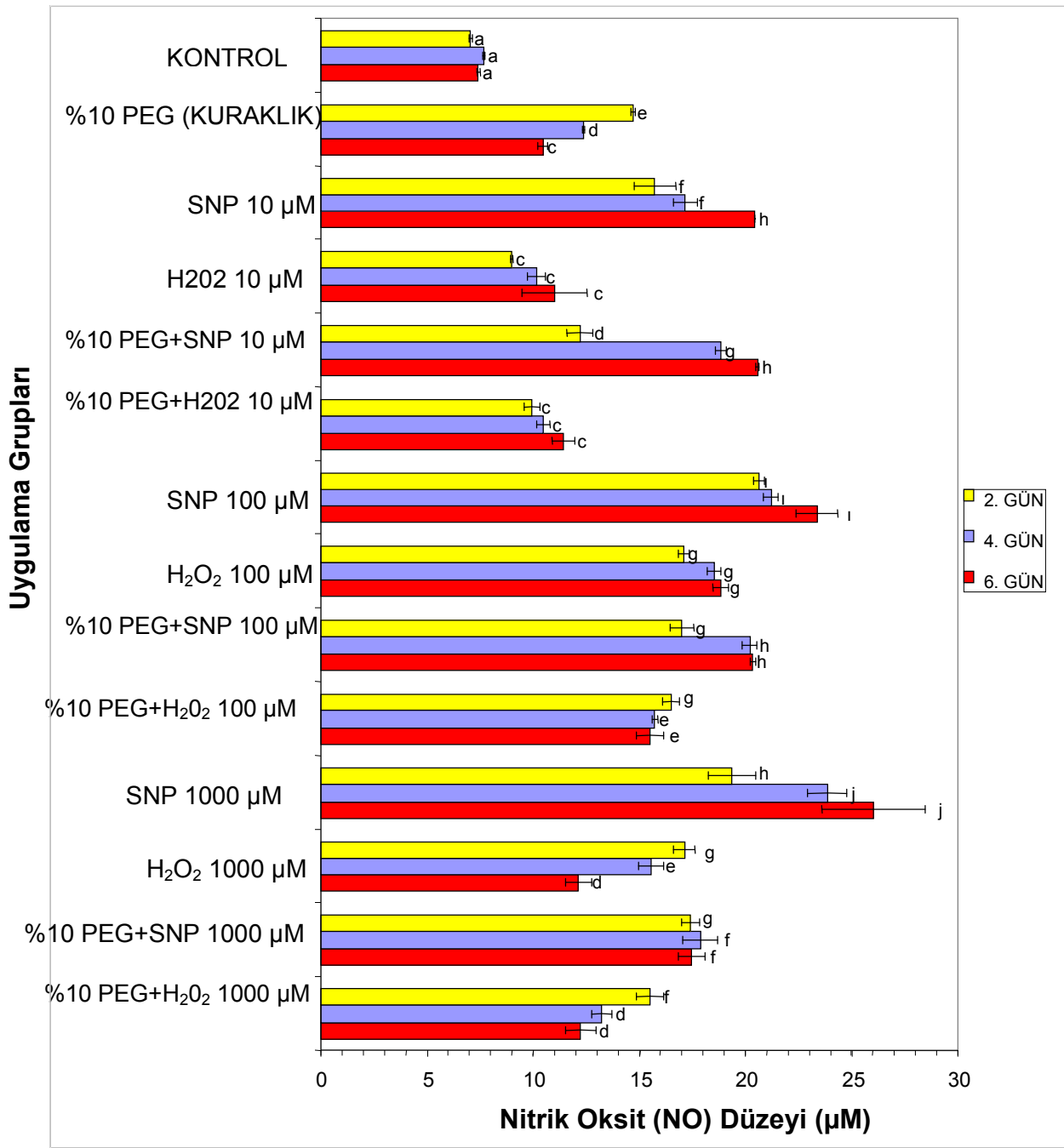
Triticum aestivum L. cv. “Yıldırım” buğday bitkisinin kök dokusunda nitrik oksit düzeyi kuraklık, SNP ve H₂O₂ uygulamalarına ve günlere göre farklılık gösterdiği saptanmıştır (Şekil 4.11).

Kuraklık uygulamasına bağlı olarak NO düzeylerinde kontrol grubuna göre 2. 4. ve 6. günde artışların olduğu bulunmuştur. 2. günde en yüksek NO düzeyi 14.70±0.11 µM olarak belirlenmiştir. Yapılan istatistik analize göre, kuraklık uygulamasının her üç gününde belirlenen NO düzeyleri arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemli olduğu saptanmıştır (p≤0.05).

Yıldırım çeşidi kök dokusunda, SNP’nin her üç konsantrasyonunun günlere bağlı olarak uygulanması sonucunda NO düzeylerinin kontrol grubuna göre arttığı (p≤0.05) ve en yüksek NO düzeyinin 1000 µM SNP uygulamasının 6. gününde 26.03±2.45 µM olduğu belirlenmiştir. Şekil 4.11 incelendiğinde, SNP uygulamasının 10 µM konsantrasyonunda 2. 4. ve 6. günde sırasıyla 15.73±0.99 µM, 17.16±0.54 µM ve 20.40±0.00 µM olarak belirlenen NO düzeyinin 100 µM konsantrasyonun 2. 4. ve 6. günlerinde sırasıyla 20.63±0.27 µM, 21.20±0.34 µM ve 23.36±1.00 µM, 1000 µM konsantrasyonda ise 2. 4. ve 6. günlerde sırasıyla 19.36±1.12 µM, 23.84±0.91 µM ve 26.03±2.45 µM olduğu görülmektedir. Yapılan istatistik analize göre, günlere bağlı olarak uygulanan her üç konsantrasyonda (10 µM, 100 µM, 1000 µM) belirlenen NO düzeyleri arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemli olduğu bulunmuştur (p≤0.05). PEG+SNP uygulamasında 10 µM ve 100 µM konsantrasyonlarda NO düzeylerinin günlere bağlı olarak arttığı, 1000 µM konsantrasyonun 2. gününde 17.43±0.42 µM olan NO düzeyinin 4. günde arttığı (17.86±0.83 µM), 6. günde ise azaldığı (17.46±0.66 µM) saptanmıştır. Şekil 4.11 incelendiğinde, PEG+SNP uygulamasında 1000 µM konsantrasyonun 4. ve 6. günlerinde belirlenen NO düzeylerinin 10 µM ve 100 µM konsantrasyonların 4. ve 6. günlerinde belirlenen NO düzeylerine göre azaldığı, 100 µM konsantrasyonun 2. ve 4. günlerinde belirlenen NO düzeylerinin ise 10 µM konsantrasyondaki NO düzeylerine göre arttığı, 100 µM konsantrasyonun 6. günündeki NO düzeyinin de 10 µM uygulamasının 6. gününde belirlenen NO düzeyine göre azaldığı görülmektedir. En yüksek NO düzeyi 20.56±0.06 µM olarak 10 µM PEG+SNP uygulamasının 6. gününde saptanmıştır. PEG+SNP uygulamalarında 10 µM konsantrasyonun 2. günü hariç diğer gün ve konsantrasyonlarda belirlenen NO düzeylerinin kuraklık uygulamasına göre yüksek olduğu tespit edilmiştir. Yapılan istatistik analize göre, 100 µM ile 1000 µM konsantrasyonların 2., 10 µM ile 1000 µM konsantrasyonlarının 4., 10 µM ile 100 µM konsantrasyonlarının 6.

gününde günlerinde belirlenen NO düzeyleri arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemsiz olduğu ($p>0.05$) bulunmuştur.

Yıldırım çeşidi kök dokusunda H_2O_2 uygulamasında 10 μM ve 100 μM konsantrasyonlarda NO düzeylerinin günlere bağlı olarak arttığı, 1000 μM konsantrasyonda ise azaldığı belirlenmiştir. Şekil 4.11 incelendiğinde, 10 μM H_2O_2 uygulamasının 2. 4. ve 6. günlerinde belirlenen NO düzeylerinin kontrol grubuna göre daha az olduğu görülmektedir. En yüksek NO düzeyi 18.83 ± 0.37 μM olarak 100 μM H_2O_2 uygulamasının 6. gününde saptanmıştır. Yapılan istatistik analize göre, 100 μM ile 1000 μM konsantrasyonların 2. gününde belirlenen NO düzeyleri arasındaki farklar hariç, diğer konsantrasyon ve günlerde belirlenen NO düzeyleri arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemli olduğu ($p\leq0.05$) bulunmuştur. PEG+ H_2O_2 uygulamasında NO düzeylerinin 10 μM konsantrasyonda günlere bağlı olarak arttığı, 100 μM ile 1000 μM konsantrasyonlarda ise azaldığı belirlenmiştir (Şekil 4.11). PEG+ H_2O_2 uygulamasında saptanan en yüksek NO düzeyinin 100 μM konsantrasyonun 2. gününde 16.50 ± 0.40 μM olduğu saptanmıştır. 10 μM ve 1000 μM konsantrasyonların 2. 4. ve 6. günlerinde belirlenen NO düzeylerinin 100 μM konsantrasyondaki NO düzeylerinden az olduğu tespit edilmiştir. Yapılan istatistik analize göre, 100 μM ile 1000 μM konsantrasyonların 2. günündeki, 10 μM ile 1000 μM konsantrasyonların 6. günündeki NO düzeyleri hariç, diğer gün ve konsantrasyonlarda belirlenen NO düzeyleri arasındaki farkların istatistiksel olarak önemli ($p\leq0.05$) olduğu bulunmuştur.



Şekil 4.11. *Triticum aestivum* L. cv. “Yıldırım” çeşidi kök uygulama gruplarına, günlere ve konsantrasyonlara bağlı olarak nitrik oksit düzeyinde meydana gelen değişimler. Sonuçlar $\pm$ standart hata olarak verilmiştir

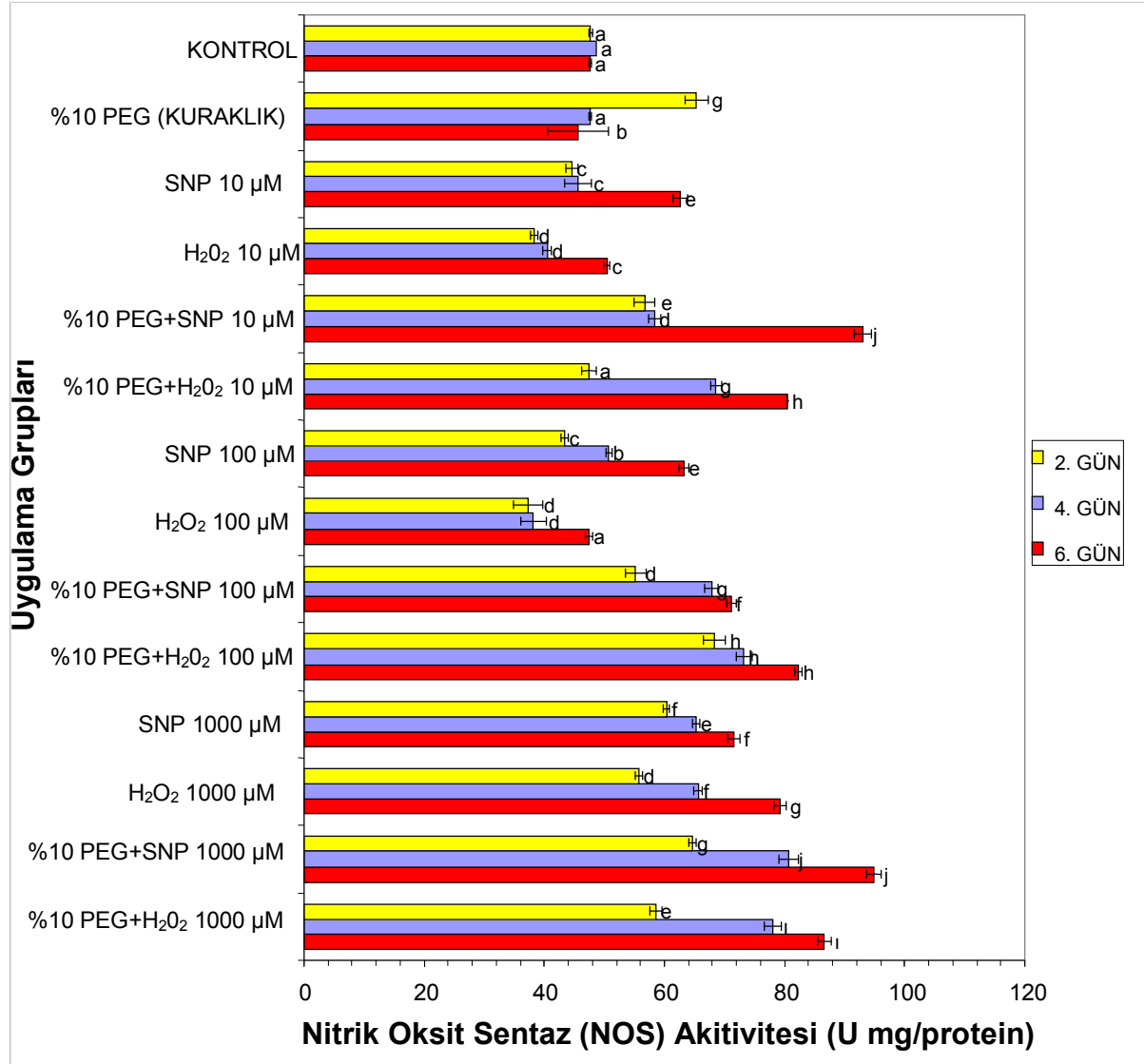
4.1.12. *T. aestivum* L. cv. “Yıldırım” Buğday Bitkisi Kök Dokusunda Uygulama Gruplarının Nitrik Oksit Sentaz (NOS) Aktivitesi Üzerine Etkileri

T. aestivum L. cv. “Yıldırım” buğday bitkisinin kök dokusunda nitrik oksit sentaz (NOS) aktivitesi kuraklık, SNP ve H₂O₂ uygulamalarına ve günlere göre farklılık gösterdiği saptanmıştır (Şekil 4.12).

Yıldırım çeşidi kök dokusunda nitrik oksit sentaz (NOS) aktivitesinin kuraklık (PEG) uygulaması dışındaki tüm uygulama gruplarında arttığı saptanmıştır (Şekil 4.12). Yıldırım çeşidinin kök dokusunda kuraklık uygulamasına bağlı olarak 2. günde 65.33±1.98 U mg/protein olarak belirlenen NOS aktivitesinin 4. günde azalarak 47.62±2.26 U mg/protein, 6. günde ise 45.65±5.01 U mg/protein olduğu bulunmuştur. Yapılan istatistik analize göre, kuraklık uygulamasının her üç gününde saptanan NOS düzeyleri arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemli olduğu saptanmıştır ($p \leq 0.05$).

T. aestivum L. cv. “Yıldırım” kök dokusunda SNP uygulamasında NOS aktivitesinin günlere bağlı olarak arttığı saptanmıştır. Şekil 4.12 incelendiğinde, 10 µM SNP uygulamasının 2. gününde belirlenen NOS aktivitesi (44.62±1.07 U mg/protein) ile 100 µM SNP uygulamasının 2. gününde belirlenen NOS aktivitesinin (43.40±0.57 U mg/protein), 10 µM SNP uygulamasının 4. gününde 45.62±0.71 U mg/protein olarak belirlenen NOS aktivitesinin kontrol grubuna göre azaldığı, 10 µM SNP uygulamasının 6., 100 µM SNP uygulamasının 4. ve 6. günlerindeki NOS aktivitelerinin ise kontrol grubuna göre arttığı görülmektedir. 1000 µM SNP uygulamasının 2. 4. ve 6. günlerde sırasıyla 60.31±0.54 U mg/protein, 65.22±0.62 U mg/protein ve 71.59±0.99 U mg/protein olarak saptanan NOS aktivitelerinin kontrol grubuna göre yüksek olduğu ($p \leq 0.05$) belirlenmiştir (Şekil 4.12). Yapılan istatistik analize göre, SNP uygulamalarının 4. gününde belirlenen NOS aktiviteleri arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemli olduğu ($p \leq 0.05$), 10 µM ve 100 µM konsantrasyonlarının 2. ve 6. gününde belirlenen NOS aktiviteleri arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemsiz olduğu bulunmuştur ($p > 0.05$). PEG+SNP uygulamasında 10 µM, 100 µM ve 1000 µM uygulamalarına ve günlere bağlı olarak NOS aktivitesinin kontrol grubuna göre arttığı ($p \leq 0.05$), en yüksek NOS aktivitesinin ise 1000 µM konsantrasyonun 6. gününde 94.86±1.12 U mg/protein olduğu belirlenmiştir. Yapılan istatistik analize göre, PEG+SNP uygulamasında 10 µM ve 100 µM konsantrasyonların 2. gününde, 10 µM ve 1000 µM konsantrasyonların 6. gününde belirlenen NOS aktiviteleri arasındaki farklar hariç, diğer günler ve konsantrasyonlarda saptanan NOS aktiviteleri arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemli olduğu ($p \leq 0.05$) bulunmuştur.

Şekil 4.12 incelendiğinde, Yıldırım çeşidi kök dokusunda H_2O_2 uygulamasına bağlı olarak belirlenen NOS aktivitelerinin $10 \mu M$ H_2O_2 uygulamasının 2. ve 4. günlerinde kontrol grubuna göre azaldığı ($p \leq 0.05$), 6. günde ise arttığı, $100 \mu M$ H_2O_2 uygulamasının 2., 4. ve 6. günlerinde belirlenen NOS aktivitelerinin kontrol grubundan az olduğu, $1000 \mu M$ H_2O_2 uygulamasında ise NOS aktivitesinin günlere bağlı olarak kontrol grubuna göre arttığı ($p \leq 0.05$) görülmektedir. En yüksek NOS aktivitesi $1000 \mu M$ H_2O_2 uygulamasının 6. gününde 79.25 ± 1.01 U mg/protein olarak saptanmıştır. Yapılan istatistik analize göre, H_2O_2 uygulamasında günlere ve konsantrasyonlara bağlı olarak belirlenen NOS aktiviteleri arasındaki farkların, $10 \mu M$ ve $100 \mu M$ konsantrasyonların 2. günü hariç, diğer gün ve konsantrasyonlarda istatistiksel açıdan önemli olduğu ($p \leq 0.05$) bulunmuştur. PEG+ H_2O_2 uygulamasında ise her üç konsantrasyonda ve günlere bağlı olarak NOS aktivitelerinde artış meydana geldiği saptanmıştır (Şekil 4.12). $10 \mu M$ konsantrasyonun 2. 4. ve 6. günlerinde NOS aktiviteleri sırasıyla 47.40 ± 1.22 U mg/protein, 68.61 ± 0.93 U mg/protein ve 80.48 ± 0.07 U mg/protein olarak saptanırken $100 \mu M$ konsantrasyonda 68.24 ± 1.80 U mg/protein, 73.21 ± 1.34 U mg/protein ve 82.20 ± 0.61 U mg/protein olarak belirlenmiştir. $1000 \mu M$ konsantrasyonda ise NOS aktiviteleri 2. günde 58.54 ± 1.03 U mg/protein, 4. günde 77.99 ± 1.41 U mg/protein ve 6. günde 86.62 ± 1.12 U mg/protein olarak saptanmıştır. En yüksek NOS aktivitesi $1000 \mu M$ konsantrasyonun 6. gününde (86.62 ± 1.12 U mg/protein) belirlenmiştir. Yapılan istatistik analize göre, $10 \mu M$ ve $100 \mu M$ konsantrasyonların 6. günü hariç, PEG+ H_2O_2 uygulamasında günlere ve konsantrasyonlara göre belirlenen NOS aktiviteleri arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemli olduğu ($p \leq 0.05$) saptanmıştır.



Şekil 4.12. *Triticum aestivum* L. cv. “Yıldırım” buğday kök dokusunda uygulama gruplarına, günlere ve konsantrasyonlara bağlı nitrik oksit sentaz (NOS) aktivitesinde meydana gelen değişimler. Sütunlardaki hata çubukları ortalama $\pm$ standart hatayı göstermektedir

4.1.13. *T. aestivum* L. cv. “Yıldırım” Buğday Bitkisi Kök Dokusunda Uygulama Gruplarının Siklik Guanozin Monofosfat (cGMP) Düzeyi Üzerine Etkileri

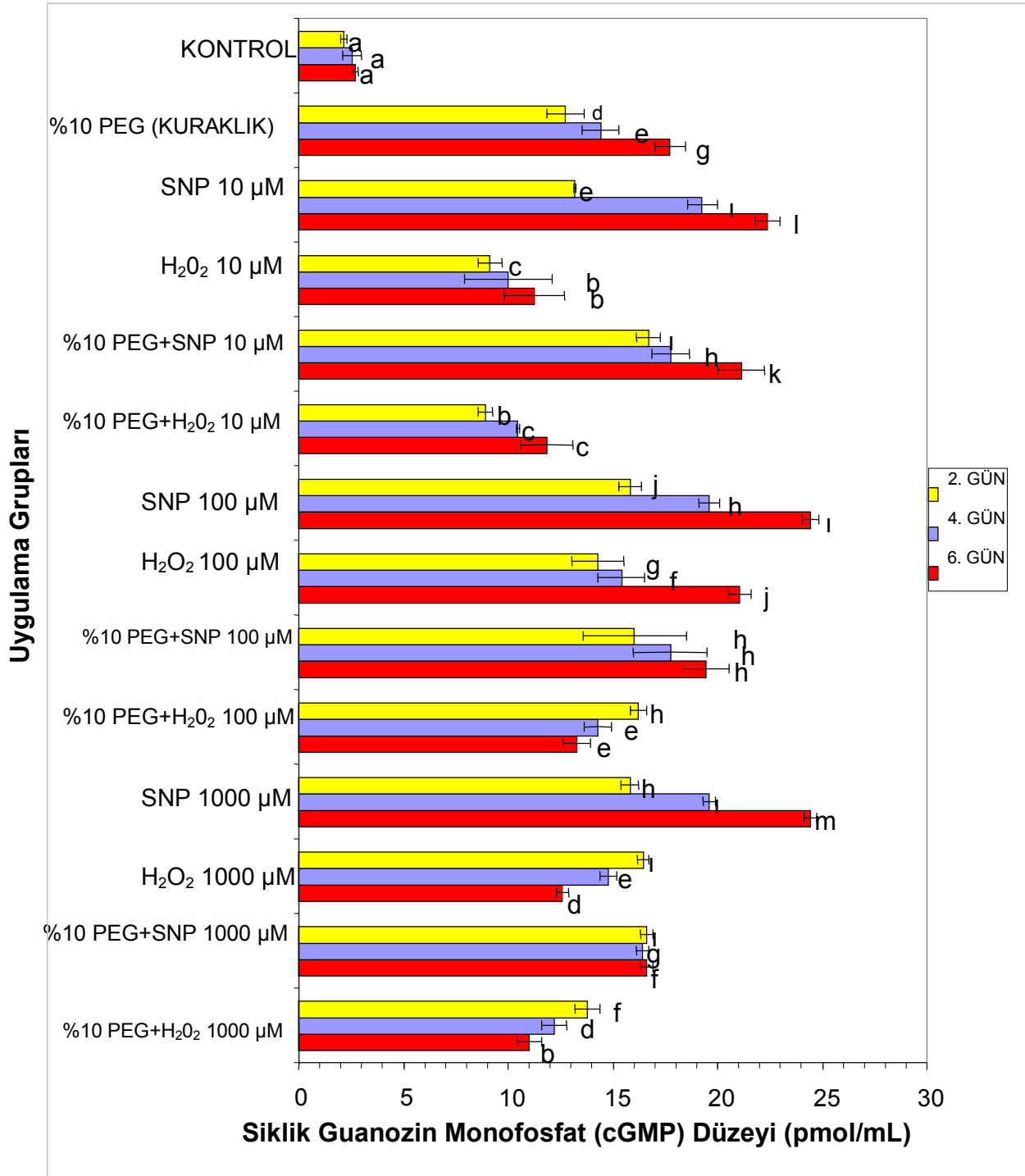
T. aestivum L. cv. “Yıldırım” bitkisinin kök dokusunda siklik guanozin monofosfat (cGMP) düzeyi kuraklık, SNP ve H₂O₂ uygulamalarına ve günlere göre farklılık göstermiştir (Şekil 4.13).

Kuraklık uygulamasına bağlı olarak cGMP düzeylerinde kontrol grubuna göre 2. 4. ve 6. günlerde artış meydana geldiği ve bu artışların istatistiksel olarak önemli olduğu saptanmıştır ($p \leq 0.05$). Kuraklık uygulamasının 2. gününde 12.73 ± 0.88 pmol/mL olarak saptanan cGMP düzeyinin 4. günde 14.41 ± 0.88 pmol/mL ve 6. günde ise 17.73 ± 0.73 pmol/mL düzeylerine yükseldiği belirlenmiştir. Yapılan istatistik analize göre, kuraklık uygulamasının her üç gününde saptanan cGMP düzeyleri (pmol/mL) arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemli olduğu ($p \leq 0.05$) bulunmuştur.

Yıldırım çeşidi kök dokusunda SNP uygulamalarına bağlı olarak cGMP düzeylerinin günlere bağlı olarak arttığı saptanmıştır. Şekil 4.13 incelendiğinde, 10 μ M SNP uygulamasının 2. 4. ve 6. günlerinde sırasıyla 13.20 ± 0.05 pmol/mL, 19.27 ± 0.73 pmol/mL ve 22.39 ± 0.61 pmol/mL olarak belirlenen cGMP düzeylerinin, 100 μ M uygulamasının 2. 4. ve 6. gününde sırasıyla 17.03 ± 0.55 pmol/mL, 18.08 ± 0.50 pmol/mL ve 20.20 ± 0.41 pmol/mL olduğu ve 1000 μ M uygulamasının 2. 4. ve 6. gününde ise sırasıyla 15.81 ± 0.42 pmol/mL, 19.58 ± 0.30 pmol/mL ve 24.43 ± 0.29 pmol/mL olduğu görülmektedir. En yüksek cGMP düzeyi 1000 μ M SNP uygulamasının 6. gününde 24.43 ± 0.29 pmol/mL olarak belirlenmiştir. Yapılan istatistik analize göre, SNP uygulamalarında her üç konsantrasyonun 4. günü hariç, diğer gün ve konsantrasyonlarda belirlenen cGMP düzeyleri arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemli ($p \leq 0.05$) olduğu saptanmıştır. 10 μ M ile 100 μ M PEG+SNP uygulamasında cGMP düzeylerinin günlere bağlı olarak arttığı, 1000 μ M uygulamada ise 2. gün 16.63 ± 0.31 pmol/mL olan cGMP düzeyinin 4. günde azalarak 16.41 ± 0.30 pmol/mL olduğu, 6. günde ise tekrar artarak 2. gündeki seviyesi olan 16.63 ± 0.31 pmol/mL değerine yaklaştığı Şekil 4.13’ten görülmektedir. Yapılan istatistik analize göre, PEG+SNP uygulamasının 10 μ M, 100 μ M ve 1000 μ M konsantrasyonların 2. ve 4. gününde saptanan cGMP düzeyleri arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemsiz olduğu ($p > 0.05$), 6. günde belirlenen cGMP düzeyleri arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemli olduğu ($p \leq 0.05$) saptanmıştır.

Yıldırım çeşidi kök dokusunda 10 μ M ile 100 μ M hidrojen peroksit (H₂O₂) uygulamalarında, cGMP düzeylerinin günlere bağlı olarak arttığı, 1000 μ M konsantrasyonda ise azaldığı Şekil 4.13’ten görülmektedir. En yüksek cGMP düzeyinin 100 μ M konsantrasyonun 6. gününde 21.05 ± 0.53 pmol/mL olduğu belirlenmiştir. Yapılan istatistik

analize göre, hidrojen peroksit uygulamalarında 100 μ M ile 1000 μ M konsantrasyonların 4. günleri, 10 μ M ile 1000 μ M konsantrasyonların 6. günleri hariç, diğer gün ve konsantrasyonlarda saptanan cGMP düzeyleri arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemli olduğu ($p \leq 0.05$) belirlenmiştir. PEG+H₂O₂ uygulamasında 10 μ M konsantrasyonda cGMP düzeyinin günlere bağlı olarak arttığı, 100 μ M ile 100 μ M uygulamaların ise cGMP düzeyinin günlere bağlı olarak azaldığı saptanmıştır (Şekil 4.13). En yüksek cGMP düzeyinin 100 μ M konsantrasyonun 2. gününde 16.22 ± 0.39 pmol/mL olduğu belirlenmiştir. Yapılan istatistik analize göre, PEG+H₂O₂ uygulamasında 10 μ M ile 1000 μ M konsantrasyonların 6. günü hariç, diğer gün ve konsantrasyonlarda belirlenen cGMP düzeyleri arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemli olduğu saptanmıştır ($p \leq 0.05$).



Şekil 4.13. *Triticum aestivum* L. cv. “Yıldırım” buğday bitkisi kök dokusunda uygulama gruplarına, günlere ve konsantrasyonlara bağlı siklik guanozin monofosfat (cGMP) düzeyinde meydana gelen değişimler. Sütunlardaki hata çubukları ortalama $\pm$ standart hatayı göstermektedir

4.1.14. *T. aestivum* L. cv. “Yıldırım” Buğday Bitkisi Kök Uygulama Gruplarının Süperoksit Dismutaz (SOD) Aktivitesi Üzerine Etkileri

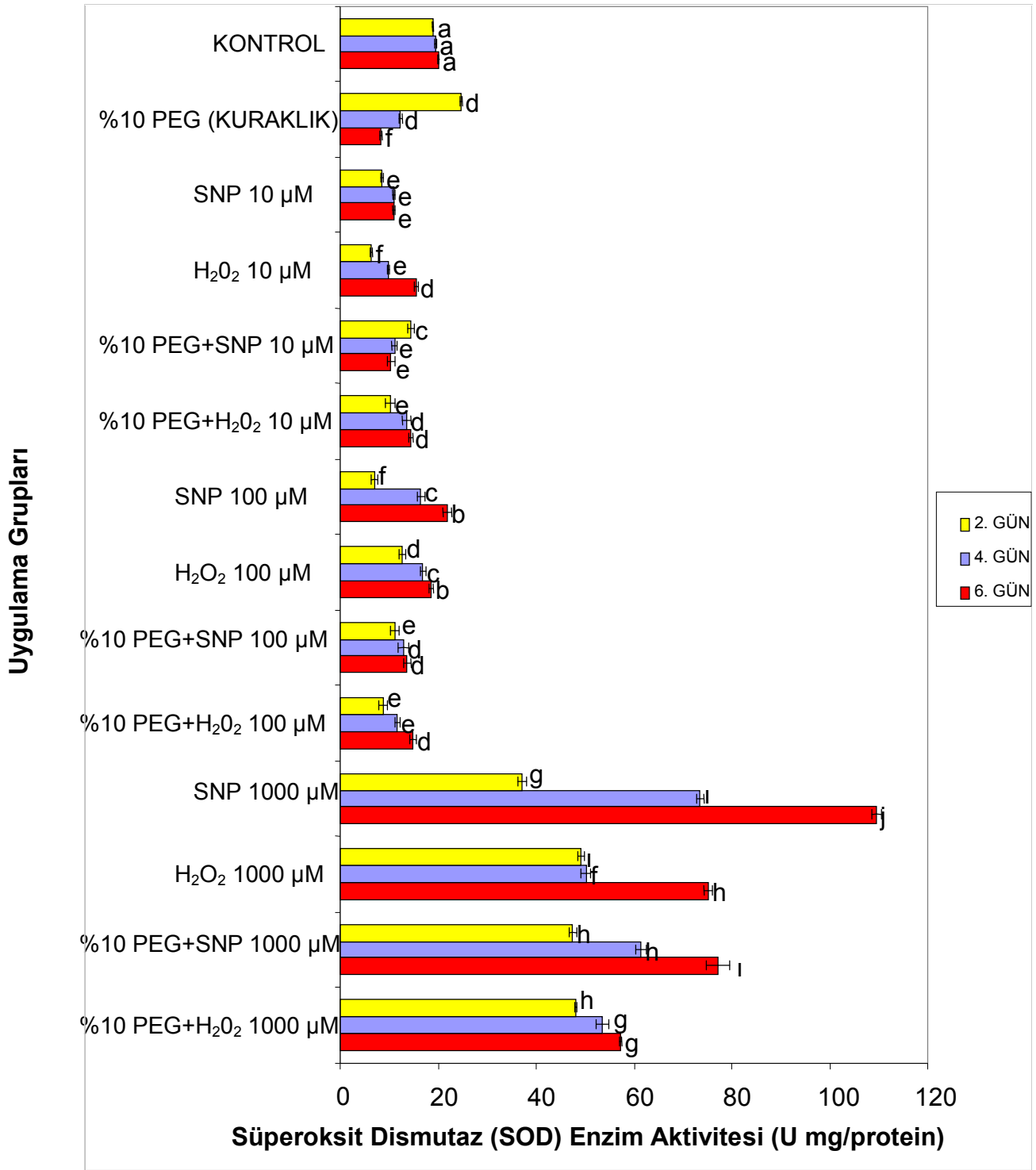
T. aestivum L. cv. “Yıldırım” buğday bitkisinin kök dokusunda süperoksit dismutaz (SOD) aktivitesi kuraklık, SNP ve H₂O₂ uygulamalarına ve günlere göre farklılık göstermiştir (Şekil 4.14).

Yıldırım çeşidi kök dokusunda SOD aktivitesinin kuraklık uygulaması hariç tüm uygulamalarda günlere bağlı olarak arttığı saptanmıştır. Kuraklık uygulamasına bağlı olarak SOD enzim aktivitelerinin günlere bağlı olarak azaldığı belirlenmiştir. Uygulamanın 2. gününde 24.70±0.74 U mg/protein olan aktivitenin 4. günde 12.26±1.07 U mg/protein ve 6. günde 8.22±2.40 U mg/protein değerlerinde olduğu Şekil 4.14’te görülmektedir.

Yıldırım çeşidi kök dokusunda SNP’nin her üç konsantrasyonunda SOD enzim aktivitesinin günlere bağlı olarak artışlar gösterdiği saptanmıştır. 10 µM uygulamasının 2. 4. ve 6. günlerinde (sırasıyla 8.54±0.61 U mg/protein, 10.84±1.01 U mg/protein ve 10.86±0.84 U mg/protein) ve 100 µM uygulamasının 2. ve 4. gününde (6.99±0.62 U mg/protein ve 16.47±0.64 U mg/protein) kontrol grubuna göre daha az olan SOD enzim aktivitelerinin (p≤0.05), 100 µM uygulamasının 6. gününde ve 1000 µM uygulamasının 2. 4. ve 6. günlerinde kontrol grubuna göre arttığı Şekil 4.14’ten anlaşılmaktadır. En yüksek SOD enzim aktivitesi 1000 µM SNP uygulamasının 6. gününde 109.61±0.36 U mg/protein olarak belirlenmiştir. Yapılan istatistik analize göre, 10 µM, 100 µM ve 1000 µM SNP uygulamalarının 2. 4. ve 6. günlerinde belirlenen SOD enzim aktiviteleri arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemli olduğu saptanmıştır (p≤0.05). PEG+SNP uygulamasında 10 µM uygulaması hariç, 100 µM ve 1000 µM uygulamalarında günlere bağlı olarak SOD enzim aktivitelerinin arttığı belirlenmiştir. Şekil 4.14 incelendiğinde, 100 µM konsantrasyonun 2. gününde belirlenen SOD enzim aktivitesinin 10 µM uygulamasının 2. günündeki aktiviteye göre azaldığı, 4. ve 6. günlerdeki aktivitenin ise arttığı görülmektedir. 1000 µM PEG+SNP uygulamasında ise SOD enzim aktivitesinin diğer PEG+SNP uygulamalarına göre daha fazla artış gösterdiği ve 2. günde 47.51±0.26 U mg/protein, 4. günde 61.39±0.31 U mg/protein ve 6. günde ise 77.21±0.24 U mg/protein olduğu belirlenmiştir. En yüksek SOD enzim aktivitesinin 1000 µM konsantrasyonun 6. gününde 77.21±0.24 U mg/protein olduğu saptanmıştır. Yapılan istatistik analize göre, PEG+SNP uygulanan grupların 2. 4. ve 6. günlerinde SOD enzim aktiviteleri arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemli olduğu (p≤0.05) bulunmuştur.

Yıldırım çeşidi kök dokusunda H₂O₂ uygulamasında günlere ve konsantrasyonlara bağlı olarak SOD enzim aktivitelerinin arttığı belirlenmiştir. Şekil 4.14 incelendiğinde, 10 µM

H₂O₂ uygulanan gruptaki SOD enzim aktivitelerinin 2. 4. ve 6. günlerde sırasıyla 6.33±0.91 U mg/protein, 9.89±0.75 U mg/protein ve 15.53±0.94 U mg/protein değerlerinde olduğu ve bu değerlerin kontrol grubundan daha az olduğu (p≤0.05) görülmektedir. 100 µM H₂O₂ uygulama grubunda da kontrol grubuna göre daha az SOD enzim aktiviteleri saptanırken 1000 µM H₂O₂ uygulamasında hem kontrol grubuna hem de diğer konsantrasyonlara göre SOD enzim aktivitelerinin daha yüksek olduğu belirlenmiştir (p≤0.05). En yüksek enzim aktivitesi 1000 µM konsantrasyonun 6. gününde 75.24±0.21 U mg/protein olarak saptanmıştır. Yapılan istatistik analize göre, H₂O₂ uygulanan gruplarda 2. 4. ve 6. günlerde belirlenen SOD enzim aktiviteleri arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemli olduğu saptanmıştır (p≤0.05). PEG+H₂O₂ uygulamasına bağlı olarak her üç konsantrasyonda (10 µM, 100 µM, 1000 µM) günlere bağlı olarak SOD enzim aktivitelerinin arttığı bulunmuştur (Şekil 4.14). 100 µM konsantrasyonun 2. gününde 8.81±0.63 U mg/protein ve 4. gününde 11.69±0.57 U mg/protein olarak belirlenen enzim aktivitelerinin, 10 µM uygulamasının 2. gününde 10.24±0.89 U mg/protein ve 4. gününde 13.54±1.05 U mg/protein olarak belirlenen aktivitelerden düşük olduğu saptanmıştır. 100 µM PEG+H₂O₂ uygulamasının 6. gününde belirlenen SOD enzim aktivitesinin ise (14.88±0.79 U mg/protein) 10 µM konsantrasyonun 6. gününde belirlenen aktiviteye (14.44±0.75 U mg/protein) yakın olduğu saptanmıştır. 1000 µM PEG+H₂O₂ uygulamasında, 10 µM ve 100 µM PEG+H₂O₂ uygulamalarından yüksek SOD enzim aktiviteleri belirlenmiştir. En yüksek SOD enzim aktivitesi 1000 µM PEG+H₂O₂ uygulamasının 6. gününde 57.30±0.06 U mg/protein olarak belirlenmiştir. Yapılan istatistik analize göre, PEG+H₂O₂ uygulamalarının 2. ve 4. günündeki 10 µM, 100 µM ve 1000 µM uygulama gruplarında belirlenen SOD enzim aktiviteleri arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemli olduğu (p≤0.05), 6. gündeki 10 µM ve 100 µM PEG+H₂O₂ uygulama gruplarındaki SOD enzim aktiviteleri arasındaki farkların önemsiz (p>0.05), 1000 µM konsantrasyona göre ise önemli olduğu (p≤0.05) saptanmıştır.



Şekil 4.14. *Triticum aestivum* L. cv. “Yıldırım” buğday bitkisi kök dokusunda uygulama gruplarına, günlere ve konsantrasyonlara bağlı olarak süperoksit dismutaz (SOD) enzim aktivitesinde meydana gelen değişimler. Sütunlardaki hata çubukları ortalama $\pm$ standart hatayı göstermektedir

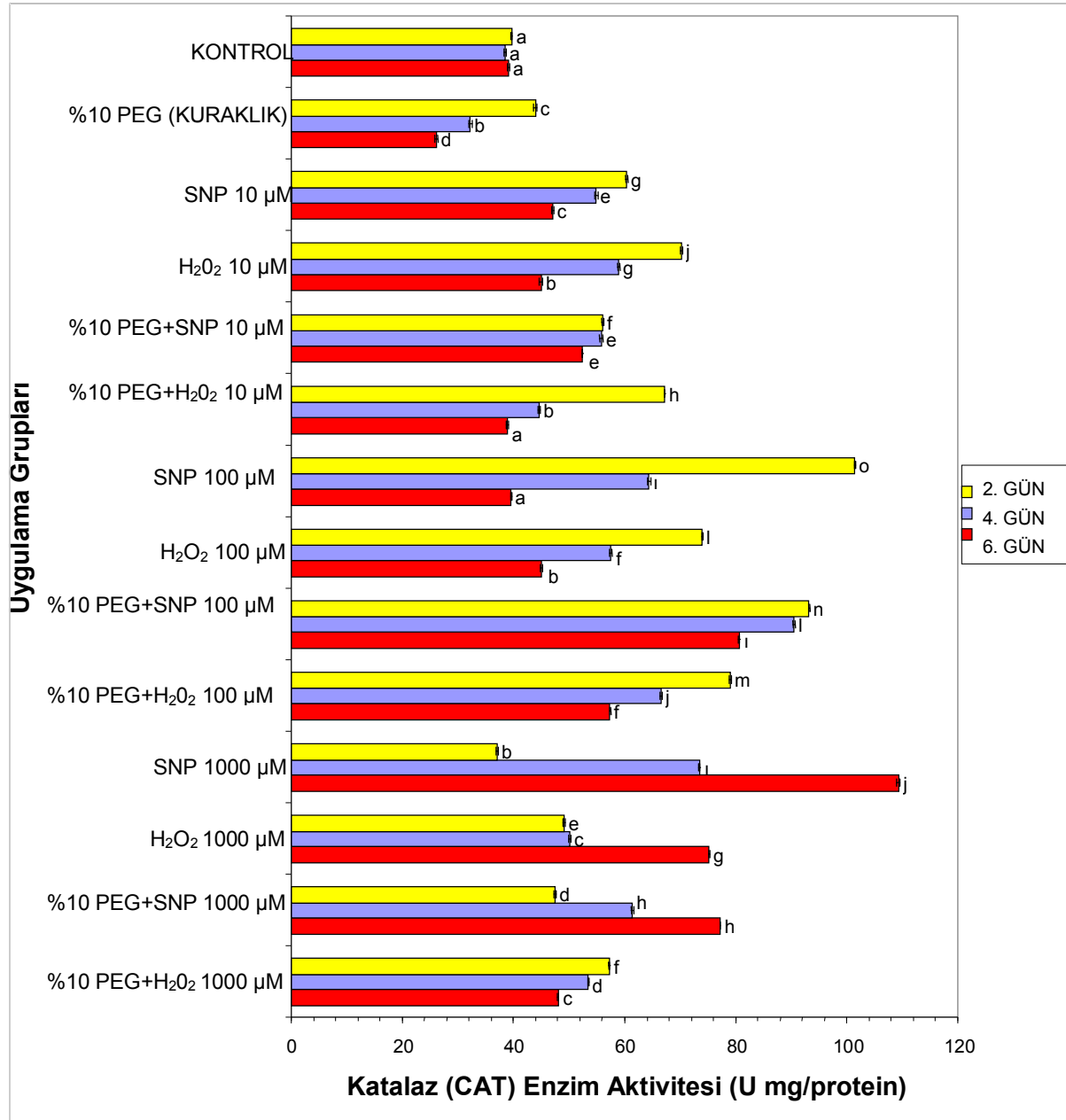
4.1.15. *T. aestivum* L. cv. “Yıldırım” Buğday Bitkisi Kök Dokusunda Uygulama Gruplarının Katalaz (CAT) Aktiviteleri Üzerine Etkileri

T. aestivum L. cv. “Yıldırım” Buğday bitkisinin kök dokusunda katalaz (CAT) aktivitesi kuraklık, SNP ve H₂O₂ uygulamalarına ve günlere göre farklılık göstermiştir (Şekil 4.15).

Yıldırım çeşidi kök dokusundaki CAT enzim aktivitesi kontrol grubunda 2. 4. ve 6. günlerde sırasıyla 39.67±0.10 U mg/protein, 38.55±0.10 U mg/protein ve 39.05±0.10 U mg/protein olarak bulunmuştur (Şekil 4.15). Kuraklık uygulamasında CAT enzim aktivitesinin 2. günde kontrol grubundan yüksek olduğu ($p \leq 0.05$) ve kuraklık uygulamasında belirlenen CAT enzim aktivitesi değerlerinin günlere bağlı olarak azaldığı Şekil 4.15’te görülmektedir. Kuraklık uygulamasının 2. 4. ve 6. günlerinde CAT enzim aktivitesinin sırasıyla 43.96±0.15 U mg/protein, 32.24±0.24 U mg/protein ve 26.13±0.08 U mg/protein olduğu belirlenmiştir. Yapılan istatistik analize göre, kuraklık uygulamasının 2. 4. ve 6. günlerinde belirlenen CAT enzim aktiviteleri arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemli olduğu saptanmıştır ($p \leq 0.05$).

Şekil 4.15 incelendiğinde, Yıldırım çeşidi kök dokusunda SNP uygulamalarına bağlı olarak CAT enzim aktivitesinin 10 µM ve 100 µM uygulamalarında günlere bağlı olarak azaldığı, 1000 µM uygulamasında ise arttığı görülmektedir. SNP uygulamalarında saptanan CAT enzim aktivitelerinin 1000 µM SNP uygulamasının 2. gün değeri hariç, kontrol grubundan yüksek olduğu belirlenmiştir ($p \leq 0.05$). 100 µM SNP uygulamasının 2. gününde 101.45±0.08 U mg/protein olan CAT aktivitesinin 4. günde 64.38±0.17 U mg/protein ve 6. günde 39.59±0.20 U mg/protein olduğu saptanmıştır. 1000 µM SNP uygulamasının 2. 4. ve 6. gününde ise CAT enzim aktivitesi sırasıyla, 37.13±0.20 U mg/protein, 73.46±0.23 U mg/protein ve 109.29±0.36 U mg/protein olarak bulunmuştur. Yapılan istatistik analize göre, SNP uygulamasında günlere ve konsantrasyonlara göre belirlenen CAT enzim aktivitelerinin arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemli olduğu ($p \leq 0.05$) saptanmıştır. PEG+SNP uygulamasında CAT enzim aktivitesinin 10 µM ve 100 µM konsantrasyonlarda günlere bağlı olarak azaldığı, 1000 µM konsantrasyonda ise arttığı bulunmuştur (Şekil 4.15). PEG+SNP uygulama grubunda kontrol grubuna göre yüksek CAT enzim aktiviteleri belirlenmiştir ($p \leq 0.05$). En yüksek CAT enzim aktivitesi 100 µM uygulamasının 2. gününde 93.24±0.03 U mg/protein olarak saptanmıştır. Yapılan istatistik analize göre, PEG+SNP uygulamasında günlere ve konsantrasyonlara bağlı olarak belirlenen CAT enzim aktivitelerinin arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemli olduğu ($p \leq 0.05$) saptanmıştır.

Yıldırım çeşidi kök dokusunda H_2O_2 uygulamasında 10 μM ile 100 μM konsantrasyonlarda CAT enzim aktivitesinin günlere bağlı olarak azaldığı, 1000 μM H_2O_2 uygulamasında ise CAT enzim aktivitelerinin günlere bağlı olarak arttığı ve kontrol grubuna göre yüksek olduğu saptanmıştır (Şekil 4.15). 10 μM ve 100 μM H_2O_2 uygulamasında günlere bağlı olarak azalan CAT enzim aktivitelerinin, 1000 μM konsantrasyonda arttığı belirlenmiştir. 1000 μM uygulamasının 2. ve 4. günündeki enzim aktivitesinin (49.21 ± 0.17 U mg/protein ve 50.17 ± 0.22 U mg/protein) 10 μM ve 100 μM uygulamalarındaki değerlerden daha az olduğu belirlenmiştir. En yüksek CAT enzim aktivitesi 1000 μM konsantrasyonun 6. gününde 75.24 ± 0.21 U mg/protein olarak saptanmıştır. Yapılan istatistik analize göre, H_2O_2 uygulamasının 10 μM ile 100 μM konsantrasyonlarının 6. gün değerleri hariç, diğer gün ve konsantrasyonlarda saptanan CAT enzim aktiviteleri arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemli olduğu ($p \leq 0.05$) saptanmıştır. PEG+ H_2O_2 uygulamasında CAT enzim aktivitelerinin günlere bağlı olarak azaldığı saptanmıştır. 2. 4. ve 6. günlerde her üç konsantrasyonda kontrol grubuna göre CAT enzim aktivitelerinin daha yüksek olduğu bulunmuştur ($p \leq 0.05$). En düşük CAT enzim aktivitesi 10 μM PEG+ H_2O_2 uygulamasının 6. gününde 38.85 ± 0.12 U mg/protein olarak belirlenmiştir. En yüksek CAT enzim aktivitesi 100 μM PEG+ H_2O_2 uygulamasının 2. gününde 79.03 ± 0.26 U mg/protein olarak saptanmıştır. Yapılan istatistik analize göre, PEG+ H_2O_2 uygulamasında günlere ve konsantrasyonlara bağlı olarak CAT enzim aktiviteleri arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemli olduğu ($p \leq 0.05$) belirlenmiştir.



Şekil 4.15. *Triticum aestivum* L. cv. “Yıldırım” buğday bitkisi kök dokusunda uygulama gruplarına, günlere ve konsantrasyonlara bağlı olarak katalaz (CAT) enzim aktivitesinde meydana gelen değişimler. Sütunlardaki hata çubukları ortalama $\pm$ standart hatayı göstermektedir

4.1.16. *T. aestivum* L. cv. “Yıldırım” Çeşidi Buğday Bitkisi Kök Dokusunda Uygulama Gruplarının Glutasyon Peroksidaz (GSH-Px) Aktivitesi Üzerine Etkileri

T. aestivum L. cv. “Yıldırım” buğday bitkisinin kök dokusunda glutasyon peroksidaz aktivitesi, kuraklık, SNP ve H₂O₂ uygulamalarına ve günlere göre farklılık göstermiştir (Şekil 4.16).

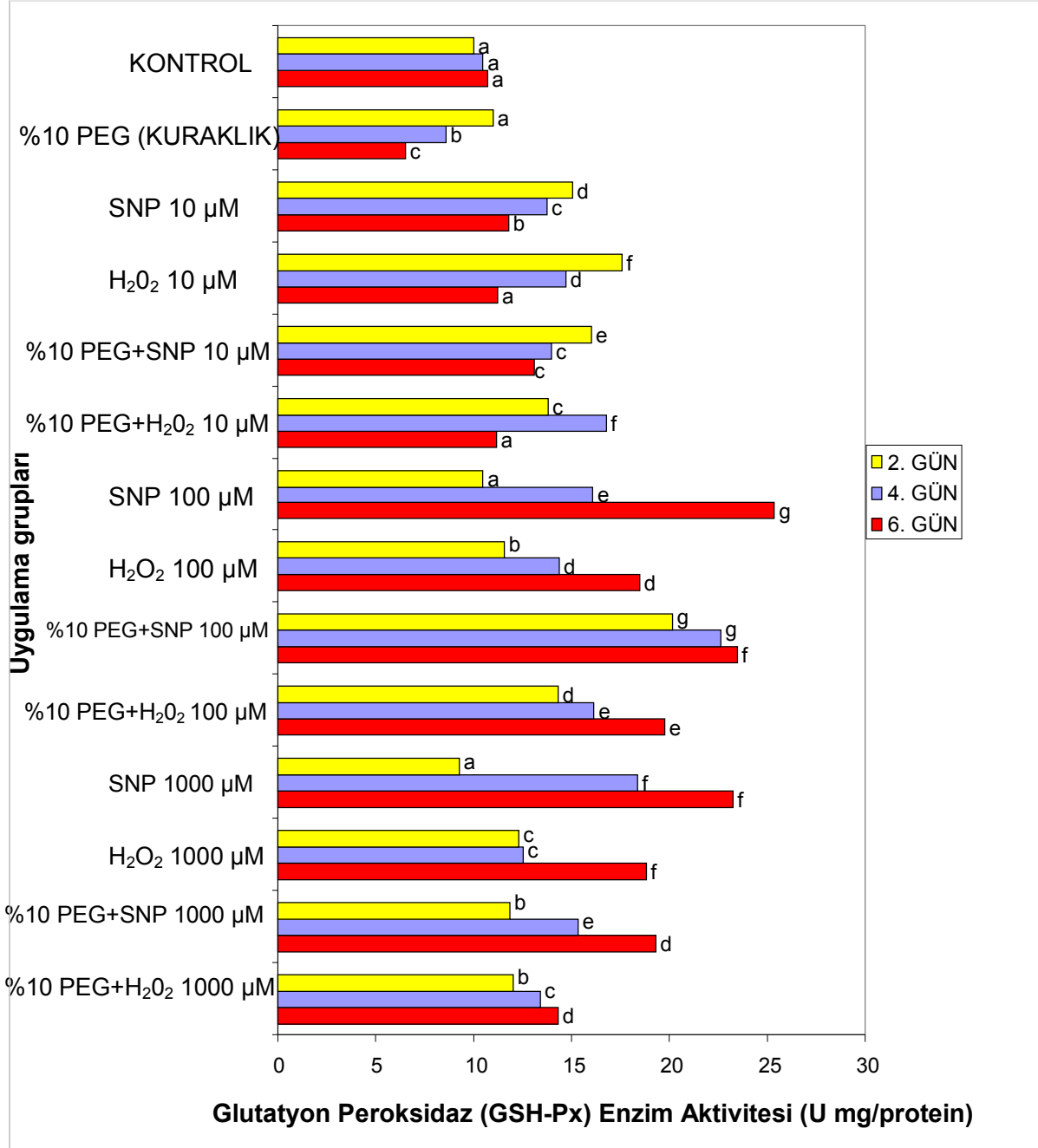
Yıldırım çeşidi kök dokusunda SNP uygulamalarına bağlı olarak, GSH-Px aktivitesinde 1000 µM SNP uygulamasının 2. günü hariç, diğer uygulama gruplarında kontrol grubuna göre yüksek enzim aktiviteleri saptanmıştır. Şekil 4.16 incelendiğinde, Yıldırım çeşidi kök dokusunda glutasyon peroksidaz aktivitesinin kontrol grubunda 2. günde 10.03±0.01 U mg/protein, 4. günde 10.45±0.01 U mg/protein ve 6. günde 10.68±0.01 U mg/protein olarak belirlendiği görülmektedir.

T. aestivum L. cv. “Yıldırım” bitkisinin kök dokusunda kuraklık uygulamasına bağlı olarak 2. gün 10.99±0.05 U mg/protein olan GSH-Px enzim aktivitesinin 4. günde 8.56±0.02 U mg/protein olduğu ve 6. günde ise daha da azalarak 6.53±0.05 U mg/protein olduğu belirlenmiştir. Yapılan istatistik analize göre, kuraklık uygulamasının her üç gününde belirlenen GSH-Px aktiviteleri arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemli ($p \leq 0.05$) olduğu saptanmıştır.

Triticum aestivum L. cv. “Yıldırım” bitkisinin kök dokusundaki 10 µM SNP uygulamasında günlere bağlı olarak azalan GSH-Px enzim aktivitesi saptanmıştır. Şekil 4.16 incelendiğinde, 100 µM ve 1000 µM SNP uygulamalarında GSH-Px enzim aktivitelerinin günlere bağlı olarak arttığı ve en yüksek enzim aktivitesinin 100 µM konsantrasyonun 6. gününde 25.36±0.03 U mg/protein olarak saptandığı görülmektedir. Yapılan istatistik analize göre, SNP uygulamasının 100 µM ile 1000 µM konsantrasyonların 2. gününde belirlenen GSH-Px enzim aktiviteleri arasındaki farklar hariç, diğer konsantrasyon ve günlere bağlı olarak belirlenen GSH-Px enzim aktiviteleri arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemli olduğu saptanmıştır ($p \leq 0.05$). PEG+SNP uygulamasında 10 µM konsantrasyonda günlere bağlı olarak glutasyon peroksidaz enzim aktivitesinin azaldığı, 100 µM ve 1000 µM PEG+SNP uygulamasında ise arttığı bulunmuştur (Şekil 4.16). PEG+SNP uygulamasındaki en yüksek enzim aktivitesi ise 23.46±0.05 U mg/protein olarak 100 µM konsantrasyonun 6. gününde saptanmıştır. Yapılan istatistik analize göre, PEG+SNP uygulamasının her üç konsantrasyonunda günlere bağlı olarak GSH-Px enzim aktiviteleri arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemli ($p \leq 0.05$) olduğu bulunmuştur.

Yıldırım çeşidi kök dokusunda H₂O₂ uygulamasında GSH-Px enzim aktivitesinin 10 µM H₂O₂ uygulamasında günlere bağlı olarak azaldığı, 100 µM ve 1000 µM H₂O₂

uygulamalarında ise günlere bağılı olarak arttığı saptanmıştır (Şekil 4.16). 100 μM H_2O_2 uygulamasında günlere bağılı olarak sırasıyla 11.57 ± 0.02 , 14.38 ± 0.03 ve 18.48 ± 0.03 U mg/protein olarak belirlenen GSH-Px enzim aktivitesinin 1000 μM H_2O_2 uygulamasında sırasıyla 12.30 ± 0.02 , 12.54 ± 0.02 ve 18.81 ± 0.05 U mg/protein olduğu bulunmuştur. En yüksek GSH-Px enzim aktivitesi 1000 μM H_2O_2 uygulamasında 6. günde 18.81 ± 0.05 U mg/protein olarak belirlenmiştir (Şekil 4.16). Yapılan istatistik analize göre, 100 μM ile 1000 μM H_2O_2 uygulamasında 2. ve 6., 10 μM ile 100 μM 'da 4. günde belirlenen GSH-Px aktiviteleri arasındaki farkların önemsiz ($p > 0.05$), diğer gün ve konsantrasyonlarda ise önemli olduğu saptanmıştır ($p \leq 0.05$). PEG+ H_2O_2 uygulamasında 100 μM ile 1000 μM konsantrasyonlarda günlere bağılı olarak GSH-Px enzim aktivitelerinin arttığı belirlenmiştir. 10 μM konsantrasyonda ise 2. günde 13.77 ± 0.02 U mg/protein olan aktivitenin 4. günde 16.80 ± 0.04 U mg/protein değerine yükseldiği, 6. günde ise 11.15 ± 0.00 U mg/protein olduğu saptanmıştır. En yüksek GSH-Px enzim aktivitesi 100 μM PEG+ H_2O_2 uygulamasının 6. gününde 19.75 ± 0.02 U mg/protein olarak belirlenmiştir. PEG+ H_2O_2 uygulaması yapılan örneklerdeki GSH-Px enzim aktivitesinin kontrol grubundaki değerlerinden yüksek ve istatistiksel açıdan da önemli oldukları ($p \leq 0.05$) Şekil 4.16'dan görülmektedir. Yapılan istatistik analize göre, 10 μM ile 100 μM konsantrasyonların 2. ve 4. gününde saptanan GSH-Px enzim aktivitesi arasındaki farklar hariç ($p > 0.05$) diğer gün ve konsantrasyonlardaki farkların önemli olduğu bulunmuştur ($p \leq 0.05$).



Şekil 4.16. *Triticum aestivum* L. cv. “Yıldırım” buğday bitkisi kök uygulama gruplarına, günlere ve konsantrasyonlara bağlı olarak glutatyon peroksidaz (GSH-Px) enzim aktivitesinde meydana gelen değişimler. Sütunlardaki hata çubukları ortalama $\pm$ standart hatayı göstermektedir

4.1.17. *T. aestivum* L. cv. “Yıldırım” Buğday Bitkisi Kök Dokusunda Uygulama Gruplarının Malondialdehit (MDA) İçeriği Üzerine Etkileri

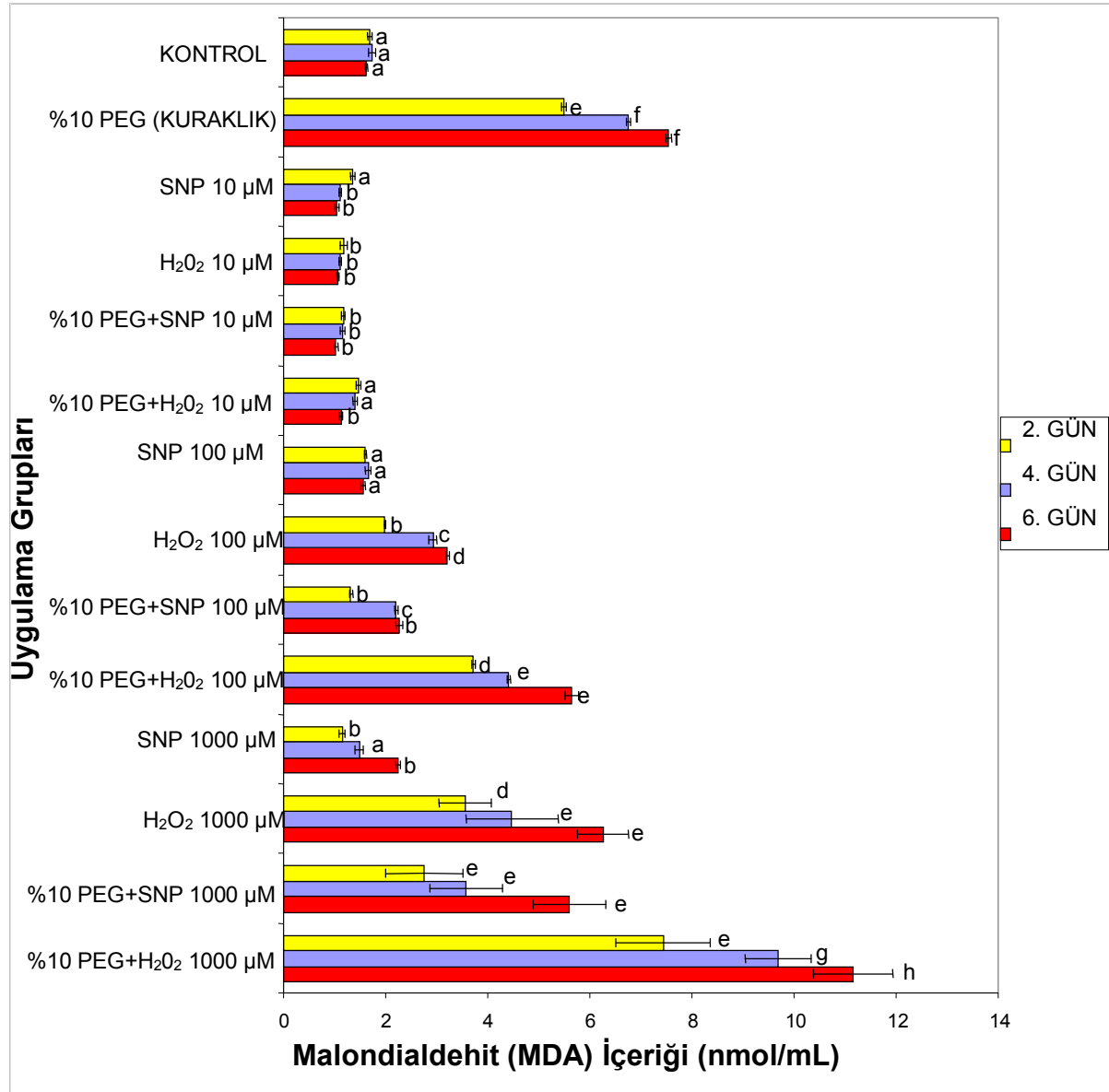
T. aestivum L. cv. “Yıldırım” buğday bitkisinin kök dokusunda malondialdehit (MDA) içeriği (nmol/mL) , kuraklık, SNP ve H₂O₂ uygulamalarına ve günlere göre farklılık göstermiştir (Şekil 4.17).

Şekil 4.17 incelendiğinde, Yıldırım çeşidi kök dokusunda MDA içeriğinin kuraklık uygulamasında günlere bağlı olarak arttığı görülmektedir. Kuraklık uygulamasının 2. günde 5.49±0.04 nmol/mL, 4. günde 6.75±0.05 nmol/mL ve 6. günde 7.54±0.05 nmol/mL olarak belirlenen MDA içeriklerinin kontrol grubunda belirlenen MDA içeriklerinden yüksek olduğu ve aralarındaki farkların istatistiksel olarak önemli olduğu ($p \leq 0.05$) saptanmıştır. Yapılan istatistik analize göre, kuraklık uygulamasının 4. ve 6. günlerdeki MDA içeriği arasındaki farkların önemsiz ($p > 0.05$), 2. gündeki MDA içeriği arasındaki farkın ise önemli olduğu ($p \leq 0.05$) belirlenmiştir.

Yıldırım çeşidi kök dokusunda 10 µM, 100 µM 1000 µM SNP uygulamasında 2. 4. ve 6. günlerde MDA içeriklerinin (1000 µM uygulamasının 6. günü hariç) kontrol grubuna göre azaldığı saptanmıştır (Şekil 4.17). 10 µM SNP uygulamasında günlere bağlı olarak MDA içeriklerinde azalmaların, 100 µM ve 1000 µM uygulamalarında ise artış ve azalmaların olduğu görülmektedir. En düşük MDA içeriği 10 µM SNP uygulamasının 6. gününde 1.04±0.05 nmol/mL, en yüksek MDA içeriği ise 1000 µM SNP uygulamasının 6. gününde 2.24±0.05 nmol/mL olarak saptanmıştır. Yapılan istatistik analize göre, 2. ve 4. gün uygulamalarının tüm konsantrasyonlarında belirlenen MDA içerikleri arasındaki farkların, 6. günde ise 1000 µM SNP uygulamasındaki farkın 10 µM ile 100 µM SNP uygulamaları arasındaki farklara göre önemli olduğu ($p \leq 0.05$) saptanmıştır. PEG+SNP uygulamasında 10 µM konsantrasyonda günlere bağlı olarak MDA içeriğinin azaldığı saptanmıştır. 100 µM ve 1000 µM konsantrasyonda ise günlere bağlı olarak artan ve 100 µM konsantrasyonun 2. günü hariç, kontrol grubundan yüksek MDA içerikleri belirlenmiştir (Şekil 4.17). En düşük MDA içeriği 10 µM uygulamasının 6. gününde 1.03±0.04 nmol/mL, en yüksek MDA içeriği ise 1000 µM uygulamasının 6. gününde 5.60±0.72 nmol/mL olarak saptanmıştır. Yapılan istatistik analize göre, 10 µM ile 100 µM konsantrasyonların 2. günde belirlenen MDA içerikleri arasındaki farkların önemsiz ($p > 0.05$), diğer gün ve konsantrasyonlardaki farkların ise önemli ($p \leq 0.05$) olduğu saptanmıştır.

Yıldırım çeşidi kök dokusunda H₂O₂ uygulamalarına bağlı olarak MDA içeriğinin 10 µM konsantrasyonda günlere bağlı olarak azaldığı, 100 µM ve 1000 µM uygulamalarında ise arttığı belirlenmiştir. Şekil 4.17 incelendiğinde, 100 µM ve 1000 µM H₂O₂ uygulamasının 2.

4. ve 6. günlerindeki MDA içeriklerinin kontrol grubuna göre yüksek olduğu görülmektedir ($p \leq 0.05$). En düşük MDA içeriği 10 μM H_2O_2 uygulamasının 6. gününde 1.07 ± 0.02 nmol/mL, en yüksek MDA içeriği ise 1000 μM uygulamasının 6. gününde 6.26 ± 0.50 nmol/mL olarak saptanmıştır. Yapılan istatistik analize göre, H_2O_2 uygulamasının her üç konsantrasyonunda günlere bağlı olarak saptanan MDA içerikleri arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemli olduğu ($p \leq 0.05$) belirlenmiştir. PEG+ H_2O_2 uygulamasında 10 μM konsantrasyonda günlere bağlı olarak azalan MDA içeriğinin 100 μM ve 1000 μM konsantrasyonlarında günlere bağlı olarak arttığı saptanmıştır (Şekil 4.17). 100 μM ve 1000 μM PEG+ H_2O_2 uygulamasında MDA içeriklerinin kontrol grubuna göre yüksek olduğu ve en yüksek MDA içeriğinin 1000 μM uygulamasının 6. gününde 11.16 ± 0.78 nmol/mL olduğu saptanmıştır. En düşük MDA içeriğinin ise 10 μM PEG+ H_2O_2 uygulamasının 6. gününde 1.13 ± 0.03 nmol/mL olduğu belirlenmiştir. Yapılan istatistik analize göre, PEG+ H_2O_2 uygulamasının her üç konsantrasyonun 2. 4. ve 6. günlerinde MDA içerikleri arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemli olduğu ($p \leq 0.05$) bulunmuştur.



Şekil 4.17. *Triticum aestivum* L. cv. “Yıldırım” buğday bitkisi kök dokusunda uygulama gruplarına, günlere ve konsantrasyonlara bağlı malondialdehit (MDA) içeriğinde meydana gelen değişimler. Sütunlardaki hata çubukları ortalama $\pm$ standart hatayı göstermektedir

4.1.18. *T. aestivum* L. cv. “Yıldırım” Buğday Bitkisi Kök Dokusunda Uygulama Gruplarının Toplam Çözünebilir Protein Miktarı Üzerine Etkileri

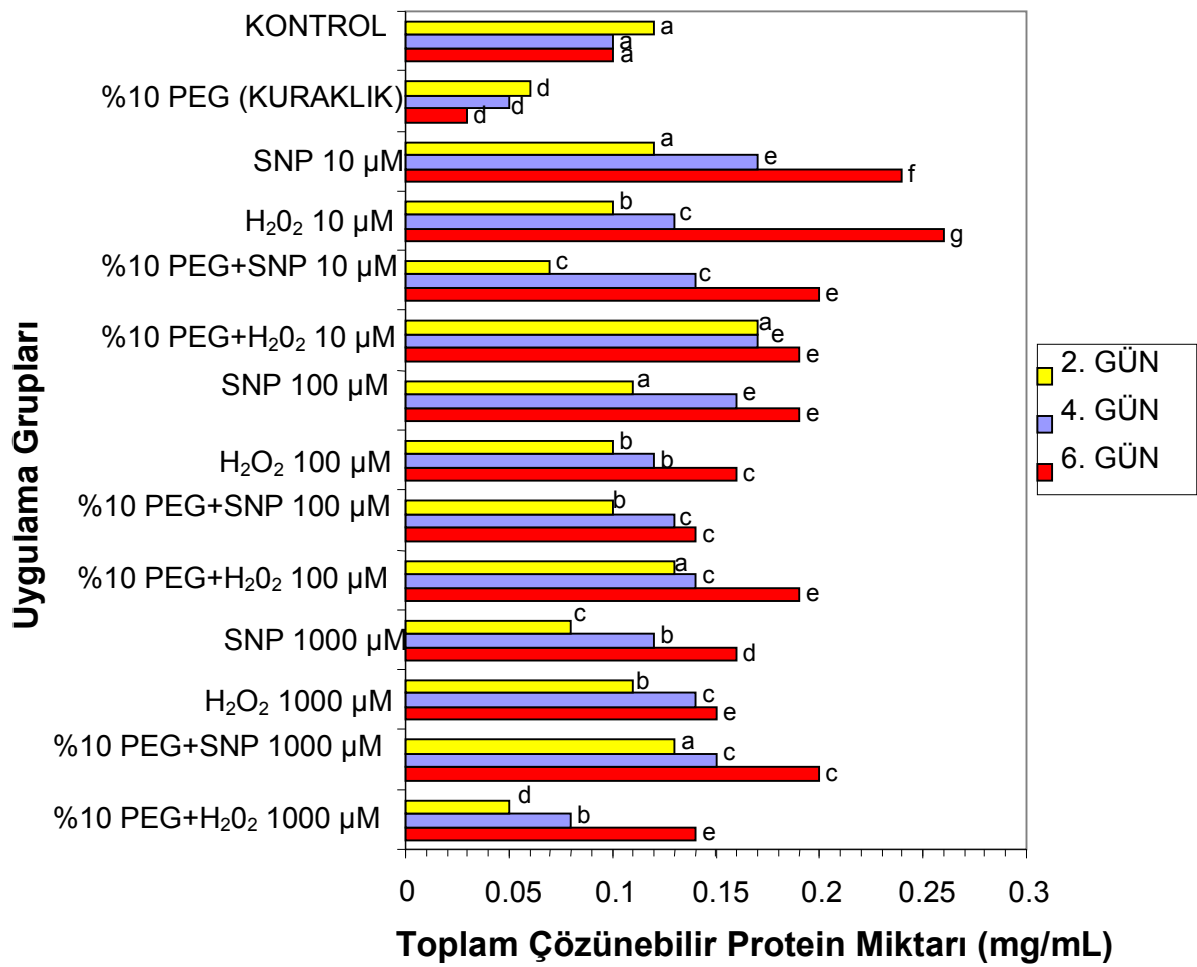
Triticum aestivum L. cv. “Yıldırım” bitkisinin kök dokusunda toplam çözünebilir protein miktarı, kuraklık, SNP ve H₂O₂ uygulamalarına ve günlere göre farklılık göstermiştir (Şekil 4.18).

Yıldırım çeşidi kök dokusunda kuraklık uygulaması hariç diğer tüm uygulama gruplarında toplam çözünebilir protein miktarlarında günlere bağlı olarak artış olduğu saptanmıştır. Kuraklık uygulamasında belirlenen toplam çözünebilir protein miktarlarının kontrol grubuna göre daha az olduğu bulunmuştur ($p \leq 0.05$). Şekil 4.18 incelendiğinde 2. gün 0.06 ± 0.00 mg/mL olan toplam çözünebilir protein miktarının 4. gün 0.05 ± 0.00 mg/mL, 6. günde ise 0.03 ± 0.00 mg/mL değerlerinde olduğu görülmektedir. Yapılan istatistik analize, göre kuraklık uygulamasının 2. 4. ve 6. günlerinde belirlenen toplam çözünebilir protein miktarları arasındaki farkların istatistiksel olarak önemsiz ($p > 0.05$) olduğu belirlenmiştir.

Yıldırım çeşidi kök dokusunda SNP uygulamasında toplam çözünebilir protein miktarlarının günlere bağlı olarak arttığı saptanmıştır. Şekil 4.18 incelendiğinde, SNP uygulamasının 4. ve 6. günlerinde toplam çözünebilir protein miktarlarının kontrol grubuna göre arttığı görülmektedir ($p \leq 0.05$). En yüksek toplam çözünebilir protein miktarı 10 μ M SNP uygulamasının 6. gününde 0.24 ± 0.00 mg/mL, en düşük toplam çözünebilir protein miktarının 1000 μ M uygulamasının 2. gününde 0.08 ± 0.00 mg/mL olduğu belirlenmiştir. Yapılan istatistik analize göre, her üç konsantrasyonun 2. ve 4. günlerinde belirlenen toplam çözünebilir protein miktarları arasındaki farklar ile 100 μ M ve 1000 μ M konsantrasyonların 6. gününde belirlenen toplam çözünebilir protein miktarları arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemsiz olduğu ($p > 0.05$) bulunmuştur. PEG+SNP uygulamasında günlere bağlı olarak toplam çözünebilir protein miktarlarında artışların olduğu saptanmıştır. Şekil 4.18 incelendiğinde, 10 μ M uygulamasındaki toplam çözünebilir protein miktarlarının 2. 4. ve 6. günde sırasıyla 0.07 ± 0.00 mg/mL, 0.14 ± 0.00 mg/mL ve 0.20 ± 0.00 mg/mL olduğu görülmektedir. Uygulama grubundaki en düşük toplam çözünebilir protein miktarının 10 μ M konsantrasyonun 2. gününde 0.07 ± 0.00 mg/mL, en yüksek toplam çözünebilir protein miktarının ise 6. gününde 0.20 ± 0.00 mg/mL olduğu saptanmıştır. 2. gün uygulamalarında 100 μ M ve 1000 μ M konsantrasyonlardaki toplam çözünebilir protein miktarlarının 10 μ M konsantrasyondakine göre arttığı, 6. günde ise azaldığı belirlenmiştir. Yapılan istatistik analize göre, PEG+SNP uygulanan grupların 2. günündeki 10 μ M konsantrasyon ile 100 μ M konsantrasyonda, 4. gününde her üç konsantrasyonda ve 6. günde 10 μ M ile 100 μ M

konsantrasyonda belirlenen toplam çözünebilir protein miktarları arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemsiz ($p>0.05$) olduğu saptanmıştır.

Yıldırım çeşidi kök dokusunda H_2O_2 uygulamasında toplam çözünebilir protein miktarlarının günlere bağlı olarak arttığı belirlenmiştir. Şekil 4.18 incelendiğinde, en yüksek toplam çözünebilir protein miktarlarının $10 \mu M H_2O_2$ uygulamasının 6. gününde 0.26 ± 0.00 mg/mL, en düşük toplam çözünebilir protein miktarlarının ise $10 \mu M H_2O_2$ uygulamasının 2. gününde 0.09 ± 0.00 mg/mL olduğu görülmektedir. Yapılan istatistik analize göre, uygulama gruplarının 2. ve 4. günlerinde belirlenen toplam çözünebilir protein miktarları arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemsiz ($p>0.05$), 6. günde $10 \mu M$ konsantrasyonda belirlenen toplam çözünebilir protein miktarı arasındaki farkın $100 \mu M$ ile $1000 \mu M$ uygulamalarında saptanan toplam çözünebilir protein miktarları arasındaki farklara göre istatistiksel açıdan önemli olduğu saptanmıştır ($p \leq 0.05$).



Şekil 4.18. *Triticum aestivum* L. cv. “Yıldırım” buğday bitkisi kök dokusunda uygulama gruplarına, günlere ve konsantrasyonlara bağlı toplam çözünebilir protein miktarında meydana gelen değişimler. Sütunlardaki hata çubukları ortalama $\pm$ standart hatayı göstermektedir

PEG+H₂O₂ uygulamasında 1000 µM konsantrasyonda saptanan toplam çözünebilir protein miktarlarının 10 µM ve 100 µM uygulamalarından daha az olduğu belirlenmiştir. Şekil 4.18 incelendiğinde, PEG+H₂O₂ uygulamasında en düşük toplam çözünebilir protein miktarının 1000 µM uygulamasının 2. gününde 0.05±0.00 mg/mL, en yüksek toplam çözünebilir protein miktarının ise 100 µM PEG+H₂O₂ uygulamasının 6. gününde 0.20±0.00 mg/mL olduğu görülmektedir. Yapılan istatistik analize göre, 10 µM ile 100 µM PEG+H₂O₂ uygulamalarının 6. gününde saptanan toplam çözünebilir protein miktarları arasındaki farklar hariç (p>0.05), diğer konsantrasyon ve günlerdeki farkların istatistiksel açıdan önemli olduğu bulunmuştur (p≤0.05).

4.1.19. *Triticum aestivum* L. cv. “Yıldırım” Çeşidi Buğday Bitkisi Kök Dokusunda Uygulama Gruplarının Hidrojen Peroksit İçeriği Üzerine Etkileri

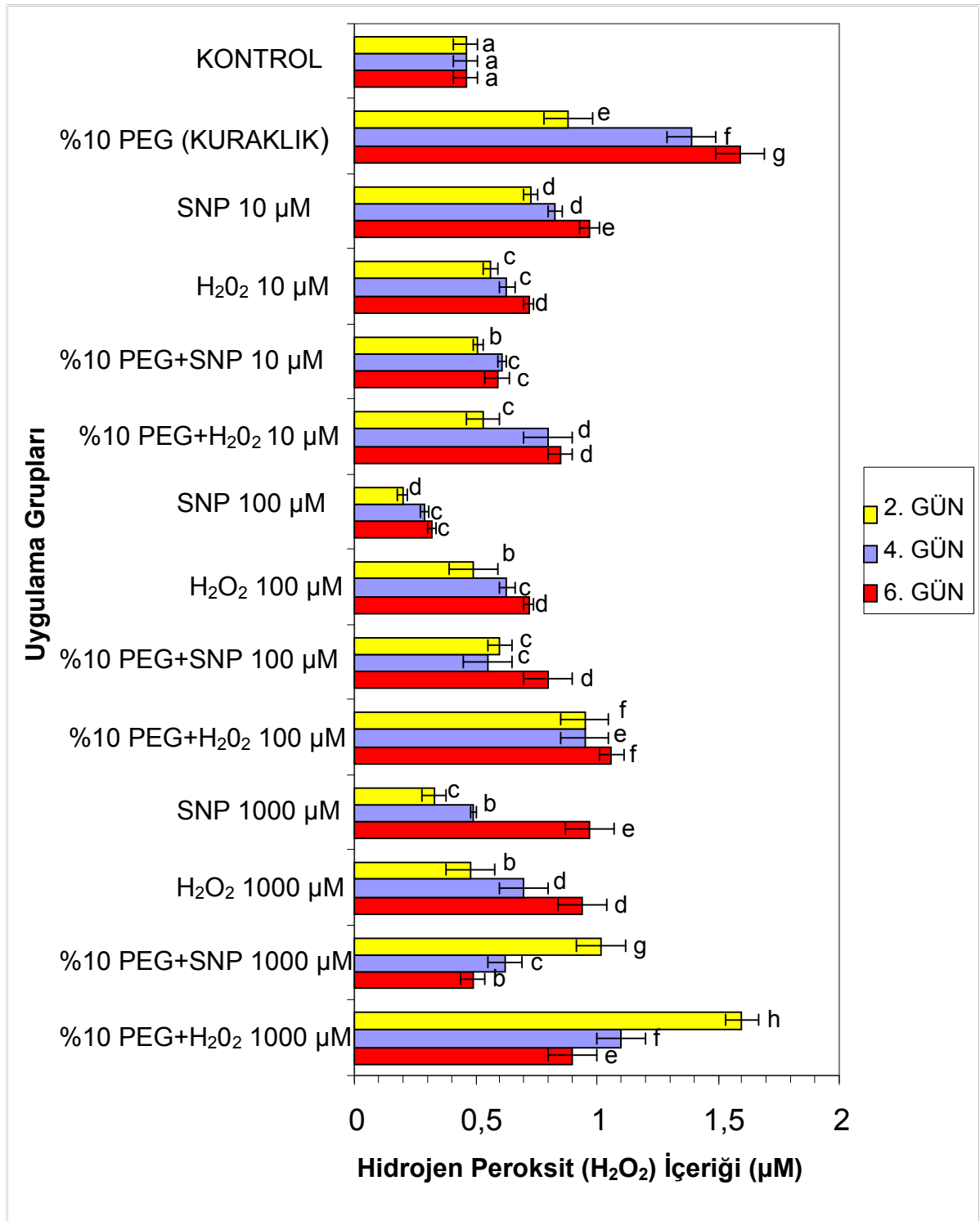
Triticum aestivum L. cv. “Yıldırım” buğday bitkisi kök dokusunda hidrojen peroksit içeriği, kuraklık, SNP ve H₂O₂ uygulamalarına ve günlere göre farklılık göstermiştir (Şekil 4.19).

Yıldırım çeşidi kök dokusunda hidrojen peroksit içeriğinin kuraklık uygulamasında günlere bağlı olarak arttığı saptanmıştır. Şekil 4.19 incelendiğinde, kuraklık uygulamasının 2. gününde 0.88±0.10 µM olan H₂O₂ içeriğinin 4. günde 1.39±0.10 µM olduğu ve 6. günde ise 1.59±0.10 µM değerine ulaştığı ve bu değerlerin kontrol grubundan yüksek olduğu görülmektedir. Yapılan istatistik analize göre, kuraklık uygulamasının her üç gününde H₂O₂ içeriği arasındaki farkların önemli oldukları (p≤0.05) saptanmıştır.

Yıldırım çeşidi kök dokusunda SNP uygulamasının her üç konsantrasyonunda günlere bağlı olarak H₂O₂ içeriğinde artışların olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.19). 10 µM SNP uygulamasının 2. 4. ve 6. günlerinde sırasıyla, 0.73±0.03 µM, 0.83±0.03 µM ve 0.96±0.04 µM olarak saptanan H₂O₂ içeriğinin kontrol grubundan yüksek olduğu (p≤0.05) saptanmıştır. 100 µM SNP uygulamasında saptanan H₂O₂ içeriklerinin ise 2. gün 0.20±0.02 µM, 4. gün 0.29±0.02 ve 6. gün 0.32±0.02 µM olduğu ve bu değerlerin kontrol grubuna göre daha az olduğu (p≤0.05) belirlenmiştir. Şekil 4.19 incelendiğinde, 1000 µM SNP uygulamasında günlere bağlı olarak H₂O₂ içeriğinde artış olduğu 2. günde kontrol grubundan daha az düzeyde bulunan H₂O₂ içeriğinin (p≤0.05) 4. ve 6. günlerde artış gösterdiği (p≤0.05) görülmektedir. En düşük H₂O₂ içeriği 100 µM SNP uygulamasının 2. gününde 0.20±0.02 µM olarak saptanırken en yüksek H₂O₂ içeriğinin 1000 µM uygulamasının 6. gününde 0.97±0.10 µM olduğu belirlenmiştir. Yapılan istatistik analize göre, 10 µM ile 1000 µM SNP uygulamalarının 6. günündeki H₂O₂ içeriği hariç, SNP uygulamasında günlere ve konsantrasyonlarına bağlı olarak saptanan H₂O₂ içeriği arasındaki farkların istatistiksel açıdan

önemli olduğu bulunmuştur ($p \leq 0.05$). PEG+SNP uygulamasında kontrol grubuyla karşılaştırıldığında H_2O_2 içeriğinin daha yüksek olduğu saptanmıştır. Şekil 4.19 incelendiğinde, 10 μM ve 100 μM PEG+SNP uygulamalarının 2. 4. ve 6. günlerinde, 1000 μM uygulamasının 4. ve 6. günlerinde belirlenen H_2O_2 içeriğinin kuraklık uygulamasından daha az olduğu görülmektedir. Yapılan istatistik analize göre, PEG+SNP uygulanan grupların 2. ve 6. günlerindeki 10 μM , 100 μM ve 1000 μM konsantrasyonlarında saptanan H_2O_2 içeriği arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemli ($p \leq 0.05$), 4. günde her üç konsantrasyonda belirlenen H_2O_2 içeriği arasındaki farkların önemsiz ($p > 0.05$) olduğu bulunmuştur.

Yıldırım çeşidi kök dokusunda H_2O_2 uygulamalarında günlere bağlı olarak H_2O_2 içeriğinde artışların olduğu ve bu artışların kontrol grubundan yüksek olduğu ($p \leq 0.05$) saptanmıştır. H_2O_2 uygulamalarında saptanan H_2O_2 içeriğinin kuraklık uygulamasındaki değerlerden daha az olduğu belirlenmiştir. 10 μM uygulama grubunda H_2O_2 içeriği 2., 4. ve 6. günlerde sırasıyla $0.56 \pm 0.03 \mu M$, $0.63 \pm 0.03 \mu M$ ve $0.70 \pm 0.02 \mu M$ olarak saptanmıştır. En düşük H_2O_2 içeriğinin 1000 μM uygulamasının 2. gününde ($0.48 \pm 0.10 \mu M$) ve en yüksek H_2O_2 içeriğinin ise 1000 μM uygulamasının 6. gününde olduğu ($0.94 \pm 0.10 \mu M$) belirlenmiştir. Yapılan istatistik analize göre, 10 μM ile 100 μM H_2O_2 uygulamasının 6. günü, 10 μM , 100 μM ile 1000 μM uygulamasının 2. ve 4. günlerinde H_2O_2 içeriği arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemsiz olduğu ($p > 0.05$) saptanmıştır. PEG+ H_2O_2 uygulamasında 10 μM ile 100 μM konsantrasyonlarda H_2O_2 içeriklerinin günlere bağlı olarak arttığı, 1000 μM uygulamasında ise azaldığı saptanmıştır (Şekil 4.19). PEG+ H_2O_2 uygulama grubunda saptanan H_2O_2 içeriğinin kontrol grubundan yüksek olduğu ($p \leq 0.05$) belirlenmiştir. En düşük H_2O_2 içeriği 10 μM konsantrasyonun 2. gününde $0.53 \pm 0.07 \mu M$, en yüksek H_2O_2 içeriği ise 1000 μM konsantrasyonun 2. gününde $1.60 \pm 0.07 \mu M$ olarak saptanmıştır. Yapılan istatistik analize göre, PEG+ H_2O_2 uygulanan grupların 10 μM ile 1000 μM konsantrasyonlarının 6. günü hariç, diğer gün ve konsantrasyonlarda belirlenen H_2O_2 içeriği arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemli olduğu saptanmıştır ($p \leq 0.05$).



Şekil 4.19. *Triticum aestivum* L. cv. “Yıldırım” buğday bitkisi kök dokusunda uygulama gruplarına, günlere ve konsantrasyonlara bağlı hidrojen peroksit (H₂O₂) içeriğinde meydana gelen değişimler. Sütunlardaki hata çubukları ortalama ± standart hatayı göstermektedir

4.1.20. *T. aestivum* L. cv. “Yıldırım” Buğday Bitkisi Kök Dokusunda Uygulama Gruplarının Oransal Su İçeriği (OSİ) Üzerine Etkileri

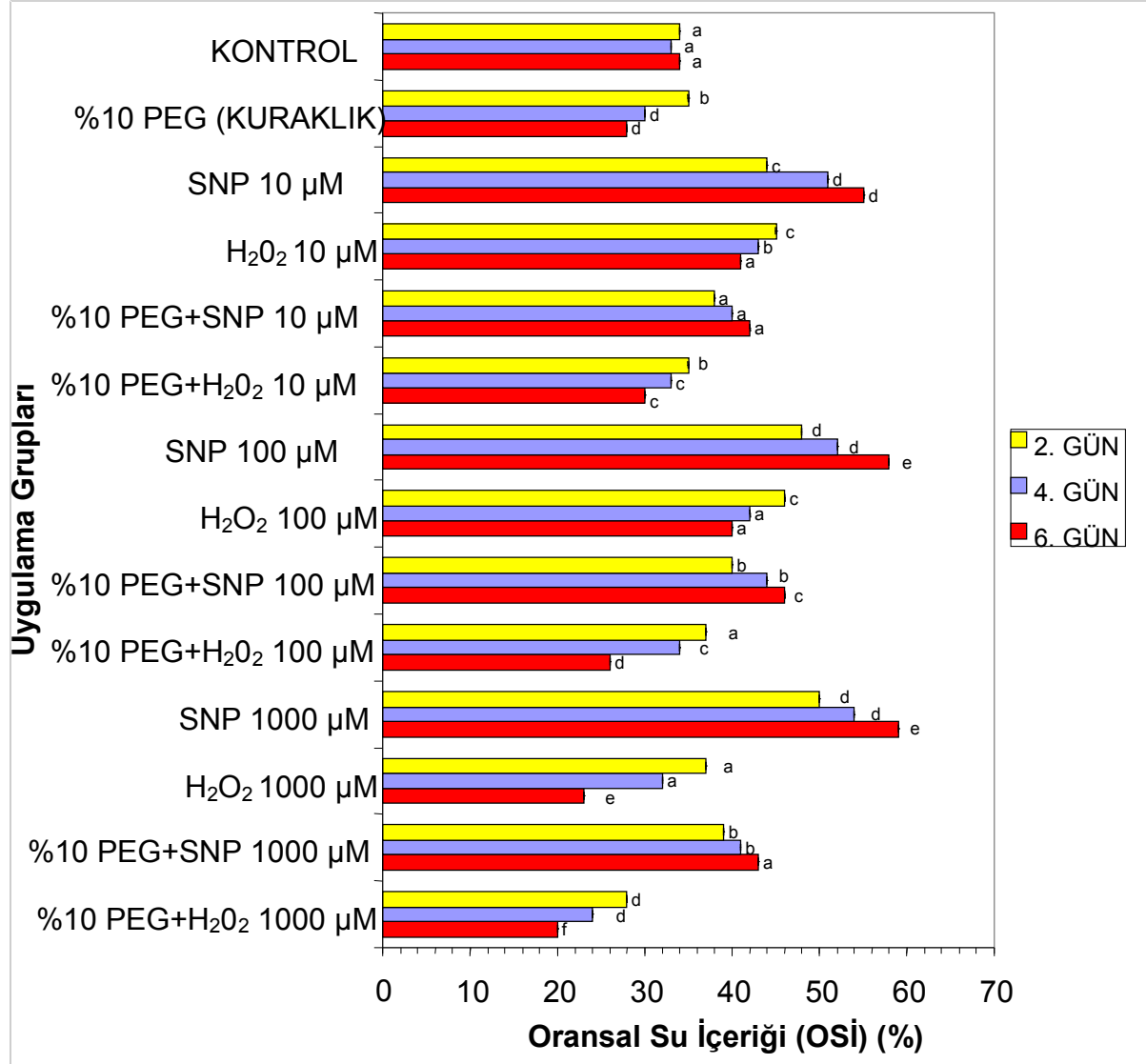
T. aestivum L. cv. “Yıldırım” buğday bitkisinin kök dokusunda oransal su içeriği (OSİ) (%), kuraklık, SNP ve H₂O₂ uygulamalarına ve günlere göre farklılık göstermiştir (Şekil 4.20).

Yıldırım çeşidi kök dokusunda kuraklık uygulamasında günlere bağlı olarak kontrol grubuna göre azalan OSİ belirlenmiştir. Yapılan istatistik analize göre kuraklık uygulamasının 2. gününde saptanan OSİ arasındaki farkın 4. ve 6. günlere göre istatistiksel açıdan önemli olduğu ($p \leq 0.05$) bulunmuştur.

Yıldırım çeşidi kök dokusunda SNP uygulamasında oransal su içeriğinin günlere bağlı olarak arttığı ve kontrol grubundan yüksek olduğu saptanmıştır. En yüksek OSİ 1000 μ M SNP uygulamasının 6. gününde 59 ± 0.01 (%) olarak belirlenmiştir (Şekil 4.20). Yapılan istatistik analize göre, SNP uygulamalarının 100 μ M ile 1000 μ M konsantrasyonlarının 2. ve 6. günlerinde, 100 μ M ile 1000 μ M konsantrasyonların 2. gününde saptanan oransal su içerikleri (%) arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemsiz olduğu ($p > 0.05$) belirlenmiştir. PEG+SNP uygulamasında kontrol grubuna göre yüksek OSİ saptanmıştır ($p \leq 0.05$). Şekil 4.20 incelendiğinde 100 μ M konsantrasyonda günlere bağlı olarak OSİ düzeyinde artış olduğu, 1000 μ M konsantrasyonda 2. günde 39 ± 0.00 (%) olarak belirlenen oransal su içeriğinin 4. ve 6. günde arttığı görülmektedir. Yapılan istatistik analize göre, PEG+SNP uygulamasının 2., 10 μ M ile 1000 μ M konsantrasyonların 4. ve 6. günlerinde saptanan oransal su içerikleri arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemsiz ($p > 0.05$) olduğu belirlenmiştir.

Yıldırım çeşidi kök dokusunda H₂O₂ uygulamalarında oransal su içeriğinin günlere bağlı olarak azaldığı saptanmıştır. Şekil 4.20 incelendiğinde, 1000 μ M konsantrasyonun 4. ve 6. günlerinde kontrol grubundan daha az olan oransal su içeriği görülmektedir. 1000 μ M uygulamasının 6. gününde 23 ± 0.02 (%) olarak saptanan oransal su içeriğinin kuraklık uygulamasının 6. gününde saptanan değerden daha düşük olduğu belirlenmiştir. Yapılan istatistik analize göre, 10 μ M ile 100 μ M konsantrasyonların 2. 4. ve 6. günlerinde saptanan oransal su içerikleri arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemsiz ($p > 0.05$) olduğu bulunmuştur. PEG+H₂O₂ uygulamalarında günlere bağlı olarak oransal su içeriğinin azaldığı saptanmıştır. 1000 μ M PEG+H₂O₂ uygulamasında günlere bağlı olarak meydana gelen OSİ’deki azalmanın 10 μ M ve 100 μ M uygulamalarından fazla olduğu ve hem kontrol hem de kuraklık uygulama gruplarından daha az oransal su içeriği bulunduğu belirlenmiştir. 100 μ M PEG+H₂O₂ uygulamasının 2. gününde saptanan 37 ± 0.02 (%) değeri en yüksek oransal su içeriği olarak belirlenmiştir. Yapılan istatistik analize göre, 10 μ M ile 100 μ M

konsantrasyonların 2. ve 4. günlerinde saptanan oransal su içerikleri arasındaki farklar hariç, diğer gün ve konsantrasyonlarda saptanan oransal su içerikleri arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemli ($p \leq 0.05$) olduğu bulunmuştur.



Şekil 4.20. *Triticum aestivum* L. cv. “Yıldırım” buğday bitkisi kök dokusunda uygulama gruplarına, günlere ve konsantrasyonlara bağlı oransal su içeriğinde (OSİ) meydana gelen değişimler. Sütunlardaki hata çubukları ortalama $\pm$ standart hatayı göstermektedir

4.2. *Triticum aestivum* L. cv. “Doğu–88” ve *Triticum aestivum* L. cv. “Yıldırım” Buğday Bitkilerinin Yaprak Dokularında %10 PEG (Kuraklık), SNP ve H₂O₂ (10 µM, 100 µM ve 1000 µM) Uygulamalarının Araştırma Parametreleri Üzerine Etkileri

4.2.1. *Triticum aestivum* L. cv. “Doğu–88” Buğday Bitkisi Yaprak Dokusunda Uygulama Gruplarının Nitrik Oksit (NO) Düzeyi Üzerine Etkileri

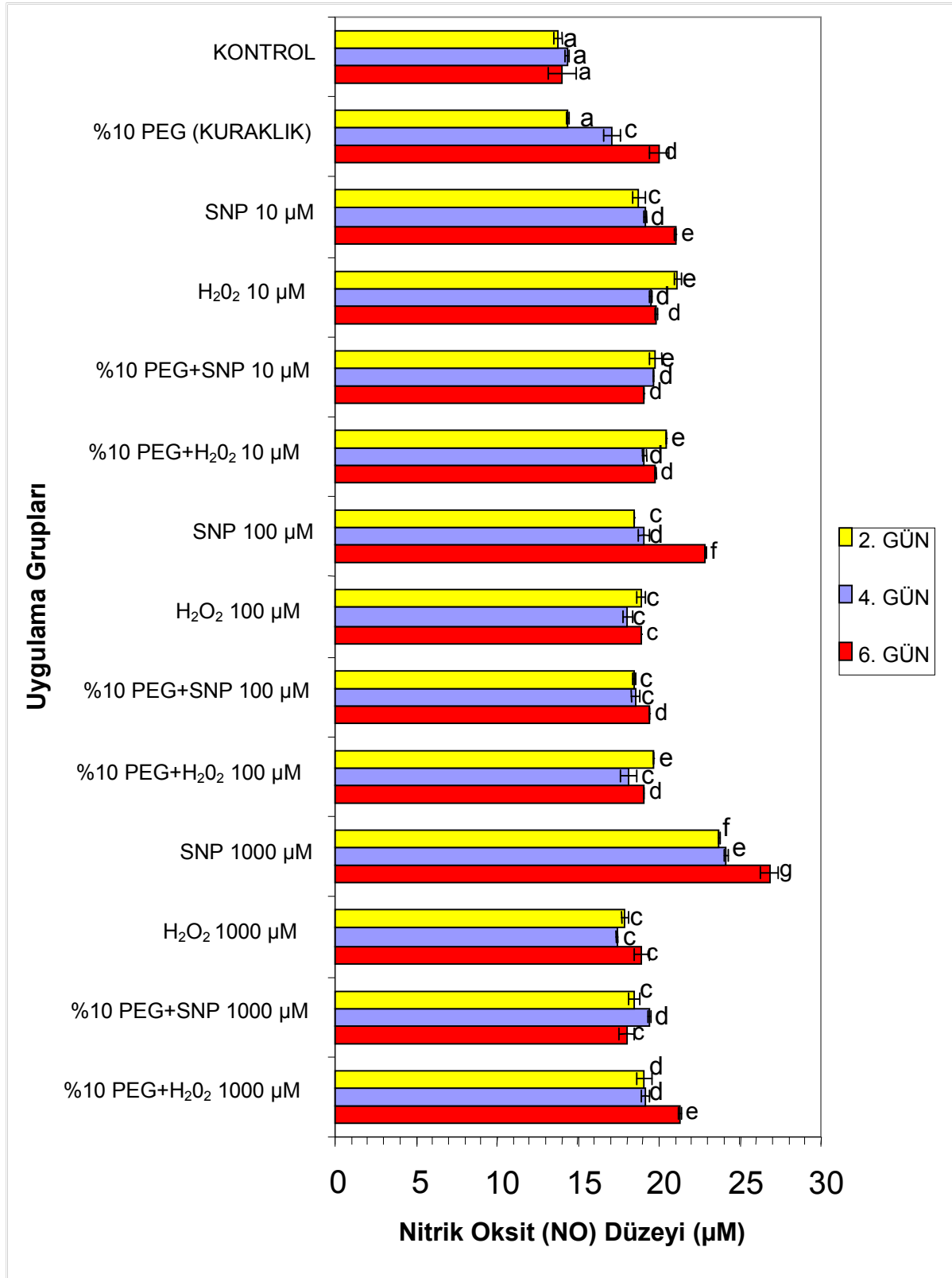
T. aestivum L. cv. “Doğu–88” buğday bitkisinin yaprak dokusunda nitrik oksit düzeyi kuraklık, SNP ve H₂O₂ uygulamalarına ve günlere göre farklılık gösterdiği saptanmıştır (Şekil 4.21).

Doğu–88 çeşidi yaprak dokusunda kuraklık uygulamasında NO düzeylerinin günlere bağlı olarak arttığı saptanmıştır. Şekil 4.21 incelendiğinde, kuraklık uygulamasının 2. gününde 14.33±0.08 µM olan NO düzeyinin 4. günde artarak 17.10±0.49 µM düzeyine yükseldiği, 6. günde ise 20.00±0.57 µM olduğu ve kuraklık uygulamasında saptanan NO düzeylerinin kontrol grubuna göre yüksek olduğu görülmektedir.

Doğu–88 çeşidi yaprak dokusunda SNP uygulamasında NO düzeylerinde günlere bağlı olarak artışlar saptanmış olup en yüksek NO düzeyinin 1000 µM konsantrasyonun 6. gününde 26.80±0.57 µM olduğu belirlenmiştir. Şekil 4.21 incelendiğinde, SNP uygulamalarında saptanan NO düzeylerinin kontrol grubundan yüksek olduğu görülmektedir. Yapılan istatistik analize göre, 10 µM ile 100 µM uygulamalarının 2. 4. ve 6. günlerinde belirlenen NO düzeyleri arasındaki farklar hariç, 1000 µM SNP uygulamasında farkların istatistiksel açıdan önemli ($p \leq 0.05$) olduğu bulunmuştur. PEG+SNP uygulamasında 10 µM ve 100 µM konsantrasyonlarda NO düzeylerinin günlere bağlı olarak arttığı, 1000 µM uygulamasının 2. gününde 18.49±0.31 µM olan NO düzeyinin, 4. gününde 19.40±0.05 µM düzeyine yükseldiği ve 6. gününde ise 18.00±0.46 µM değerinde olduğu belirlenmiştir. Yapılan istatistik analize göre, her üç konsantrasyonun her üç gününde saptanan NO düzeyleri arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemsiz ($p > 0.05$) olduğu bulunmuştur.

Doğu–88 çeşidi yaprak dokusunda H₂O₂ uygulamasında her üç konsantrasyonda belirlenen NO düzeylerinin 2. güne göre 4. günde azaldığı, 6. günde ise 4. güne göre arttığı saptanmıştır (Şekil 4.21). En yüksek NO düzeyi 10 µM konsantrasyonun 2. gününde 21.13±0.20 µM olarak belirlenmiştir. Şekil 4.21 incelendiğinde, H₂O₂ uygulamalarında saptanan NO düzeylerinin kontrol grubundan yüksek olduğu ($p \leq 0.05$) görülmektedir. Yapılan istatistik analize göre her üç konsantrasyonun (10 µM, 100 µM, 1000 µM) 6. gününde belirlenen NO düzeyleri arasındaki farklar ile 100 µM ve 1000 µM uygulamalarının 2. ve 4. gününde saptanan NO düzeyleri arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemsiz ($p > 0.05$) olduğu bulunmuştur. PEG+H₂O₂ uygulamasında 10 µM ve 100 µM konsantrasyonlarda 2.

günde belirlenen NO düzeylerinin 4. günde azaldığı, 6. günde ise arttığı ve 6. gündeki değerlerin 2. güne göre daha az olduğu, 1000 μ M konsantrasyonda ise NO düzeylerinin günlere bağlı olarak arttığı saptanmıştır. En yüksek NO düzeyinin 1000 μ M konsantrasyonun 6. gününde 21.30 ± 0.11 μ M olduğu belirlenmiştir. Yapılan istatistik analize, göre PEG+H₂O₂ uygulamasında 10 μ M, 100 μ M ve 1000 μ M konsantrasyonun 2. ve 4. gününde, 10 μ M ve 100 μ M uygulamalarının 6. gününde belirlenen NO düzeyleri arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemsiz ($p > 0.05$) olduğu saptanmıştır.



Şekil 4.21. *Triticum aestivum* L. cv. “Doğu-88” buğday bitkisi yaprak dokusunda uygulama gruplarına, günlere ve konsantrasyonlara bağlı olarak nitrik oksit (NO) düzeyinde meydana gelen değişimler. Sütunlardaki hata çubukları ortalama $\pm$ standart hatayı göstermektedir

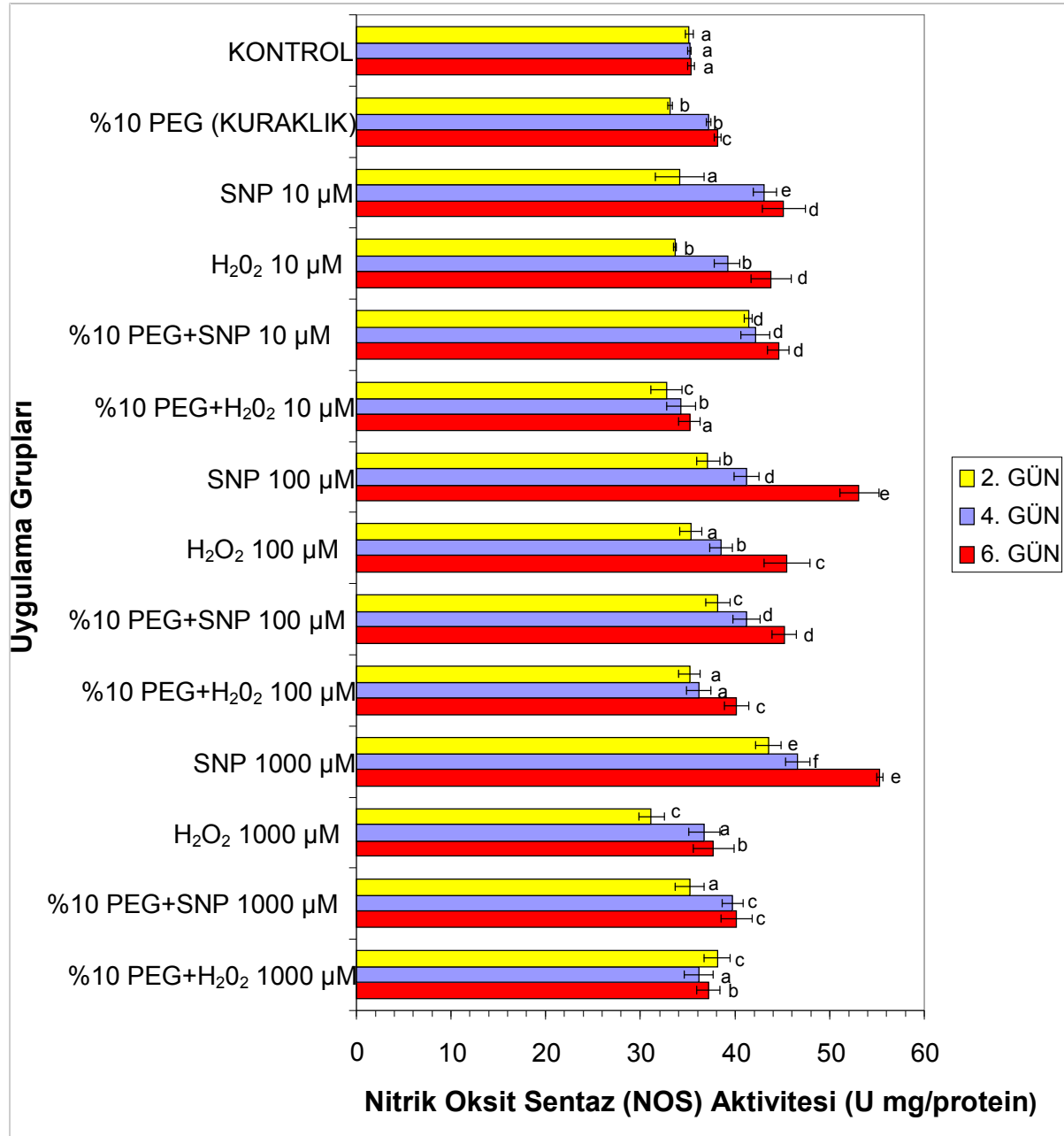
4.2.2. *Triticum aestivum* L. cv. “Doğu-88” buğday Bitkisi Yaprak Dokusunda Uygulama Gruplarının Nitrik Oksit Sentaz (NOS) Aktivitesi Üzerine Etkileri

T. aestivum L. cv. “Doğu-88” buğday bitkisi yaprak dokusunda nitrik oksit sentaz (NOS) aktivitesinin kuraklık, SNP ve H₂O₂ uygulamalarına ve günlere bağlı olarak farklılık gösterdiği saptanmıştır.

Doğu-88 çeşidi yaprak dokusunda NOS aktivitesi kuraklık uygulamasına bağlı olarak 2. 4. ve 6. günde artış göstermiştir. Kuraklık uygulamasında belirlenen en yüksek NOS aktivitesi uygulamanın 6. gününde 38.18±0.37 U mg/protein olarak belirlenmiştir. Yapılan istatistik analize göre, kuraklık uygulamasının her üç gününde saptanan NOS aktiviteleri arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemli olduğu (p≤0.05) bulunmuştur.

Doğu-88 çeşidi yaprak dokusunda SNP uygulamalarına bağlı olarak NOS aktivitesinin her üç günde artışlar gösterdiği Şekil 4.22’de görülmektedir. SNP uygulamasındaki en yüksek NOS aktivitesi 1000 µM konsantrasyonun 6. gününde 55.29±0.31 U mg/protein olarak belirlenmiştir. Yapılan istatistik analize göre, SNP uygulamasının her üç gün ve konsantrasyonlarında belirlenen NOS aktiviteleri arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemli olduğu (p≤0.05) bulunmuştur. PEG+SNP uygulamasında NOS aktivitesinin günlere bağlı olarak arttığı belirlenmiştir. 100 µM PEG+SNP uygulamasının 6. gününde 45.18±1.27 U mg/protein olarak saptanan NOS aktivitesinin uygulama grubunda belirlenen en yüksek NOS aktivitesi olduğu bulunmuştur. Yapılan istatistik analize göre, 10 µM ile 100 µM SNP uygulamasının 6. günü hariç, diğer gün ve konsantrasyonlarda belirlenen NOS aktiviteleri arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemli olduğu (p≤0.05) saptanmıştır.

Doğu-88 çeşidi yaprak dokusunda hidrojen peroksit (H₂O₂) uygulamasında NOS aktivitesinin günlere bağlı olarak arttığı belirlenmiştir (Şekil 4.22). H₂O₂ uygulama grubundaki en yüksek NOS aktivitesi 100 µM konsantrasyonun 4. gününde 45.49±2.36 U mg/protein olarak saptanmıştır. Yapılan istatistik analize göre, 10 µM ile 100 µM H₂O₂ uygulamasının 4. günü hariç, diğer gün ve konsantrasyonlardaki NOS aktiviteleri arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemli (p≤0.05) olduğu bulunmuştur. Şekil 4.22’de görüldüğü gibi, PEG+H₂O₂ uygulamasında NOS aktivitesinin günlere bağlı olarak arttığı, en yüksek NOS aktivitesinin ise 100 µM PEG+H₂O₂ uygulamasının 6. gününde 40.15±1.27 U mg/protein olarak belirlenmiştir. Yapılan istatistik analize göre, 100 µM ile 1000 µM PEG+H₂O₂ uygulamasının 4. günü hariç, diğer gün ve konsantrasyonlardaki NOS aktiviteleri arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemli (p≤0.05) olduğu bulunmuştur.



Şekil 4.22. *Triticum aestivum* L. cv. “Doğu-88” buğday bitkisi yaprak dokusunda uygulama gruplarına, günlere ve konsantrasyonlara bağlı olarak nitrik oksit sentaz (NOS) aktivitesinde meydana gelen değişimler. Sütunlardaki hata çubukları ortalama $\pm$ standart hatayı göstermektedir

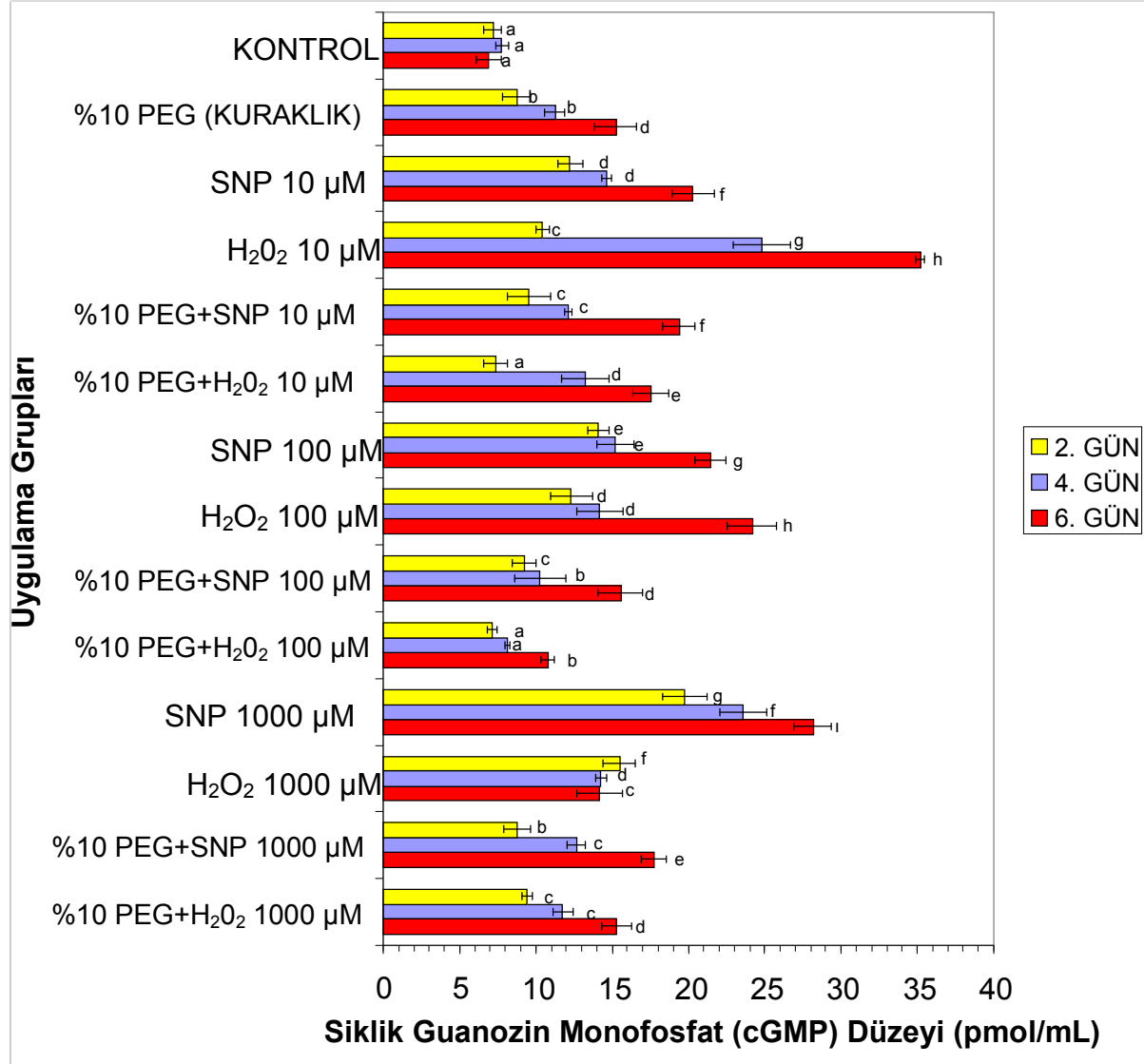
4.2.3. *Triticum aestivum* L. cv. “Doğu-88” buğday Bitkisi Yaprak Dokusunda Uygulama Gruplarının Siklik Guanozin Monofosfat (cGMP) Düzeyi Üzerine Etkileri

T. aestivum L. cv. “Doğu-88” buğday bitkisinin yaprak dokusunda siklik guanozin monofosfat (cGMP) düzeyinin kuraklık, SNP ve H₂O₂ uygulamalarına ve günlere bağlı olarak farklılık gösterdiği saptanmıştır.

Doğu-88 çeşidi yaprak dokusunda kuraklık uygulamasına bağlı olarak cGMP düzeyinin her üç günde artış gösterdiği ve günlere bağlı olarak cGMP düzeyleri arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemli olduğu ($p \leq 0.05$) belirlenmiştir (Şekil 4.23).

Doğu-88 çeşidi yaprak dokusunda SNP uygulamalarına bağlı olarak cGMP düzeylerinde her üç günde artışlar olduğu belirlenmiştir. En yüksek cGMP düzeyi 1000 μ M SNP uygulamasının 6. gününde 28.15 ± 1.19 pmol/mL olarak saptanmıştır. Yapılan istatistik analize göre, 10 μ M ile 100 μ M konsantrasyonun 4. günü hariç, diğer gün ve konsantrasyonlarda belirlenen cGMP düzeyleri arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemli ($p \leq 0.05$) olduğu bulunmuştur. PEG+SNP uygulamasında cGMP düzeyinin günlere bağlı olarak arttığı belirlenmiştir. En yüksek cGMP düzeyi 10 μ M PEG+SNP uygulamasının 6. gününde 19.36 ± 1.04 pmol/mL olarak saptanmıştır. Yapılan istatistik analize göre, her üç konsantrasyonun 2. günü ile 10 μ M ve 1000 μ M uygulamalarının 4. günü hariç, diğer konsantrasyon ve günlerde belirlenen cGMP düzeyleri arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemli olduğu ($p \leq 0.05$) bulunmuştur.

Doğu-88 çeşidi yaprak dokusunda hidrojen peroksit (H₂O₂) uygulamasında cGMP düzeyinin 10 μ M H₂O₂ ve 100 μ M H₂O₂ uygulamalarında günlere bağlı olarak arttığı, 1000 μ M H₂O₂ uygulamasında ise azaldığı Şekil 4.23’den görülmektedir. 10 μ M H₂O₂ uygulamasındaki artışların 100 μ M ve 1000 μ M konsantrasyonlardaki artışlardan daha yüksek olduğu saptanmıştır. En yüksek cGMP düzeyi 10 μ M H₂O₂ uygulamasının 6. gününde 35.19 ± 0.28 pmol/mL olarak belirlenmiştir. Yapılan istatistik analize göre, 100 μ M ve 1000 μ M H₂O₂ uygulamasının 4. günü hariç, diğer gün ve konsantrasyonlardaki cGMP düzeylerinin arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemli ($p \leq 0.05$) olduğu bulunmuştur. PEG+H₂O₂ uygulamasında cGMP düzeyinin günlere bağlı olarak arttığı ve en yüksek cGMP düzeyinin 10 μ M uygulamasının 6. gününde 17.52 ± 1.16 pmol/mL olduğu Şekil 4.23’te görülmektedir. Yapılan istatistik analize göre, PEG+H₂O₂ uygulamasının 10 μ M ile 100 μ M konsantrasyonunun 2. günü hariç, diğer gün ve konsantrasyonlardaki cGMP düzeyleri arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemli olduğu ($p \leq 0.05$) bulunmuştur.



Şekil 4.23. *Triticum aestivum* L. cv. “Doğu-88” buğday bitkisi yaprak dokusunda uygulama gruplarına, günlere ve konsantrasyonlara bağlı olarak siklik guanozin monofosfat (cGMP) düzeyinde meydana gelen değişimler. Sütunlardaki hata çubukları ortalama $\pm$ standart hatayı göstermektedir

4.2.4. *T. aestivum* L. cv. “Doğu-88” Buğday Bitkisi Yaprak Dokusunda uygulama Gruplarının Süperoksit Dismutaz (SOD) Enzim Aktivitesi Üzerine Etkileri

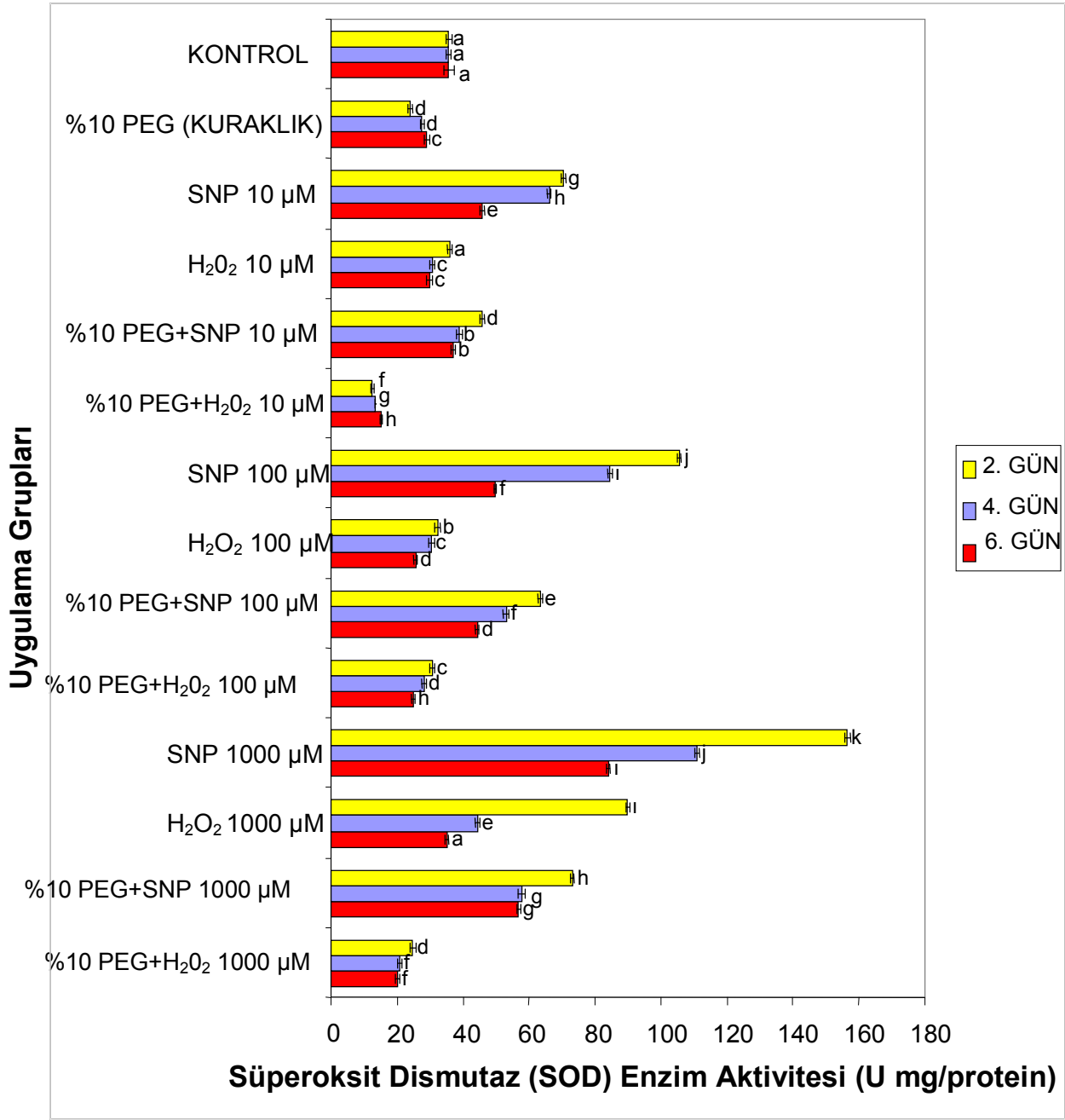
T. aestivum L. cv. “Doğu-88” buğday bitkisinin yaprak dokusunda süperoksit dismutaz (SOD) aktivitesi (U mg/protein) kuraklık, SNP ve H₂O₂ uygulamalarına ve günlere göre farklılık gösterdiği saptanmıştır (Şekil 4.24).

Şekil 4.24 incelendiğinde, Doğu-88 çeşidi yaprak dokusunda kuraklık uygulamasına bağlı olarak saptanan SOD enzim aktivitesinin 2. günde 24.03±0.73 U mg/protein, 4. günde 27.65±0.64 U mg/protein ve 6. günde ise 29.05±0.72 U mg/protein olduğu ve bu değerlerin kontrol grubuna göre daha az olduğu görülmektedir. Yapılan istatistik analize göre, kuraklık uygulamasının 2. 4. ve 6. günlerinde belirlenen SOD enzim aktiviteleri arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemli ($p \leq 0.05$) olduğu belirlenmiştir.

Doğu-88 çeşidi yaprak dokusunda SNP uygulamasında SOD enzim aktivitelerinin konsantrasyonlara bağlı olarak arttığı ve günlere bağlı olarak azaldığı saptanmıştır. Şekil 4.24 incelendiğinde, günlere bağlı olarak saptanan en yüksek enzim aktivitesinin 1000 µM konsantrasyonun 2. gününde bulunduğu (156.53±0.80 U mg/protein) görülmektedir. SNP uygulamalarında saptanan SOD enzim aktivitelerinin kontrol grubundan yüksek olduğu belirlenmiştir ($p \leq 0.05$). Yapılan istatistik analize göre, SNP uygulamasının her üç konsantrasyonunda günlere bağlı olarak SOD enzim aktiviteleri arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemli ($p \leq 0.05$) olduğu bulunmuştur. PEG+SNP uygulamasında SOD enzim aktivitelerinin günlere bağlı olarak azaldığı saptanmıştır. PEG+SNP uygulama grubunda 1000 µM konsantrasyonun 2. 4. ve 6. günlerinde diğer konsantrasyonlara (10 µM, 100 µM) göre yüksek olan SOD enzim aktiviteleri belirlenmiştir. En yüksek enzim aktivitesi 1000 µM uygulamasının 2. gününde 73.15±0.63 U mg/protein olarak saptanmıştır. Yapılan istatistik analize göre, PEG+SNP uygulamasının her üç konsantrasyonunda günlere bağlı olarak SOD enzim aktiviteleri arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemli ($p \leq 0.05$) olduğu bulunmuştur.

Doğu-88 çeşidi yaprak dokusunda H₂O₂ uygulamalarında SOD enzim aktivitelerinde günlere bağlı olarak azalışların olduğu, 100 µM uygulamasının 2., 4. ve 6. günlerinde, 10 µM uygulamasının 4. ve 6. günlerinde ve 1000 µM uygulamasının 6. gününde saptanan SOD enzim aktivitelerinin kontrol grubunda belirlenen SOD enzim aktivitelerine göre azaldığı belirlenmiştir. Şekil 4.24 incelendiğinde, en yüksek SOD enzim aktivitesinin 1000 µM uygulamasının 2. gününde 89.97±0.58 U mg/protein olduğu görülmektedir. Yapılan istatistik analize göre, 10 µM ve 100 µM konsantrasyonlarının 4. günü hariç, H₂O₂ uygulamasının her üç konsantrasyonunda günlere bağlı olarak SOD enzim aktiviteleri arasındaki farkların

istatistiksel açıdan önemli ($p \leq 0.05$) olduğu bulunmuştur. PEG+H₂O₂ uygulamasında SOD enzim aktivitesinin 10 µM konsantrasyonda günlere bağlı olarak arttığı, 100 µM ve 1000 µM uygulamalarında ise günlere bağlı olarak azaldığı saptanmıştır. PEG+H₂O₂ uygulamasında her üç konsantrasyonda günlere bağlı olarak saptanan SOD enzim aktivitelerinin kontrol grubundan daha az olduğu belirlenmiştir. En yüksek SOD enzim aktivitesi 100 µM uygulamasının 2. gününde 30.56 ± 0.71 U mg/protein olarak saptanmıştır. Yapılan istatistik analize göre, PEG+H₂O₂ uygulamasının, 10 µM ile 100 µM konsantrasyonlarının 2. günü hariç, her üç konsantrasyonunda günlere bağlı olarak SOD enzim aktiviteleri arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemli ($p \leq 0.05$) olduğu bulunmuştur.



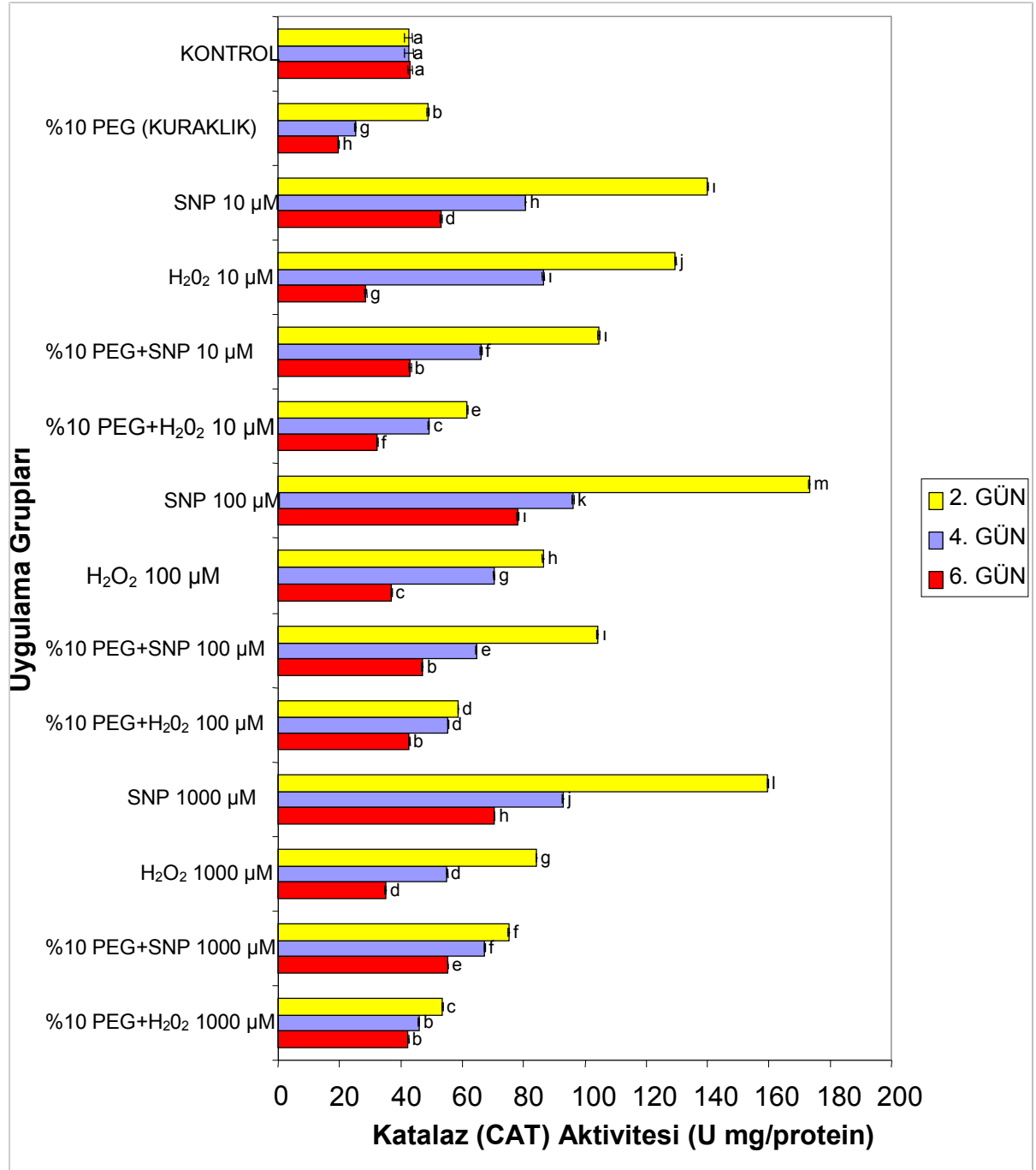
Şekil 4.24. *Triticum aestivum* L. cv. “Doğu-88” buğday bitkisi yaprak dokusunda uygulama gruplarına, günlere ve konsantrasyonlara bağlı olarak süperoksit dismutaz (SOD) aktivitesinde meydana gelen değişimler. Sütunlardaki hata çubukları ortalama $\pm$ standart hatayı göstermektedir

4.2.5. *T. aestivum* L. cv. “Doğu-88” Bbuğday Bitkisi Yaprak Dokusunda Uygulama Gruplarının Katalaz (CAT) Enzim Aktivitesi Üzerine Etkileri

T. aestivum L. cv. “Doğu-88” buğday bitkisinin yaprak dokusunda katalaz (CAT) aktivitesi kuraklık, SNP ve H₂O₂ uygulamalarına ve günlere göre farklılık gösterdiği saptanmıştır (Şekil 4.25).

Şekil 4.25 incelendiğinde, kuraklık uygulamasında CAT enzim aktivitesinin günlere bağlı olarak azaldığı, kuraklık uygulamasının 4. ve 6. günlerinde CAT enzim aktivitesinin kontrol grubunun 4. ve 6. günlerinde belirlenen CAT enzim aktivitesine göre daha düşük olduğu görülmektedir. Kuraklık uygulamasında saptanan en yüksek enzim aktivitesi 48.81±0.25 U mg/protein olarak uygulamanın 2. gününde belirlenmiştir. Yapılan istatistik analize göre, kuraklık uygulamasının 2. 4. ve 6. günlerinde saptanan CAT enzim aktiviteleri arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemli ($p \leq 0.05$) olduğu saptanmıştır.

Şekil 4.25 incelendiğinde, Doğu-88 çeşidi yaprak dokusunda SNP uygulamasında CAT enzim aktivitelerinin günlere bağlı olarak azaldığı görülmektedir. 10 µM SNP uygulamasının 2. 4. ve 6. günlerinde sırasıyla 140.08±0.19 U mg/protein, 80.59±0.02 U mg/protein ve 53.15±0.29 U mg/protein olan CAT enzim aktivitesinin 100 µM uygulamasında sırasıyla 173.15±0.20 U mg/protein, 96.28±0.41 U mg/protein ve 78.26±0.34 U mg/protein olduğu belirlenmiştir. 1000 µM SNP uygulamasında CAT enzim aktivitesinin 2. 4. ve 6. günlerde sırasıyla 159.62±0.25 U mg/protein, 92.81±0.27 U mg/protein ve 70.50±0.07 U mg/protein olduğu saptanmıştır. Yapılan istatistik analize göre, SNP uygulamasının her üç konsantrasyonunda günlere bağlı olarak saptanan CAT enzim aktiviteleri arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemli ($p \leq 0.05$) olduğu bulunmuştur. PEG+SNP uygulamasında CAT enzim aktivitelerinin günlere bağlı olarak azaldığı belirlenmiştir. Şekil 4.25 incelendiğinde en yüksek CAT enzim aktivitesinin 10 µM PEG+SNP uygulamasının 2. gününde 104.47±0.34 U mg/protein olduğu görülmektedir. PEG+SNP uygulamasının her üç konsantrasyonunda CAT enzim aktivitelerinin kontrol grubuna göre daha yüksek olduğu saptanmıştır. Yapılan istatistik analize göre, 10 µM ile 100 µM PEG+SNP uygulamalarının 2. gününde CAT enzim aktiviteleri arasındaki farklar hariç, her üç konsantrasyonunda günlere bağlı olarak CAT enzim aktiviteleri arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemli ($p \leq 0.05$) olduğu bulunmuştur.



Şekil 4.25. *Triticum aestivum* L. cv. “Doğu-88” buğday bitkisi yaprak dokusunda uygulama gruplarına, günlere ve konsantrasyonlara bağlı olarak katalaz (CAT) aktivitesinde meydana gelen değişimler. Sütunlardaki hata çubukları ortalama $\pm$ standart hatayı göstermektedir

Şekil 4.25 incelendiğinde, Doğu-88 çeşidi yaprak dokusunda H_2O_2 uygulamalarında CAT enzim aktivitelerinin günlere bağlı olarak azaldığı görülmektedir. En yüksek enzim aktivitesi 10 μM konsantrasyonun 2. gününde 129.63 ± 0.04 U mg/protein olarak belirlenmiştir. Her üç konsantrasyonun 6. gününde saptanan enzim aktivitelerinin kontrol grubundan az oldukları belirlenmiştir ($p \leq 0.05$). Yapılan istatistik analize göre, H_2O_2 uygulamasının her üç konsantrasyonunda günlere bağlı olarak saptanan CAT enzim aktiviteleri arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemli ($p \leq 0.05$) olduğu bulunmuştur. PEG+ H_2O_2 uygulamalarında günlere bağlı olarak CAT enzim aktivitelerinin azaldığı saptanmıştır. En yüksek CAT enzim aktivitesinin 10 μM PEG+ H_2O_2 uygulamasının 2. gününde 61.63 ± 0.12 U mg/protein olduğu belirlenmiştir. PEG+ H_2O_2 uygulamalarının her üç konsantrasyonunda 6. günde belirlenen CAT enzim aktivitelerinin kontrol grubuna göre az olduğu saptanmıştır ($p \leq 0.05$). Yapılan istatistik analize göre, PEG+ H_2O_2 uygulamasının her üç konsantrasyonunda günlere bağlı olarak saptanan CAT enzim aktiviteleri arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemli ($p \leq 0.05$) olduğu bulunmuştur.

4.2.6. *T. aestivum* L. cv. “Doğu-88” Buğday Bitkisi Yaprak Dokusunda Uygulama Gruplarının Glutasyon Peroksidaz (GSH-Px) Enzim Aktivitesi Üzerine Etkileri

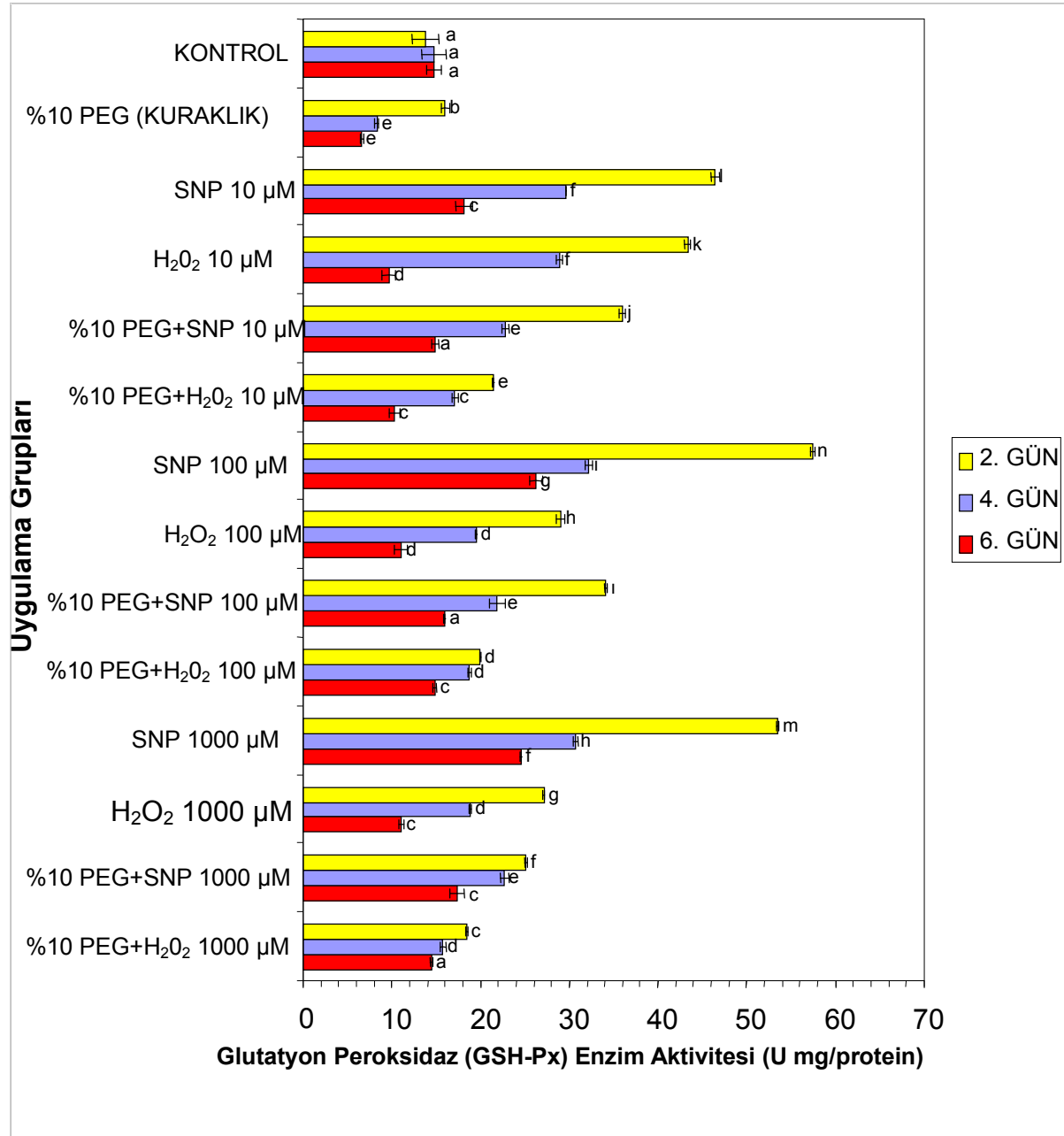
T. aestivum L. cv. “Doğu-88” buğday bitkisinin yaprak dokusunda glutasyon peroksidaz (GSH-Px) aktivitesi (U mg/protein) kuraklık, SNP ve H_2O_2 uygulamalarına ve günlere göre farklılık gösterdiği saptanmıştır (Şekil 4.26).

Şekil 4.26 incelendiğinde, Doğu-88 çeşidi buğday bitkisinin yaprak dokularında kuraklık uygulamasında günlere bağlı olarak azalan ve 4. gün ile 6. günde kontrol grubuna göre daha az seviyede olan GSH-Px enzim aktiviteleri görülmektedir. Kuraklık uygulamasının 2. gününde 16.01 ± 0.45 U mg/protein olarak belirlenen GSH-Px enzim aktivitesinin 4. günde 8.26 ± 0.17 U mg/protein olduğu ve 6. günde azalmaya devam ederek 6.61 ± 0.20 U mg/protein olduğu Şekil 4.26’da görülmektedir. Yapılan istatistik analize göre, kuraklık uygulamasının 2. 4. ve 6. günlerinde saptanan GSH-Px enzim aktiviteleri arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemli olduğu belirlenmiştir ($p \leq 0.05$).

Şekil 4.26 incelendiğinde, Doğu-88 çeşidi yaprak dokusunda SNP uygulamasında GSH-Px enzim aktivitelerinin günlere bağlı olarak azaldığı görülmektedir. En yüksek enzim aktivitesi 100 μM SNP uygulamasının 2. gününde 57.44 ± 0.30 U mg/protein olarak saptanmıştır. SNP uygulamasının her üç konsantrasyonunda belirlenen enzim aktivitelerinin kontrol grubundan yüksek olduğu belirlenmiştir. Yapılan istatistik analize göre, 10 μM ile 1000 μM SNP uygulamalarının 4. günü hariç, diğer konsantrasyonlarda günlere bağlı olarak GSH-Px enzim aktiviteleri arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemli ($p \leq 0.05$) olduğu

bulunmuştur. PEG+SNP uygulamasında da günlere bağlı olarak GSH-Px enzim aktivitelerinin azaldığı belirlenmiştir (Şekil 4.26). Uygulama grubunda saptanan GSH-Px enzim aktivitelerinin her üç günde ve konsantrasyonda kontrol grubundan yüksek olduğu belirlenmiştir. En yüksek enzim aktivitesi 10 µM PEG+SNP uygulamasının 2. gününde 35.97 ± 0.34 U mg/protein olarak belirlenmiştir. Yapılan istatistik analize göre, 10 µM ile 1000 µM PEG+SNP uygulamalarının 4. gününde, 10 µM ile 100 µM uygulamalarının 6. gününde saptanan enzim aktiviteleri arasındaki farklar hariç, diğer konsantrasyon ve günlerde belirlenen GSH-Px enzim aktiviteleri arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemli ($p \leq 0.05$) olduğu bulunmuştur.

Şekil 4.26 incelendiğinde, Doğu-88 çeşidi yaprak dokusunda H₂O₂ uygulamalarında her üç konsantrasyonda GSH-Px enzim aktivitelerinin günlere bağlı olarak azaldığı görülmektedir. En yüksek enzim aktivitesi 10 µM uygulamasının 2. gününde 43.34 ± 0.39 U mg/protein olarak belirlenmiştir. Uygulama grubunda her üç konsantrasyonun 6. gününde saptanan GSH-Px enzim aktivitelerinin kontrol grubuna göre daha az olduğu ($p \leq 0.05$) saptanmıştır. Yapılan istatistik analize göre, H₂O₂ uygulamalarının 100 µM ile 1000 µM konsantrasyonlarında 4. ve 6. günler hariç, diğer gün ve konsantrasyonlarda GSH-Px enzim aktiviteleri arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemli ($p \leq 0.05$) olduğu bulunmuştur. PEG+H₂O₂ uygulamalarında GSH-Px enzim aktivitelerinin günlere bağlı olarak azaldığı saptanmıştır. En yüksek GSH-Px enzim aktivitesinin 10 µM uygulamasının 2. gününde 21.36 ± 0.12 U mg/protein olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.26). Yapılan istatistik analize göre, 10 µM ile 100 µM uygulamalarının 4. gününde, 100 µM ile 1000 µM uygulamalarının 2. ve 6. gününde belirlenen GSH-Px enzim aktiviteleri arasındaki farklar hariç, PEG+H₂O₂ uygulamasında diğer gün ve konsantrasyonlarda belirlenen GSH-Px enzim aktiviteleri arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemli olduğu ($p \leq 0.05$) saptanmıştır.



Şekil 4.26. *Triticum aestivum* L. cv. “Doğu-88” buğday bitkisi yaprak dokusunda uygulama gruplarına, günlere ve konsantrasyonlara bağlı olarak glutatyon peroksidaz (GSH-Px) aktivitesinde (U mg/protein) meydana gelen değişimler. Sütunlardaki hata çubukları ortalama $\pm$ standart hatayı göstermektedir

4.2.7. *T. aestivum* L. cv. “Doğu-88” Buğday Bitkisi Yaprak Dokusunda Uygulama Gruplarının Malondialdehit (MDA) İçeriği Üzerine Etkileri

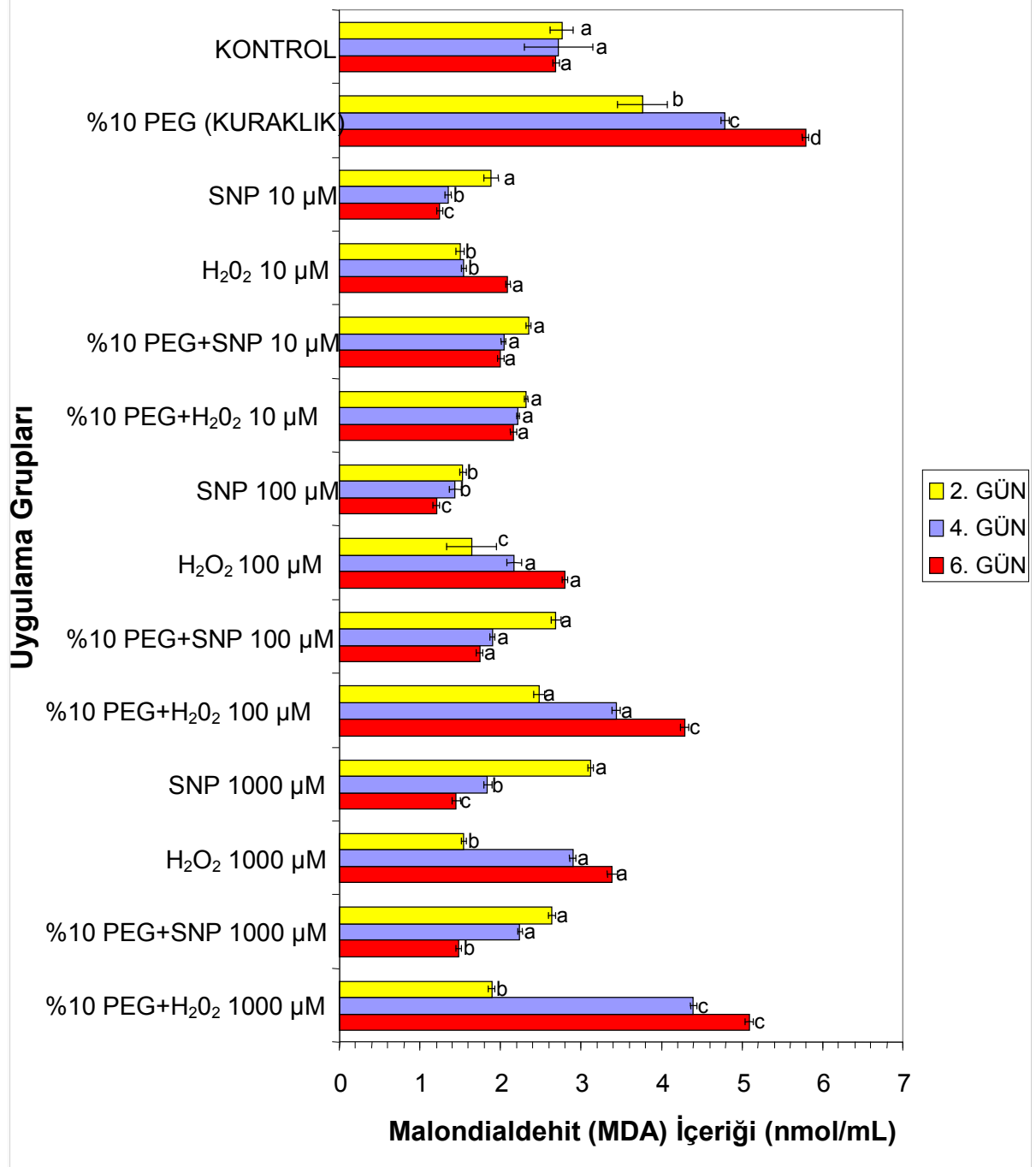
T. aestivum L. cv. “Doğu-88” buğday bitkisinin yaprak dokusunda malondialdehit (MDA) içeriği (nmol/mL) kuraklık, SNP ve H₂O₂ uygulamalarına ve günlere göre farklılık gösterdiği saptanmıştır (Şekil 4.27).

Şekil 4.27 incelendiğinde, Doğu-88 çeşidi yaprak dokusunda kuraklık uygulamasında MDA içeriklerinin günlere bağlı olarak arttığı ve kontrol grubundan yüksek olduğu görülmektedir ($p \leq 0.05$). Kuraklık uygulamasında en düşük MDA içeriği 3.76 ± 0.31 nmol/mL olarak 10 μ M konsantrasyonun 2. gününde saptanırken en yüksek MDA içeriği ise kuraklık uygulamasının 6. gününde 5.79 ± 0.04 nmol/mL olarak belirlenmiştir. Yapılan istatistik analize göre, kuraklık uygulamasının 2. 4. ve 6. günlerinde saptanan MDA içerikleri arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemli olduğu ($p \leq 0.05$) belirlenmiştir.

Doğu-88 çeşidi yaprak dokusunda SNP uygulamalarında MDA içeriklerinin günlere bağlı olarak azaldığı saptanmıştır. Şekil 4.27 incelendiğinde, 1000 μ M konsantrasyonun 2. gününde (3.12 ± 0.03 nmol/mL) saptanan MDA içeriği hariç, diğer konsantrasyon ve günlerde belirlenen MDA içeriklerinin kontrol grubundan daha az olduğu görülmektedir. En düşük MDA içeriği 100 μ M SNP uygulamasının 6. gününde 1.20 ± 0.04 nmol/mL olarak belirlenmiştir. Yapılan istatistik analize göre, 1000 μ M SNP uygulamasının 2. günü hariç, diğer gün ve konsantrasyonlarda MDA içerikleri arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemsiz olduğu ($p > 0.05$) bulunmuştur. PEG+SNP uygulamasının her üç konsantrasyonunda MDA içeriklerinin günlere bağlı olarak azaldığı belirlenmiş olup PEG+SNP uygulama grubunda belirlenen MDA içeriklerinin kontrol ve kuraklık uygulaması gruplarından daha az olduğu saptanmıştır (Şekil 4.27). PEG+SNP uygulamasındaki en düşük MDA içeriği 1000 μ M konsantrasyonun 6. gününde 1.48 ± 0.03 nmol/mL olarak belirlenmiştir. En yüksek MDA içeriği ise 100 μ M uygulamasının 2. gününde 2.69 ± 0.06 nmol/mL olarak saptanmıştır. Yapılan istatistik analize göre, her üç konsantrasyonda ve günlere bağlı olarak MDA içerikleri arasındaki farkların önemsiz olduğu ($p > 0.05$) bulunmuştur.

Doğu-88 çeşidi yaprak dokusunda H₂O₂ uygulamasında MDA içeriklerinin günlere bağlı olarak arttığı saptanmıştır. Şekil 4.27 incelendiğinde, en düşük MDA içeriğinin 10 μ M uygulamasının 2. gününde (1.50 ± 0.05 nmol/mL), en yüksek MDA içeriğinin ise 1000 μ M uygulamasının 6. gününde (3.39 ± 0.06 nmol/mL) olduğu görülmektedir. 100 μ M H₂O₂ uygulamasının 6. gününde, 1000 μ M uygulamasının ise 4. ve 6. günlerinde belirlenen MDA içeriklerinin kontrol grubundan yüksek olduğu bulunmuştur. Yapılan istatistik analize göre, H₂O₂ uygulamasının her üç konsantrasyonun 2. günlerinde belirlenen MDA içerikleri

arasındaki farklar ve 10 μM ile 100 μM uygulamalarının 4. ve 6. günlerinde belirlenen MDA içerikleri arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemsiz olduğu saptanmıştır ($p>0.05$). PEG+H₂O₂ uygulamalarında MDA içeriklerinin 10 μM konsantrasyonda günlere bağlı olarak azaldığı, 100 μM ve 1000 μM konsantrasyonlarda ise arttığı saptanmıştır.



Şekil 4.27. *Triticum aestivum* L. cv. “Doğu–88” buğday bitkisi yaprak dokusunda uygulama gruplarına, günlere ve konsantrasyonlara bağlı olarak malondialdehit (MDA) içeriğinde meydana gelen değişimler. Sütunlardaki hata çubukları ortalama $\pm$ standart hatayı göstermektedir

PEG+H₂O₂ uygulamalarında 100 µM ile 1000 µM konsantrasyonların 4. ve 6. günlerinde belirlenen MDA içeriklerinin kontrol grubundan yüksek olduğu belirlenmiştir. En düşük MDA içeriği 1.89±0.04 nmol/mL olarak 1000 µM uygulamasının 2. gününde, en yüksek MDA içeriğinin ise 5.39±0.05 nmol/mL olarak 1000 µM uygulamasının 6. gününde bulunduğu saptanmıştır. Yapılan istatistik analize göre, PEG+H₂O₂ uygulamalarının 10 µM ile 100 µM uygulamalarının 2. gününde MDA içerikleri arasındaki farklar hariç, diğer gün ve konsantrasyonlardaki arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemli olduğu saptanmıştır (p≤0.05).

4.2.8. *T. aestivum* L. cv. “Doğu–88” Buğday Bitkisi Yaprak Dokusunda Uygulama Gruplarının Toplam Çözünebilir Protein Miktarı Üzerine Etkileri

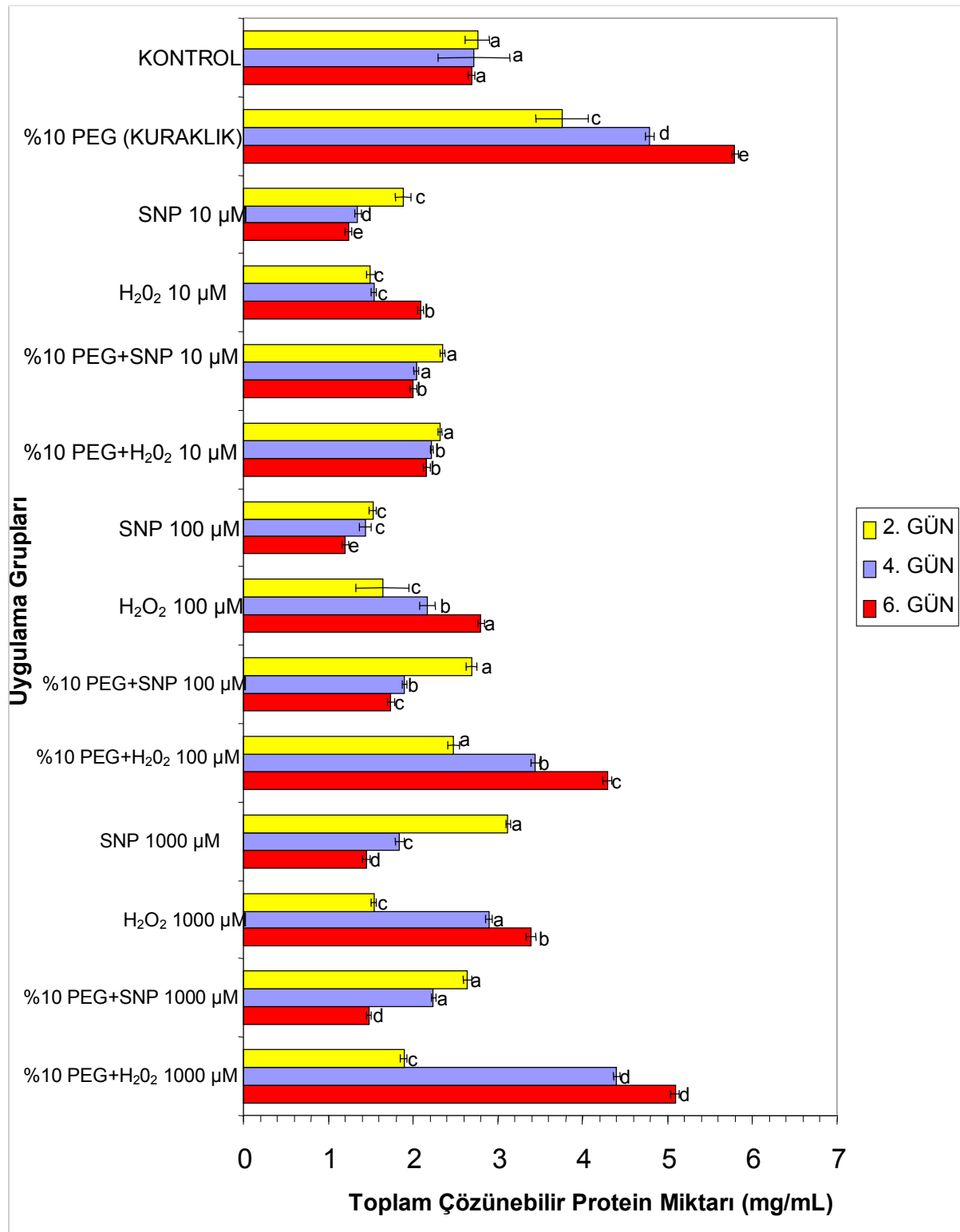
T. aestivum L. cv. “Doğu–88” buğday bitkisinin yaprak dokusunda toplam çözünebilir protein miktarı kuraklık, SNP ve H₂O₂ uygulamalarına ve günlere göre farklılık gösterdiği saptanmıştır (Şekil 4.28).

Şekil 4.28 incelendiğinde, Doğu–88 çeşidi yaprak dokusunda toplam çözünebilir protein miktarlarının kuraklık uygulamasında günlere bağlı olarak arttığı, 2. 4. ve 6. günlerde sırasıyla 3.76±0.31 mg/mL, 4.79±0.05 mg/mL ve 5.70±0.04 mg/mL olarak belirlenen toplam çözünebilir protein miktarlarının kontrol grubundan yüksek olduğu (p≤0.05) görülmektedir. Yapılan istatistik analize, göre kuraklık uygulamasının 2. 4. ve 6. günlerinde belirlenen toplam çözünebilir protein miktarları arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemli (p≤0.05) olduğu bulunmuştur.

Doğu–88 çeşidi yaprak dokusunda SNP uygulamalarında her üç konsantrasyonda toplam çözünebilir protein miktarının günlere bağlı olarak azaldığı belirlenmiştir (Şekil 4.28). En yüksek toplam çözünebilir protein miktarı 1000 µM SNP uygulamasının 2. gününde 3.12±0.03 mg/mL, en düşük toplam çözünebilir protein miktarı ise 100 µM uygulamasının 6. gününde 1.20±0.04 mg/mL olarak saptanmıştır. Şekil 4.28 incelendiğinde, 1000 µM konsantrasyonun 2. gününde saptanan toplam çözünebilir protein miktarı hariç, tüm konsantrasyon ve günlerde belirlenen toplam çözünebilir protein miktarlarının kontrol grubundan az olduğu görülmektedir. Yapılan istatistik analize göre, SNP uygulamasında 10 µM ile 100 µM konsantrasyonların 2. ve 4. günlerinde, 10 µM, 100 µM ve 1000 µM konsantrasyonların 6. gününde belirlenen toplam çözünebilir protein miktarları arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemsiz (p>0.05) olduğu bulunmuştur. PEG+SNP uygulamasında toplam çözünebilir protein miktarlarının günlere bağlı olarak azaldığı saptanmıştır. PEG+SNP uygulamalarında saptanan toplam çözünebilir protein miktarlarının kontrol grubundan az oldukları belirlenmiştir. En düşük toplam çözünebilir protein miktarının 1000 µM PEG+SNP

uygulamasının 6. gününde 1.48 ± 0.03 mg/mL olduğu, en yüksek toplam çözünebilir protein miktarının ise 100 μ M uygulamasının 2. gününde 2.69 ± 0.06 mg/mL olduğu bulunmuştur. Yapılan istatistik analize göre, PEG+SNP uygulamasında 10 μ M konsantrasyonun 6. günü hariç, diğer konsantrasyon ve günlerde belirlenen toplam çözünebilir protein miktarları arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemsiz ($p > 0.05$) olduğu saptanmıştır.

Doğu-88 çeşidi yaprak dokusunda H_2O_2 uygulamalarına bağlı olarak toplam çözünebilir protein miktarlarının günlere bağlı olarak arttığı saptanmış olup uygulama grubundaki en düşük toplam çözünebilir protein miktarının 10 μ M uygulamasının 2. gününde (1.50 ± 0.05 mg/mL), en yüksek toplam çözünebilir protein miktarının ise 1000 μ M uygulamasının 6. gününde (3.39 ± 0.06 mg/mL) olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.28). Yapılan istatistik analize göre, H_2O_2 uygulamalarının 2. gününde her üç konsantrasyonda belirlenen toplam çözünebilir protein miktarları arasındaki farklar hariç, diğer gün ve konsantrasyonlardaki toplam çözünebilir protein miktarları arasındaki farkların istatistiksel olarak önemli ($p \leq 0.05$) olduğu saptanmıştır. PEG+ H_2O_2 uygulamasında toplam çözünebilir protein miktarlarının 10 μ M konsantrasyonda günlere bağlı olarak azaldığı, 100 μ M ve 1000 μ M konsantrasyonlarda ise arttığı belirlenmiştir. Şekil 4.28 incelendiğinde, en düşük toplam çözünebilir protein miktarının 1000 μ M PEG+ H_2O_2 uygulamasının 2. gününde 1.89 ± 0.04 mg/mL, en yüksek toplam çözünebilir protein miktarının 1000 μ M PEG+ H_2O_2 uygulamasının 6. gününde 5.09 ± 0.05 mg/mL olduğu görülmektedir. Yapılan istatistik analize göre, PEG+ H_2O_2 uygulamasında 10 μ M ile 100 μ M konsantrasyonlarının 2. gününde saptanan toplam çözünebilir protein miktarı arasındaki farklar hariç, diğer gün ve konsantrasyonlarda belirlenen toplam çözünebilir protein miktarları arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemli olduğu ($p \leq 0.05$) saptanmıştır.



Şekil 4.28. *Triticum aestivum* L. cv. “Doğu-88” buğday bitkisi yaprak uygulama gruplarına, günlere ve konsantrasyonlara bağlı olarak toplam çözünebilir protein miktarında meydana gelen değişimler. Sütunlardaki hata çubukları ortalama $\pm$ standart hatayı göstermektedir

4.2.9. *T. aestivum* L. cv. “Doğu-88” Buğday Bitkisi Yaprak Dokusunda Uygulama Gruplarının Hidrojen Peroksit (H₂O₂) İçeriği Üzerine Etkileri

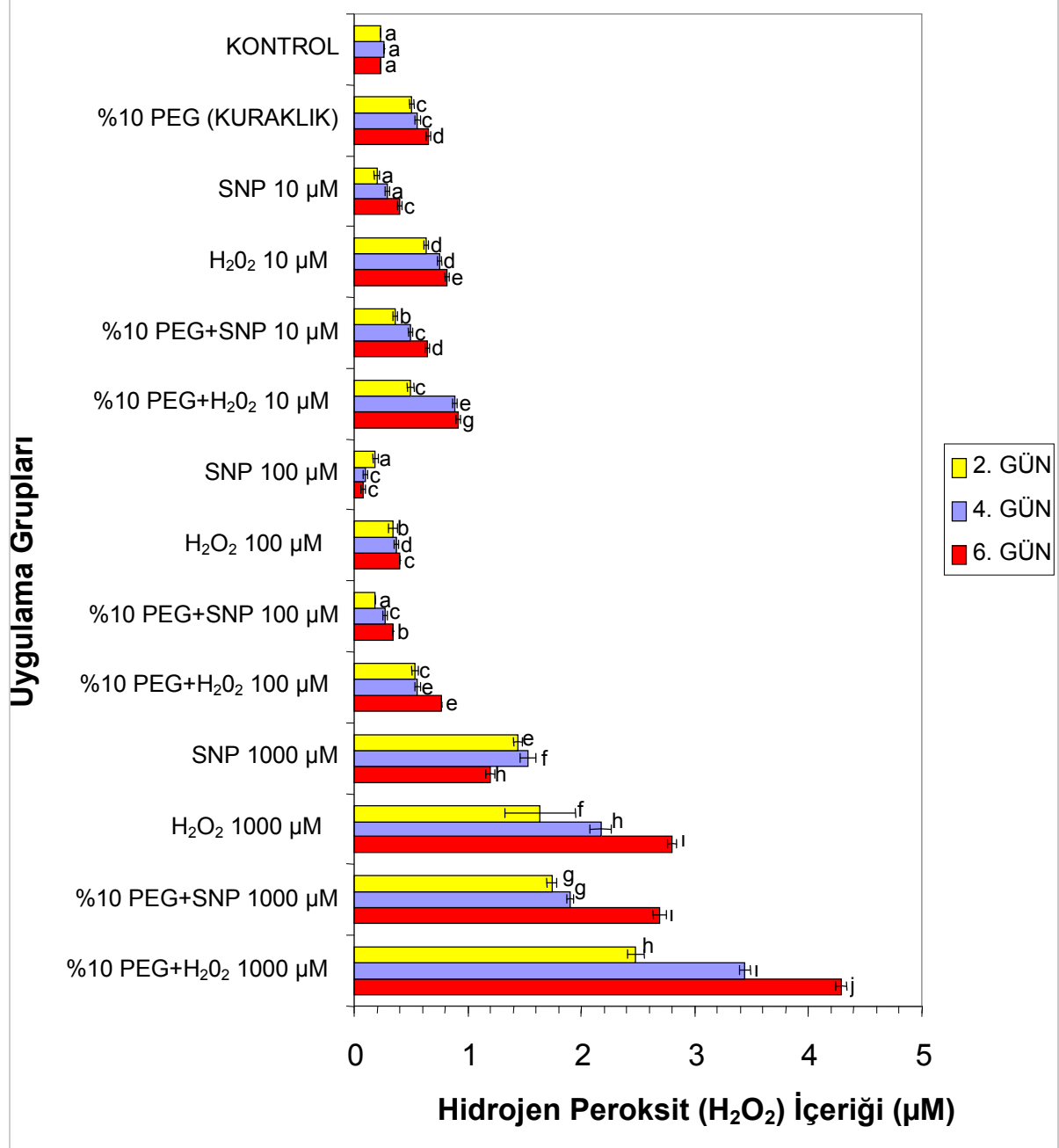
T. aestivum L. cv. “Doğu-88” buğday bitkisinin yaprak dokusunda hidrojen peroksit (H₂O₂) içeriği kuraklık, SNP ve H₂O₂ uygulamalarına ve günlere göre farklılık gösterdiği saptanmıştır.

Kuraklık uygulamasında 2. 4. ve 6. günlerde sırasıyla 0.51±0.02 µM, 0.56±0.02 µM ve 0.65±0.02 µM H₂O₂ içeriği saptanmıştır. Kuraklık uygulamasındaki H₂O₂ içerikleri kontrol grubundan yüksek bulunmuştur (Şekil 4.29). Yapılan istatistik analize göre, kuraklık uygulamasının her üç gününde saptanan H₂O₂ içerikleri arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemli olduğu (p≤0.05) belirlenmiştir.

Doğu-88 çeşidi yaprak dokusunda SNP uygulamalarında H₂O₂ içeriklerinin 10 µM konsantrasyonda günlere bağlı olarak arttığı, 100 µM konsantrasyonda azaldığı, 1000 µM konsantrasyonda ise 4. günde arttığı, 6. günde ise azaldığı belirlenmiştir. En yüksek H₂O₂ içeriğinin 1000 µM SNP uygulamasının 4. gününde 1.53±0.07 µM, en düşük H₂O₂ içeriğinin ise 100 µM uygulamasının 6. gününde 0.08±0.02 µM olduğu saptanmıştır. Yapılan istatistik analize göre, 10 µM ile 100 µM konsantrasyonların 2. günündeki H₂O₂ içerikleri arasındaki farklar hariç, SNP uygulamalarında diğer gün ve konsantrasyonlarda belirlenen H₂O₂ içerikleri arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemli olduğu bulunmuştur (p≤0.05). PEG+SNP uygulamasında H₂O₂ içeriklerinin her üç konsantrasyonda günlere bağlı olarak arttığı bulunmuştur. Şekil 4.29 incelendiğinde, en yüksek H₂O₂ içeriğinin 1000 µM PEG+SNP uygulamasının 6. gününde 2.69±0.09 µM, en düşük H₂O₂ içeriğinin ise 100 µM uygulamasının 2. gününde 0.19±0.00 µM olduğu görülmektedir. Yapılan istatistik analize göre, PEG+SNP uygulamasının her üç konsantrasyonunda günlere bağlı olarak H₂O₂ içerikleri arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemli (p≤0.05) olduğu bulunmuştur.

Doğu-88 çeşidi yaprak dokusunda H₂O₂ uygulamalarında her üç konsantrasyonda H₂O₂ içeriklerinin günlere bağlı olarak arttığı saptanmıştır. Şekil 4.29 incelendiğinde, H₂O₂ uygulamalarında saptanan H₂O₂ içeriklerinin kontrol grubundan yüksek olduğu, en düşük H₂O₂ içeriğinin 100 µM uygulamasının 2. gününde 0.34±0.04 µM, en yüksek H₂O₂ içeriğinin ise 1000 µM uygulamasının 6. gününde 2.80±0.04 µM olduğu görülmektedir. Yapılan istatistik analize göre, H₂O₂ uygulamasının her üç konsantrasyonunda günlere bağlı olarak H₂O₂ içerikleri arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemli oldukları (p≤0.05) bulunmuştur. PEG+H₂O₂ uygulamasında, H₂O₂ içeriklerinin her üç konsantrasyonda günlere bağlı olarak arttığı ve kontrol grubundan yüksek olduğu belirlenmiştir. Şekil 4.29 incelendiğinde, en düşük H₂O₂ içeriğinin 10 µM PEG+H₂O₂ uygulamasının 2. gününde 0.50±0.03 µM, en yüksek H₂O₂

içeriğinin ise 1000 μM uygulamasının 6. gününde 4.29 ± 0.05 μM olduğu görülmektedir. Yapılan istatistik analize göre, 10 μM ile 100 μM konsantrasyonun 2. günü hariç, PEG+H₂O₂ uygulamasının her üç konsantrasyonunda günlere bağlı olarak H₂O₂ içerikleri arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemli oldukları ($p \leq 0.05$) bulunmuştur.



Şekil 4.29. *Triticum aestivum* L. cv. “Doğu-88” buğday bitkisi yaprak dokusunda uygulama gruplarına, günlere ve konsantrasyonlara bağlı olarak hidrojen peroksit (H₂O₂) içeriğinde (μM) meydana gelen değişimler. Sütunlardaki hata çubukları ortalama $\pm$ standart hatayı göstermektedir

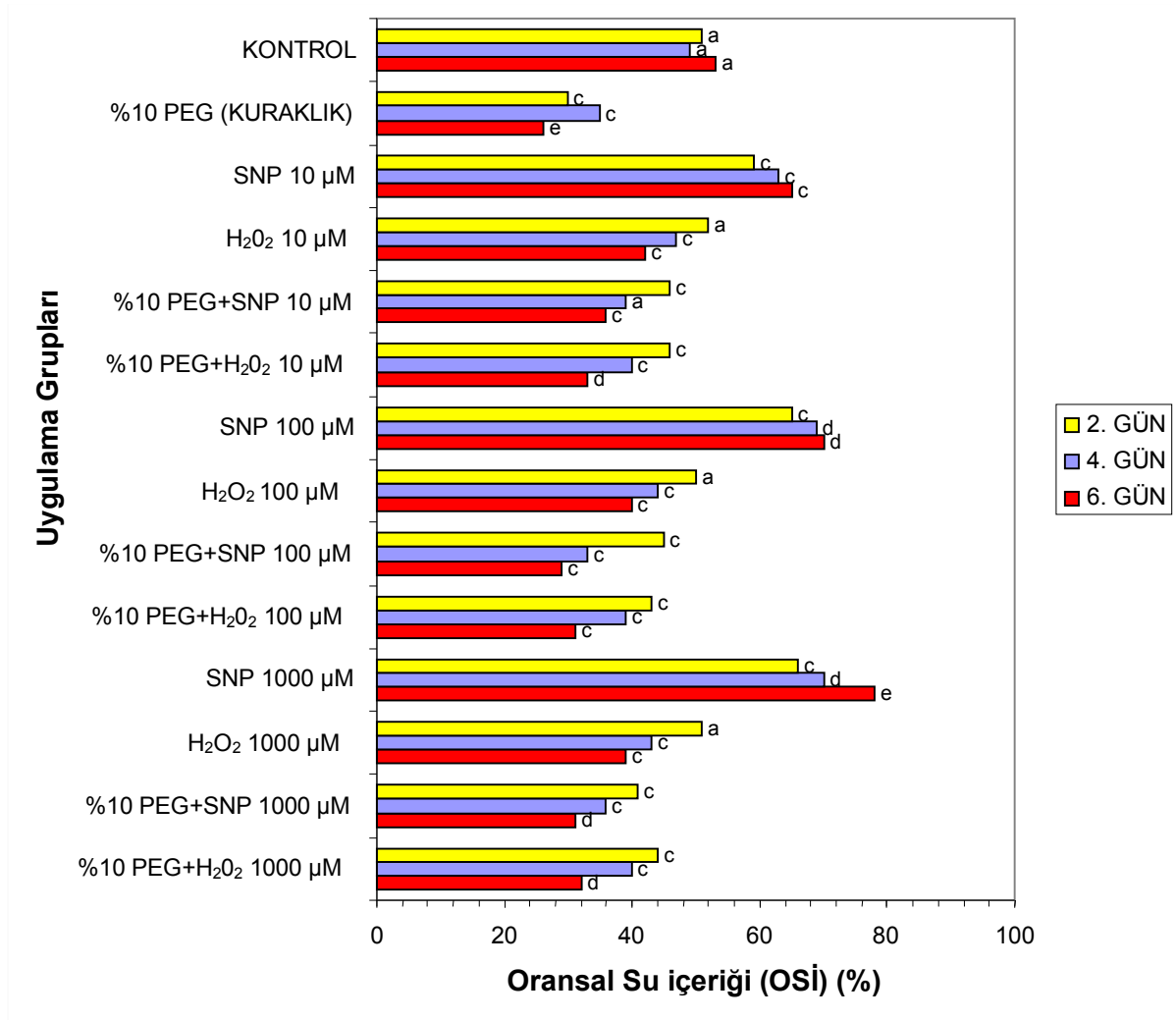
4.2.10. *T. aestivum* L. cv. “Doğu-88” Buğday Bitkisi Yaprak Dokusunda Uygulama Gruplarının Oransal Su İçeriği (OSİ) Üzerine Etkileri

T. aestivum L. cv. “Yıldırım” buğday bitkisinin yaprak dokusunda oransal su içeriği (OSİ) (%), kuraklık, SNP ve H₂O₂ uygulamalarına ve günlere göre farklılık gösterdiği saptanmıştır (Şekil 4.30).

Şekil 4.30 incelendiğinde kuraklık uygulamasında kontrol grubuna göre daha az olan oransal su içeriği (OSİ) bulunduğu görülmektedir. Kuraklık uygulamasının 2. gününde 30±0.05 (%) oransal su içeriği, 4. günde 35±0.02 (%) değerine yükselmiş, 6. günde ise 26±0.00 (%) değerinde olduğu saptanmıştır. Yapılan istatistik analize göre, kuraklık uygulamasının her üç gününde oransal su içerikleri arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemli ($p \leq 0.05$) olduğu belirlenmiştir.

Doğu-88 çeşidi yaprak dokusunda SNP uygulamasında oransal su içeriklerinin günlere bağlı olarak arttığı belirlenmiştir (Şekil 4.30). En yüksek oransal su içeriğinin 1000 µM konsantrasyonun 6. gününde 78±0.02 (%) olduğu tespit edilmiştir. Yapılan istatistik analize göre, SNP uygulamasında 100 µM ile 1000 µM konsantrasyonların 2. ve 4. günleri hariç, diğer konsantrasyon ve günlerdeki oransal su içerikleri arasındaki farkların istatistiksel olarak önemli olduğu ($p \leq 0.05$) bulunmuştur. PEG+SNP uygulamasında her üç konsantrasyonda oransal su içeriklerinin günlere bağlı olarak azaldığı saptanmıştır. Uygulama grubunda belirlenen en yüksek OSİ’nin 10 µM konsantrasyonun 2. gününde 46±0.01 (%) olduğu belirlenmiştir. Yapılan istatistik analize göre, PEG+SNP uygulamasında 10 µM ile 100 µM konsantrasyonların 2. günü hariç, diğer konsantrasyon ve günlerdeki oransal su içerikleri arasındaki farkların istatistiksel olarak önemli ($p \leq 0.05$) olduğu bulunmuştur.

Doğu-88 çeşidi bitkisi yaprak dokusunda H₂O₂ uygulamasında oransal su içeriklerinin günlere bağlı olarak azaldığı saptanmıştır (Şekil 4.30). Her üç H₂O₂ uygulamasında 4. ve 6. günlerde belirlenen oransal su içeriklerinin kontrol grubundan az olduğu saptanmıştır. En yüksek OSİ değerinin uygulama grubunun 10 µM konsantrasyonun 2. gününde 52±0.00 (%) olduğu belirlenmiştir. Yapılan istatistik analize göre, H₂O₂ uygulamasında 10 µM konsantrasyonun 4. günü hariç, diğer gün ve konsantrasyonlarda belirlenen OSİ arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemsiz olduğu ($p > 0.05$) saptanmıştır. PEG+H₂O₂ uygulamasında her üç konsantrasyonda belirlenen oransal su içeriğinin günlere bağlı olarak azaldığı belirlenmiştir. Yapılan istatistik analize göre, PEG+H₂O₂ uygulamasında 10 µM konsantrasyonun 2. günü hariç, diğer gün ve konsantrasyonlarda belirlenen OSİ arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemsiz olduğu ($p > 0.05$) bulunmuştur.



Şekil 4.30. *Triticum aestivum* L. cv. “Doğu-88” buğday bitkisi yaprak dokusunda uygulama gruplarına, günlere ve konsantrasyonlara bağlı olarak oransal su içeriğinde (OSİ) meydana gelen değişimler. Sütunlardaki hata çubukları ortalama $\pm$ standart hatayı göstermektedir

4.2.11. *Triticum aestivum* L. cv. “Yıldırım” Buğday Bitkisi Yaprak Dokusunda Uygulama Gruplarının Nitrik Oksit (NO) Düzeyi Üzerine Etkileri

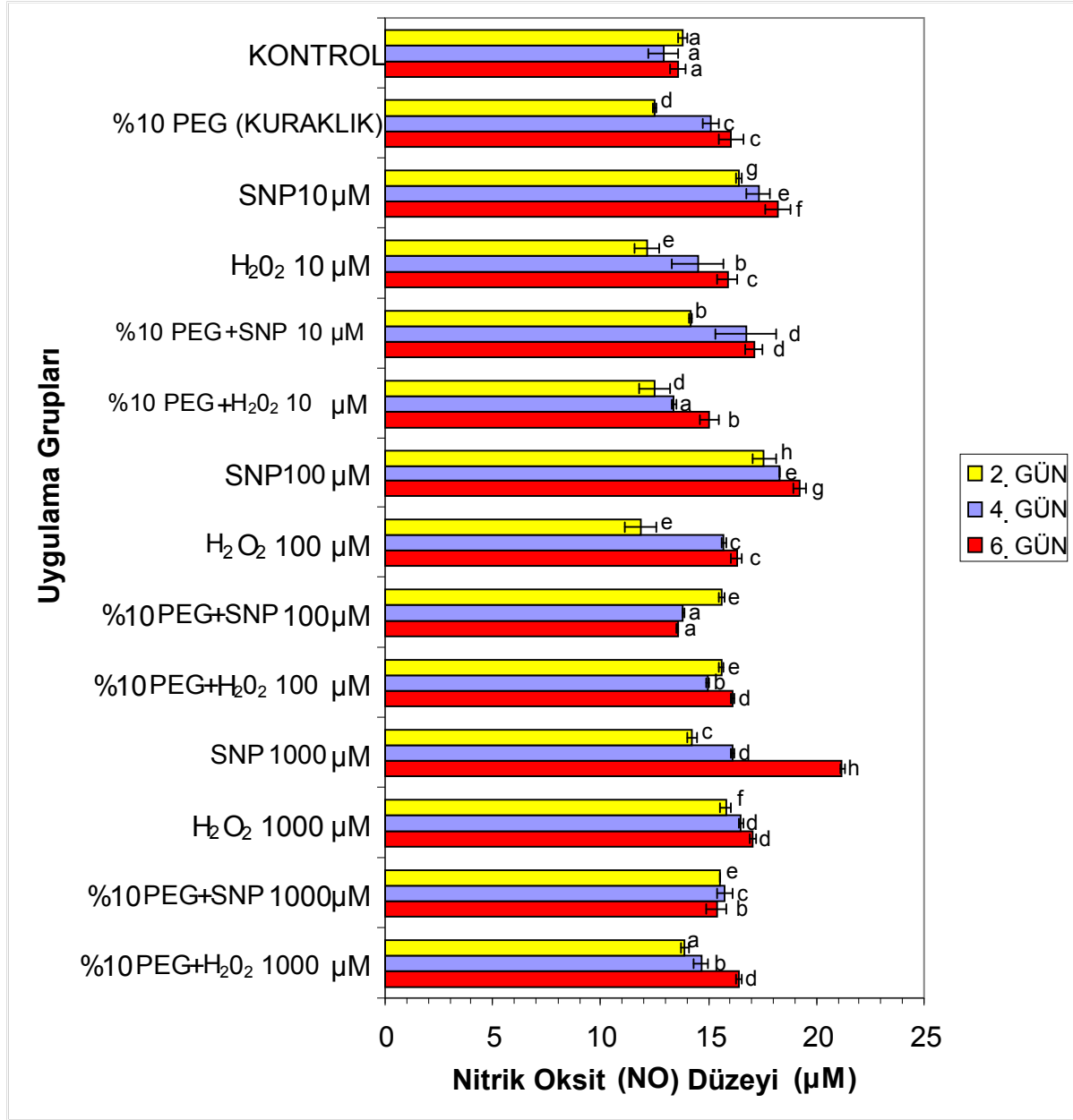
T. aestivum L. cv. “Yıldırım” buğday bitkisinin yaprak dokusunda nitrik oksit düzeyinin kuraklık, SNP ve H₂O₂ uygulamalarına ve günlere göre farklılık gösterdiği saptanmıştır (Şekil 4.31).

Şekil 4.31 incelendiğinde, NO düzeylerinin kuraklık uygulamasında günlere bağlı olarak arttığı görülmektedir. Kuraklık uygulamasının 2. 4. ve 6. günlerinde NO düzeyleri sırasıyla 12.50±0.05 µM, 15.10±0.35 µM ve 16.06±0.58 µM olarak belirlenmiştir. Kuraklık uygulamasında en yüksek NO düzeyinin, uygulamanın 6. gününde 16.06±0.58 µM olduğu saptanmıştır. Yapılan istatistik analize göre, kuraklık uygulamasının 2. ve 4. günlerinde belirlenen NO düzeyleri arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemli ($p \leq 0.05$) olduğu bulunmuştur.

Yıldırım çeşidi yaprak dokusunda NO düzeylerinin SNP uygulamalarında günlere bağlı olarak arttığı saptanmıştır. En yüksek NO düzeyi 1000 µM SNP uygulamasının 6. gününde 21.20±0.11 µM olarak saptanmıştır. Yapılan istatistik analize göre, 10 µM ile 100 µM SNP uygulamalarının 4. ve 6. günü hariç, diğer gün ve konsantrasyonlarda NO düzeyleri arasındaki farkların istatistiksel olarak önemli ($p \leq 0.05$) olduğu bulunmuştur. PEG+SNP uygulamasında 10 µM konsantrasyonda NO düzeyinin günlere bağlı olarak arttığı, 100 µM konsantrasyonda azaldığı, 1000 µM konsantrasyonda ise 4. günde arttığı, 6. günde ise azaldığı Şekil 4.31’de görülmektedir. Yapılan istatistik analize göre, 100 µM ile 1000 µM konsantrasyonların 2. günü hariç, diğer gün ve konsantrasyonlarda NO düzeyleri arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemli olduğu ($p \leq 0.05$) bulunmuştur.

Yıldırım çeşidi yaprak dokusunda NO düzeyinin H₂O₂ uygulamalarında günlere bağlı olarak arttığı saptanmıştır. Şekil 4.31 incelendiğinde, H₂O₂ uygulamalarında 2. günde saptanan NO düzeyinin 1000 µM konsantrasyonda 15.80±0.23 µM, 10 µM konsantrasyonda 12.13±0.60 µM ve 100 µM konsantrasyonda ise 11.86±0.71 µM olduğu görülmektedir. 10 µM ve 100 µM konsantrasyonlarının 2. günündeki NO düzeylerin kontrol grubuna göre azaldığı, diğer konsantrasyon ve günlerde saptanan NO düzeylerinin ise kontrol grubundan yüksek olduğu belirlenmiştir. Yapılan istatistik analize göre, H₂O₂ uygulamalarında 10 µM ile 100 µM uygulamalarının 2. ve 6., 100 µM ile 1000 µM uygulamalarının 4. günü hariç, diğer konsantrasyon ve günlerdeki NO düzeyleri arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemli olduğu ($p \leq 0.05$) bulunmuştur. PEG+H₂O₂ uygulamasında NO düzeylerinin günlere bağlı olarak arttığı saptanmıştır. En yüksek NO düzeyi 1000 µM uygulamasının 6. gününde 16.40±0.17 µM olarak belirlenmiştir. Yapılan istatistik analize göre, 100 µM ile 1000 µM

konsantrasyonların 4. ve 6. günleri hariç, diğer konsantrasyon ve günlerde NO düzeyleri arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemli olduğu ($p \leq 0.05$) bulunmuştur.



Şekil 4.31. *Triticum aestivum* L. cv. “Yıldırım” buğday bitkisi yaprak dokusunda uygulama gruplarına, günlere ve konsantrasyonlara bağlı olarak nitrik oksit (NO) düzeyinde meydana gelen değişimler. Sütunlardaki hata çubukları ortalama $\pm$ standart hatayı göstermektedir

4.2.12. *T. aestivum* L. cv. “Yıldırım” Buğday Bitkisi Yaprak Dokusunda Uygulama Gruplarının Nitrik Oksit Sentaz (NOS) Aktivitesi Üzerine Etkileri

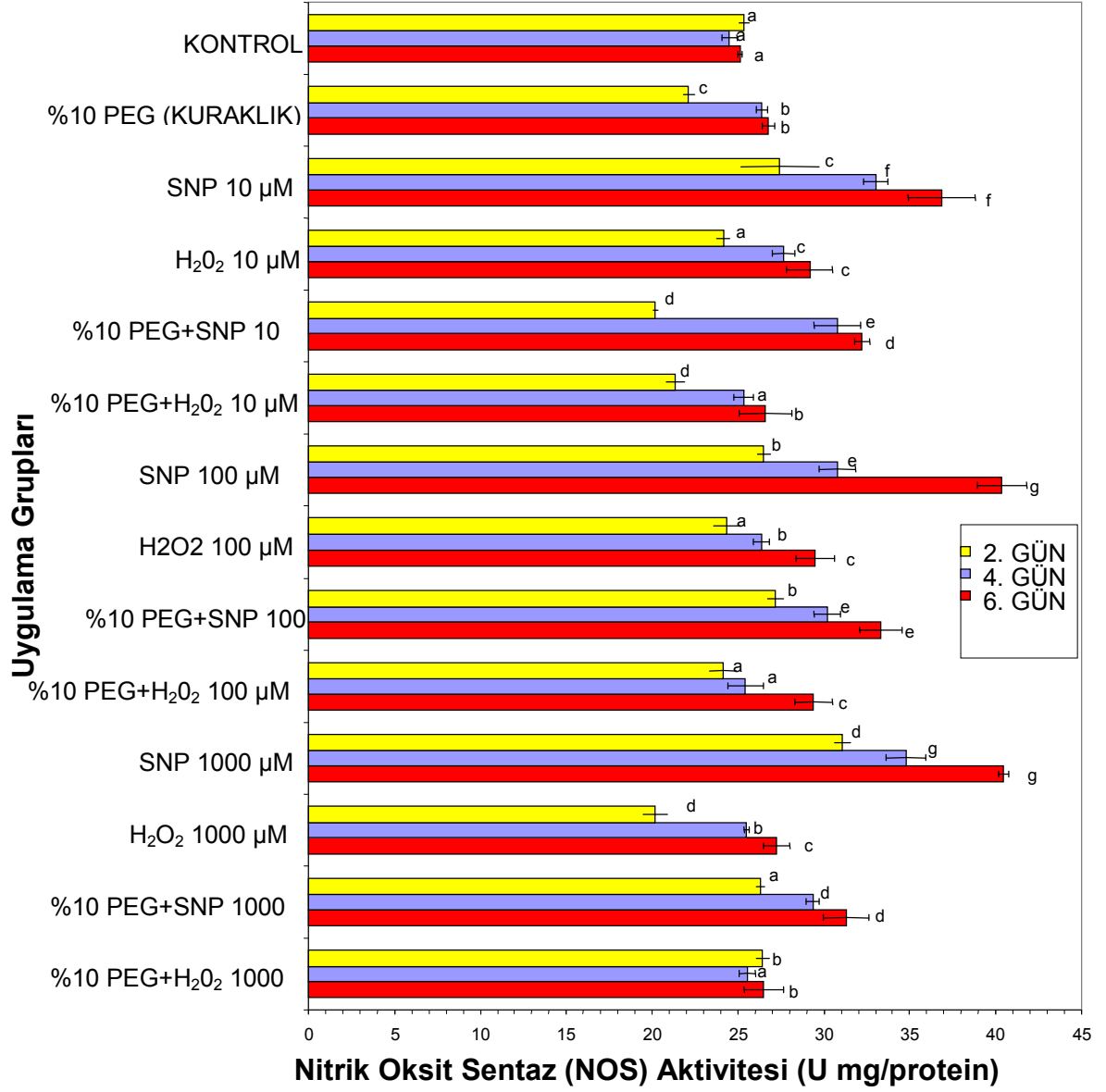
T. aestivum L. cv. “Yıldırım” buğday bitkisinin yaprak dokusunda nitrik oksit sentaz aktivitesi kuraklık, SNP ve H₂O₂ uygulamalarına ve günlere göre farklılık gösterdiği saptanmıştır (Şekil 4.32).

Yıldırım çeşidi yaprak dokusunda kuraklık uygulamasına bağlı olarak NOS aktivitesinin günlere bağlı olarak arttığı belirlenmiştir. Kuraklık uygulamasında belirlenen en yüksek NOS aktivitesi 6. günde 26.78±0.37 U mg/protein olarak saptanmıştır. Yapılan istatistik analize göre, kuraklık uygulamasının 4. ve 6. gününde belirlenen NOS aktivitelerinin istatistiksel olarak önemsiz, 2. günde belirlenen NOS aktivitesinin ise 4. ve 6. gündeki aktivitelere göre önemli olduğu (p≤0.05) bulunmuştur.

Yıldırım çeşidi yaprak dokusunda SNP uygulamasına bağlı olarak NOS aktivitesinin her üç konsantrasyonda günlere bağlı olarak arttığı belirlenmiştir (Şekil 4.32). En yüksek NOS aktivitesi 100 µM SNP uygulamasının 6. gününde 40.62 ±1.43 U mg/protein olarak saptanmıştır. Yapılan istatistik analize göre, 10 µM ile 100 µM SNP uygulamalarının 2. günü ve 100 µM ile 1000 µM SNP uygulamalarının 6. günü hariç, diğer gün ve konsantrasyonlarda belirlenen NOS aktiviteleri arasındaki farkların istatistiksel olarak önemli (p≤0.05) olduğu bulunmuştur. PEG+SNP uygulamalarında da NOS aktivitelerinin günlere bağlı olarak arttığı belirlenmiş olup, en yüksek NOS aktivitesinin 100 µM PEG+SNP uygulamasının 6. gününde 33.33±1.23 U mg/protein olduğu saptanmıştır. Yapılan istatistik analize göre, PEG+SNP uygulamasında 100 µM ile 1000 µM konsantrasyonlarının 2. ve 4. günü ile 10 µM ile 100 µM konsantrasyonların 6. günü hariç, diğer gün ve konsantrasyonlardaki NOS aktiviteleri arasındaki farkların istatistiksel olarak önemli olduğu (p≤0.05) bulunmuştur.

Yıldırım çeşidi yaprak dokusunda H₂O₂ uygulamasında NOS aktivitesinin günlere bağlı olarak arttığı belirlenmiştir. Şekil 4.32’de görüldüğü gibi, 100 µM H₂O₂ uygulamasının 6. gününde 29.49±1.13 U mg/protein olarak belirlenen NOS aktivitesinin uygulama grubundaki en yüksek NOS aktivitesi olduğu saptanmıştır. Yapılan istatistik analize göre, 10 µM ile 100 µM H₂O₂ uygulamalarının 2. ve 6. günü hariç, diğer gün ve konsantrasyonlarda belirlenen NOS aktiviteleri arasındaki farkların istatistiksel olarak önemli (p≤0.05) olduğu bulunmuştur. PEG+H₂O₂ uygulamasında 10 µM ile 100 µM konsantrasyonlarda NOS aktivitesinin günlere bağlı olarak arttığı belirlenmiştir. En yüksek NOS aktivitesi uygulama grubunun 100 µM konsantrasyonunun 6. gününde 29.39±1.08 U mg/protein olarak saptanmıştır. Yapılan istatistik analize göre, PEG+H₂O₂ uygulamasının 4. günü ve 10 µM ile

1000 μM konsantrasyonun 6. günü hariç, diğer gün ve konsantrasyonda belirlenen NOS aktiviteleri arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemli olduğu ($p \leq 0.05$) bulunmuştur.



Şekil 4.32. *Triticum aestivum* L. cv. “Yıldırım” buğday bitkisi yaprak dokusunda uygulama gruplarına, günlere ve konsantrasyonlara bağlı olarak nitrik oksit sentaz (NOS) aktivitesinde meydana gelen değişimler. Sütunlardaki hata çubukları ortalama $\pm$ standart hatayı göstermektedir

4.2.13. *T. aestivum* L. cv. “Yıldırım” Buğday Bitkisi Yaprak Dokusunda Uygulama Gruplarının Siklik Guanozin Monofosfat (cGMP) Düzeyi Üzerine Etkileri

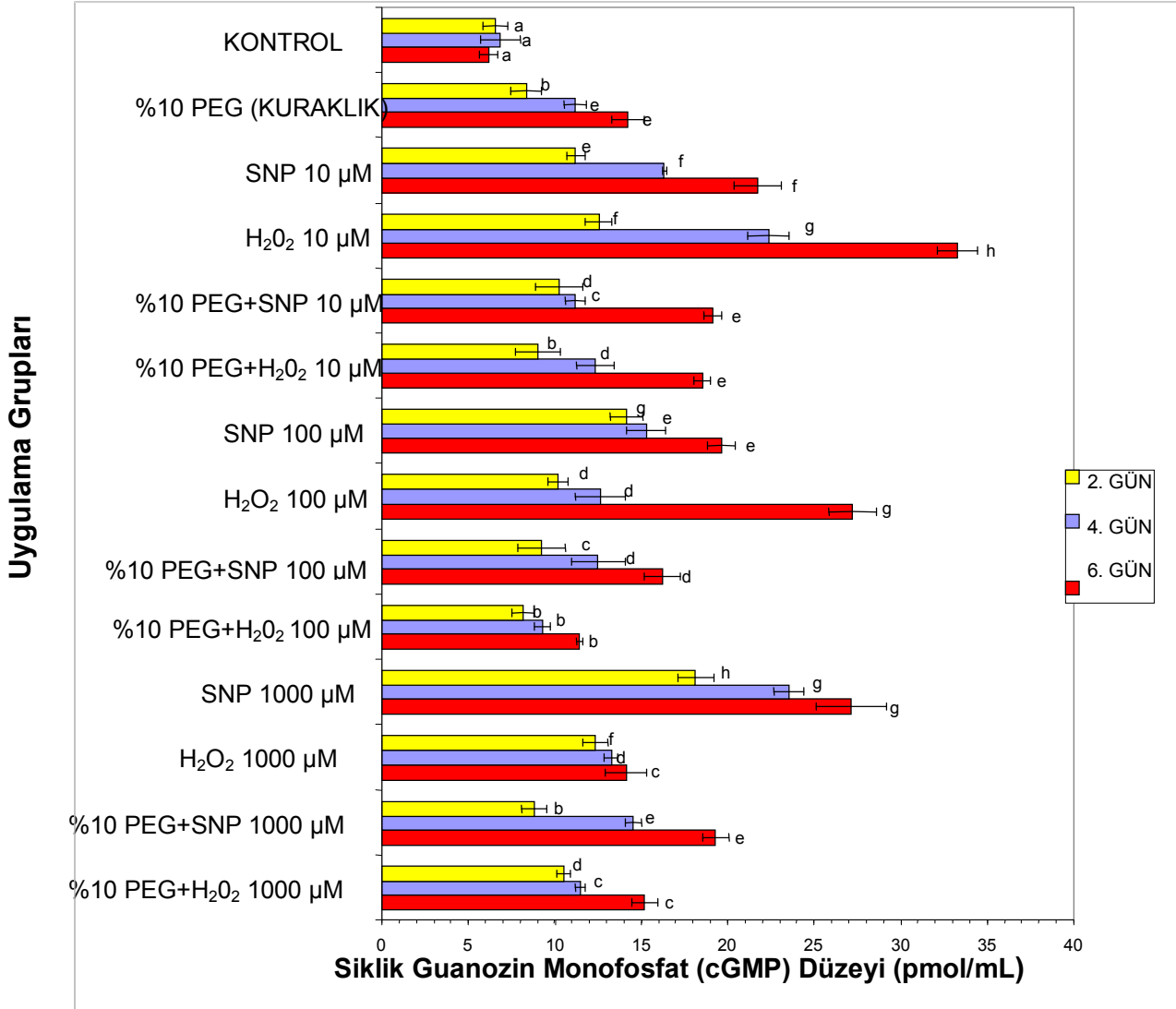
T. aestivum L. cv. “Yıldırım” buğday bitkisinin yaprak dokusunda siklik guanozin monofosfat düzeyi, kuraklık, SNP ve H₂O₂ uygulamalarına ve günlere göre farklılık gösterdiği saptanmıştır (Şekil 4.33).

Yıldırım çeşidi yaprak dokusunda kuraklık uygulamasına bağlı olarak cGMP düzeyinin günlere bağlı olarak arttığı belirlenmiştir (Şekil 4.33). Kuraklık uygulamasında belirlenen en yüksek cGMP düzeyi 6. günde 14.24±0.93 pmol/mL olarak saptanmıştır. Yapılan istatistik analize göre, kuraklık uygulamasının her üç gününde belirlenen cGMP düzeyleri arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemli olduğu ($p \leq 0.05$) olduğu bulunmuştur.

Yıldırım çeşidi yaprak dokusunda Şekil 4.33’te görüldüğü gibi, cGMP düzeyinin SNP uygulamasında günlere bağlı olarak arttığı ve SNP uygulamasında belirlenen cGMP düzeylerinin kontrol grubuyla, kuraklık uygulamasında belirlenen cGMP düzeylerinden yüksek olduğu saptanmıştır. 1000 µM SNP uygulamasının 6. gününde 27.17±2.03 pmol/mL olarak belirlenen cGMP düzeyinin uygulama grubundaki en yüksek cGMP düzeyi olduğu belirlenmiştir. Yapılan istatistik analize göre, SNP uygulamasında günlere ve konsantrasyonlara göre belirlenen cGMP düzeyleri arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemli olduğu ($p \leq 0.05$) bulunmuştur. PEG+SNP uygulamasında cGMP düzeylerinin günlere bağlı olarak arttığı belirlenmiştir. En yüksek cGMP düzeyi 1000 µM PEG+SNP uygulamasının 6. gününde 19.31±0.75 pmol/mL olarak saptanmıştır (Şekil 4.33). Yapılan istatistik analize göre, PEG+SNP uygulamasının 100 µM ve 1000 µM konsantrasyonunun 2. günü ile 10 µM ile 1000 µM konsantrasyonunun 6. günü hariç, diğer gün ve konsantrasyonlarda belirlenen cGMP düzeyleri arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemli olduğu ($p \leq 0.05$) bulunmuştur.

Yıldırım çeşidi yaprak dokusunda H₂O₂ uygulamasına bağlı olarak cGMP düzeyinin her üç günde artış gösterdiği belirlenmiştir. Şekil 4.33’te görüldüğü gibi, 10 µM H₂O₂ uygulamasının 6. gününde belirlenen cGMP düzeyinin (33.27±1.17 pmol/mL) diğer uygulamalardan yüksek olduğu saptanmıştır. Yapılan istatistik analize göre, 10 µM ile 1000 µM H₂O₂ uygulamasının 2. günü hariç, diğer gün ve konsantrasyonda belirlenen cGMP düzeyleri arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemli olduğu bulunmuştur. PEG+H₂O₂ uygulamasına bağlı olarak cGMP düzeyinin günlere bağlı olarak arttığı belirlenmiştir. En yüksek cGMP düzeyi uygulama grubunun 10 µM konsantrasyonunun 6. gününde 18.53±0.47 pmol/mL olarak belirlenmiştir. Yapılan istatistik analize göre, 10 µM ile 100 µM PEG+H₂O₂

uygulamasının 2. günü hariç, diğer gün ve konsantrasyonda belirlenen cGMP düzeyleri arasındaki farkların istatistiksel olarak önemli olduğu ($p \leq 0.05$) bulunmuştur.



Şekil 4.33. *Triticum aestivum* L. cv. “Yıldırım” buğday bitkisi yaprak dokusunda uygulama gruplarına, günlere ve konsantrasyonlara bağlı olarak siklik guanozin monofosfat (cGMP) düzeyinde meydana gelen değişimler. Sütunlardaki hata çubukları ortalama $\pm$ standart hatayı göstermektedir

4.2.14. *T. aestivum* L. cv. “Yıldırım” Buğday Bitkisi Yaprak Dokusunda Uygulama Gruplarının Süperoksit Dismutaz (SOD) Aktivitesi Üzerine Etkileri

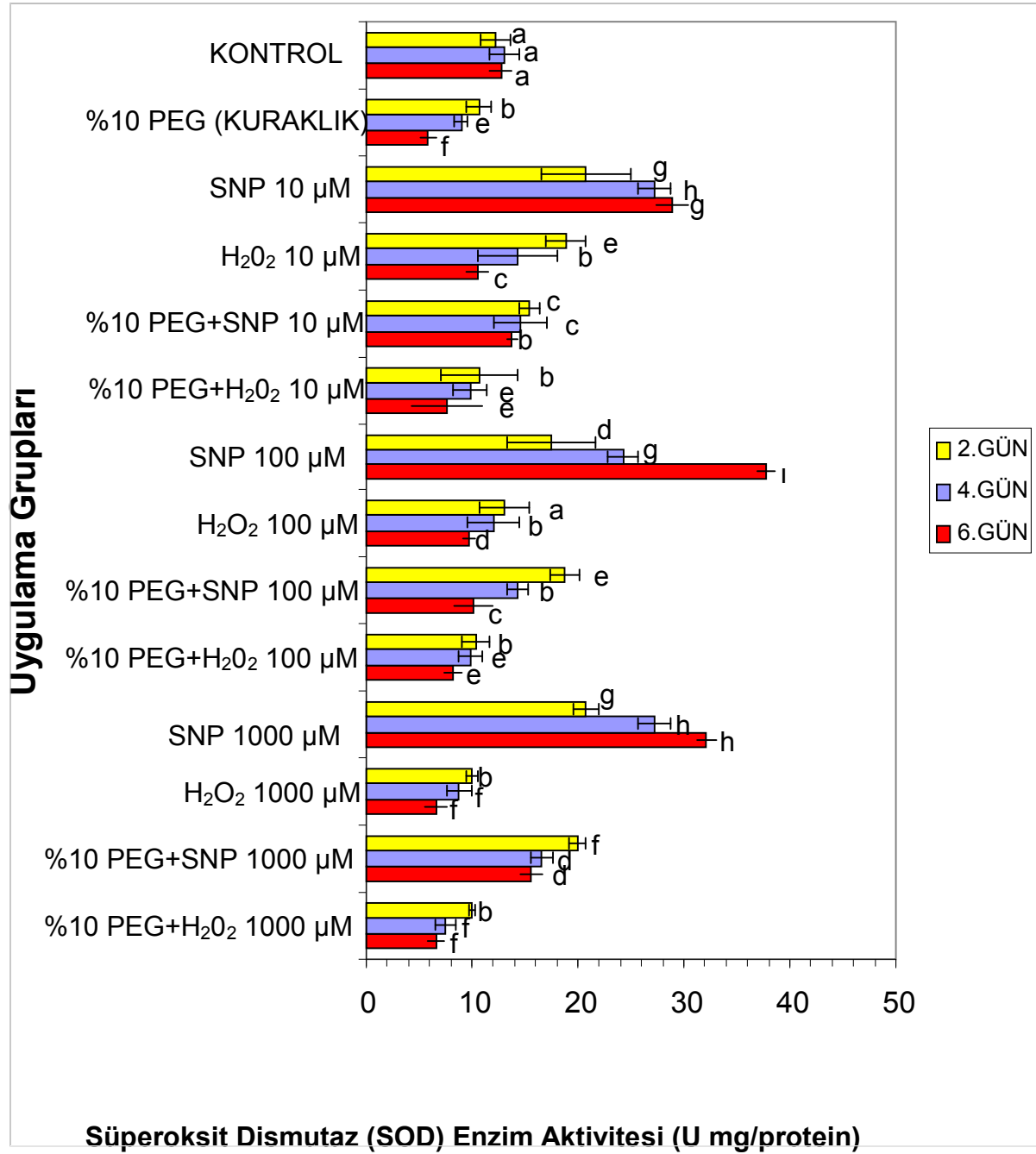
T. aestivum L. cv. “Yıldırım” buğday bitkisinin yaprak dokusunda süperoksit dismutaz (SOD) aktivitesi (U mg/protein), kuraklık, SNP ve H₂O₂ uygulamalarına ve günlere göre farklılık gösterdiği saptanmıştır (Şekil 4.34).

Yıldırım çeşidi yaprak dokusunda kuraklık uygulamasında SOD enzim aktivitelerinin günlere bağlı olarak azaldığı saptanmıştır (Şekil 4.34). Kuraklık uygulamasına bağlı olarak saptanan SOD enzim aktivitesinin kontrol grubuna göre 2. 4. ve 6. günlerde azaldığı ($p \leq 0.05$) belirlenmiştir. Kuraklık uygulamasında en yüksek SOD enzim aktivitesi 2. günde saptanmıştır (10.66 ± 1.19 U mg/protein). Uygulamanın 2. 4. ve 6. gününde SOD enzim aktivitelerinin sırasıyla 10.66 ± 1.19 U mg/protein, 8.99 ± 0.61 U mg/protein ve 5.90 ± 0.71 U mg/protein olduğu belirlenmiştir. Yapılan istatistik analize göre, kuraklık uygulamasının her üç gününde saptanan enzim aktiviteleri arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemli olduğu ($p \leq 0.05$) bulunmuştur.

Yıldırım çeşidi yaprak dokusunda SNP uygulamasında SOD enzim aktivitelerinin günlere bağlı olarak arttığı saptanmıştır. Şekil 4.34 incelendiğinde, kontrol grubuna göre yüksek olan SOD enzim aktiviteleri görülmektedir. En yüksek SOD enzim aktivitesi 100 μ M SNP uygulamasının 6. gününde 37.84 ± 0.83 U mg/protein olarak belirlenmiştir. Yapılan istatistik analize göre, SNP uygulamasının 10 μ M ile 1000 μ M konsantrasyonlarının 2. ve 4. günü hariç, diğer konsantrasyon ve günlerde SOD enzim aktiviteleri arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemli olduğu ($p \leq 0.05$) belirlenmiştir. PEG+SNP uygulamasında her üç konsantrasyonda SOD enzim aktivitelerinin günlere bağlı olarak azaldığı saptanmıştır. 1000 μ M PEG+SNP uygulamasının 2. gününde 19.95 ± 0.79 U mg/protein olarak belirlenen SOD enzim aktivitesinin uygulama grubundaki en yüksek aktivite olduğu saptanmıştır. Yapılan istatistik analize göre, PEG+SNP uygulamasında 10 μ M ile 100 μ M konsantrasyonun 4. günleri hariç, diğer konsantrasyon ve günlerde belirlenen SOD enzim aktiviteleri arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemli olduğu ($p \leq 0.05$) saptanmıştır.

Yıldırım çeşidi yaprak dokusunda H₂O₂ uygulamalarında SOD enzim aktivitelerinin günlere bağlı olarak azaldığı bulunmuştur. Şekil 4.34 incelendiğinde, 1000 μ M H₂O₂ uygulamasında belirlenen SOD enzim aktivitelerinin 10 μ M ile 100 μ M H₂O₂ uygulamasında belirlenen SOD enzim aktivitelerinden ve kontrol grubundan az olduğu görülmektedir. En yüksek SOD enzim aktivitesi 10 μ M H₂O₂ uygulamasının 2. gününde 18.85 ± 1.87 U mg/protein olarak saptanmıştır. Yapılan istatistik analize göre, H₂O₂ uygulamalarında 10 μ M ile 100 μ M konsantrasyonların 6. günü hariç, diğer konsantrasyon ve günlerde saptanan SOD

enzim aktiviteleri arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemli oldukları ($p \leq 0.05$) belirlenmiştir.



Şekil 4.34. *Triticum aestivum* L. cv. “Yıldırım” buğday bitkisi yaprak dokusunda uygulama gruplarına, günlere ve konsantrasyonlara bağlı olarak süperoksit dismutaz (SOD) aktivitesinde meydana gelen değişimler. Sütunlardaki hata çubukları ortalama $\pm$ standart hatayı göstermektedir

PEG+H₂O₂ uygulamasında SOD enzim aktivitelerinin günlere bağılı olarak azaldığı ve bu değerlerin kontrol grubundan az olduğu saptanmıştır (Şekil 4.34). PEG+H₂O₂ uygulamasındaki en yüksek SOD enzim aktivitesi 10 µM uygulamasının 2. gününde 10.71±3.61 µM olarak saptanmıştır. Yapılan istatistik analize göre, PEG+H₂O₂ uygulamasının her üç konsantrasyonunun 2. gününde, 10 µM ile 100 µM uygulamalarının 4. ve 6. günlerinde belirlenen SOD enzim aktiviteleri arasındaki farkların önemsiz (p>0.05) olduğu saptanmıştır.

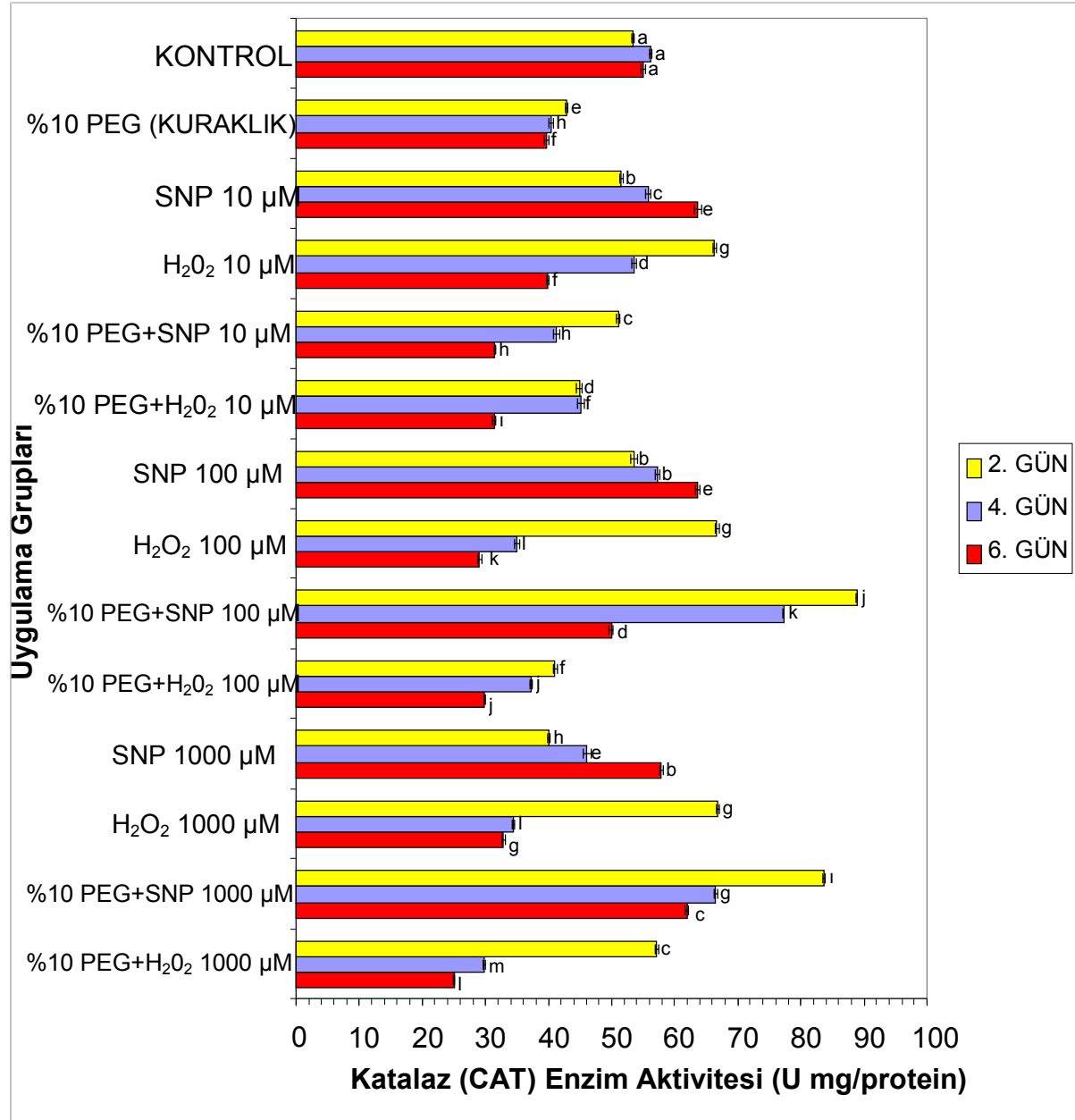
4.2.15. *T. aestivum* L. cv. “Yıldırım” Buğday Bitkisi Yaprak Dokusunda Uygulama Gruplarının Katalaz (CAT) Aktivitesi Üzerine Etkileri

T. aestivum L. cv. “Yıldırım” buğday bitkisinin yaprak dokusunda katalaz (CAT) aktivitesi kuraklık, SNP ve H₂O₂ uygulamalarına ve günlere göre farklılık gösterdiği saptanmıştır (Şekil 4.35).

Yıldırım çeşidi yaprak dokusunda kuraklık uygulamasında CAT enzim aktivitesinin günlere bağılı olarak azaldığı bulunmuştur. Şekil 4.35 incelendiğinde, kuraklık uygulamasının 2. 4. ve 6. günündeki CAT enzim aktivitesinin sırasıyla 42.86±0.20 U mg/protein, 40.40±0.39 U mg/protein ve 39.68±0.37 U mg/protein olduğu görülmektedir. Yapılan istatistik analize, göre kuraklık uygulamasının 4. ve 6. gününde belirlenen CAT enzim aktivitesi arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemsiz (p>0.05) olduğu belirlenmiştir.

Yıldırım çeşidi yaprak dokusunda SNP uygulamasında CAT enzim aktivitelerinin her üç konsantrasyonda günlere bağılı olarak arttığı saptanmıştır. 1000 µM SNP uygulamasının 2. 4. ve 6. gününde saptanan CAT enzim aktivitelerinin 10 µM ile 100 µM uygulamasındaki CAT enzim aktivitelerine göre azaldığı görülmektedir (Şekil 4.35). En yüksek CAT enzim aktivitesi 10 µM SNP uygulamasının 6. gününde 63.69±0.56 U mg/protein olarak belirlenmiştir. Yapılan istatistik analize göre, 10 µM ile 100 µM SNP uygulamasının 6. günü hariç, diğer gün ve konsantrasyonlarda saptanan CAT enzim aktiviteleri arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemli olduğu (p≤0.05) bulunmuştur. PEG+SNP uygulamasında CAT enzim aktivitelerinin günlere bağılı olarak azaldığı saptanmıştır. 10 µM PEG+SNP uygulamasının 2. 4. ve 6. günlerinde sırasıyla 51.05±0.29 U mg/protein, 41.24±0.49 U mg/protein ve 31.55±0.17 U mg/protein olarak saptanan CAT enzim aktivitelerinin kontrol grubundan az seviyede olduğu Şekil 4.35’te görülmektedir. En yüksek CAT enzim aktivitesi ise 100 µM PEG+SNP uygulamasının 2. gününde 88.89±0.15 U mg/protein olarak bulunmuştur. Yapılan istatistik analize göre, PEG+SNP uygulamasının her üç gün ve konsantrasyonlarında saptanan CAT enzim aktiviteleri arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemli olduğu (p≤0.05) bulunmuştur.

Yıldırım çeşidi yaprak dokusunda H_2O_2 uygulamasında CAT enzim aktivitelerinin günlere bağlı olarak azaldığı belirlenmiştir. Şekil 4.35 incelendiğinde, 10 μM H_2O_2 uygulamasında CAT enzim aktivitesindeki azalmanın 100 μM ve 1000 μM uygulamalarından daha az seviyede olduğu görülmektedir. H_2O_2 uygulamasında 10 μM , 100 μM ve 1000 μM konsantrasyonların 2. gününde belirlenen CAT enzim aktivitelerinin kontrol grubundan yüksek ($p \leq 0.05$), 4. ve 6. günlerinde belirlenen enzim aktivitelerinin kontrol grubundan düşük ($p \leq 0.05$) olduğu saptanmıştır. Yapılan istatistik analize göre, H_2O_2 uygulamasının her üç konsantrasyonun 2. günlerindeki CAT enzim aktiviteleri arasındaki farklar hariç, diğer gün ve konsantrasyonlarda belirlenen farkların istatistiksel açıdan önemli olduğu ($p \leq 0.05$) saptanmıştır. PEG+ H_2O_2 uygulamalarında 1000 μM konsantrasyonun 2. gününde saptanan CAT enzim aktivitesi dışındaki tüm enzim aktivitelerinin kontrol grubundan az olduğu belirlenmiştir. PEG+ H_2O_2 uygulamalarında CAT enzim aktivitelerinin günlere bağlı olarak azaldığı bulunmuştur. En yüksek CAT enzim aktivitesinin 1000 μM PEG+ H_2O_2 uygulamasının 2. gününde 57.13 ± 0.29 U mg/protein olduğu belirlenmiştir. Yapılan istatistik analize göre, PEG+ H_2O_2 uygulamalarında her üç gün ve konsantrasyonda belirlenen CAT enzim aktiviteleri arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemli olduğu ($p \leq 0.05$) saptanmıştır.



Şekil 4.35. *Triticum aestivum* L. cv. “Yıldırım” buğday bitkisi yaprak dokusunda uygulama gruplarına, günlere ve konsantrasyonlara bağlı olarak katalaz (CAT) aktivitesinde (U mg/protein) meydana gelen değişimler. Sütunlardaki hata çubukları ortalama $\pm$ standart hatayı göstermektedir

4.2.16. *T. aestivum* L. cv. “Yıldırım” Buğday Bitkisi Yaprak Dokusunda Uygulama Gruplarının Glutasyon Peroksidaz (GSH-Px) Aktivitesi Üzerine Etkileri

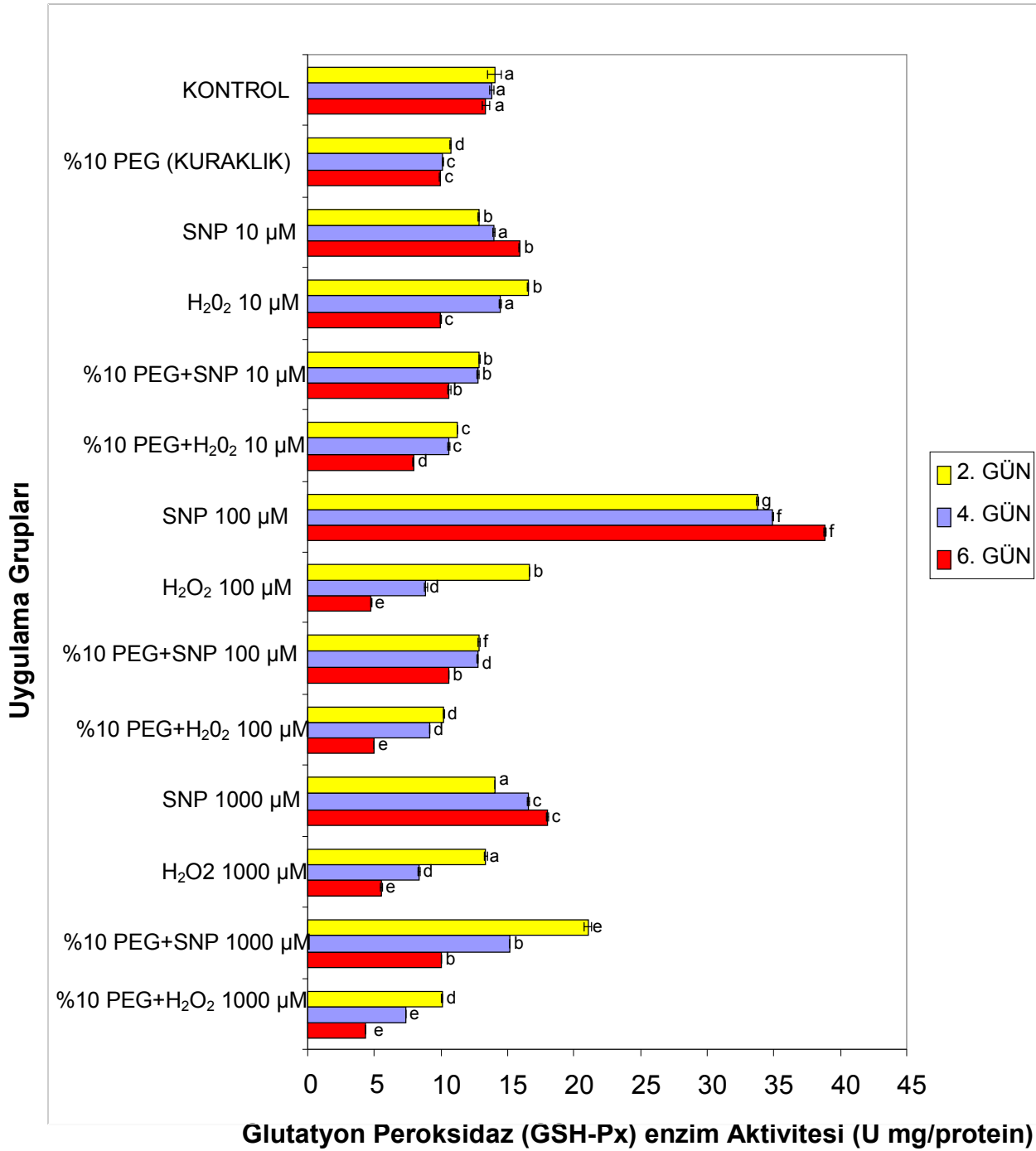
T. aestivum L. cv. “Yıldırım” buğday bitkisi yaprak dokusunda glutasyon peroksidaz (GSH-Px) aktivitesi kuraklık, SNP ve H₂O₂ uygulamalarına ve günlere göre farklılık gösterdiği saptanmıştır (Şekil 4.36).

Yıldırım çeşidi yaprak dokusunda kuraklık uygulamasında GSH-Px enzim aktivitesinin günlere bağlı olarak azaldığı ve kontrol grubundan daha az olduğu saptanmıştır. Kuraklık uygulamasındaki en yüksek GSH-Px enzim aktivitesi uygulamanın 2. gününde 10.71±0.05 U mg/protein olarak belirlenmiştir (Şekil 4.36). Yapılan istatistik analize göre, kuraklık uygulamasının 2. 4. ve 6. günlerinde belirlenen GSH-Px enzim aktiviteleri arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemsiz ($p>0.05$) olduğu belirlenmiştir.

Yıldırım çeşidi yaprak dokusunda SNP uygulamalarında GSH-Px enzim aktivitelerinin günlere bağlı olarak arttığı belirlenmiştir. SNP uygulamasının 100 µM konsantrasyonunun 2. 4. ve 6. günlerinde sırasıyla 33.78±0.05 µM, 34.92±0.05 µN ve 38.85±0.05 µM olarak belirlenen GSH-Px enzim aktivitelerinin 10 µM ve 1000 µM SNP uygulamalarından daha yüksek olduğu Şekil 4.36’da görülmektedir. En yüksek enzim aktivitesi 100 µM SNP uygulamasının 6. gününde 38.85±0.05 U mg/protein olarak saptanmıştır. Yapılan istatistik analize göre, SNP uygulamasının her üç gün ve konsantrasyonunda GSH-Px enzim aktiviteleri arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemli ($p\leq 0.05$) olduğu bulunmuştur. PEG+SNP uygulamasında her üç konsantrasyonda GSH-Px enzim aktivitelerinin günlere bağlı olarak azaldığı belirlenmiştir (Şekil 4.36). En yüksek GSH-Px enzim aktivitesi 100 µM PEG+SNP uygulamasının 2. gününde 22.20±0.10 U mg/protein olarak saptanmıştır. Yapılan istatistik analize göre, PEG+SNP uygulamasının her üç konsantrasyonunun 6. gününde belirlenen GSH-Px enzim aktiviteleri arasındaki farkların istatistiksel olarak önemsiz ($p>0.05$), diğer günlerdeki enzim aktiviteleri arasındaki farkların önemli ($p\leq 0.05$) olduğu saptanmıştır.

Yıldırım çeşidi yaprak dokusunda H₂O₂ uygulamasında GSH-Px enzim aktivitelerinin günlere bağlı olarak azaldığı saptanmış olup 100 µM ile 1000 µM H₂O₂ uygulamasında GSH-Px enzim aktivitesindeki azalışın 10 µM uygulamasından yüksek olduğu bulunmuştur (Şekil 4.36). En yüksek GSH-Px enzim aktivitesi 100 µM H₂O₂ uygulamasının 2. gününde 16.68±0.01 U mg/protein olarak saptanmıştır. Yapılan istatistik analize göre, H₂O₂ uygulamasında 10 µM ile 100 µM konsantrasyonların 2., 100 µM ile 1000 µM konsantrasyonların 4. günü hariç, diğer gün ve konsantrasyonlarda saptanan GSH-Px enzim aktiviteleri arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemli olduğu bulunmuştur ($p\leq 0.05$).

PEG+H₂O₂ uygulamasında GSH-Px enzim aktivitelerinde günlere bağılı olarak azalışların olduğu saptanmıştır. Şekil 4.36'da görüldüğü gibi 10 µM PEG+H₂O₂ uygulamasında günlere bağılı olarak meydana gelen GSH-Px enzim aktivitesindeki azalmanın 100 µM ve 1000 µM konsantrasyonlardakinden daha az seviyede olduğu belirlenmiştir. En yüksek GSH-Px enzim aktivitesi 10 µM PEG+H₂O₂ uygulamasının 2. gününde 11.22±0.01 U mg/protein olarak saptanmıştır. Yapılan istatistik analize göre, PEG+H₂O₂ uygulamasında 100 µM ile 1000 µM konsantrasyonların 2. ve 6. günlerinde saptanan enzim aktiviteleri arasındaki farkların istatistiksel olarak önemsiz (p>0.05), diğer konsantrasyon ve günlerde belirlenen farkların ise istatistiksel açıdan önemli (p≤0.05) olduğu bulunmuştur.



Şekil 4.36. *T. aestivum* L. cv. “Yıldırım” buğday bitkisi yaprak dokusunda uygulama gruplarına, günlere ve konsantrasyonlara bağlı olarak glutasyon peroksidaz (GSH-Px) enzim aktivitesinde meydana gelen değişimler. Sütunlardaki hata çubukları ortalama $\pm$ standart hatayı göstermektedir

4.2.17. *T. aestivum* L. cv. “Yıldırım” Buğday Bitkisi Yaprak Dokusunda Uygulama Gruplarının Malondialdehit (MDA) İçeriği Üzerine Etkileri

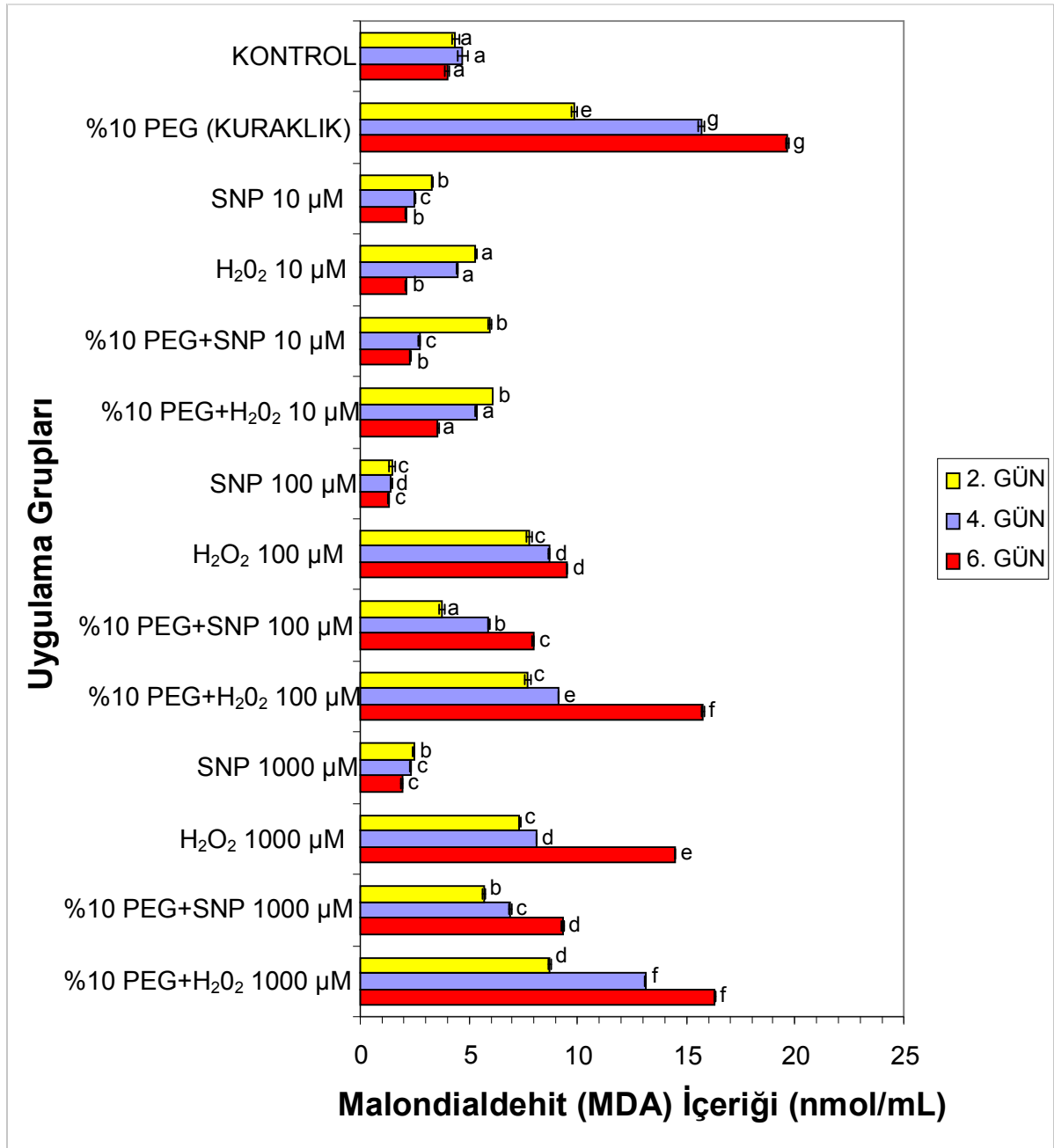
T. aestivum L. cv. “Yıldırım” buğday bitkisinin yaprak dokusunda malondialdehit (MDA) içeriği kuraklık, SNP ve H₂O₂ uygulamalarına ve günlere bağlı olarak farklılık gösterdiği saptanmıştır (Şekil 4.37).

Şekil 4.37 incelendiğinde, Yıldırım çeşidi yaprak dokusunda MDA içeriklerinin kuraklık uygulamasında günlere bağlı olarak arttığı görülmektedir. Uygulamanın 2. günde 9.85±0.13 nmol/mL olan MDA içeriğinin 4. gün 15.70±0.12 nmol/mL ve 6. gün 19.65±0.05nmol/mL değerlerine yükseldiği ve bu üç değerinde kontrol grubundan yüksek olduğu bulunmuştur. Yapılan istatistik analize göre, kuraklık uygulamasının her üç gününde saptanan MDA içerikleri arasındaki farkların istatistiksel açıdan ($p \leq 0.05$) önemli olduğu belirlenmiştir.

Yıldırım çeşidi yaprak dokusunda SNP uygulamalarında MDA içeriklerinin günlere bağlı olarak azaldığı saptanmıştır. 100 µM SNP uygulamasında belirlenen MDA içeriğinin 10 µM ve 1000 µM uygulamalarındaki MDA içeriklerine göre daha az olduğu belirlenmiştir. En yüksek MDA içeriği 10 µM SNP uygulamasının 2. gününde 3.30±0.04 nmol/mL, en az MDA içeriği ise 100 µM SNP uygulamasının 6. gününde 1.31±0.02 nmol/mL olarak saptanmıştır. Yapılan istatistik analize göre, SNP uygulamalarında 10 µM ile 1000 µM konsantrasyonların 6. günündeki MDA içerikleri arasındaki farklar hariç, günlere ve konsantrasyonlara bağlı olarak MDA içerikleri arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemli ($p \leq 0.05$) olduğu bulunmuştur. PEG+SNP uygulamasında 10 µM konsantrasyonda MDA içeriklerinin günlere bağlı olarak azaldığı, 100 µM ve 1000 µM konsantrasyonlarda ise arttığı saptanmıştır. Şekil 4.37 incelendiğinde, 10 µM PEG+SNP uygulamasının 2., 100 µM PEG+SNP uygulamasının 4. ve 6., 1000 µM PEG+SNP uygulamasının ise 2. 4. ve 6. günlerinde belirlenen MDA içeriklerinin kontrol grubuna göre daha yüksek olduğu ($p \leq 0.05$) görülmektedir. Yapılan istatistik analize göre, PEG+SNP uygulamasında 10 µM ile 1000 µM konsantrasyonların 2. günündeki MDA içerikleri arasındaki farklar hariç, günlere ve konsantrasyonlara bağlı olarak MDA içerikleri arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemli ($p \leq 0.05$) bulunmuştur.

Yıldırım çeşidi yaprak dokusunda H₂O₂ uygulamalarında MDA içeriğinin 10 µM konsantrasyonda günlere bağlı olarak azaldığı, 100 µM ve 1000 µM konsantrasyonlarda ise arttığı saptanmıştır. Şekil 4.37’de görüldüğü gibi, 10 µM H₂O₂ uygulamasının 2. gününde, 100 µM ve 1000 µM H₂O₂ uygulamalarının 2. 4. ve 6. günlerinde belirlenen MDA içeriklerinin kontrol grubundan yüksek olduğu görülmektedir. En düşük MDA içeriği 2.12±0.02 nmol/mL olarak 10 µM H₂O₂ uygulamasında, en yüksek MDA içeriği ise

14.47±0.02 nmol/mL olarak 1000 µM H₂O₂ uygulamasının 6. gününde saptanmıştır. Yapılan istatistik analize göre, 100 µM ile 1000 µM H₂O₂ uygulamalarının 2. ve 4. günlerinde belirlenen MDA içerikleri arasındaki farklar hariç, günlere ve konsantrasyonlara bağlı olarak saptanan MDA içerikleri arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemli ($p \leq 0.05$) olduğu bulunmuştur. PEG+H₂O₂ uygulamasında MDA içeriğinin 10 µM konsantrasyonda günlere bağlı olarak azaldığı, 100 µM ve 1000 µM konsantrasyonlarda ise arttığı saptanmıştır. En yüksek MDA içeriği 1000 µM PEG+H₂O₂ uygulamasının 6. gününde 16.31±0.03 nmol/mL, en düşük MDA içeriği ise 10 µM PEG+H₂O₂ uygulamasının 6. gününde 3.56±0.03 nmol/mL olarak belirlenmiştir (Şekil 4.37). Yapılan istatistik analize göre, PEG+H₂O₂ uygulamasında günlere ve konsantrasyonlara bağlı olarak saptanan MDA içerikleri arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemli ($p \leq 0.05$) oldukları bulunmuştur.



Şekil 4.37. *Triticum aestivum* L. cv. “Yıldırım” buğday bitkisi yaprak dokusunda uygulama gruplarına, günlere ve konsantrasyonlara bağlı olarak malondialdehit (MDA) içeriğinde meydana gelen değişimler. Sütunlardaki hata çubukları ortalama $\pm$ standart hatayı göstermektedir

4.2.18. *Triticum aestivum* L. cv. “Yıldırım” Buğday Bitkisi Yaprak Dokusunda Uygulama Gruplarının Toplam Çözünebilir Protein Miktarı Üzerine Etkileri

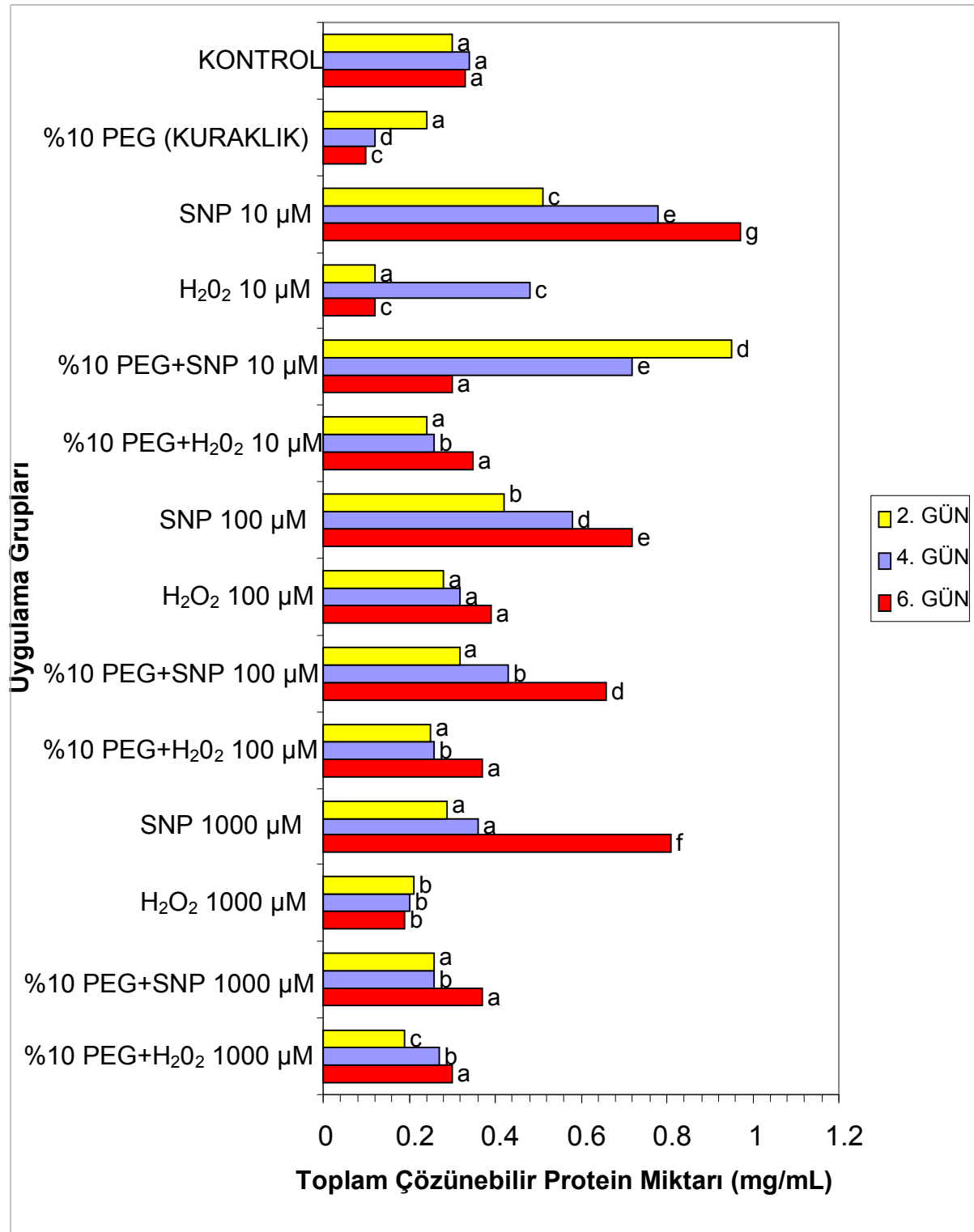
Buğday (*Triticum aestivum* L. cv. Yıldırım) bitkisinin yaprak dokusunda toplam çözünebilir protein miktarı kuraklık, SNP ve H₂O₂ uygulamalarına ve günlere bağlı olarak farklılık gösterdiği saptanmıştır (Şekil 4.38).

Şekil 4.38 incelendiğinde toplam çözünebilir protein miktarlarının kuraklık uygulamasında günlere bağlı olarak azaldığı görülmektedir. Kuraklık uygulamasının 2. gününde 0.24±0.00 mg/mL olarak belirlenen toplam çözünebilir protein miktarının 4. günde 0.12±0.00 mg/mL ve 6. günde ise 0.10±0.00 mg/mL olduğu belirlenmiştir. Kuraklık uygulamasında saptanan toplam çözünebilir protein miktarlarının kontrol grubundan az olduğu saptanmıştır. Yapılan istatistik analize göre, kuraklık uygulamasının 4. ve 6. günlerinde belirlenen toplam çözünebilir protein miktarları arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemsiz ($p>0.05$), 2. günde belirlenen toplam çözünebilir protein miktarının ise 4. ve 6. günlerdekine göre önemli ($p\leq 0.05$) olduğu bulunmuştur.

Yıldırım çeşidi yaprak dokusunda SNP uygulamalarında toplam çözünebilir protein miktarlarının günlere bağlı olarak arttığı belirlenmiştir (Şekil 4.38). 10 µM SNP uygulamasının 2. 4. ve 6. günlerinde saptanan protein miktarları sırasıyla 0.51±0.00 mg/mL, 0.78±0.00 mg/mL ve 0.97±0.00 mg/mL, 100 µM konsantrasyonda sırasıyla 0.42±0.00 mg/mL, 0.58±0.00 mg/mL ve 0.72±0.00 mg/mL, 1000 µM konsantrasyonda ise sırasıyla 0.36±0.00 mg/mL, 0.40±0.00 mg/mL ve 0.81±0.00 mg/mL olarak belirlenmiştir. Yapılan istatistik analize göre, SNP uygulamasında günlere ve konsantrasyonlara bağlı olarak saptanan toplam çözünebilir protein miktarları arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemli olduğu ($p\leq 0.05$) bulunmuştur. PEG+SNP uygulamasında toplam çözünebilir protein miktarının 10 µM konsantrasyonda günlere bağlı olarak azaldığı, 100 µM ve 1000 µM konsantrasyonlarda ise arttığı belirlenmiştir. En yüksek toplam çözünebilir protein miktarı 10 µM PEG+SNP uygulamasının 2. gününde 0.95±0.003 mg/mL olarak saptanmıştır. Yapılan istatistik analize göre, PEG+SNP uygulamasının her üç günündeki toplam çözünebilir protein miktarları arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemli olduğu ($p\leq 0.05$) bulunmuştur.

Yıldırım çeşidi yaprak dokusunda H₂O₂ uygulamasında toplam çözünebilir protein miktarlarında her üç konsantrasyonda günlere bağlı olarak artma ve azalmaların olduğu azaldığı belirlenmiştir (Şekil 4.38). Yapılan istatistik analize göre, H₂O₂ uygulamasında 10 µM ile 100 µM konsantrasyonun 2. gününde saptanan toplam çözünebilir protein miktarları arasındaki farklar hariç, günlere ve konsantrasyonlara bağlı olarak toplam çözünebilir protein miktarı arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemli olduğu ($p\leq 0.05$) bulunmuştur. Şekil

4.38 incelendiğinde, PEG+H₂O₂ uygulamasında her üç konsantrasyonda toplam çözünebilir protein miktarının günlere bağlı olarak arttığı görülmektedir. Yapılan istatistik analize göre, PEG+H₂O₂ uygulamasında her üç konsantrasyonun 4. günü ile 10 µM ve 100 µM PEG+H₂O₂ uygulamasının 2. ve 6. günü hariç, diğer gün ve konsantrasyonlardaki toplam çözünebilir protein miktarları arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemli olduğu ($p \leq 0.05$) bulunmuştur.



Şekil 4.38. *Triticum aestivum* L. cv. “Yıldırım” buğday yaprak dokusunda uygulama gruplarına, günlere ve konsantrasyonlara bağlı olarak toplam çözünabilir protein miktarında meydana gelen değişimler. Sütunlardaki hata çubukları ortalama $\pm$ standart hatayı göstermektedir

4.2.19. *T. aestivum* L. cv. “Yıldırım” Buğday Bitkisi Yaprak Dokusunda Uygulama Gruplarının Hidrojen Peroksit (H₂O₂) İçeriği Üzerine Etkileri

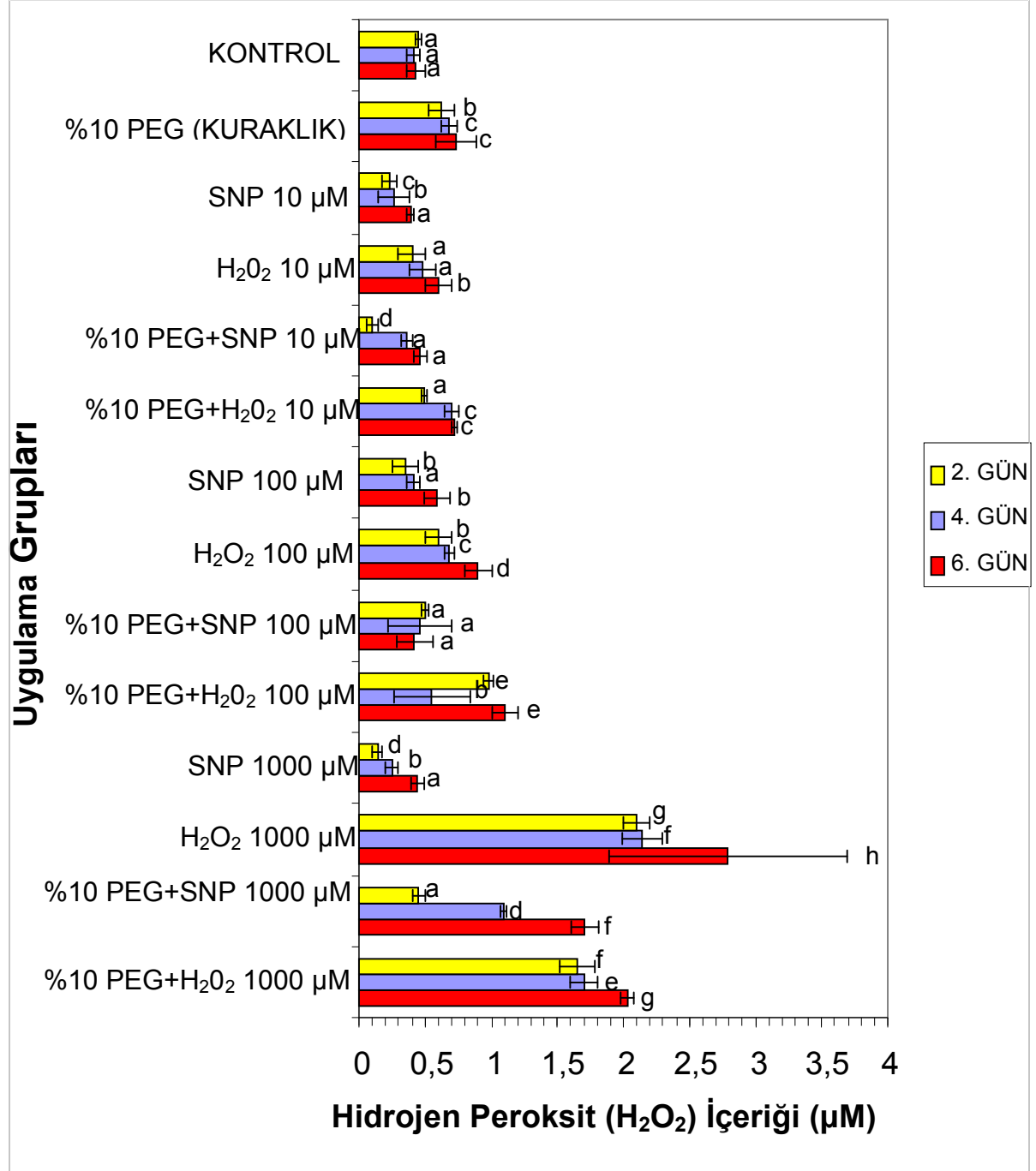
T. aestivum L. cv. “Yıldırım” buğday bitkisinin yaprak dokusunda hidrojen peroksit (H₂O₂) içeriği, kuraklık, SNP ve H₂O₂ uygulamalarına ve günlere bağlı olarak farklılık gösterdiği saptanmıştır (Şekil 4.39).

Şekil 4.39 incelendiğinde, kuraklık uygulamasında H₂O₂ içeriklerinin günlere bağlı olarak arttığı görülmektedir. Kuraklık uygulamasında H₂O₂ içeriklerinin kontrol grubuna göre yüksek olduğu saptanmıştır. En yüksek H₂O₂ içeriğinin kuraklık uygulamasının 6. gününde 0.73±0.15 µM olduğu belirlenmiştir. Yapılan istatistik analize göre, kuraklık uygulamasının her üç gününde H₂O₂ içerikleri arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemli olduğu (p≤0.05) saptanmıştır.

Yıldırım çeşidi yaprak dokusunda SNP uygulamalarında H₂O₂ içeriklerinin günlere bağlı olarak arttığı saptanmış olup en yüksek H₂O₂ içeriğinin 100 µM SNP uygulamasının 6. gününde 0.59±0.10 µM, en düşük H₂O₂ içeriğinin ise 1000 µM uygulamasının 2. gününde 0.14±0.04 µM olduğu bulunmuştur. Yapılan istatistik analize göre, 10 µM ile 1000 µM SNP uygulamalarının 4. gününde saptanan H₂O₂ içerikleri arasındaki farklar hariç, diğer gün ve konsantrasyonlardaki farkların istatistiksel açıdan önemli (p≤0.05) olduğu belirlenmiştir. PEG+SNP uygulamasında 10 µM ve 1000 µM konsantrasyonlarda H₂O₂ içeriklerinde günlere bağlı olarak arttığı, 100 µM konsantrasyonda ise azaldığı ve 1000 µM konsantrasyondaki artışın 10 µM konsantrasyondan yüksek olduğu Şekil 4.39’da görülmektedir. Yapılan istatistik analize göre, PEG+SNP uygulamasında günlere ve konsantrasyonlara bağlı olarak H₂O₂ içeriği arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemli olduğu (p≤0.05) bulunmuştur.

Yıldırım çeşidi yaprak dokusunda H₂O₂ uygulamasında, H₂O₂ içeriklerinin konsantrasyona ve günlere bağlı olarak arttığı saptanmıştır. En düşük H₂O₂ içeriğinin 10 µM H₂O₂ uygulamasının 2. gününde 0.40±0.10 µM, en yüksek H₂O₂ içeriğinin ise 1000 µM uygulamasının 6. gününde 2.79±0.90 µM olduğu belirlenmiştir. Yapılan istatistik analize göre, H₂O₂ uygulamasında günlere ve konsantrasyonlara bağlı olarak saptanan H₂O₂ içerikleri arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemli olduğu (p≤0.05) bulunmuştur (Şekil 4.39). PEG+H₂O₂ uygulamasında 10 µM ve 1000 µM konsantrasyonlarda H₂O₂ içeriklerinin günlere bağlı olarak arttığı, 100 µM konsantrasyonun 4. gününde azaldığı, 6. gününde ise tekrar arttığı saptanmıştır. Şekil 4.39’da görüldüğü gibi, en yüksek H₂O₂ içeriğinin 1000 µM H₂O₂ uygulamasının 6. gününde 2.03±0.05 µM, en düşük H₂O₂ içeriğinin ise 10 µM H₂O₂ uygulamasının 2. gününde 0.49±0.023 µM olduğu belirlenmiştir. Yapılan istatistik analize

göre, PEG+H₂O₂ uygulamasında günlere ve konsantrasyonlara bağlı olarak saptanan H₂O₂ içerikleri arasındaki farkların istatistiksel açıdan önemli olduğu ($p \leq 0.05$) bulunmuştur.



Şekil 4.39. *Triticum aestivum* L. cv. “Yıldırım” buğday bitkisi yaprak dokusunda uygulama gruplarına, günlere ve konsantrasyonlara bağlı olarak hidrojen peroksit (H₂O₂) içeriğinde meydana gelen değişimler. Sütunlardaki hata çubukları ortalama $\pm$ standart hatayı göstermektedir

4.2.20. *T. aestivum* L. cv. “Yıldırım” Buğday Bitkisi Yaprak Dokusunda Uygulama Gruplarının Oransal Su İçeriği (OSİ) Üzerine Etkileri

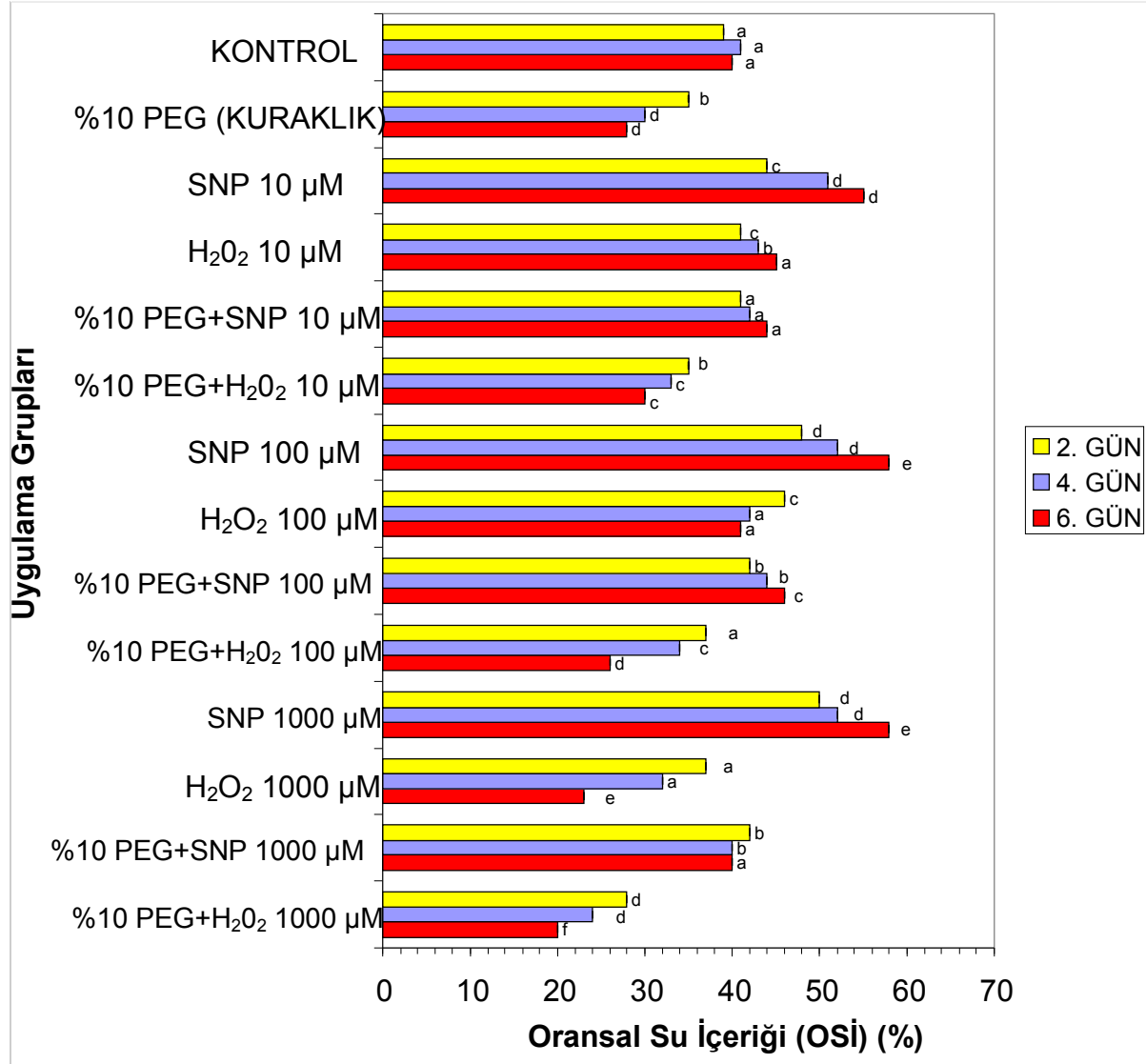
T. aestivum L. cv. “Yıldırım” buğday bitkisinin yaprak dokusunda oransal su içeriği (OSİ), kuraklık, SNP ve H₂O₂ uygulamalarına ve günlere bağlı olarak farklılık gösterdiği saptanmıştır (Şekil 4.40).

Şekil 4.40 incelendiğinde, kuraklık uygulamasında oransal su içeriğinin günlere bağlı olarak azaldığı ve kontrol grubundan az olduğu görülmektedir. Kuraklık uygulamasının 2. 4. ve 6. günlerinde sırasıyla 35±0.01 (%), 30±0.00 (%) ve 28±0.00 (%) değerlerinde oransal su içeriği (OSİ) belirlenmiştir. Yapılan istatistik analize göre, kuraklık uygulamasının 2., 4. ve 6. günlerinde oransal su içeriği arasındaki farkların istatistiksel olarak önemli olduğu (p≤0.05) bulunmuştur.

Yıldırım çeşidi yaprak dokusunda SNP uygulamalarında oransal su içeriklerinin günlere bağlı olarak arttığı saptanmıştır. SNP uygulamalarında saptanan oransal su içeriklerinin kontrol grubundan yüksek olduğu bulunmuştur. En yüksek OSİ değeri 1000 µM SNP uygulamalarının 6. gününde 59±0.01 (%) olarak belirlenmiştir. Yapılan istatistik analize göre, SNP uygulamalarının tüm konsantrasyonlarının 4. gününde, 100 µM ile 1000 µM konsantrasyonların 6. gününde oransal su içerikleri arasındaki farklar hariç, diğer gün ve konsantrasyonlarında belirlenen farkların istatistiksel açıdan önemli (p≤0.05) olduğu saptanmıştır. PEG+SNP uygulamasının her üç konsantrasyonunda oransal su içeriğinin günlere bağlı olarak arttığı saptanmıştır. Yapılan istatistik analize göre, PEG+SNP uygulamasının 10 µM konsantrasyonunun 4. ve 6. günü hariç, diğer gün ve konsantrasyonlardaki oransal su içerikleri arasındaki farkların istatistiksel olarak önemsiz (p>0.05) olduğu bulunmuştur.

Yıldırım çeşidi yaprak dokusunda H₂O₂ uygulamalarında, 10 µM konsantrasyonda 2. günde 45±0.01 (%) ve 4. günde 43±0.01 (%) olarak belirlenen oransal su içeriğinin 6. günde 41±0.00 (%) değerinde olduğu, 100 µM ve 1000 µM konsantrasyonlarda ise oransal su içeriklerinin günlere bağlı olarak azaldığı bulunmuştur (Şekil 4.40). Yapılan istatistik analize göre, 10 µM ile 100 µM H₂O₂ uygulamalarının 2. 4. ve 6. günlerinde saptanan oransal su içerikleri arasındaki farklar hariç, diğer gün ve konsantrasyonlardaki farkların istatistiksel açıdan önemli olduğu belirlenmiştir (p≤0.05). PEG+H₂O₂ uygulamalarında günlere bağlı olarak azalan ve kontrol grubundan daha az seviyede olan oransal su içerikleri saptanmıştır. Şekil 4.40 incelendiğinde, PEG+H₂O₂ uygulamalarında belirlenen en yüksek oransal su içeriğinin 100 µM konsantrasyonun 2. gününde 37±0.02 (%) olduğu görülmektedir. Yapılan istatistik analize göre, PEG+H₂O₂ uygulamalarının 10 µM ile 100 µM konsantrasyonlarının 2.

ve 4. günlerinde saptanan oransal su içerikleri arasındaki farklar hariç, diğer gün ve konsantrasyonlardaki farkların istatistiksel açıdan önemli oldukları ($p \leq 0.05$) bulunmuştur.



Şekil 4.40. *Triticum aestivum* L. cv. “Yıldırım” buğday dokusunda uygulama gruplarına, günlere ve konsantrasyonlara bağlı olarak oransal su içeriğinde (OSİ) meydana gelen değişimler. Sütunlardaki hata çubukları ortalama $\pm$ standart hatayı göstermektedir

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Bitki büyümesi ve verimliliği doğadaki çeşitli biyotik ve abiyotik stres faktörlerinin olumsuz etkisi altındadır. Su eksikliği ise önemli abiyotik streslerden biridir ve ürün verimliliğini olumsuz yönde etkiler. Çevresel stres şartları bitkilerde oksidatif hasara neden olabilir [349]. Kuraklık stresi bitkilerde süperoksit radikali (O_2^-), tekil oksijen ($^{\bullet}O_2$), hidroksil ($OH^{\bullet}$) ve hidrojen peroksit (H_2O_2) gibi reaktif oksijen türlerinin (ROT) oluşumuna sebep olarak protein, yağ, karbonhidrat ve nükleik asitlerin zarar görmesine neden olabilir. Bitkiler enzimatik ve enzimatik olmayan savunma sistemleri ile ROT'lara karşı mücadele ve onları detoksifiye etme yeteneğindedir. ROT üretimi ve antioksidan enzim aktiviteleri arasındaki denge oksidatif uyarının veya hasarın meydana gelmesiyle belirlenir. Kuraklık toleransında antioksidan enzimlerin yüksek miktarlarının sürdürülebilirliği oksidatif hasara karşı artan korunma mekanizmasına katkıda bulunur. Bunun yanında antioksidan enzim aktivitesi bitki türüne, çeşidine ve stresin şiddeti ile süresine bağlıdır. Yapılan çalışmalarda kuraklık stresinin süperoksit dismutaz (SOD) ve katalaz (CAT) aktivitelerinde azalma ve lipid peroksidasyonunda ise artışa neden olduğu belirtilmektedir [3, 141]. Kuraklık stresinin bitki tarafından algılanması, iletilmesi ve toleransının biyokimyasal ve moleküler mekanizmalarının anlaşılması biyolojik açıdan oldukça güçtür. Genel olarak abiyotik streslere tolerans oldukça kompleks bir sistemdir. Çünkü stres faktörleri ile bitki büyüme ve gelişimini etkileyen çeşitli moleküler, biyokimyasal ve fizyolojik olayın arasında oldukça karmaşık etkiler mevcuttur [73, 74, 129, 130]. Kuraklık stresinin etkileri neredeyse tüm bitkilerde görülür. Ancak meydana getirdiği etki türden türe hatta tür içinde bile çeşitlilik göstermektedir [130]. Nitrik oksit'in hayvanlar ve diğer organizmalarda olduğu gibi bitkilerde de birçok gelişimsel aşamaya katıldığı belirtilmektedir. Bir sinyal molekülü olan NO'nun gelişimin her aşamasında bitki hücre fonksiyonlarının düzenlenmesinde ve kontrol edilmesinde etkisi olduğu anlaşılmıştır [52, 53, 202, 203, 208, 209]. Tüm bunların yanında uzun süredir yapılan yoğun araştırmalara rağmen, NO'nun bitkideki fizyolojik ve stres şartları altındaki fonksiyonu ve kaynağının tamamen aydınlatılamadığı ileri sürülmüştür [21, 29, 209, 350].

Genel olarak kabul edildiği gibi, kuraklık ve diğer stres çeşitleri hidrojen peroksit (H_2O_2), tekil oksijen, hidroksil radikali ve süperoksit gibi reaktif oksijen türlerinin (ROT) yüksek konsantrasyonlarda oluşmasına sebep olur [178, 351–353]. Bunun yanında ROT'ların bitkilerde büyüme, gelişme, biyotik ve abiyotik stres yanıtları, çevresel uyarı ve programlanmış hücre ölümü gibi kontrol süreçlerinde sinyal molekülü olarak görev yaptıkları bilinmektedir [282, 285, 354]. NO'nun siklik guanozin monofosfat (cGMP) üretiminde etkili

olduğu bildirilmiştir [276]. cGMP'nin bitkilerdeki varlığı uzun zaman önce belirlenmiştir [355].

5.1. *Triticum aestivum* L. cv. “Doğu-88” ve *Triticum aestivum* L. cv. “Yıldırım” Buğday Bitkilerinin Kök Dokularında Uygulama Gruplarının Nitrik Oksit Düzeyleri Üzerine Etkileri

Doğu-88 çeşidi kök dokusunda nitrik oksit düzeyinin tüm uygulamalarda günlere bağlı olarak arttığı saptanmıştır (Şekil 4.1).

Doğu-88 çeşidi kök dokusunda, SNP'nin her üç konsantrasyonunun günlere bağlı olarak uygulanması sonucunda NO düzeylerinin kontrol grubuna göre arttığı belirlenmiştir. H₂O₂ uygulamasına bağlı olarak kontrol grubuna göre her üç konsantrasyonda ve günlere bağlı olarak, 100 µM uygulama grubunun 2. günü hariç, NO düzeylerinde artış olduğu saptanmıştır. PEG+SNP uygulamasında günlere bağlı olarak NO düzeylerinde artışların olduğu ve. PEG+H₂O₂ uygulamasında NO düzeylerinin her üç konsantrasyonda günlere bağlı olarak arttığı saptanmıştır (Şekil 4.1).

Yıldırım çeşidi kök dokusunda ise kuraklık, 1000 µM H₂O₂, 100 µM PEG+H₂O₂ ve 1000 µM PEG+H₂O₂ uygulamaları dışındaki gruplarda günlere bağlı olarak NO düzeylerinin arttığı saptanmıştır (Şekil 4.11).

Yapılan bir çalışmada, ışık stresine maruz kalan çayır otu bitkisinde NO düzeyinde artış saptandığı bildirilmiştir [313]. Arasimowicz-Jelonek vd. [318], su eksikliğine maruz bırakılmış salatalık bitkisinin köklerinde NO düzeylerini araştırmıştır. Araştırmada orta şiddette uygulanan stres sonucunda kökün uzama bölgesinde NO miktarında kısmen artış olduğu, şiddetli kuraklık stresinde ise uzama bölgesinde NO miktarında daha fazla artış olduğu bildirilmiştir. Kolbert vd. [337] tarafından yapılan farklı bir çalışmada ise *Petroselinum crispum* L., *Pisum sativum* L. ve *Triticum aestivum* 'un köklerinde ozmotik stres şartları altında doku, zaman ve konsantrasyona bağlı olarak nitrik oksit üretimini araştırılmıştır. Araştırmacılar, nitrik oksit üretim yerlerinin buğday ve bezelyede meristematik ve uzama bölgeleri ile kök şapkasında olduğunu bildirmişlerdir. Maydanoz köklerinde ise ekzodermis ile merkezi silindirde çok yoğun şekilde nitrik oksit birikimi olduğunu belirtmişlerdir. Bezelye ve buğdayda kısa süreli ve kalıcı olmayan nitrik oksit üretimi olduğunu ve bunun nedeninin enzimatik olmayan sebeplerden, kalıcı artışın ise enzimatik reaksiyonlardan kaynaklanabileceği belirtilmiştir. Çalışmanın sonucunda; nitrik oksidin ozmotik ve kuraklık stresi şartlarında bir sinyal molekülü olarak rol oynadığı bildirilmiştir. Zhang vd. [340] tarafından yapılan çalışmada buğday (*Triticum aestivum* L.) tohumlarında reaktif oksijen türlerinin çimlenme ve metabolizma üzerine sodyum nitroprussid'in etkileri

araştırılmıştır. Çalışmada, ozmotik stres altındaki çimlenme süresince buğday tohumlarının çimlenmesinin, radikula ve plumulanın genişlemesinin SNP tarafından belirgin şekilde artırıldığı rapor edilmiştir. Dıştan uygulanan NO vericisi SNP'nin, kurak şartlarda buğday yaprakları ve tohumunda su kaybını azalttığı ancak aynı zamanda iyon akımında, transpirasyon oranında azalma ve stomaların kapanmasına neden olduğu ve böylece kuraklık stresine toleransı artırdığı bildirilmektedir [30]. Yapılan çalışmalarda, H_2O_2 ile NO arasında etkileşim olduğu ve dışsal hidrojen peroksit uygulamasının *V. faba*'nın bekçi hücrelerinde NO üretimini uyardığı bildirilmiştir ve bu durumun NOS benzeri bir etki yaptığı belirtilmiştir [38, 269]. *Phragmites communis* Trin. bitkisinin tuza duyarlı (SR) ve dayanıklı (DR) kallusları kullanılarak yapılan bir çalışmada, kalluslara 48 saat süre ile 200 mM NaCl, 0.2 mM SNP ve NO inhibitörleri olan 0.3 mM L-NNA (N-nitro-L-arjinin) ve 0.4 mM PTIO (2- fenil-4,4,5,5-tetrametil-imidazoline-1-oksil-3-oksit) uygulaması yapılmış ve bu sürenin sonunda kallus dokularındaki NO düzeyleri ve NOS (Nitrik oksit sentaz) enzim aktiviteleri belirlenmiştir. Çalışma sonunda, NaCl uygulamasına bağlı olarak tuza duyarlı kallusta NOS enzim aktivitelerinin ve NO düzeylerinin hemen hemen değişmediği, dayanıklı kallusta ise NOS enzim aktivitesinin % 22 artış gösterdiği, NO düzeyinin de % 84 artış gösterdiği belirlenmiştir. Sonuçlar NO molekülünün bitkilerde ortamdaki stres etmenine bağlı olarak duyarlı ve dayanıklı olmayı belirlediğini, aynı zamanda stresin yoğunluğuna göre dokularda belirlenen NO düzeylerinin de artış gösterdiğini ortaya koymaktadır [48]. Benzer şekilde yapılan başka bir çalışmada farklı konsantrasyonlarda hidrojen peroksit uygulanan ve günlük 300 mL hidrojen peroksit çözeltisi ile sulanan kavun bitkisinin yapraklarında ve meyvesinde glukoz, fruktoz, sükroz ve nişasta birikiminin arttığı rapor edilmiştir [53, 272, 273]. Yapılan farklı bir çalışmada ise, değişik konsantrasyonlardaki kadmiyum sülfat ($CdSO_4$) uygulamalarının ayçiçeği bitkisinde Cd birikimi, fitokelatin miktarı, toplam çözünebilir protein içeriği ile nitrik oksit düzeyleri üzerine etkileri araştırılmıştır. Çalışmada stres şartlarına dayanıklı olan Meriç çeşidi ile hassas olan Tarsan 1018 çeşidi kullanılmıştır. Araştırma sonucunda Meriç çeşidinde Tarsan 1018 çeşidine göre daha yüksek NO düzeyi bulunduğu rapor edilmiştir [349].

Çalışmamızda literatürlerde belirtildiği şekilde kuraklık (PEG), sodyum nitroprussid (SNP) ve hidrojen peroksit (H_2O_2) uygulamalarında kuraklığa dayanıklı buğday çeşidi olan Doğu-88 'de günlere bağlı olarak NO düzeylerinin arttığı saptanmıştır. Kuraklığa duyarlı olan Yıldırım çeşidinde ise kuraklık uygulamasına bağlı olarak NO düzeylerinin azalması, bitkinin kuraklık stresine verdiği cevabın, Doğu-88 'ten farklı olduğunu ortaya çıkarmaktadır. Bilindiği gibi tüm bitkilerde var olan kuraklık stresi toleransı türden türe hatta tür içinde

farklılıklar göstermektedir [130]. Xu vd. [313] çayır otunun 2 varyetesinin (Arid3 ve Houndog5) yapraklarında ışığın yüksek miktarlarınca oluşturulan oksidatif hasar üzerine NO'nun etkilerini araştırmışlardır. Çalışmada kullanılan materyallerden Houndog5'in yapraklarının Arid3'e göre yüksek ışık stresine karşı daha duyarlı olduğu rapor edilmiştir. Bitkiler stres şartlarına maruz bırakılmadan önce yapraklar NO vericisi olan SNP ile muamele edilmiş ve sonuç olarak malondialdehit, hidrojen peroksit ve süperoksit radikallerinin içeriğinde azalma olduğu tespit edilmiştir. Işığa toleranslı Arid3 varyetesinde yüksek ışık stresine maruz kaldıktan sonra NOS aktivitesinde ve NO salınımında belirgin bir artış, daha duyarlı olan Houndog5 varyetesinde ise çok düşük miktarda artış olduğu bildirilmiştir. Benzer şekilde Doğanlar [349] metal stresine dayanıklı ayçiçeği çeşidinde duyarlı olan çeşide göre daha yüksek NO düzeyleri bulunduğunu bildirmiştir. Bu çalışmalar yaptığımız çalışma ile uygunluk göstermektedir [313, 349]. Çalışmamızda kuraklığa duyarlı olan Yıldırım çeşidinde 1000 μM H_2O_2 uygulamasında günlere bağlı olarak NO düzeyindeki azalmaların H_2O_2 konsantrasyonunun yüksekliğinden dolayı meydana geldiği düşünülmektedir. Araştırmacıların bildirdiğine göre, H_2O_2 düşük konsantrasyonlarda çeşitli biyotik ve abiyotik stres şartlarına karşı sinyal iletim mekanizmasında düzenleyici bir sinyal molekülü olarak davranırken [286, 357, 358], yüksek konsantrasyonlarda ise programlanmış hücre ölümü gibi bazı olumsuz durumlara sebep olmaktadır [359]. Bunun yanında literatür bilgilerine göre NO ile H_2O_2 arasındaki etkileşimde halen anlaşılmayan kısımlar bulunmaktadır. Bu durumun dokuların fizyolojik farklılığından kaynaklandığı belirtilmiştir [280]. Tarafımızdan yapılan çalışmada Yıldırım çeşidinde 100 μM ile 1000 μM PEG+ H_2O_2 uygulamalarından sonra meydana gelen NO seviyesindeki azalma kuraklık stresi ile beraber artan H_2O_2 konsantrasyonunun kuraklığa duyarlı olan çeşitte stres şartlarını ağırlaştırdığı ve buna bağlı olarak NO düzeyinde azalmaya sebep olduğunu akla getirmektedir.

5.2. *T. aestivum* L. cv. “Doğu-88” ve *T. aestivum* L. cv. “Yıldırım” Buğday Bitkilerinin Kök Dokularında Uygulama Gruplarının Nitrik Oksit Sentaz Aktiviteleri Üzerine Etkileri

Çalışmamızda Doğu-88 çeşidi kök dokusunda tüm uygulama gruplarında günlere bağlı olarak nitrik oksit sentaz (NOS) aktivitelerinin arttığı Şekil 4.2'de görülmektedir. SNP ve H_2O_2 uygulamalarında her üç konsantrasyonda günlere bağlı olarak NOS aktivitelerinin arttığı saptanmıştır. PEG+SNP ve PEG+ H_2O_2 (10 μM ile 100 μM konsantrasyonlarının 2. günleri hariç), uygulamalarının her üç konsantrasyonunda belirlenen NOS aktivitelerinin kontrol grubundan daha yüksek olduğu ve günlere bağlı olarak arttığı bulunmuştur (Şekil 4.2).

Yıldırım çeşidi kök dokusunda ise kuraklık uygulaması dışındaki gruplarda günlere bağlı olarak NOS aktivitelerinin arttığı saptanmıştır (Şekil 4.12).

Literatür bilgilerine göre, bitkilerde nitrik oksit üretimi enzimatik ve enzimatik olmayan yollarla gerçekleşmektedir. Enzimatik yol sitosolik nitrat redüktaz (cNR), nitrik oksit sentaz (NOS) veya NOS benzeri enzimler ve Nitrit: NO redüktaz (Ni-NOR) tarafından katalize edilmektedir [57, 222]. Zhao vd. [46] tuz stresi uygulanmış *Arabidopsis* bitkisinde NO üretiminde nitrik oksit sentazın (NOS) etkisini araştırmışlardır. Çalışmada tuz stresine dayanıklı olan yabancı tip *Arabidopsis* ile tuz stresine duyarlı *Atnoa1* mutandı kullanılmıştır. Araştırma sonucunda, her iki çeşitte azalan NOS aktivitesi ve NO aktiviteleri bulunduğu ve duyarlı olan çeşitte, dayanıklı olana göre daha az NOS aktivitesi saptandığı, buna bağlı olarak da NO seviyesinde azalma meydana geldiği bildirilmiştir. Bu sonuçlardan tuz stresi altında NO üretiminin NOS'a bağlı olduğunu rapor etmişlerdir. Nitrik oksit aynı zamanda NOS'dan farklı diğer enzimler tarafından da üretilebilir. Nitrat redüktaz (NR) bunlardan bir tanesidir. İn vitro ve in vivoda NR yoluyla NO üretimi belirlenmiştir. NR, NO_2^- den NAD(P)H etkisiyle NO sentezler. Bu sentez dokudaki nitrit ve nitrat içeriğiyle yakından ilişkilidir. Ksantin oksiredüktaz (XOR) bir diğer NO üretimiyle ilgili enzimdir. Ksantin oksiredüktaz, ksantin oksidaz ve ksantin dehidrojenaz şeklinde iki formdan oluşur [144–150]. Bir diğer enzim ise bütün köklerinin plazma membranına bağlı enzim olan Ni-NOR'dur ki bu enzim nitritten NO üretebilir [151]. Bu enzim nitrat redüktazdan (NR) daha yüksek molekül ağırlığına sahiptir. NO içeriğinin enzimatik üretiminde diğer önemli üyeleri sitokrom P450 [152], katalaz ve hemoglobindir [153]. Sitokrom P450 hem proteinleri, NO üretimini oksijen (O_2) ve NADPH tarafından N-hidroksi-arginin (NOHA)'nın oksidasyonu ile gerçekleştirildiği bitkisel ve hayvansal sistemlerde gösterilmiştir [153, 154]. Benzer şekilde katalaz ve hemoglobinin de NO ve diğer nitrojen oksitlerin üretimine katılmaktadır [152]. Bunun yanında bitkilerde NO üretiminin enzimatik olmayan şekilde, nitritin asidik pH'da nitrat ve NO'ya dismutasyonu ile olduğu da bilinmektedir [57, 222]. Nitritifikasyon/denitritifikasyon döngüsü atmosfere N_2O 'nun ürünü olarak NO sağlar [155]. Bilindiği üzere nitritin enzimatik olmayan indirgenmesi NO oluşumuna yol açabilir ve bu reaksiyon asidik pH değerlerinde meydana gelebilir [146, 148, 230]. Nitrit, kimyasal olarak pH 3–6 aralığında askorbik asit tarafından NO ve dehidroaskorbik aside indirgenir. Bu reaksiyon askorbik asit varlığında apoplastik boşlukta ve kloroplastta meydana gelebilir. Bunun yanında ışık aracılığıyla NO_2^- 'nin karotenoidler tarafından indirgenmesiyle de NO oluşmaktadır [156–158].

Çalışmamızda, kuraklık (PEG), SNP ve H_2O_2 uygulamalarında, kuraklığa dayanıklı buğday çeşidi olan Doğu-88 'de günlere bağlı olarak NOS aktivitelerinin arttığı saptanmıştır.

Doğu-88 çeşidinde NOS aktivitelerindeki artışa paralel şekilde NO aktivitelerinde de artış saptanmıştır. Literatürlerde belirtildiği gibi NO üretiminde NOS'un etkisi bulunmaktadır [46]. Bununla beraber bazı uygulama gruplarında belirlenen NOS aktivitelerinin kontrol grubundan veya kuraklık uygulamasından düşük olmasına rağmen, bu gruplarda belirlenen NOS aktivitesindeki yüksekliğin ise NO'nun üretimindeki diğer mekanizmaları akla getirmektedir. Kuraklığa duyarlı olan Yıldırım çeşidinde ise kuraklık uygulamasına bağlı olarak azalan NOS aktivitelerinin NO düzeylerindeki benzer azalmayla paralellik gösterdiği belirlenmiştir. Bu durum NO üretiminde NOS'un etkisi olduğunu düşündürmektedir [46]. Bununla beraber Yıldırım çeşidinde de bazı uygulama gruplarında belirlenen NOS aktivitelerine karşılık, bu uygulama gruplarında yüksek NOS aktiviteleri belirlenmiş olup bunun nedeninin ise NO üretimindeki içsel mekanizmanın sadece NOS'a bağlı olmadığı bilgisi ile uygunluk göstermektedir [144–154]. Şekil 4.2 ile Şekil 4.12 incelendiğinde, çalışmamızda kuraklığa dayanıklı olan Doğu-88 çeşidinde belirlenen NOS aktivitelerinin duyarlı olan Yıldırım çeşidinde belirlenen NOS aktivitelerinden yüksek olduğu görülmektedir. Bu durum duyarlı olan bitkinin stres şartlarına uyum sağlamasının dayanıklı olandan farklı olduğunu göstermektedir. Ayrıca elde ettiğimiz sonuçlar Zhao vd. [46] tarafından tuza dayanıklı yabancı tip Arabidopsis bitkisi ve tuza duyarlı *Atnoal* mutantı ile yaptıkları çalışmada tuz stresinin NOS aktivitesini tuza duyarlı *Atnoal* mutantında yabancı tip bitkiye göre daha fazla inhibe ettiğini ve içsel NO miktarını azalttığı bildirdikleri sonuç ile uygunluk göstermektedir. Bu sonuç bitkinin stres şartlarına dayanıklılığında NO üretimi ve NOS aktivitesinin yakından ilişkili olduğunu düşündürmektedir.

5.3. *T. aestivum* L. cv. “Doğu-88” ve *T. aestivum* L. cv. “Yıldırım” Buğday Bitkilerinin Kök Dokularında Uygulama Gruplarının Siklik Guanozin Monofosfat (cGMP) Düzeyleri Üzerine Etkileri

Çalışmamızda Doğu-88 çeşidi kök dokusunda tüm uygulama gruplarında günlere bağlı olarak cGMP düzeylerinin arttığı saptanmıştır. Şekil 4.3 incelendiğinde kuraklık uygulamasında belirlenen cGMP düzeylerinin kontrol grubuna göre yüksek olduğu görülmektedir. SNP uygulamasında cGMP düzeylerinin günlere bağlı olarak arttığı saptanmıştır. H₂O₂ uygulamasında cGMP düzeylerinin kontrol grubuna göre yüksek olduğu ve günlere bağlı olarak arttığı belirlenmiştir. PEG+SNP ve. PEG+H₂O₂ uygulamalarında cGMP düzeyinin günlere bağlı olarak arttığı Şekil 4.3'ten görülmektedir.

Yıldırım çeşidinde ise cGMP düzeyinin kuraklık uygulamasında kontrol grubundan yüksek olduğu ve günlere bağlı olarak arttığı belirlenmiştir. SNP uygulamasında günlere bağlı olarak cGMP düzeylerinin arttığı ve H₂O₂ uygulamasında ise 10 µM ile 100 µM

konsantrasyonlarda cGMP düzeyinin günlere bağılı olarak arttığı, 1000 µM konsantrasyonda ise azaldığı saptanmıştır. PEG+SNP uygulamasında cGMP düzeyinin 10 µM ve 100 µM konsantrasyonlarda günlere bağılı olarak arttığı, 1000 µM konsantrasyonda ise çok az azalış ve artışın olduğu belirlenmiştir. PEG+H₂O₂ uygulamasında ise 10 µM konsantrasyonda cGMP düzeylerinin günlere bağılı olarak arttığı, 100 µM ile 1000 µM konsantrasyonlarda ise günlere bağılı olarak azaldığı saptanmıştır (Şekil 4.13).

Literatürlerde NO ve cGMP arasında ilişki bulunduğu bildirilmektedir [190, 269, 276, 314]. Neill vd. [57] cGMP sentezinin bitkilerde belirlendiğini ve cGMP sentezinin NO tarafından artırıldığını belirtmişlerdir. Ancak bitkilerde farmakolojik yaklaşımlar kullanılarak elde edilen cGMP'ye bağılı bilgiler oldukça sınırlı olduğu da bildirilmiştir [53]. Bununla birlikte *Arabidopsis*'te ABA, NO ve H₂O₂ tarafından sağlanan stoma kapanmasına cGMP'nin aracılık ettiği ile ilgili bilgi mevcuttur [360]. Sirova vd. [361] etilen, giberellik asit ve absisik asit ile NO arasındaki sinyal ilişkileri üzerine yaptıkları çalışmada polende, NO ile ROT, Ca⁺², siklik adenosin mono fosfat (cAMP) ve cGMP gibi ikincil mesajcılar arasındaki etkileşimin NO uyartının yaygın mekanizmasını gösterdiğini belirtmişlerdir. Wang vd. [317] nitrik oksidin mitokondriyal respirasyondaki rolünü yabancı *Arabidopsis* ile *Atnoa1* mutantında araştırmışlardır. Yabancı *Arabidopsis* kalluslarının uzun süreli SNP'ye maruz kalmasının hem sitokrom hem de alternatif yollarda mitokondriyal respirasyonu artırdığını, *Atnoa1* kalluslarında sitokrom ve alternatif yolların kapasitesinin yabancı tipe göre daha düşük olduğunu bildirmişlerdir. Çalışmada yabancı tip *Arabidopsis* ve *Atnoa1* kalluslarında NO'nun mitokondriyal respirasyon zincir proteinlerini kodlayan genlerin miktarında artış sağladığı, NADH-ubikinon redüktazın 75 kDa'lık alt ünitesindeki protein ifadesi kadar ve alternatif oksidazdaki protein ifadesinin yarısı kadar artırdığını belirtilmiştir. Nitrik oksit mücadelecisi PTIO'nun her iki örnekte de NO'nun etkilerini inhibe ettiği saptanmıştır. Kallusların guanilat siklaz inhibitörü olan 1H-[1,2,4]oksadiazol[4,3-a]quinoksalin-1-one (ODQ) ile tekrar inkübe edilmenin NO etkilerini durdurduğu da bildirilmiştir. Membranlardan geçen cGMP analogu 8Br-cGMP'nin NO etkilerini taklit ettiği, gen transkripsiyonunda, protein ifadesinde ve oksijen tüketiminde alternatif yolun sitokrom yoluna göre hücrel cGMP değişimine karşı daha duyarlı olduğu da bildirilmiştir. Araştırmacılar bu sonuçlar ışığında NO'nun cGMP'ye bağılı olarak, *Arabidopsis*'te hem sitokrom hem de alternatif yollarda mitokondriyal respirasyonu artırıcı etinin bulunabileceği sonucuna varmışlardır. *Arabidopsis*'te cGMP varlığı üzerine yapılan diğer bir çalışmada cGMP'nin farmakolojik inhibitörleri kullanılmasına rağmen gerçek cGMP miktarlarının belirlenmesin oldukça güç olduğu belirtilmiştir. Araştırmacılar tuzluluk ve ozmotik stres şartlarında birbirinden farklı cGMP

değerleri tespit ettiklerini ve bu değerlerin 5 saniye gibi kısa bir sürede hızla arttığını da bildirmişlerdir [362]. Buğday tohumlarının çimlenmesinde toksik etkilere karşı SNP'nin koruyucu rolünün cGMP sinyal yoluna bağlı olduğu ve pirinç tohumlarında SNP uygulamasının alüminyumun engelleyici etkisinin hafifletilebileceği bildirilmiştir [363]. Bogdan [364], Nitrik oksit uyartının ikincil mesajcı cGMP'ye bağlı olabileceğini bildirmiştir. Bunun yanında NO'nun hücreler arası sinyal cevabının cGMP ve cADPR (siklik adenosin difosfat riboz) üretiminden sitosolik kalsiyumun artmasına kadar birçok aşamayla ilgili olmasına rağmen bu konu hakkında kesin bir bilginin bulunmadığı da rapor edilmiştir [365]. Liao vd. [366] yaptıkları çalışmada kadife çiçeğinde kök gelişimi üzerine NO ve H₂O₂'nin rollerini araştırmışlardır. Araştırmalarının sonucunda kök gelişiminin NO ve H₂O₂'nin dozlarına bağlı olduğu ve 200 µM H₂O₂ ile 50 µM SNP'nin maksimum biyolojik cevabı sağladığını rapor etmişlerdir. Bunlara ek olarak cGMP'nin NO'nun sağladığı kök gelişimine katılırken H₂O₂'nin sağladığı kök gelişimine katılmadığı belirtilmiştir. Ayrıca NO'nun hipokotillerde içsel H₂O₂ içeriğini artırdığını da bildirmişlerdir.

Çalışmamızda, kuraklığa dayanıklı olan Doğu-88 çeşidinde, duyarlı olan Yıldırım çeşidine oranla daha yüksek seviyede cGMP düzeyleri saptanmış olup bu durum stres şartlarına uyum sağlamada sinyal iletiminin önemini ortaya koymaktadır. Her iki bitkide de kuraklık şartlarında cGMP düzeylerindeki artışlar, cGMP'nin stres şartlarında sinyal iletiminde görev yaptığı fikrini desteklemektedir. Yaptığımız çalışmada, Doğu-88 çeşidi kök dokusunda NO vericisi olan SNP ile uygulama yapılan gruplarda cGMP düzeylerinin günlere bağlı olarak arttığı saptanmış olup bu durum NO ve cGMP arasındaki ilişki bulunduğunu belirten literatürler [190, 269, 276, 314] ile uygunluk göstermektedir. Benzer şekilde H₂O₂ uygulaması yapılan gruplarda da cGMP düzeyinin günlere bağlı olarak arttığı saptanmıştır. Ancak 1000 µM konsantrasyonda meydana gelen cGMP artışının 10 µM ve 100 µM konsantrasyonlardakine göre daha az olduğu gözlenmiştir. Bu durumun konsantrasyonun yüksekliğinden meydana geldiği düşünülmektedir. Literatürde H₂O₂'nin sağladığı bazı fizyolojik yanıtlara cGMP'nin aracılık ettiği bildirilmektedir [360]. Bunun yanında Liao vd. [366]'nin belirttiği H₂O₂'nin kadife çiçeğinde sağladığı kök oluşuma cGMP'nin aracılık etmediği bilgisi Doğu-88 çeşidinde elde ettiğimiz sonuçlarla uyuşmamaktadır. Bu durumun kullanılan materyallerin fizyolojik ve genetik farklılığından kaynaklandığı düşünülmektedir. PEG+SNP uygulamasında cGMP düzeylerinin günlere bağlı olarak arttığı belirlenmiştir. Benzer şekilde kuraklıkla PEG+H₂O₂ uygulamalarında da cGMP düzeylerinin günlere bağlı olarak arttığı saptanmıştır. Bu sonuçlar cGMP üretiminde stres şartlarının, NO'nun ve H₂O₂'nin etkisi olduğuna işaret etmektedir. Doğu-88 çeşidi kök dokularında uygulama

gruplarına bağı olarak cGMP düzeylerinin arttığı Şekil 4.3'ten görülmektedir. Doğu-88 çeşidinde uygulama gruplarının NO düzeyi üzerine etkileri ile ilgili olarak Şekil 4.1 incelendiğinde uygulama gruplarında günlere bağı olarak NO düzeylerinde artışlar olduğu görülmektedir. Dolayısıyla cGMP sentezinde, NO düzeyini artıran uygulamalar dolaylı olarak cGMP sentezini de etkilemektedir. Literatürlerde belirtildiği gibi [57, 274–278], elde ettiğimiz sonuçlar cGMP üretiminde esas olarak NO'nun etkili olduğunu göstermektedir. Kuraklığa duyarlı olan Yıldırım çeşidinin kontrol grubunda belirlenen cGMP düzeyleri, dayanıklı olan Doğu-88 'e göre daha az düzeyde saptanmış olup kuraklık ve SNP uygulamalarında cGMP düzeylerinin günlere bağı olarak arttığı bulunmuştur. Bu durum literatürlerde [190, 269, 276, 314] belirtilen NO ile cGMP arasındaki ilişkiye işaret etmektedir ve cGMP sentezinin NO tarafından artırıldığını göstermektedir. Hidrojen peroksit uygulamasında ise 10 μ M ile 100 μ M konsantrasyonlarda cGMP düzeyinin günlere bağı olarak arttığı, 1000 μ M konsantrasyonda ise azaldığı tespit edilmiş olup bu durumun konsantrasyonun yüksekliğinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Bununla beraber Yıldırım çeşidi kök dokusunda NO düzeyiyle ilgili olarak Şekil 4.11 incelendiğinde 1000 μ M konsantrasyonda NO düzeyinin günlere bağı olarak azaldığı görülmektedir. Dolayısıyla cGMP düzeyinde meydana gelen bu azalmanın NO düzeyindeki azalmadan kaynaklanabileceği de düşünülmektedir. PEG+SNP uygulamasında her üç konsantrasyonda da cGMP düzeyinde artış saptanmış olup bu durum stres şartlarında NO'nun etkisiyle cGMP üretiminin teşvik edildiğini ortaya koymaktadır. Ancak Şekil 4.11 incelendiğinde PEG+SNP uygulamasının 1000 μ M konsantrasyonunda NO düzeylerinin 4. günde, 2. güne oranla arttığı ve 6. günde ise 4. güne oranla azaldığı görülmektedir. Şekil 4.11 incelendiğinde her üç günde belirlenen değerlerin birbirine çok yakın olduğu anlaşılmaktadır. Sonuçlarımıza göre, cGMP sentezi NO düzeyinde meydana gelen dalgalanmadan etkilenmemiş ve kuraklıktan kaynaklanan sinyal iletimi durumundan dolayı cGMP düzeyinde artış meydana gelmiştir. Kuraklık ile birlikte hidrojen peroksit uygulamasında 10 μ M konsantrasyonda cGMP düzeyinin günlere bağı olarak arttığı saptanırken 100 μ M ile 1000 μ M konsantrasyonlarda cGMP düzeylerinin günlere bağı olarak azaldığı belirlenmiştir. Bu durum artan H₂O₂ konsantrasyonu ile beraber kuraklık stresinin etkisiyle, kuraklığa duyarlı olan Yıldırım çeşidinin sinyal iletiminde bozulmaların olduğunu akla getirmektedir. Bunun yanında PEG+H₂O₂ uygulamasının 100 μ M ile 1000 μ M konsantrasyonlarında belirlenen NO düzeyinin de günlere bağı olarak azaldığı belirlenmiş olup (Şekil 4.11) cGMP düzeyinde meydana gelen bu azalmanın NO'dan kaynaklı olduğu düşünülmektedir. Bu sonuç literatürde [57, 274–278] belirtilen cGMP sentezinin NO tarafından artırıldığını bildiren bilgi ile uygunluk göstermektedir.

5.4. *T. aestivum* L. cv. “Doğu-88” ve *T. aestivum* L. cv. “Yıldırım” Buğday Bitkilerinin Kök Dokularında Uygulama Gruplarının Süperoksit Dismutaz, Katalaz ve Glutatyon Peroksidaz Enzim Aktiviteleri Üzerine Etkileri

Çalışmamızda kuraklığa dayanıklı olan Doğu-88 çeşidinin kök dokusunda kuraklık uygulamasının 2. 4. ve 6. günlerinde SOD enzim aktivitelerinin günlere bağlı olarak azaldığı belirlenmiştir. SNP uygulamasında 10 µM konsantrasyonda SOD enzim aktivitelerinin günlere bağlı olarak azaldığı ve 4. gün ile 6. günde kontrol grubunda belirlenen enzim aktivitelerden daha az olduğu saptanmıştır. H₂O₂ uygulamasında her üç konsantrasyonda SOD enzim aktivitelerinin günlere bağlı olarak azaldığı Şekil 4.14’ten anlaşılmaktadır. PEG+SNP ve PEG+H₂O₂ uygulamalarında her üç konsantrasyonda SOD enzim aktivitelerinin günlere bağlı olarak azaldığı belirlenmiştir. Yıldırım çeşidi kök dokusunda ise kuraklık uygulamasında SOD enzim aktivitesinin günlere bağlı olarak azaldığı belirlenmiştir. SNP ve H₂O₂ uygulamasında her üç konsantrasyonda SOD enzim aktivitesinin günlere bağlı olarak arttığı saptanmıştır. PEG+SNP uygulamasında 10 µM konsantrasyonda SOD enzim aktivitesinin günlere bağlı olarak azaldığı, 100 µM ve 1000 µM konsantrasyonlarda ise arttığı belirlenmiştir. PEG+H₂O₂ uygulamasında her üç konsantrasyonda saptanan SOD enzim aktivitelerinin günlere bağlı olarak arttığı Şekil 4.14’ten görülmektedir.

Doğu-88 çeşidi kök dokusunda kuraklık, SNP, H₂O₂, PEG+SNP ve PEG+H₂O₂ uygulama gruplarında CAT enzim aktivitesinin günlere bağlı olarak azaldığı belirlenmiştir. Yıldırım çeşidi kök dokusunda katalaz (CAT) enzim aktivitesinin kuraklık uygulamasında günlere bağlı olarak azaldığı belirlenmiştir. SNP uygulamasında 10 µM ve 100 µM konsantrasyonlarda CAT enzim aktivitelerinin günlere bağlı olarak azaldığı, 1000 µM konsantrasyonda ise arttığı saptanmıştır. H₂O₂ uygulamasında CAT enzim aktivitesinin 10 µM ile 100 µM konsantrasyonlarda günlere bağlı olarak azaldığı, 1000 µM konsantrasyonda ise arttığı belirlenmiştir. H₂O₂ uygulamasında belirlenen CAT enzim aktivitelerinin kontrol grubuna göre yüksek olduğu bulunmuştur. PEG+SNP uygulamasında 10 µM ile 100 µM konsantrasyonlarda CAT enzim aktivitesinin günlere bağlı olarak azaldığı, 1000 µM konsantrasyonda ise arttığı belirlenmiştir. PEG+H₂O₂ uygulamasında ise her üç konsantrasyonda belirlenen CAT enzim aktivitesinin günlere bağlı olarak azaldığı saptanmıştır.

Doğu-88 çeşidi kök dokusunda kuraklık uygulamasında GSH-Px enzim aktivitesinin günlere bağlı olarak azaldığı Şekil 4.6’dan anlaşılmaktadır. SNP ve H₂O₂ uygulamalarında ise her üç konsantrasyonda GSH-Px enzim aktivitesinin günlere bağlı olarak azaldığı bulunmuştur. PEG+SNP ve PEG+ H₂O₂ uygulamalarında da her üç konsantrasyonda GSH-Px

enzim aktivitesinin günlere bağılı olarak azaldığı belirlenmiştir, Yıldırım çeşidi kök dokusunda GSH-Px enzim aktivitesinin kuraklık uygulamasında günlere bağılı olarak azaldığı bulunmuştur. GSH-Px enzim aktivitesinin SNP, H₂O₂ ve PEG+SNP uygulamalarının 10 µM konsantrasyonunda günlere bağılı olarak azaldığı 100 µM ve 1000 µM konsantrasyonda ise arttığı bulunmuştur. PEG+H₂O₂ uygulamasında GSH-Px enzim aktivitesinin günlere bağılı olarak arttığı (10 µM konsantrasyonun 6. günü hariç) Şekil 4.16'dan anlaşılmaktadır.

Çeşitli stres şartlarının reaktif oksijen türlerinin oluşmasına neden olduğu bilinmektedir. Reaktif oksijen türleri (ROT), proteinlere, nükleik asitlere, membran lipitlerine ve klorofillere zarar verir. Bu zararları engellemek için bitkilerde kompleks bir antioksidan savunma sistemi mevcuttur [367–370]. Kuraklık daima bitkilerde reaktif oksijen türlerinin (ROT) oluşumuna neden olmaktadır [371]. ROT oluşumu bazı zincir reaksiyonlarını tetikleyerek hücre zararına neden olmaktadır [372]. ROT oldukça reaktiftir ve koruma mekanizmalarının olmadığı durumlarda lipidler, proteinler ve nükleik asitler üzerinde oksidatif hasar oluşturarak normal metabolizmada ciddi zararlar oluşturur [3, 371, 373]. Bitkiler stres koşulları altında yaşamlarını devam ettirmek amacıyla askorbik asit, glutatyon, α- tokoferol, karotenoid, flavanoid gibi çeşitli antioksidant molekülleri ve oksijen radikali süpürücü enzimleri içerirler. Antioksidan mekanizma, bitkilerin stres toleransını artırmayı sağlar [372]. Oksijen radikali süpürücü enzimler içerisinde SOD O₂'yi H₂O₂'ye dönüştürür [114, 178]. POX, CAT, APX, GR, MDHAR, ve DHAR gibi enzimatik sistemler farklı hücresel kısımlarda H₂O₂'yi H₂O'ya dönüştürürler [99, 114, 176]. Süperoksit dismutaz (SOD), katalaz (CAT) ve glutatyon peroksidaz (GSH-Px) antioksidan savunma sisteminin enzimatik savunucularıdır. Süperoksit dismutaz, O₂'yi dismutasyonla H₂O₂'ye dönüştürür. H₂O₂ ise katalaz tarafından O₂ ve H₂O'ya ayrıştırılır. GSH-Px'de hidrojen peroksidi su ve moleküler oksijene çevirerek metabolize eder. Sanchez-Rodriguez vd. [306] kuraklık stresinin domateste, bitki gelişimi ve yaprak oransal su içeriğinin olumsuz etkilediğini, stres ile birlikte yaprak dokularında malondialdehit (MDA) miktarında artış meydana geldiğini bildirmişlerdir. Araştırmacılar, stres koşullarında glutatyon redüktaz (GR), askorbat peroksidaz (APX) ve katalaz (CAT) enzim aktivitelerinin artış gösterdiğini saptamışlardır. Xu vd. [374] yaptıkları çalışmada 2 farklı tütün çeşidinde soğuk stresinin gelişme oranı ve antioksidan enzimleri üzerine etkilerini araştırmışlardır. Araştırmacılar bu amaçla soğuğa duyarlı olan Msk326 çeşidi ile soğuğa dayanıklı olan Honghuadajinyuan (HHDJY) çeşidini kullanmışlardır. 5 °C'de yetiştirdikleri tütün bitkilerinin gelişme oranlarını ve antioksidan enzimlerini incelemişlerdir. Çalışma sonunda gövdenin soğuk stresinden daha çok etkilendiğini bildirmişlerdir. Soğuk stresi altındaki HHDJY çeşidinin gövdesinde peroksidaz (POD) enzim

aktivitesinin arttığı, süperoksit dismutaz (SOD) aktivitesinin azaldığı, katalaz aktivitesinin ise az miktarda etkilendiğini belirtmişlerdir. HHDJY çeşidinin köklerinde ise soğuk stresinin SOD ve CAT aktivitesini artırırken POD aktivitesi üzerine çok az etkili olduğu rapor edilmiştir. Msk326 çeşidinde ise köklerde CAT aktivitesinin azaldığı, gövdede SOD aktivitesinin arttığı belirlenmiştir. Her iki çeşitte de soğuk stresi altında MDA konsantrasyonunun arttığı da rapor edilmiştir. Sabra vd. [305] üç Ekinezya türünün (*Echinacea purpurea*, *Echinacea pallida* ve *Echinacea angustifolia*) hidroponik kültürasyonu altında tuz stresine karşı (0, 50, 75 ve 100 mM) fizyolojik ve biyokimyasal yanıtlarını araştırmıştır. Tuz uygulamasından iki hafta sonra, büyüme, yaralanma indeksi, gaz değişimi, iyon birikimi, pigment içeriği, elektrolit sızıntısı ve antioksidan enzim aktiviteleri ölçmüşlerdir. Tuzluluğun her üç ekinezya türünde de kök ve gövde biyokütlesinde herhangi bir değişikliğe neden olmadığı bildirilmiştir. Bunun yanında en yüksek hayatta kalma oranı % 96.8 ile *Echinacea purpurea*'da en düşük oran ise % 70.7 ile *Echinacea angustifolia*'da saptanmıştır. Buna paralel olarak *Echinacea angustifolia* türünde daha yüksek derecede yaralanma indeksi ve elektrolit sızıntısı olduğu belirtilmiştir. Böylece en düşük tuz konsantrasyonunun belirlenmesi sağlanmıştır. *Echinacea angustifolia* türünde tüm tuz konsantrasyonlarında stoma geçirgenliğinde, fotosentez ve terleme oranlarında azalma görüldüğü saptanmıştır. Bunun yanında *Echinacea pallida* türünde ise sadece 75 mM ve 100 mM NaCl konsantrasyonlarında fotosentez oranında azalma olduğu tespit edilmiştir. Üç ekinezya türünde de Na^+ ve Cl^- içerikleri ile yüksek ilişkisi olan gaz değişimi belirlenmiştir. yapılan çalışmada, *Echinacea purpurea* türünde tüm tuz konsantrasyonlarında süperoksit dismutaz (SOD) ve askorbat peroksidaz (APX) enzim aktivitelerinde artış olduğu belirlenmiştir. Bunun yanında tuz stresinin katalaz (CAT) aktivitesinde azalma meydana getirdiği ve glutatyon redüktaz (GR) aktivitesinde ise hiçbir değişiklik oluşturmadığı bildirilmiştir. Masoumil vd. [309] yaptıkları çalışmada her iki yılda 4 tekrarlamalı ve rastgele parsellenmiş arazi kurarak soya fasulyesinde su eksikliği stresine karşı oluşabilecek yanıtları araştırmışlardır. Yaptıkları çalışmanın sonuçlarına göre su eksikliği stresinin süperoksit dismutaz (SOD), katalaz (CAT) ve glutatyon peroksidaz (GPX) gibi antioksidanların içeriğinde önemli bir artış sağladığını bildirmişlerdir. Zhang vd. [310] düşük ışık altındaki salatalık (*Cucumis sativus* cv. Jinchun no. 4) yapraklarında eksojen olarak uyguladıkları hidrojen peroksit (H_2O_2)'in antioksidan enzim aktivitesi ve lipid peroksidasyonu üzerine etkilerini araştırmışlardır. Düşük ışığın süperoksit radikali, içsel H_2O_2 ve malondialdehit (MDA) miktarlarında, süperoksit dismutaz (SOD), glutatyon peroksidaz (GSH-Px), askorbat peroksidaz (APX), monodehidroaskorbat redüktaz (MDHAR), glutatyon redüktaz (GR),

indirgenmiş glutatyon (GSH) ve askorbat (AsA) gibi bazı antioksidan enzim aktivitelerinde de artış sağladığını belirtmişlerdir. Bunun yanında 12 saat süreyle H_2O_2 uygulamasının ciddi stres oluşturduğunu ve APX aktivitesini artırdığını saptamışlardır. H_2O_2 ile ön uygulama yapılan fidelerin düşük ışığa 144 saat süreyle maruz bırakıldıklarında SOD, katalaz (CAT), (GSH-Px), APX, dehidroaskorbat redüktaz (DHAR), MDHAR, GR aktivitelerinde ve AsA ve GSH içeriğinde artış olduğunu bildirmişlerdir. Ishibashi vd. [282] fasulye bitkilerinde hidrojen peroksit (H_2O_2) uygulamasının kuraklık stresinin etkilerini azaltabileceğini bildirmiştir. Bu amaçla fasulye bitkisinin yapraklarına H_2O_2 püskürterek kuraklık stresine karşı etkisini incelemişlerdir. Araştırmacılar yapraklara H_2O_2 ön uygulaması yapılan bitkilerde distile su ile uygulama yapılanlara göre kuraklık stresinin neden olduğu yaprakta sararmanın engellendiğini belirtmişlerdir. Bunun yanında D-myo-inositol 3-fosfat sentaz 2 (GmMIPS2)'nin mRNA miktarlarında ve galaktinol sentaz (GoIS) enziminde H_2O_2 ön uygulaması yapılan bitkilerde distile su uygulaması yapılanlara göre artış olduğunu bildirmişlerdir. Bu sonuçlardan fasulye bitkisinin yapraklarına hidrojen peroksit püskürtmesinin kuraklık stresine karşı dayanıklılığı artırıcı etki yaptığını, oligosakkarit biyosentezinin artması ile yaprak oransal su içeriğinin arttığını rapor etmişlerdir. Bian ve Jiang [114] kuraklık stresi altındaki çayır salkım otunda antioksidan enzimlerin gen ifadelerini, antioksidan enzimler ile reaktif oksijen türlerinin birikimini araştırmışlardır. Çalışmada bitkinin iyileşme peryodunda da aynı parametreler incelenmiştir. Bu amaçla bitkiler 5 gün boyunca toprak kurutmasına maruz bırakılmış ve ardından 1 gün süreyle tekrar sulanmıştır. Kuraklık stresinin kök ve gövdede süperoksit üretiminin miktarında ve hidrojen peroksit içeriğinde artış sağladığı bildirilmiştir. İyileşme döneminde süperoksit ve hidrojen peroksit miktarlarında artış olduğu belirtilmiştir. Lipit peroksidasyonunda kuraklık uygulamasında 4-5 kat, iyileşme döneminde ise 2-4 kat artış olduğu da rapor edilmiştir. Kuraklık stresinin yaprakta askorbat peroksidaz (APX), monodehidroaskorbat redüktaz (MDHAR), dehidroaskorbat peroksidaz (DHAR) enzimlerinin aktivitelerinde ve kökte katalaz (CAT), glutatyon redüktaz (GR) ve MDHAR enzim aktivitelerinde artış sağladığı, bunun yanında kökte süperoksit dismutaz (SOD) ve DHAR aktivitelerinde ise azalmaya neden olduğu bildirilmiştir. APX, MDHAR, DHAR enzimlerinin yapraklardaki aktivite artışları ile MDHAR ve CAT'ın köklerdeki aktivite artışının geri sulamada da görüldüğü belirtilmiştir. Yaşar vd. [95] tuz stresinin karpuz (*Citrullus lanatus* (Thunb.) Mansf.) yapraklarındaki antioksidatif enzim aktiviteleri (Superoksit dismutaz- SOD, katalaz-CAT, askorbik peroksidaz-APX ve glutatyon redüktaz-GR) üzerine etkisini belirlemek için yaptıkları çalışmada; tuza duyarlı Golden Crown F1, Crimson Sweet ile tuza-tolerant Diyarbakır ve

Midyat yerel genotipinin fideleri kontrollü iklim odasında büyütülmüştür. Fideler 4-5 yaprak oluştuktan sonra, 10 günlük süreyle 100 mM NaCl stresine maruz bırakılmıştır. Tuz uygulanan parsellerde, tuza dayanıklılık genotiplerin süperoksit dismutaz (SOD), katalaz (CAT), askorbat peroksidaz (APX) ve glutatyon redüktaz (GR) enzim aktivitelerinin duyarlı olanlara göre çok yüksek olduğu saptanmıştır. Midyat yerel genotipi SOD, CAT ve GR enzim aktiviteleri; Diyarbakır genotipi ise APX enzim aktivitesi bakımından diğerlerine göre daha üstün bulunmuştur. Ayrıca kontroldeki (0 mM NaCl) Midyat yerel genotipi fidelerinin yaprak SOD, APX ve GR enzim aktivitelerinin, tuzlu ortamda kültüre alınan duyarlı genotiplerden fazla saptanmıştır. Elde edilen bulgulara göre antioksidan enzim aktivitelerinin tuza dayanıklılık üzerinde etkili olduğu; tuzlu koşullarda kültüre alınan karpuz genotiplerinin antioksidatif enzim sistemlerini duyarlı çeşitlere göre çok daha aktif kullandıkları belirlenmiştir. Tanou vd. [321] tarafından yapılan çalışmada 150 mM NaCl ile 16 gün boyunca uygulama yapılan ve yapılmayan narenciye bitkisinin köklerinin, 8 saat süreyle 10 mM H₂O₂ ve 48 saat süreyle 100 µM SNP uygulamasına bağlı olarak bitkinin yapraklarındaki birincil antioksidan savunma yanıtları araştırılmıştır. Çalışmada NaCl ile stres oluşturulmamış şartlarda SOD, CAT, APX ve GR aktivitelerinde ve bunlarla ilgili izoformların ifadesinde artış olduğu rapor edilmiştir. Tuzlulukla beraber gerçek enzim aktivitelerinin H₂O₂ veya SNP'ye yanıt olarak yeniden düzenlendiği bildirilmiştir. Çalışmada tuz stresinin her iki grupta da indirgenmiş askorbat düzeyinde azalmaya neden olduğu sonucuna varılmıştır. Normal şartlarda ve NaCl stres şartlarında, indirgenmiş glutatyon düzeyinin ise SNP tarafından artırıldığı belirtilmiştir. Araştırmada gerçek zamanlı nitrik oksit üretiminin vasküler dokularda ve epidermal hücrelerde olduğu saptanmıştır. Tan vd. [327] yaptıkları çalışmada; SNP ve cPTIO kullanarak eksojen NO'nun ozmotik stres uygulanmış buğday filizlerinde oksidatif hasarı azaltmasını, prolin birikimini hızlandırmasını ve yapraklardaki fotosentez artışını araştırmışlardır. Buğday filizleri %15 PEG içeren hoagland solüsyonu ile %15 PEG yanında 0.03 µM mol/L SNP, %15 PEG yanında 0.03 µM mol/L SNP ve 0.5 mmol/L cPTIO içeren solüsyonlar ile 24 saat muamele edilmiştir. Çalışmada, ozmotik stresin buğday yapraklarında süperoksit dismutaz (SOD) ve katalaz (CAT) aktivitesinde azalmaya neden olduğu, süperoksit üretiminde artış sağladığı saptanmıştır. Bu durumun ise lipit peroksidasyonunda artışa ve fotosentezde düşüşe neden olduğu bildirilmiştir. SNP uygulamasının ise SOD ve CAT aktivitesini düzeltirken, süperoksit miktarında artırıcı ve lipit peroksidasyonunu inhibe edici etki yaptığı bildirilmiştir. Ozmotik stres altında uygulanan SNP'nin yaprak su kaybının azalmasına, yüksek oransal su içeriğine ve artmış prolin içeriğine neden olduğu belirtilmiştir. Bunun yanında SNP'nin bu etkilerinin cPTIO ile tersine çevrildiği sonucuna varılmıştır.

Sonuçlardan NO'nun buğday yapraklarında ozmotik stresin neden olduğu spesifik hasarları engellediği rapor edilmiştir. Tian ve Lei [335] tarafından yapılan farklı bir çalışmada; buğday filizlerinde polietilen glikol ile farklı peryotlarda oluşturulan kuraklık stresi üzerine nitrik oksit vericisi olan sodyum nitroprussidin etkileri araştırılmıştır. Çalışmada % 15'lik PEG konsantrasyonu kullanılmış ve 2. gün hafif, 4. gün orta ve 6. gün ise şiddetli stres olarak tanımlanmıştır. Kuraklık stresinin H₂O₂ birikimi ile lipid peroksidasyonunda artışa neden olduğu bildirilmiştir. Süperoksit dismutaz (SOD), katalaz (CAT) ve L-fenilalanin amonyum liyaz (PAL) aktivitelerinin ise hafif stres şartları altında arttığı ciddi stres şartlarında ise azaldığı belirtilmiştir. 0.2 mM SNP uygulamasının ise filizlerin gelişimini artırdığı ve yüksek oranda su içeriği sağladığı saptanmıştır. Araştırmacılar 0.2 mM SNP uygulanmasıyla oksidatif hasarın azaltıldığını da bildirmiştir. Bunun yanında 2 mM SNP uygulamasının ise reaktif oksijen türlerinin üretiminin kontrol edilememesi sonucunda stres şartlarını artırdığı ve antioksidan savunma sisteminin etkisiz olduğu saptanmıştır.

Çalışmamızda kuraklığa dayanıklı Doğu-88 buğday çeşidi kök dokusunda, kuraklığa duyarlı olan Yıldırım çeşidi kök dokusuna göre daha yüksek olan SOD, CAT ve GSH-Px enzim aktiviteleri belirlenmiştir. Bu durum iki bitkinin kuraklığa cevabının birbirinden farklı olduğunu ortaya koymaktadır. Doğu-88 ve Yıldırım çeşidi kök dokusunda kuraklık uygulamasının artmasıyla SOD enzim aktivitelerinin azaldığı belirlenmiştir. Literatürlerde belirtildiği gibi (Tan vd.) buğday bitkisine yapılan artan kuraklık uygulamasında SOD enzim aktivitesinin arttığı saptanmış olup bu aktivitenin kuraklığın artmasıyla azaldığı belirlenmiştir. Bu durum ciddi kuraklık şartlarında enzim aktivitesinin yetersiz kaldığına işaret etmektedir ve literatür ile uygunluk göstermektedir [336]. Farklı bir çalışmada iki farklı pirinç bitkisinde 100 µM ve 500 µM Cd(NO₃)₂ uygulaması sonucunda SOD enzim aktivitesinde artış olduğu bildirilmiştir [375]. Yapılan çalışmalarda Cu, Al, Mn, Fe ve Zn gibi toksik maddelerin bulunduğu ortamlarda SOD enzim aktivitesinin arttığı bildirilmektedir ve sonuçlarımızla uygunluk göstermektedir [376, 377]. Nitrik oksit SNP uygulamasında Doğu-88 çeşidi kök dokusunda her üç konsantrasyonda SOD enzim aktivitesinin günlere bağlı olarak azaldığı, Yıldırım çeşidinin kök dokusunda ise arttığı belirlenmiştir. SNP uygulamasında farklı bitkilerdeki SOD enzim aktivitesi üzerine farklı etkilerinin bulunması NO'nun antioksidan enzimlerin üretimlerinde etkili olduğuna işaret etmektedir. Özellikle 1000 µM SNP uygulamasının Yıldırım çeşidinde SOD enzim aktivitesi üzerine oldukça etkili olduğu da çalışmamızda belirlenmiştir. Bu durum literatürlerde belirtildiği gibi NO vericisi SNP'nin ve dolayısıyla NO'nun antioksidan enzim yanıtlarını düzenlediğini ortaya koymaktadır [312, 327, 340]. Bilindiği gibi NO bitkilerde düşük ve yüksek konsantrasyonlarda farklı etkilere

sahiptir [314]. Kuraklığa dayanıklı olan Doğu-88 çeşidinde SNP uygulamalarında SOD enzim aktivitesinin günlere bağlı olarak azalması ise NO'nun antioksidan enzim sistemini baskılayıcı olarak hareket ettiğini de ortaya koymaktadır. Sonuçlarımıza göre Doğu-88 bitkisinde NO uygulamasına bağlı olarak belirlenen SOD enzim aktivitelerinden sadece 10 µM konsantrasyonun 6. günündeki kontrol grubundan az olduğu belirlenmiştir. Bu durum Wang vd. [314] tarafından belirtildiği şekilde NO'nun bitki gelişmesi üzerine ikili etki yaptığını bilgisi ile uygunluk göstermektedir. NO kuraklık stresine dayanıklı olan bitkide reaktif oksijen türü olarak davranarak antioksidan enzim aktivitesini azaltırken kuraklığa duyarlı olan bitki de ise tam tersine antioksidan enzim aktivitesini artırıcı etki yapmıştır. Nitekim literatürde [335], yüksek konsantrasyonda uygulanan SNP'nin reaktif oksijen türlerinin üretiminin engellenememesi sonucunda artan stres şartlarında antioksidan savunma sisteminin etkisiz olduğu bildirilmiştir. Dışsal olarak uygulanan hidrojen peroksidin (H_2O_2) Doğu-88 çeşidinde SOD enzim aktivitesini her üç konsantrasyonda günlere bağlı olarak azalttığı, Yıldırım çeşidinde ise artırdığı belirlenmiştir. Literatürde dışsal uygulanan H_2O_2 'nin bitkinin kuraklığa dayanma kapasitesini artırabileceği bildirilmektedir [319]. H_2O_2 ile ön uygulamanın SOD, CAT, GSH-Px, APX, dehidroaskorbat redüktaz (DHAR), MDHAR, GR aktivitelerinde ve AsA ve GSH içeriğinde artışa neden olduğu belirtilmektedir [310]. Çalışmamızda elde ettiğimiz sonuçlar Isabashi vd. [282] tarafından yapılan çalışma ile uygunluk göstermektedir. H_2O_2 'nin artan konsantrasyonlarında oluşan ciddi stres şartlarında kuraklığa duyarlı olan Yıldırım çeşidinde SOD enzim aktivitesinin artarken dayanıklı olan Doğu-88 çeşidinde azalmasından, dayanıklı olan çeşidin antioksidan savunma sisteminin etkili şekilde çalıştığı, duyarlı olan bitkide ise aşırı stres şartlarından etkilenmesi sonucunda enzim aktivitesinde artışların olduğu düşünülmektedir. PEG+SNP uygulamasında dayanıklı olan Doğu-88 çeşidinde SOD enzim aktivitesinin günlere bağlı olarak azaldığı belirlenmiş olup bu durumun NO vericisi SNP'nin antioksidan savunma sistemini düzeltici etki yaptığını bildiren literatürlerle paralellik gösterdiği anlaşılmıştır [319]. Araştırma sonuçlarımıza göre kuraklık uygulamasında belirlenen SOD enzim aktivitelerinin PEG+SNP uygulamasında belirlediğimiz SOD enzim aktivitelerine göre daha az olduğu saptanmıştır. Özellikle 100 µM PEG+SNP konsantrasyonunda enzim aktivitesinde artışlar dikkat çekicidir. Yıldırım çeşidinde ise PEG+SNP uygulamasında SOD enzim aktivitesinin günlere bağlı olarak arttığı belirlenmiştir. Kuraklık ve SNP'nin ayrı ayrı uygulaması sonucunda SOD enzim aktivitesinde günlere bağlı olarak meydana gelen artışın, PEG+SNP uygulamasında gözlemlenmesi oldukça normaldir. Bu durum SNP uygulamasının kuraklığın oluşturduğu olumsuz etkiyi düzelttiğini akla getirmektedir ve literatürler [318, 327] ile uygunluk göstermektedir.

PEG+H₂O₂ uygulamasında Doğu-88 çeşidinde SOD enzim aktivitesinin günlere bağlı olarak azaldığı ve özellikle 1000 µM konsantrasyonda belirlenen azalış 100 µM ve 10 µM konsantrasyona göre daha fazla olduğu saptanmıştır. PEG+H₂O₂ uygulamasında 10 µM ve 100 µM konsantrasyonlarda belirlenen SOD enzim aktivitelerinin kuraklık uygulamasında belirlenen aktiviteden yüksek olması enzim aktivitesinde meydana gelen bu değişikliğin H₂O₂'ye bağlı olduğuna işaret etmektedir. Bu sonuç Ishibashi vd. [282] tarafından yapılan çalışmada fasulye bitkilerinde hidrojen peroksit (H₂O₂) uygulamasının kuraklık stresinin etkilerini azaltabileceğini bildirdikleri sonuç ile uyumluluk göstermektedir. Yıldırım çeşidinde ise PEG+H₂O₂ uygulamasında SOD enzim aktivitesinin günlere bağlı olarak arttığı belirlenmiştir. Bu sonuç kuraklığa duyarlı olan Yıldırım çeşidinin kuraklık uyum mekanizmasında, dayanıklı olan Doğu-88 'e göre farklılık bulunduğunu göstermektedir. Bununla beraber H₂O₂'nin çok düşük veya çok yüksek konsantrasyonlarda antioksidan enzim aktiviteleri üzerine etkisinin oldukça farklı olduğunu ortaya çıkarmaktadır.

Çalışmamızda kuraklığa dayanıklı olan Doğu-88 çeşidinde, kuraklığa duyarlı olan Yıldırım çeşidine göre daha yüksek olan katalaz (CAT) ve glutatyon peroksidaz (GSH-Px) enzim aktiviteleri belirlenmiştir. Kuraklık uygulamasında ise Doğu-88 çeşidinde, Yıldırım çeşidine göre daha az olan CAT ve GSH-Px enzim aktiviteleri belirlenmiştir. Doğu-88 çeşidinde kuraklık stresi uygulamasında kontrol grubundan daha az bulunan CAT enzim aktivitesinin kuraklık stresinin artmasıyla azaldığı belirlenmiştir. Aynı durum GSH-Px enzim aktivitesinde de belirlenmiştir. Yıldırım çeşidinde ise CAT ve GSH-Px enzim aktivitelerinin kuraklık uygulamasında günlere bağlı olarak azaldığı ve kontrol grubuna göre yüksek olduğu saptanmıştır. Doğu-88 çeşidinde belirlenen enzim aktiviteleri Sabra vd. [305] tarafından yapılan tuz stresi şartlarında CAT enzim aktivitesindeki azalmanın rapor edildiği çalışma ile Tian ve Lei tarafından [335] yapılan ve SOD, CAT ve L-fenilalanin amonyum liyaz (PAL) aktivitelerinin ise hafif stres şartları altında arttığı ciddi stres şartlarında ise azaldığı belirtilen çalışma ile ve Ali vd. [336] tarafından yapılan PEG uygulanmış bitkilerde TBARS'ın birikiminin etkisiyle CAT, GR, GPx ve glutatyon S-transferaz (GST) aktivitelerindeki inhibisyonun oksidatif stresi açıkça belirttiğini bildirdikleri çalışmalar ile uygunluk göstermektedir. Yıldırım çeşidinde ise CAT ve GSH-Px enzim aktivitelerinin kuraklık uygulamasında kontrol grubundan yüksek bulunmasının nedeni olarak bitkinin kuraklığa uyum mekanizmasında antioksidan enzim sisteminin etkili olduğu sonucunu akla getirmektedir. Bunun yanında kuraklığa dayanıklı olan Doğu-88 çeşidinde antioksidan enzim sisteminin ROT'ları elemine etmesi sonucunda, enzim aktivitelerinde azalmaların meydana gelmiş olabileceği de düşünülmektedir. Bu noktada enzimatik olmayan antioksidan savunma

sisteminin de etkili olduğu ortaya çıkmaktadır. SNP uygulamasında Doğu-88 çeşidinde 10 µM, 100 µM ve 1000 µM konsantrasyonlarda CAT ve GSH-Px enzim aktivitelerinin günlere bağılı olarak azaldığı belirlenmiştir. Yıldırım çeşidinde ise 10 µM ve 100 µM SNP uygulamasında CAT, 10 µM SNP uygulamasında ise GSH-Px enzim aktivitelerinin günlere bağılı olarak azaldığı bulunmuştur. Doğu-88 çeşidinde SNP uygulamalarına bağılı olarak belirlenen CAT ve GSH-Px enzim aktivitelerinin hem kontrol grubunda hem de kuraklık uygulamasında belirlenen aktivitelerden yüksek olması SNP'nin ve dolayısıyla NO'nun antioksidan savunma sistemine yardımcı olduğunu ortaya koymaktadır. Ayrıca elde ettiğimiz bulgular Lei vd. [330] tarafından yapılan ve NO'nun ozmotik stresin düzenlenmesinde konsantrasyona bağılı olarak etki ettiğini bildirdikleri çalışma ile uygunluk göstermektedir. Bunun yanında bitkinin çeşidinin de NO'nun etkisinde önemli olduğu sonucuna varılmıştır. Hidrojen peroksit uygulamasında Doğu-88 çeşidi bitkinin kök dokusunda her üç konsantrasyonda CAT ve GSH-Px enzim aktivitelerinin günlere bağılı olarak azaldığı belirlenmiştir. Substrat olarak H₂O₂'yi kullanan bu iki enzim çeşidinin ortama dışarıdan eklenen substrat varlığında aktivitelerinde meydana gelen azalmanın enzim-substrat ilişkisinden kaynaklandığı fikrini vermektedir. Bu sonuçlar Song vd. [333] tarafından yapılan ve yüksek H₂O₂ birikiminin CAT enzim aktivitesini baskıladığını bildirdikleri çalışma ile uygunluk göstermektedir. Yıldırım çeşidinde ise H₂O₂ uygulamasında 10 µM konsantrasyonda CAT ve GSH-Px enzim aktivitelerinin, 100 µM konsantrasyonda CAT aktivitesinin günlere bağılı olarak azaldığı buna karşın CAT aktivitesinin 1000 µM, GSH-Px aktivitesinin ise 100 µM ve 1000 µM konsantrasyonlarında günlere bağılı olarak arttığı belirlenmiştir. Enzim aktivitelerinin yüksek H₂O₂ konsantrasyonlarında artmasının ise artan stres şartlarında içsel savunma mekanizmasının uyarılarak yüksek düzeyde çalışmaya başladığı fikrini ortaya çıkarmaktadır. İki bitki çeşidi arasındaki bu farkın kuraklığa uyum mekanizmasında belirleyici olabileceği düşünülmektedir. Doğu-88 çeşidinde PEG+SNP uygulamasında CAT ve GSH-Px enzim aktivitelerinin her üç konsantrasyonda günlere bağılı olarak azaldığı belirlenmiştir. Bu sonuçlar Zhang vd. [340]'nin SNP'nin antioksidan enzim aktivitesini artırdığını bildirdikleri çalışma ile, Xu vd. [313] tarafından yapılan yüksek ışık stresi altındaki çayır otunun iki varyetesinde SNP varlığında SOD, CAT, APX ve GR aktivitelerinde artış, lipoksigenaz aktivitesinin ise azalış olduğunu bildirdikleri çalışmalarla uygunluk göstermektedir. Kuraklığa duyarlı olan Yıldırım çeşidinde ise CAT enzim aktivitesinin PEG+SNP uygulamasının her üç konsantrasyonunda günlere bağılı olarak azaldığı, GSH-Px enzim aktivitesinin ise 10 µM konsantrasyonda günlere bağılı olarak azalırken 100 µM ve 1000 µM konsantrasyonlarda arttığı saptanmıştır. Bu sonuçlar SNP'nin

ve dolayısıyla NO'nun konsantrasyonuna bağı olarak antioksidan enzim sistemini olumlu yönde etkilediğini ortaya koymaktadır ve literatürle [330] uygunluk göstermektedir. PEG+H₂O₂ uygulamasında Doğu-88 çeşidinde CAT ve GSH-Px enzim aktivitelerinin her üç konsantrasyonda günlere bağı olarak azaldığı, bu durum her iki enzimin artan stres şartlarıyla birlikte ortamda artan H₂O₂ konsantrasyonu ile mücadele ettiğini göstermektedir. Yıldırım çeşidinde ise PEG+H₂O₂ uygulamasında CAT aktivitesinde günlere bağı olarak azalma meydana geldiği belirlenmiştir. GSH-Px enzim aktivitesinin ise 10 µM PEG+H₂O₂ uygulamasında 4. günde 2. güne göre arttığı, 6. günde ise 2. ve 4. güne göre azaldığı, 100 µM ile 1000 µM PEG+H₂O₂ uygulamasında ise günlere bağı olarak arttığı belirlenmiştir. Bu durumun, kuraklık ve H₂O₂ uygulamalarında günlere bağı olarak azalan enzim aktivitelerinin sonucunda meydana geldiği düşünülmektedir. Sonuçta artan stres şartlarında ortamda bulunan reaktif oksijen türevlerinin etkisi ile antioksidan enzim aktivitesinin azalması özellikle duyarlı olan bitki çeşidinde kaçınılmazdır. Bu sonuç Tian ve Lei [335] tarafından yapılan çalışmada bildirilen yüksek stres şartlarında süperoksit dismutaz (SOD), katalaz (CAT) ve L-fenilalanin amonia liyaz (PAL) aktivitelerinin azaldığını bildirdikleri çalışma ile uygunluk göstermektedir.

Çalışmamızda elde ettiğimiz bu verilerden antioksidan enzim sisteminin bitkinin yaşamını sürdürmesinde önemli olduğu, enzimlerin birbirlerini etkilediği, farklı bitki çeşitlerinde savunma yanıtlarının farklı olduğu, SNP ve dolayısıyla NO'nun ve H₂O₂'nin konsantrasyonlarına bağı olarak antioksidan enzim aktivitelerinin düzenlenmesinde sinyal molekülü olarak görev yapabildikleri fikrini vermektedir. Bunun yanında enzimsel olmayan antioksidan savunma sisteminin de bitkiyi stres şartlarına karşı koruduğunu söyleyebiliriz.

5.5. *T. aestivum* L. cv. “Doğu-88” ve *T. aestivum* L. cv. “Yıldırım” Buğday Bitkilerinin Kök Dokularında Uygulama Gruplarının Malondialdehit İçeriği Üzerine Etkileri

Yaptığımız çalışmada kuraklığa dayanıklı buğday çeşidi olan Doğu-88'de kuraklık uygulamasında MDA içeriğinin günlere bağı olarak arttığı belirlenmiştir. SNP, H₂O₂, PEG+SNP ve PEG+H₂O₂ uygulamalarında ise her üç konsantrasyonda MDA içeriğinin günlere bağı olarak azaldığı bulunmuştur. Kuraklığa duyarlı olan Yıldırım çeşidi kök dokusunda ise kuraklık uygulamasında MDA içeriğinin günlere bağı olarak arttığı belirlenmiştir. SNP uygulamasında MDA içeriğinin 10 µM konsantrasyonda günlere bağı olarak azaldığı, 100 µM konsantrasyonda 4. günde 2. güne göre arttığı, 6. günde ise 2. ve 4. güne göre azaldığı, 1000 µM konsantrasyonda ise günlere bağı olarak arttığı belirlenmiştir. H₂O₂, PEG+SNP ve PEG+H₂O₂ uygulamalarında 10 µM konsantrasyonda MDA içeriğinin

günlere bağılı olarak azaldığı, 100 µM ve 1000 µM konsantrasyonlarda ise arttığı belirlenmiştir.

Sekmen vd. [300] tarafından yapılan çalışmada *Gypsophila oblongeolata* bitkisinin çimlenme ve vejetatif safhaları süresince tuz stresine karşı farklı antioksidan savunma yanıtları araştırılmıştır. Araştırmacılar, 0, 50, 100, 150 ve 300 mM NaCl uygulamaları ile oluşturdukları tuz stresi koşullarında, çimlenme süresince antioksidan enzimlerin (SOD, CAT ve POX) aktivitelerindeki değişimler ile stresten sonraki iyileşmeyi belirlemişlerdir. Aynı zamanda 60 günlük bitkilerde vejetatif gelişme süresince fizyolojik parametrelerdeki değişimi, iyon konsantrasyonlarını, SOD, CAT ve POX enzimleri ile askorbat peroksidaz (APX), glutatyon redüktaz (GR), aktiviteleri, NADPH aktivitesi, hidrojen peroksit (H₂O₂) ve malondialdehit (MDA) içeriklerini araştırmışlardır. Araştırma sonuçlarına göre, 50 mM NaCl uygulamasının SOD, CAT ve POX enzimlerinin aktivitelerinde azalmaya neden olduğu saptanmıştır. Stres şartlarından sonra, iyileşen bitkilerdeki antioksidan enzim aktivitelerinin de arttığı saptanmıştır. Vejetatif gelişme süresince 50 ve 100 mM NaCl uygulamalarında saptanan SOD, CAT ve POX gibi enzimlerin aktivitesinde artış olduğu ve bu durumun oksidatif hasardan kaçınmaya yardımcı olabileceğini bildirmişlerdir. Yüksek konsantrasyonda uygulanan NaCl stresinde ise CAT, POX ve GR enzimlerindeki uyarılmaların artan reaktif oksijen türleri (ROT) üretimi ve malondialdehit içeriğiyle başa çıkamadıklarını belirtmişlerdir. Araştırmacılar bu sonuçlardan; bitkinin tuz stresine karşı düşük seviyede dayanıklı olduğunu, çimlenme ve vejetatif gelişim süresince tuz stresine karşı farklı antioksidan enzim yanıtları ve metabolizması olduğunu rapor etmişlerdir. Wang vd [302] yüksek azot şartlarında yetişen bitki köklerinde yüksek düzeyde süperoksit radikali (O₂⁻) üretimi, hidrojen peroksit konsantrasyonu ve malondialdehit içeriği bulunduğunu saptamışlardır. Zhang vd. [310] düşük ışık altındaki salatalık (*Cucumis sativus* cv. Jinchun no. 4) yapraklarında dışsal olarak uyguladıkları H₂O₂'nin antioksidan enzim aktivitesi ve lipid peroksidasyonu üzerine etkilerini araştırmışlardır. Düşük ışığın süperoksit radikali, içsel H₂O₂ ve MDA miktarlarında, SOD, GSH-Px, APX, monodehidroaskorbat redüktaz (MDHAR), GR, indirgenmiş glutatyon (GSH) ve askorbat (AsA) gibi bazı antioksidan enzim aktivitelerinde de artış sağladığını belirtmişlerdir. H₂O₂ ile ön uygulama yapılan fidelerin düşük ışığa 144 saat süreyle maruz bırakıldıklarında SOD, katalaz (CAT), GSH-Px), APX, dehidroaskorbat redüktaz (DHAR), MDHAR, GR aktivitelerinde ve AsA ve GSH içeriğinde artış oluştuğunu bildirmişlerdir. Dışsal uygulanan H₂O₂ ve düşük ışık kombinasyonunun içsel H₂O₂, süperoksit radikali ve MDA seviyelerinde azalmaya neden olduğunu bildirmişlerdir. Bu sonuçlardan dışsal H₂O₂ uygulamasının antioksidanların aktivitesini etkileyebileceğini ve lipid

peroksidasyonunu azaltabileceğini, böylece düşük ışık stresinin etkisini azaltabileceğini rapor etmişlerdir. Wang vd. [314] su altı bitkisi *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle üzerinde yarım gün ile 4 gün süreyle 25–400 μM dışsal SNP uygulamasının etkilerini araştırmışlardır. Araştırmada bitki gelişimindeki değişimler ile MDA, toplam klorofil ve H_2O_2 içeriklerindeki değişimler incelenmiştir. Çalışma sonucunda 25–100 μM SNP uygulamasının bitki gelişimi ile toplam klorofil içeriğinde artış sağladığı H_2O_2 miktarında ise azalışa neden olduğu belirlenmiştir. 200–400 μM SNP uygulamasında ise H_2O_2 ve MDA içeriğinde artış ve toplam klorofil içeriğinde ise azalma meydana geldiği rapor edilmiştir. Sanchez-Rodriguez vd. [316] kuraklık stresinin domateste, bitki gelişimi ve yaprak oransal su içeriğinin olumsuz etkilediğini, stres ile birlikte yaprak dokularında malondialdehit (MDA) miktarında artış meydana geldiğini bildirmişlerdir. Araştırmacılar, stres koşullarında GR, APX ve CAT enzim aktivitelerinin artış gösterdiğini saptamışlardır. He vd. [319] H_2O_2 ile ön muamele yapılan buğday tohumlarının kuraklığa dayanıklılığını araştırmışlardır. H_2O_2 ön muamelesinin membran stabilitesini geliştirdiği, membran hasar oranında ve malondialdehit içeriğinde azalma sağladığı belirtilmiştir. Filizlerde, CAT ve APX gibi antioksidan enzimlerin ifadesinde artış saptanmıştır. Çalışmanın ardından H_2O_2 'nin stres şartları altında antioksidan enzimlerin aktivasyonunu tetiklediği böylece oksidatif hasarın hafifletildiği ve kuraklık şartları altında filizlerin fizyolojik davranışlarını iyileştirdiği rapor edilmiştir. Simova-Stoilova vd. [329] MDA miktarının kuraklık uygulanmış bitkilerde çok fazla değişmediğini ancak geri sulamadan sonra arttığını bildirmişlerdir. Peroksidaz aktivitesinin azalırken katalaz aktivitesinin iyileştirici etkisinin arttığını, SOD'un 3, katalaz'ın 1 ve peroksidazın da 3 izoformunun ortaya çıktığını bildirmişlerdir. Prolin birikiminin kuraklık stresinde baskın bir role sahip olduğunu belirtmişlerdir. Araştırmacılar, erken gelişim aşamalarında, antioksidan yanıtlar ile kuraklık hassasiyeti veya toleransında varyetelerde önemli bir ilişki bulunmadığını rapor etmişlerdir.

Çalışmamızda kuraklığa dayanıklı buğday çeşidi olan Doğu-88 'in kuraklığa duyarlı olan Yıldırım çeşidine göre MDA içeriklerinin daha az olduğu belirlenmiştir. Bunun nedeni olarak dayanıklı bitkinin lipid peroksidasyonu ile mücadele yeteneğinin duyarlı olana göre daha yüksek olduğu düşünülmektedir. Kuraklık uygulamasında Doğu-88 çeşidinin kök dokusunda MDA içeriğinin günlere bağlı olarak kontrol grubuna göre arttığı belirlenmiştir. Bunun sebebi olarak kuraklık uygulamasında antioksidan enzim aktivitelerindeki azalmanın neden olduğu düşünülmektedir. Yaptığımız çalışmada kuraklık uygulamasının SOD, CAT ve GSH-Px enzim aktivitelerini olumsuz yönde etkilediği ve ciddi stres şartlarında enzimlerin aktivitelerinde azalma meydana geldiği belirlenmiştir. Dolayısıyla kuraklık stresinin ağırlaşan

şartları antioksidan savunma sisteminin etkisini azaltmıştır. Kuraklığa duyarlı olan Yıldırım çeşidinde de kuraklık stresi uygulamasında MDA içeriğinin günlere bağlı olarak arttığı ve belirlenen MDA içeriklerinin Doğu-88 çeşidine göre oldukça yüksek olduğu belirlenmiştir. Benzer şekilde SOD, CAT ve GSH-Px enzim aktiviteleri de kuraklık uygulamasından olumsuz etkilenmiştir ve Yıldırım çeşidinde belirlenen enzim aktivitelerinin Doğu-88 çeşidinde belirlenen aktiviteden daha az olduğu saptanmıştır. Elde ettiğimiz sonuçlar Sekmen vd [300], Wang vd [303], Sanchez-Rodriguez vd. [307] tarafından yapılan çalışmalar ile uygunluk göstermektedir. Doğu-88 çeşidinde NO vericisi SNP ile yapılan uygulamada MDA içeriklerinin günlere bağlı olarak her üç SNP konsantrasyonunda azaldığı belirlenmiştir. Yıldırım çeşidinde ise 10 µM ve 100 µM SNP uygulamasında MDA içeriğinin günlere bağlı olarak azaldığı, 1000 µM konsantrasyonda ise arttığı saptanmış olup bu durumun konsantrasyonun yüksekliğinden kaynaklandığı düşünülmektedir. 1000 µM SNP uygulamasında belirlenen antioksidan enzim aktivitelerinin 10 µM ve 100 µM konsantrasyonlardakine göre yüksek olmasına rağmen MDA içeriğindeki bu artışlar enzim sisteminin lipid peroksidasyonunu engelleyemediğini akla getirmektedir. Bu sonuçtan, aslında reaktif oksijen türevi olan NO'nun oksidatif stresi artırdığını söyleyebiliriz. Doğu-88 çeşidinde hidrojen peroksit uygulamasında MDA içeriklerinin her üç konsantrasyonda azaldığı belirlenirken Yıldırım çeşidinde ise 10 µM konsantrasyonda MDA içeriğinin günlere bağlı olarak azaldığı, 100 µM ve 1000 µM konsantrasyonlarda ise arttığı gözlenmiştir. Doğu-88 çeşidinde 1000 µM konsantrasyonda belirlenen MDA içeriklerinin kontrol grubundan, Yıldırım çeşidinde ise 100 µM ve 1000 µM konsantrasyonlarda belirlenen MDA içeriklerinin kontrol grubundan yüksek olduğu saptanmıştır. Kuraklığa dayanıklı olan Doğu-88 çeşidinde H₂O₂ uygulamasının antioksidan enzim sistemini uyararak MDA içeriğinde azalmaya sebep olduğu sonucuna akla getirmektedir. 1000 µM konsantrasyonda belirlenen yüksek MDA içeriklerinin ise konsantrasyondaki artıştan kaynaklandığı düşünülmektedir. Araştırmamızda elde ettiğimiz bu sonuçlar, He vd. [319] H₂O₂ ile ön muamele yapılan buğday tohumlarının kuraklığa dayanıklılığını araştırdıkları ve H₂O₂ ön muamelesinin membran stabilitesini geliştirdiğini, membran hasar oranında ve malondialdehit içeriğinde azalma sağladığı belirttikleri çalışma ile uygunluk göstermektedir. Sonuçlarımız aynı zamanda, Zhang vd. [310] tarafından yapılan düşük ışık altındaki salatalık (*Cucumis sativus* cv. Jinchun no. 4) yapraklarında dışsal olarak uyguladıkları hidrojen peroksit (H₂O₂)'in antioksidan enzim aktivitesi ve lipid peroksidasyonu üzerine etkilerini araştırdıkları ve dışsal H₂O₂ uygulamasının antioksidanların aktivitesini etkileyebileceğini ve lipid peroksidasyonunu azaltabileceğini bildirdikleri çalışmayla da desteklenmektedir. Yıldırım çeşidinde ise 10 µM

H₂O₂ konsantrasyonunda MDA içeriğinde meydana gelen azalmanın sebebi olarak H₂O₂ konsantrasyonunun etkili olduğu düşünülmektedir. Yüksek H₂O₂ konsantrasyonunda ise MDA içeriğinde ciddi artışların olduğu tespit edilmiştir. Elde ettiğimiz sonuçlar H.M. El-Shora [378] tarafından yapılan *Cucurbita pepo* (sakız kabağı) bitkisinin yapraklarında H₂O₂ tarafından oluşturulan oksidatif stres ile MDA içeriğinin arttığını bildirdiği çalışması ile uygunluk göstermektedir. Kuraklık ile birlikte SNP uygulamasında (PEG+SNP) kuraklığa dayanıklı olan Doğu-88 bitkisinde MDA içeriklerinin her üç konsantrasyonda günlere bağlı olarak azaldığı ve sadece 1000 µM konsantrasyonun 2. gününde belirlenen MDA içeriğinin kontrol grubundan yüksek olduğu belirlenmiştir. Elde ettiğimiz sonuçlara göre, Doğu-88 bitkisinin kök dokusunda PEG+SNP uygulamasına bağlı olarak belirlenen MDA içeriğinin kuraklık uygulamasında belirlenen MDA içeriğinden az olduğu da saptanmıştır. Bu sonuç NO'nun kuraklığa dayanıklı bitkide, kuraklık stresinin olumsuz etkisini düzeltici etki yaptığını ortaya koymaktadır. Nitekim araştırmamızda SNP uygulamasında da benzer sonuç elde edilmiştir. Kuraklığa duyarlı olan Yıldırım çeşidinde ise PEG+SNP uygulamasında 10 µM konsantrasyonda MDA içeriğinin günlere bağlı olarak azaldığı, 100 µM ve 1000 µM konsantrasyonda ise arttığı belirlenmiş olup bu değerlerin tek başına kuraklık uygulamasında belirlenen MDA içeriğinden daha az olduğu gözlenmiştir. Ayrıca bu sonuçlar tek başına SNP uygulamasında belirlenen MDA içerikleri ile uygunluk göstermektedir. Elde edilen bu sonuçlardan kuraklığa duyarlı olan Yıldırım çeşidinde NO'nun kuraklık stresinin olumsuz etkisi üzerine düzeltici etki yaptığı ancak kuraklığa duyarlı olan bitkide dayanıklı olana göre lipid peroksidasyonu üzerine olumlu etkisinin daha az olduğu ve reaktif oksijen türlerinin artması ile bitkinin zarar gördüğü söylenebilir. PEG+H₂O₂ uygulamasında kuraklığa dayanıklı olan Doğu-88 çeşidinde MDA içeriğinin günlere bağlı olarak azaldığı belirlenmiştir. Kuraklığa duyarlı olan Yıldırım çeşidinde ise 10 µM konsantrasyonda MDA içeriğinin günlere bağlı olarak azaldığı, 100 µM ve 1000 µM konsantrasyonda ise arttığı saptanmıştır. Yıldırım çeşidinde PEG+ H₂O₂ uygulamasının 1000 µM konsantrasyonda belirlenen MDA içerikleri kuraklık uygulamasında belirlenen MDA içeriğine göre oldukça yüksek bulunmuştur. Bu durum duyarlı olan bitkide hidrojen peroksidin yüksek dozlarda oksidatif hasarı tetiklediğini ve antioksidan aktiviteyi engellediği fikrini akla getirmektedir. Kuraklığa dayanıklı olan çeşitte ise hidrojen peroksit antioksidan enzim sistemini teşvik ederek bitkinin kuraklığa uyum mekanizmasına olumlu katkıda bulunmuştur. Elde ettiğimiz bu sonuçlar literatür [378] ile uygunluk göstermektedir. Ayrıca He vd. [319] H₂O₂ ile ön muamele yapılan buğday tohumlarının kuraklığa dayanıklılığını araştırdıkları ve H₂O₂ ön muamelesinin membran stabilitesini geliştirdiğini, membran hasar oranında ve malondialdehit (MDA)

içeriğinde azalma sağladığı belirttikleri çalışma ile paralellik göstermektedir. Tüm bu sonuçlar ele alındığında uygulama gruplarının MDA içeriği üzerine etkilerinin kuraklığa dayanıklı ve duyarlı olan bitki çeşidinde farklı olduğunu ortaya koymaktadır. Bundan dolayı bitkilerin kuraklık stresi şartlarına ve çeşitli sinyal moleküllerine verdiği yanıtlar farklıdır. Bu durum bitkilerin çeşitli stres şartlarına uyum mekanizmasının farklılığını açıklamaktadır.

5.6. *T. aestivum* L. cv. “Doğu-88” ve *T. aestivum* L. cv. “Yıldırım” Buğday Bitkilerinin Kök Dokularında Uygulama Gruplarının Toplam Çözünebilir Protein Miktarı Üzerine Etkileri

Doğu-88 çeşidi kök dokusunda toplam çözünebilir protein miktarının kuraklık uygulamasında günlere bağlı olarak arttığı saptanmıştır. SNP uygulamasına bağlı olarak 100 μ M ve 1000 μ M konsantrasyonlarda toplam çözünebilir protein miktarının her üç günde azaldığı belirlenmiştir. H_2O_2 uygulamasında her üç konsantrasyonda günlere bağlı olarak azalan toplam çözünebilir protein miktarları saptanmıştır. PEG+SNP uygulamasında 10 μ M ve 100 μ M konsantrasyonlarda artış ve azalışların olduğu, PEG+ H_2O_2 uygulamasında ise günlere bağlı olarak azalan toplam çözünebilir protein miktarları belirlenmiştir (Şekil 4.8).

Yıldırım çeşidi buğday bitkisinin kök dokusunda kuraklık uygulaması hariç diğer tüm uygulama gruplarında toplam çözünebilir protein miktarlarında günlere bağlı olarak artış olduğu saptanmıştır (Şekil 4.18).

Yaptığımız çalışmada kuraklığa dayanıklı olan Doğu-88 çeşidinde, duyarlı olan Yıldırım çeşidine göre daha yüksek toplam çözünebilir protein miktarları belirlenmiştir. Bu durum çalışmamızda belirlediğimiz SOD, CAT ve GSH-Px enzim aktiviteleri ile paralellik göstermektedir. Çalışmamızda, kuraklığa dayanıklı olan Doğu-88 çeşidinde toplam çözünebilir protein miktarının kuraklık uygulamasında kontrol grubundan az olduğu, stres şartlarında ki artışa bağlı olarak ise arttığı belirlenmiştir. Kuraklığa duyarlı olan Yıldırım çeşidinde ise toplam çözünebilir protein miktarının kuraklık stresinden dolayı azaldığı söylenilebilir. Elde ettiğimiz bu sonuçlar Mohammadkhani ve Heidari [379] tarafından yapılan 2 farklı mısır çeşidinde kuraklık uygulamasının toplam çözünebilir protein içeriklerinde artış ve azalma saptadıklarını bildirdikleri çalışma ile uygunluk göstermektedir. Ayrıca kuraklık stresinin yoğunluğu ve süresi de toplam çözünebilir protein miktarını etkilemiştir. Çalışmamızda SNP uygulamasında Doğu-88 çeşidinin kök dokularında toplam çözünebilir protein miktarının 10 μ M konsantrasyonda arttığı belirlenmiştir. 100 μ M ve 1000 μ M konsantrasyonlarda ise günlere bağlı olarak azaldığı saptanmıştır. Elde ettiğimiz bu sonuç Liu vd [380] tarafından yapılan soğuk stresi altındaki salatalık (*Cucumis sativus* L.) bitkisinde dışsal olarak uyguladıkları SNP'nin düşük konsantrasyonlarda toplam çözünebilir protein

miktarında artış, yüksek konsantrasyonda ise azalış meydana getirdiğini bildirdikleri çalışmalarıyla uygunluk göstermektedir. Kuraklığa duyarlı olan Yıldırım çeşidinde ise toplam çözünebilir protein miktarının SNP'nin her üç konsantrasyonunda günlere bağlı olarak arttığı belirlenmiş olup bu sonuç Zahang vd. [381] tarafından yapılan, ultraviyole radyasyon stresi altındaki mısır bitkisinde dışsal olarak uygulanan nitrik oksit vericisinin protein miktarında artış sağladığı bildirdikleri çalışmalarıyla paralellik göstermektedir. SNP uygulamasında belirlenen farklı sonuçlar NO'nun farklı fizyolojik yanıtları düzenlediğini göstermektedir. Hidrojen peroksit uygulamasında Doğu-88 bitkisinin kök dokusunda toplam çözünebilir protein miktarının her üç konsantrasyonda günlere bağlı olarak azaldığı belirlenmiştir. Bu sonuç El-Shora [378] tarafından yapılan, sakız kabağı bitkisinin yapraklarında H_2O_2 tarafından oluşturulan oksidatif stres ile protein miktarının azaldığını saptadıkları çalışma ile uygunluk göstermektedir. Yıldırım çeşidinde ise toplam çözünebilir protein miktarı hidrojen peroksidin her üç konsantrasyonunda günlere bağlı olarak artış göstermiştir. Bu durum kullanılan bitkilerin H_2O_2 uygulamasına yanıtlarının farklı olabileceğini göstermektedir. Çalışmamızda PEG+SNP uygulamasında toplam çözülebilir protein miktarının Doğu-88 çeşidinde 10 μM ile 100 μM konsantrasyonun 4. gününde artış gösterdiği, 6. gününde ise azalış gösterdiği belirlenmiştir. Bu sonuç uygulama grubunun ilk başta bitkiyi uyardığı ancak ilerleyen dönemde protein yapısına zarar verdiğini akla getirmektedir. 1000 μM konsantrasyonda ise toplam çözülebilir protein miktarının günlere bağlı olarak azaldığı saptanmıştır. Bu azalmanın 1000 μM SNP uygulamasında meydana gelen azalmayla paralellik gösterdiği gözlenmiştir. Yıldırım çeşidinde ise toplam çözülebilir protein içeriğinin 10 μM , 100 μM ve 1000 μM PEG+SNP uygulamasında günlere bağlı olarak arttığı belirlenmiştir. Kuraklık uygulamasında toplam çözülebilir protein miktarı günlere bağlı olarak azalırken, kuraklıkla birlikte SNP uygulamasında ise toplam çözünebilir protein miktarı günlere bağlı olarak artmıştır. Aynı durum tek başına SNP uygulamasında da gözlenmiştir. Bu sonuçlardan SNP'nin toplam çözülebilir protein miktarı üzerine olumlu etki yaptığı ve çeşitli stres proteinlerinin sentezlenmesini sağladığı düşünülmektedir. Kuraklık ile birlikte hidrojen peroksit uygulamasında (PEG+ H_2O_2) toplam çözülebilir protein miktarının uygulama grubunun her üç konsantrasyonunda Doğu-88 çeşidinin kök dokusunda günlere bağlı olarak azaldığı belirlenirken Yıldırım çeşidinde ise arttığı saptanmıştır. Kuraklığa duyarlı olan bitkide PEG+ H_2O_2 uygulamasının farklı stres proteinlerinin sentezlenmesine neden olabileceğini akla getirmektedir.

5.7. *T. aestivum* L. cv. “Doğu-88” ve *T. aestivum* L. cv. “Yıldırım” Buğday Bitkilerinin Kök Dokularında Uygulama Gruplarının Hidrojen Peroksit İçeriği Üzerine Etkileri

Doğu-88 çeşidi kök dokusunda hidrojen peroksit içeriğinin kuraklık uygulamasında günlere bağlı olarak azaldığı saptanmıştır. SNP, H₂O₂, PEG+SNP ve PEG+H₂O₂ uygulamalarının her üç konsantrasyonunda günlere bağlı olarak H₂O₂ içeriğinde azalmaların olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.9).

Yıldırım çeşidi kök dokusunda H₂O₂ içeriğinin kuraklık, SNP ve H₂O₂ uygulamalarında günlere bağlı olarak arttığı saptanmıştır. PEG+SNP uygulamasında kontrol grubuyla karşılaştırıldığında H₂O₂ içeriğinin daha yüksek olduğu saptanmıştır. PEG+H₂O₂ uygulamasında 10 µM ile 100 µM konsantrasyonlarda günlere bağlı olarak artan, 1000 µM konsantrasyonda ise azalan H₂O₂ içerikleri saptanmıştır (Şekil 4.19).

Yapılan bir çalışmada, çayır otunun 2 varyetesinin (Arid3 ve Houndog5) yapraklarında ışığın yüksek miktarlarınca oluşturulan oksidatif hasar üzerine NO'nun etkileri araştırılmıştır. Çalışmada kullanılan materyallerden Houndog5'in yapraklarının Arid3'e göre yüksek ışık stresine karşı daha duyarlı olduğu rapor edilmiştir. Stres şartlarına maruz bırakmadan önce yapraklar NO donörü olan SNP ile muamele edilmiş ve sonuç olarak malondialdehit, hidrojen peroksit ve süperoksit radikallerinin içeriğinde azalma olduğu bildirilmiştir [313]. Yapılan başka bir çalışmada [314] su altı bitkisi *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle üzerinde yarım gün ile 4 gün süreyle 25–400 µM dışsal SNP uygulamasının etkileri araştırılmıştır. Çalışmada bitki gelişimindeki değişimler ile MDA, toplam klorofil, ve hidrojen H₂O₂ içeriklerindeki değişimler incelenmiştir. Çalışma sonucunda 25–100 µM SNP uygulamasının bitki gelişimi ile toplam klorofil içeriğinde artış sağladığı H₂O₂ miktarında ise azalışa neden olduğu belirlenmiştir. 200–400 µM SNP uygulamasında ise H₂O₂ ve MDA içeriğinde artış ve toplam klorofil içeriğinde ise azalma meydana geldiği rapor edilmiştir. Sang vd. [328] çalışmalarında, su stresi altındaki mısır bitkisi yapraklarında nitrik oksit üretim kaynaklarını, su stresinin neden olduğu hidrojen peroksit birikiminde ve antioksidan enzimlerin aktivitelerinde nitrik oksidin rolünü araştırmışlardır. Çalışmada, dışsal olarak uygulanan nitrik oksidin, su stresinin neden olduğu antioksidan enzimlerin aktivitelerini artırdığı ve hidrojen peroksit birikimini azalttığı rapor edilmiştir. Araştırmacılar, ayrıca nitrik oksidin hidrojen peroksitle mücadele yeteneğinin, kısmen de olsa antioksidan enzim savunmasının etkisiyle olabileceğini bildirmişlerdir. Simova-Stoilova vd. [329] dört kışlık buğday varyetesinin yapraklarında farklı alanlardaki kuraklık dayanıklılıklarını, tohum aşamasından itibaren 7 gün boyunca sulamadan mahrum bırakarak ve ardından tekrar sulama yaparak araştırmışlardır. Çalışmada kuraklık şiddetine yanıt olarak elektrolit sızıntısında 3 kat

artış ve prolin birikiminde keskin bir azalış olduğunu saptamışlardır. Düşük stres şartlarında hidrojen peroksit içeriği ve katalaz aktivitesinin korunduğunu bildirmişlerdir. Konu ile ilgili başka bir çalışmada ise, dışsal olarak uygulanan H_2O_2 'nin H_2O_2 süpürücüsü enzimlerin APX, CAT, POX aktivitelerinde artış sağladığı böylece içsel H_2O_2 seviyesinde azalma sağlandığı ve kök canlılığına katkıda bulunduğu rapor edilmiştir [282]. Liu vd. [317] dışsal uygulanan H_2O_2 ve düşük ışık kombinasyonunun içsel H_2O_2 , süperoksit radikali ve MDA seviyelerinde azalmaya neden olduğunu bildirmişlerdir.

Yaptığımız çalışmada kuraklığa dayanıklı buğday çeşidi olan Doğu-88 bitkisinde hidrojen peroksit (H_2O_2) içeriğinin kuraklık uygulamasında günlere bağlı olarak azaldığı ancak kontrol grubundan yüksek seviyede olduğu gözlenmiştir. Doğu-88 çeşidinin kök dokusunda antioksidan enzim aktiviteleri ve MDA içeriğinin de benzer şekilde kuraklık uygulamasında günlere bağlı olarak azaldığı belirlenmiştir. Bu durum antioksidan savunma sisteminin stresle başa çıkabildiğini göstermektedir. Stres etkisiyle üretilen H_2O_2 elimine edilmiştir. Kuraklığa duyarlı olan Yıldırım çeşidinde ise H_2O_2 içeriğinin kuraklık uygulamasına bağlı olarak 2. 4. ve 6. günlerde arttığı saptanmıştır. Benzer şekilde Yıldırım çeşidinde MDA içeriği de kuraklık uygulamasında günlere bağlı olarak artmıştır. Antioksidan enzim aktiviteleri ise azalmıştır. Bu sonuçlardan kuraklığa duyarlı olan Yıldırım çeşidinde antioksidan savunma sisteminin stres etkisiyle oluşan olumsuz durumla mücadelede etkisiz olduğu fikrini vermektedir. Yapılan bir çalışmada 2 farklı kavak çeşidinde (*Populus kangdingensis* C. Wang et Tung ve *P. cathayana* Rehder) şiddeti artırılan kuraklık stresinin etkileri araştırılmıştır. Çalışmada gövde boyunda, yaprak gelişiminde, oransal su içeriğinde, malondialdehit ve hidrojen peroksit içeriklerinde önemli değişimler olduğu belirtilmiştir. Çalışmada *P. kangdinensis* çeşidinde *P. cathayana* çeşidine göre MDA ve H_2O_2 içeriklerinde daha az artış olduğu bildirilmiştir ve bu sonuçtan *P. kangdinensis* çeşidinin *P. cathayana* çeşidine göre kuraklığa toleranslı olduğu rapor edilmiştir [382]. Elde ettiğimiz sonuçlar araştırmacıların belirttiği sonuçlarla uygunluk göstermektedir. Doğu-88 çeşidinde SNP uygulamasında her üç konsantrasyonda H_2O_2 içeriğinin günlere bağlı olarak azaldığı belirlenirken Yıldırım çeşidinde bunun tam tersi şekilde H_2O_2 içeriğinin günlere bağlı olarak arttığı tespit edilmiştir. Bu sonuçlar Xu vd. [313] tarafından yapılan, yüksek ışık stresine dayanıklı olan Arid3 çeşidinde duyarlı olan Houndog5 çeşidine göre daha düşük miktarda H_2O_2 içeriği belirlediklerini bildirdikleri çalışma ile uygunluk göstermektedir. H_2O_2 uygulamasında Doğu-88 çeşidinde H_2O_2 içeriklerinin uygulama grubunun her üç konsantrasyonunda günlere bağlı olarak azalırken, Yıldırım çeşidinde ise artmıştır. Konu ile ilgili yapılan bir çalışmada dışsal olarak uygulanan H_2O_2 'nin H_2O_2 süpürücüsü enzimlerin

(APX, CAT, POX) aktivitelerinde artış sağladığı böylece içsel H_2O_2 seviyesinde azalma sağlandığı ve kök canlılığına katkıda bulunulduğu rapor edilmiştir [282]. Liu vd. [317] dışsal uygulanan H_2O_2 ve düşük ışık kombinasyonunun içsel H_2O_2 , süperoksit radikali ve MDA seviyelerinde azalmaya neden olduğunu bildirmişlerdir. Kuraklığa dayanıklı Doğu-88 çeşidinde elde ettiğimiz sonuçlar literatür ile uygunluk göstermektedir. Yıldırım çeşidinde ise literatürden farklı olarak H_2O_2 seviyesinde artış olduğu görülmektedir. Bu durumun kullanılan bitki çeşitlerinin fizyolojik ve genetik farklılığından kaynaklandığı düşünülmektedir. Hassas olan bitkide dışsal olarak uygulanan reaktif oksijen türü olan H_2O_2 bitkinin savunma yanıtlarının bozulmasına neden olmuştur. Bilindiği gibi ROT'lara verilecek özel biyolojik yanıtlar; ROT'ların kimyasal yapısına, uyarının yoğunluğuna, bitkinin gelişim basamağına, önceki stres şartlarına, bitki hormonları, mesajcılar ve nitrik oksit gibi sinyal molekülleriyle olan ilişkilerine bağlıdır. Kuraklık ile birlikte SNP uygulamasında H_2O_2 içeriğinin Doğu-88 çeşidinin kök dokusunda her üç konsantrasyonda günlere bağlı olarak azaldığı, Yıldırım çeşidinde 10 μM konsantrasyonda 4. günde 2. güne göre arttığı, 6. günde ise 4. güne göre azaldığı, 100 μM konsantrasyonda 4. günde 2. güne göre azaldığı, 6. günde ise tekrar arttığı ve 1000 μM konsantrasyonda ise günlere bağlı olarak azaldığı belirlenmiştir (Şekil 4.19). Yıldırım çeşidinin kuraklık stresine duyarlı olmasının uygulama grubunda bu şekilde değişik yanıtlar vermesine neden olduğu düşünülmektedir. Ayrıca NO konsantrasyona bağlı olarak farklı yanıtların oluşmasına da neden olmuştur. Bunun yanında Yıldırım çeşidinde PEG+SNP uygulamasının sonucunda H_2O_2 içeriğinde belirlenen bu düzensizliğin antioksidan savunma sisteminin yeteri kadar uyarılamadığını ve sonuçta bitkinin stres şartlarına uyum mekanizmasının bozulduğunu akla getirmektedir. Kuraklık ile birlikte H_2O_2 uygulamasında H_2O_2 içeriğinin Doğu-88 çeşidinde her üç konsantrasyonda günlere bağlı olarak azaldığı belirlenmiştir. Yıldırım çeşidinde ise her üç konsantrasyonda da H_2O_2 içeriğinin günlere bağlı olarak arttığı saptanmıştır. Bu sonuçlar duyarlı olan bitki çeşidinde oksidatif stresin bertaraf edilemediğini ortaya koymaktadır. Kuraklık uygulaması sonucu oluşan reaktif oksijen türlerinden H_2O_2 'nin eksojen uygulaması antioksidan savunma sistemini baskılayıcı etki yapmış olabilir. Ortamda fazla miktarda bulunan H_2O_2 'nin enzim aktivitelerini inhibe ederek bitkinin olumsuz etkilenmesine sebep olduğu düşünülmektedir.

5.8. *T. aestivum* L. cv. “Doğu-88” ve *T. aestivum* L. cv. “Yıldırım” Buğday Bitkilerinin Kök Dokularında Uygulama Gruplarının Oransal Su İçeriği Üzerine Etkileri

Doğu-88 çeşidinin kök dokusunda oransal su içeriğinin (%) kuraklık uygulamasında günlere bağlı olarak azaldığı ve kontrol grubundan daha az düzeyde olduğu saptanmıştır. Doğu-88 çeşidinin kök dokusunda SNP uygulamasında her üç konsantrasyonda oransal su

içeriğinin günlere bağlı olarak arttığı saptanmıştır. H₂O₂ uygulamalarında oransal su içeriklerinin günlere bağlı olarak azaldığı tespit edilmiştir. PEG+SNP uygulamasında saptanan oransal su içeriklerinin kontrol grubundan daha az olduğu Şekil 4.10'dan görülmektedir. PEG+H₂O₂ uygulamalarında elde edilen oransal su içeriklerinin kontrol grubuna göre daha az olduğu ve günlere bağlı olarak azaldığı belirlenmiştir.

Yıldırım çeşidinin kök dokusunda kuraklık uygulamasında günlere bağlı olarak kontrol grubunda göre azalan OSİ (%) belirlenmiştir. SNP ve PEG+SNP uygulamalarında oransal su içeriğinin günlere bağlı olarak arttığı ve kontrol grubundan yüksek olduğu saptanmıştır. H₂O₂ ve PEG+H₂O₂ uygulamalarında oransal su içeriğinin günlere bağlı olarak azaldığı saptanmıştır.

Yapılan bir çalışmada, PEG tarafından oluşturulan stres şartlarında *Spathiphyllum* (barış çiçeği) bitkisinin içine yerleştirilen ve alıştıran dağ ginseng kök ekstraktlarının doku kültürünün (TCGM) olası antioksidan aktivitesini araştırılmıştır. Çalışmada PEG uygulanmış bitkilerde fotosentetik verimlilikte azalma olduğu, net CO₂ taşınımı, stomatal geçirgenlik, terleme oranı, oransal su içeriği ve yaprak ozmotik potansiyelinin düştüğü saptanmıştır [336]. Farklı bir çalışmada Kumar vd. [307], *Pigeonpea*'da PEG ile oluşturulan su eksikliğinin fizyolojik ve biyokimyasal değişimleri üzerine etkilerini araştırmışlardır. Araştırmacılar bitkileri hafif ve sert stres şartları olmak üzere iki aşamalı strese tabi tutmuşlardır. Su stresi şartlarını PEG'li besin çözeltisi ile 14 gün boyunca sulayarak ozmotik potansiyelin -0,04 MPa'ya düşürülmesiyle sağlamışlardır. Çalışmada oransal su içeriğinin su stresi altında belirgin şekilde azaldığı, serbest prolin içeriğinin stres şartları süresince arttığı, CAT aktivitesinde azalma, SOD ve peroksidaz aktivitelerinde ise artış olduğu rapor edilmiştir. Ishibashi vd. [282] fasulye bitkilerinde hidrojen peroksit uygulamasının kuraklık stresinin etkilerini azaltabileceğini bildirmiştir. Bu amaçla fasulye bitkisinin yapraklarına H₂O₂ püskürterek kuraklık stresine karşı etkisini incelemişlerdir. Araştırmacılar yapraklara H₂O₂ ön uygulaması yapılan bitkilerde distile su ile uygulama yapılanlara göre kuraklık stresinin neden olduğu yaprakta sararmanın engellendiğini belirtmişlerdir. Ayrıca, kuraklık stresi etkisindeki bitkilerde belirlenen oransal su içeriğinin de H₂O₂ ön uygulaması yapılan bitkilerde distile su uygulaması yapılanlara göre daha yüksek olduğunu saptamışlardır. Sanchez-Rodriguez vd. [306] kuraklık stresinin domateste, bitki gelişimi ve yaprak oransal su içeriğinin olumsuz etkilediğini bildirmişlerdir. Arasimowicz-Jelonek vd. [318] yaptıkları çalışmada NO'nun şiddetli su eksikliğinin etkilerini azalttığını ve doku dehidrasyonunun başlangıç safhasında bitkinin korunmasına yardımcı olduğunu ileri sürmüşlerdir. Tan vd. [327] yaptıkları

çalışmada ozmotik stres altında uygulanan SNP'nin yaprak su kaybının azalmasına, yüksek oransal su içeriğine ve artmış prolin içeriğine neden olduğu belirtilmiştir.

Yaptığımız çalışmada kuraklığa dayanıklı olan Doğu-88 çeşidinde duyarlı olan Yıldırım çeşidine göre daha yüksek seviyede oransal su içeriği bulunduğu belirlenmiştir. Kuraklık uygulamasında ise her iki buğday çeşidinde OSİ değerlerinde azalmalar olduğu tespit edilmiştir ve bu sonucun literatürler ile uygunluk gösterdiği anlaşılmıştır [306, 307, 336]. SNP uygulamasında her iki bitki çeşidinde de OSİ'nin günlere bağlı olarak arttığı ve kuraklık uygulamasının yanı sıra kontrol grubunda belirlenen OSİ değerlerinde yüksek olan oransal su içeriği saptanmıştır. Bu sonuçlar SNP'nin ve dolayısıyla NO'nun bitkinin su tutma kapasitesini artırdığını ortaya koymaktadır ve Arasimowicz-Jelonek vd. [318] yaptıkları çalışmada NO'nun şiddetli su eksikliğinin etkilerini azalttığını ve doku dehidrasyonunun başlangıç safhasında bitkinin korunmasına yardımcı olduğunu ileri sürdükleri çalışma ile uygunluk göstermektedir. Ayrıca Tan vd. [327]'nin ozmotik stres altında uygulanan SNP'nin yaprak su kaybının azalttığı, yüksek oransal su içeriğine katkı sağladığını bildirdikleri çalışma ile de uygunluk göstermektedir. H₂O₂ uygulamasında ise Doğu-88 ve Yıldırım çeşidinde OSİ'nin her üç konsantrasyonda da günlere bağlı olarak azaldığı belirlenirken Yıldırım çeşidinde meydana gelen OSİ kayıplarının Doğu-88'den fazla olduğu gözlenmiştir. Ishibashi vd. [282] fasulye bitkilerinde hidrojen peroksit uygulamasının kuraklık stresinin etkilerini azaltabileceğini bildirmiştir. Kuraklık stresi etkisindeki bitkilerde belirlenen oransal su içeriğinin de H₂O₂ ön uygulaması yapılan bitkilerde distile su uygulaması yapılanlara göre daha yüksek olduğunu saptadıkları çalışmanın sonucu ile elde ettiğimiz sonuçlar farklılık göstermektedir. Bunun nedeninin, çalışmamızda H₂O₂ uygulamasının araştırmacılardan farklı olarak çimlenmenin ardından yapılmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. PEG+SNP uygulamasında ise Doğu-88 çeşidinde her üç konsantrasyonda belirlenen OSİ değerlerinin günlere bağlı olarak azaldığı saptanmıştır. Bu değerlerin kontrol grubundan belirlenen OSİ değerlerinden düşük, kuraklık uygulamasındaki OSİ değerlerinden yüksek olduğu da çalışmamızda belirlenmiştir. Yıldırım çeşidinde ise 10 µM, 100 µM ve 1000 µM PEG+SNP uygulamalarında belirlenen OSİ değerlerinin konsantrasyonda kontrol grubundan yüksek olduğu ve günlere bağlı olarak arttığı saptanmıştır (Şekil 4.20). Bu sonuçlar NO'nun oransal su içeriğinin korunmasına yardımcı olduğu veya en azından stres şartlarında düzeltici etki yaptığı fikrini akla getirmektedir. Literatürlerde SNP ve dolayısıyla NO'nun oransal su içeriği üzerine olumlu etki yaptığı bildirilmiştir. Elde ettiğimiz sonuçlar Arasimowicz-Jelonek vd. [318] ve Tan vd. [327] tarafından yaptıkları çalışmaları destekler niteliktedir. Çalışmamızda PEG+H₂O₂ uygulamasının her iki bitki çeşidinde aynı şekilde etki gösterdiği ve oransal su

içeriğinin günlere bağlı olarak her üç konsantrasyonda azaldığı belirlenmiştir. Ancak kuraklığa dayanıklı Doğu-88 çeşidinde belirlenen oransal su içeriğinin duyarlı olan Yıldırım çeşidinden daha yüksek olduğu saptanmıştır. Ayrıca Doğu-88 çeşidinde PEG+H₂O₂ uygulamasında belirlenen OSİ değerlerinin kuraklık uygulamasından daha yüksek olduğu, Yıldırım çeşidinde ise 1000 µM konsantrasyonun 2. 4. ve 6. gününde belirlenen OSİ değerlerinin kuraklık uygulamasında belirlenen değerlerden daha az olduğu gözlenmiştir. Elde ettiğimiz bu sonuçlar kuraklık stresiyle beraber H₂O₂ uygulamasının bitkinin yaşamını olumsuz yönde etkilediğini işaret etmektedir. Dayanıklı olan bitkide oransal su içeriği üzerine bir dereceye kadar düzeltici etki yapan H₂O₂ uygulaması duyarlı olan bitkide özellikle yüksek konsantrasyonda olumsuz etki yapmıştır. Bu durum bitkinin stres şartlarına karşı duyarlı olmasını anlamlandırmaktadır.

5.9. *T. aestivum* L. cv. “Doğu-88” ve *T. aestivum* L. cv. “Yıldırım” Buğday Bitkilerinin Yaprak Dokularında Uygulama Gruplarının Nitrik Oksit (NO) Düzeyleri Üzerine Etkileri

Doğu-88 çeşidi yaprak dokusunda kuraklık uygulamasında NO düzeylerinin günlere bağlı olarak arttığı saptanmıştır. SNP uygulamasında NO düzeylerinde günlere bağlı olarak artışlar belirlenmiştir. H₂O₂ uygulamasında her üç konsantrasyonda belirlenen NO düzeylerinin 4. günde azaldığı, 6. günde ise arttığı saptanmıştır. PEG+SNP uygulamasında 10 µM ve 100 µM konsantrasyonlarda NO düzeylerinin günlere bağlı olarak arttığı, 1000 µM konsantrasyonda ise azalış ve artışların olduğu bulunmuştur. PEG+H₂O₂ uygulamasında her üç konsantrasyonda NO düzeylerinde azalış ve artışların olduğu saptanmıştır (Şekil 4.21).

Yıldırım çeşidi yaprak dokusunda belirlenen NO düzeylerinin kuraklık uygulamasında günlere bağlı olarak arttığı görülmektedir. NO düzeylerinin SNP, H₂O₂ ve PEG+H₂O₂, uygulamalarında günlere bağlı olarak arttığı saptanmıştır. PEG+SNP uygulamasında her üç konsantrasyonda artış ve azalışların olduğu bulunmuştur (Şekil 4.31).

Yapılan bir çalışmada, dışsal olarak uygulanan NO'nun buğday yapraklarında ve köklerinde kuraklık toleransını artırdığı bildirilmiştir [30]. Bunun yanında çeşitli biyotik ve abiyotik stres şartlarında farklı bitkilerde ve bitkilerin farklı kısımlarında NO üretiminin arttığı da bilinmektedir [318]. Farklı bir çalışmada nohut bitkisinin yapraklarında tuz (NaCl) stresinde dışsal olarak uygulanan NO vericisi SNP'nin etkileri araştırılmıştır. Araştırmacılar çalışmalarında 250 mM NaCl uygulaması ile NaCl ve SNP (0.2 mM ve 1mM) kombinasyonunu 50 gün süreyle nohut bitkisine uygulamışlardır. Tuz stresinin membran hasarını, lipid peroksidasyonunu, hidrojen peroksit içeriğini artırdığı, oransal su içeriğini ise azalttığı rapor edilmiştir. SNP uygulamasının düzeltici etkide bulunduğu belirtilmiştir. Bunun

yanında SNP uygulamasının antioksidan enzimler üzerine olumlu etkisi bulunduğu da bildirilmiştir [383]. Tu vd. [384], buğday yapraklarında yaşlanma üzerine nitrik oksidin rolünü araştırmıştır. Çalışmada 0.05 nmol/L, 0.10 nmol/L, 0.20 nmol/L ve 0.50 nmol/L konsantrasyonlarında nitrik oksit vericisi SNP ile uygulama yapılan buğday yapraklarında düşük konsantrasyonda SNP uygulamalarının hidrojen peroksit ve malondialdehit içeriğini azalttığı, yüksek konsantrasyonda SNP uygulamasında ise artırdığı bildirilmiştir. Farklı bir çalışmada İki farklı kamış bitkisinin (*Phragmites communis* Trin.) kallusları ile yapılan bir çalışmada sıcaklık stresine toleransları birbirinden farklı olan kumul kamış (DR) ve bataklık kamış (SR) bitkileri kullanılmıştır. Araştırmacılar oksidatif hasardan SR kalluslarının DR kalluslarına göre daha fazla etkilendiğini belirtmişlerdir. Bunun yanında DR kalluslarının SR kalluslarına göre sıcaklık stresi şartlarında daha yüksek gelişme kapasitesi sergilediği ve DR kalluslarında daha az iyon sızıntısı meydana geldiği rapor edilmiştir. Nitrik oksit vericileri olan sodyum nitroprussid (SNP) ve S-nitroso-N-asetilfenisillamin (SNAP) ile muamele yapıldığında belirgin şekilde sıcaklık stresinin neden olduğu iyon sızıntısındaki artışın, büyüme baskılanmasının ve hayatta kalma süresindeki olumsuzluğun her iki kallus örneğinde de düzeltildiği belirtilmiştir. Bunun yanında NO vericilerinin varlığında her iki kallus örneğinde de H₂O₂ ve MDA içeriğinin azaldığı, süperoksit dismutaz, katalaz, askorbat peroksidaz ve peroksidaz aktivitelerinin ise arttığı rapor edilmiştir. Nitrik oksidin özel bir süpürücüsü olan cPTIO uygulamasının NO vericilerinin koruyucu etkilerini engellediği bildirilmiştir. Bununla birlikte sıcaklık stresinde DR kalluslarında ölçülen NO salınımlarının oranının oldukça yüksek olduğu, SR kalluslarında ise sabit kaldığı da rapor edilmiştir. cPTIO uygulamasının SR kalluslarında sıcaklık stresi altında herhangi bir etkisinin olmadığı ancak DR kalluslarında oksidatif stresin etkilerini oldukça artırdığı belirlenmiştir. Bu sonuçlardan NO'nun sıcaklık stresi tarafından oluşturulan oksidatif strestenin etkilerini etkili şekilde bertaraf edebildiği ve aktif oksijen süpürücüsü enzimlerin aktivasyonunda sinyal molekülü olarak rol oynayabileceğini bildirmişlerdir [385]. Lum vd [288] *Phaseolus aureus* yapraklarının hücrelerinde eksojen olarak uygulanan H₂O₂'nin NO üretimini teşvik ettiğini belirtmişlerdir. Farklı bir çalışmada ise Bright vd. [40], *Arabidopsis*'te H₂O₂'nin bekçi hücrelerinde NO üretimini olumlu yönde etkilediğini rapor etmişlerdir. Mohd Mazid vd [386] ise prinç yapraklarına eksojen olarak uygulanan SNP'nin hem bakır (Cu) toksitesini hem de NH₄⁺ birikimini azalttığını bildirmişlerdir. Uchida vd. [49] tarafından yapılan çalışmada, *Oryza sativa* L. cv. Nipponbare bitkilerine 0, 1, 10, 100, 1000 µM SNP ve H₂O₂ ön uygulaması yapılmıştır. Daha sonra bitkiler 100 µM NaCl bulunan ortamda 8 gün süreyle büyütülmüştür. Aynı zamanda bitkiler NaCl içermeyen ortamda da yetiştirilmiştir. Yüksek

konsantrasyonda H_2O_2 'nin oksidatif hasara neden olduğu, düşük konsantrasyonda ise tuz stres toleransını artırdığı bildirilmiştir. Tuz stresine bağlı olarak, 1–10 μM SNP ön uygulamasının 100 μM SNP ön uygulamasına göre büyüme inhibisyonunu önemli derecede azalttığı rapor edilmiştir. Bunun yanında SNP ön uygulamasının H_2O_2 'ye göre POX ve SOD enzim aktiviteleri üzerine daha etkili olduğu bildirilmiştir. Araştırmacılar H_2O_2 ve NO'nun abiyotik stres için önemli bir sinyal molekülü olabileceğini de ileri sürmüşlerdir.

Çalışmamızda kuraklığa dayanıklı Doğu-88 ve kuraklığa duyarlı Yıldırım çeşitlerinde literatürde belirtildiği gibi [52], kuraklık uygulamasında NO içeriklerinin günlere bağlı olarak arttığı belirlenmiş olup bu sonuç NO'nun kuraklık stresi şartlarına karşı bitkinin toleransını artırdığı bilgisi ile uygunluk göstermektedir. SNP uygulamasında her iki bitki çeşidinde NO düzeylerinin her üç SNP konsantrasyonunda günlere bağlı olarak arttığı ve Doğu-88 çeşidinde Yıldırım çeşidine göre daha yüksek düzeyde bulunduğu belirlenmiş olup bu sonuçlar literatürler ile uygunluk göstermektedir [313, 332]. Hidrojen peroksit (H_2O_2) uygulamasında ise Yıldırım çeşidinin yaprak dokularında NO düzeyinin her üç konsantrasyonda günlere bağlı olarak arttığı belirlenirken Doğu-88 çeşidinde ise her üç konsantrasyonda NO düzeylerinin 4. günde 2. güne göre azaldığı, 6. günde ise tekrar arttığı saptanmıştır. Literatürde H_2O_2 ile NO arasında etkileşim olduğu bildirilmektedir. Ancak aralarındaki ilişkide anlaşılmayan durumlar vardır. Çalışmamızda da literatürlerde belirtildiği gibi H_2O_2 uygulamasında NO üretiminde artış olduğu belirlenmiştir [286, 287]. Ancak kuraklığa dayanıklı Doğu-88 çeşidinde H_2O_2 uygulamasına bağlı olarak NO düzeyinde meydana gelen kararsızlık bu iki sinyal molekülü arasındaki etkileşim mekanizmasının kompleksliğine işaret etmektedir. NO'nun doğrudan ya da dolaylı olarak hidrojen peroksit, salisilik asit ve sitosolik Ca^{+2} gibi diğer sinyal molekülleri ile ilişkili olabileceği belirtilmiştir [55, 57, 274]. PEG+SNP uygulamasında Doğu-88 çeşidinde 10 μM konsantrasyonda belirlenen NO düzeyinin günlere bağlı olarak azaldığı, 100 μM ve 1000 μM konsantrasyonlarda ise arttığı belirlenmiştir. Bu sonuç düşük konsantrasyonda SNP uygulamasında NO üretiminin kuraklık stresi tarafından baskılandığını düşündürmektedir. Yıldırım çeşidinde belirlenen NO düzeylerinde ise 100 μM PEG+SNP uygulamasında azalış ve artışların olduğu, 10 μM konsantrasyonda artışların olduğu belirlenmiştir. Her iki bitki çeşidinde PEG+SNP uygulamasında belirlenen NO düzeyleri kontrol grubuna göre yüksek bulunmuştur. PEG+ H_2O_2 uygulamasının NO düzeyi üzerine etkisinin Doğu-88 ve Yıldırım çeşidinde farklı olduğu belirlenmiştir. Doğu-88 çeşidinde PEG+ H_2O_2 uygulamasının 1000 μM konsantrasyonunda NO düzeyinin günlere bağlı olarak arttığı, 10 μM ve 100 μM konsantrasyonlarda ise azalış ve artışların olduğu gözlenmiştir. Yıldırım çeşidinde ise 10 μM

ve 1000 μM konsantrasyonlarda günlere bağılı olarak NO düzeyinin arttığı, 100 μM konsantrasyonda ise azalış ve artışın olduğu belirlenmiştir.

5.10. *T. aestivum* L. cv. “Doğu-88” ve *T. aestivum* L. cv. “Yıldırım” Buğday Bitkilerinin Yaprak Dokularında Uygulama Gruplarının Nitrik Oksit Sentaz Aktiviteleri Üzerine Etkileri

Doğu-88 çeşidi yaprak dokusunda NOS aktivitesinin kuraklık, SNP, H_2O_2 , PEG+SNP ve PEG+ H_2O_2 uygulamalarına bağılı olarak her üç günde arttığı Şekil 4.22’de görülmektedir.

Yıldırım çeşidi yaprak dokusunda NOS aktivitesinin kuraklık, SNP, H_2O_2 , PEG+SNP ve PEG+ H_2O_2 uygulamalarına bağılı olarak arttığı belirlenmiştir (Şekil 4.32).

Yapılan bir çalışmada, Xu vd. [313] çayır otunun 2 varyetesinin (Arid3 ve Houndog5) yapraklarında ışığın yüksek miktarlarınca oluşturulan oksidatif hasar üzerine NO’nun etkilerini araştırmışlardır. Işığa toleranslı Arid3 varyetesinde yüksek ışık stresine maruz kaldıktan sonra nitrik oksit sentaz (NOS) aktivitesinde ve NO salınımında belirgin bir artış, daha duyarlı olan Houndog5 varyetesinde ise çok düşük miktarda artış olduğu bildirilmiştir. Arasimowicz-Jelonek vd. [318] yaptıkları çalışmada salatalık bitkisinin köklerinde su eksikliğinin nitrik oksit (NO) üretimi üzerine etkilerini araştırmışlardır. Araştırmacılar su eksikliği teşvikli NO üretiminin özel NO süpürücüsü olan cPTIO, NR ve NOS inhibitörleri tarafından engellendiğini ileri sürmüşlerdir. Sang vd. [328] çalışmalarında; su stresi altındaki mısır bitkisi yapraklarında nitrik oksit üretim kaynaklarının, su stresinin neden olduğu hidrojen peroksit birikiminde ve antioksidan enzimlerin subselular aktivitelerinde nitrik oksidin rolünü araştırmışlardır. Çalışmada su stresinin savunmayı teşvik ettiği ve mısır mezofil hücrelerinde nitrik oksit üretiminin, sitozolik ve mikrozomal bölümlerde ise nitrik oksit sentaz (NOS) aktivitesinin arttığı saptanmıştır. Su stresinin sonucunda meydana gelen nitrik oksit üretimindeki bu artışın NOS ve nitrat redüktaz (NR) inhibitörleri ile ön muamele yapılmasıyla bloke edildiği, bu sebeple su stresi altındaki mısır yapraklarında nitrik oksit üretiminin, NOS ve NR’den kaynaklandığının düşünüldüğü belirtilmiştir. Su stresinin aynı zamanda kloroplastik ve sitozolik antioksidan enzimlerin (süperoksit dismutaz, askorbat peroksidaz, glutatyon redüktaz) aktivitelerini artırdığı, bu durumun da NOS ve NR inhibitörleri ile ön muamele yapılarak tersine çevrildiği bildirilmiştir. Aynı çalışmada, dışsal olarak uygulanan nitrik oksidin, su stresinin neden olduğu subselular antioksidan enzimlerin aktivitelerini artırdığı ve hidrojen peroksit birikimini azalttığı görülmüştür. Bu sonuçlardan NOS ve NR’nin su stresinin neden olduğu nitrik oksit üretimiyle ilişkili oldukları sonucuna varılmıştır.

Doğu-88 ve Yıldırım çeşitlerinin yaprak dokularında kuraklık uygulamasına bağlı olarak NOS enzim aktivitesinde artış saptanmış olup bu sonuçlar literatürler ile [313, 318, 328] uygunluk göstermektedir. SNP uygulamalarına bağlı olarak her iki buğday çeşidinde de NOS aktivitesinin her üç konsantrasyonda günlere bağlı olarak arttığı saptanmıştır. Bu sonuçlar NO üretiminde NOS'un etkili olduğuna işaret etmektedir [46].

5.11. *T. aestivum* L. cv. “Doğu-88” ve *T. aestivum* L. cv. “Yıldırım” Buğday Bitkilerinin Yaprak Dokularında Uygulama Gruplarının Siklik Guanozin Monofosfat Düzeyleri Üzerine Etkileri

. Doğu-88 çeşidi yaprak dokusunda kuraklık, SNP, H₂O₂ (1000 µM konsantrasyonu hariç) , PEG+SNP ve PEG+ H₂O₂ uygulamalarına bağlı olarak cGMP düzeylerinde her üç günde artışlar olduğu belirlenmiştir (Şekil. 4.23).

Yıldırım çeşidi yaprak dokusunda kuraklık, SNP, H₂O₂, PEG+SNP ve PEG+ H₂O₂ uygulamalarına bağlı olarak cGMP düzeylerinde günlere bağlı olarak artışlar olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.33).

Literatürlerde NO ve cGMP arasında ilişki bulunduğu bildirilmektedir [190, 269, 276, 314]. Neill vd. [57] cGMP sentezinin bitkilerde belirlendiğini ve cGMP sentezinin NO tarafından artırıldığını belirtmişlerdir. *Arabidopsis*'te ABA, nitrik oksit NO ve hidrojen H₂O₂ tarafından sağlanan stoma kapanmasına cGMP'nin aracılık ettiği bildirilmiştir [360]. Sirova vd. [361], etilen, giberellik asit ve absisik asit ile NO arasındaki sinyal ilişkileri üzerine yaptıkları çalışmada polende, NO ile ROT, Ca⁺², cAMP ve cGMP gibi ikincil mesajcılar arasındaki etkileşimin NO uyarısının yaygın mekanizmasını gösterdiğini belirtmişlerdir. Yapılan bir çalışmada NO ve H₂O₂'nin cGMP konsantrasyonunu artırdığı belirtilmiştir. NO ve H₂O₂ konsantrasyonundaki artışa paralel olarak cGMP'nin arttığı bildirilmiştir. Araştırmacılar, *Arabidopsis*'te NO, H₂O₂ ve ABA tarafından uyarılan stoma kapanmasında cGMP'nin aracılık ettiğini de belirtmişlerdir [360]. Buğday tohumlarının çimlenmesinde toksik etkilere karşı SNP'nin koruyucu rolünün cGMP sinyal yoluna bağlı olduğu ve pirinç tohumlarında SNP uygulamasının alüminyumun engelleyici etkisinin hafifletilebileceği bildirilmiştir [363]. Bogdan [364], nitrik oksit sinyalinin ikincil mesajcı cGMP'ye bağlı olabileceğini bildirmiştir. Bunun yanında NO'nun hücreler arası sinyal cevabının cGMP ve cADPR üretiminden sitosolik kalsiyumun artmasına kadar bir çok aşamayla ilgili olmasına rağmen bu konu hakkında kesin bir bilginin bulunmadığı da rapor edilmiştir [365]. Liao vd. [366] yaptıkları çalışmada kadife çiçeğinde kök gelişimi üzerine NO ve H₂O₂'nin rollerini araştırmışlardır. Araştırmalarının sonucunda kök gelişiminin NO ve H₂O₂'nin dozlarına bağlı olduğu ve 200 µM H₂O₂ ile 50 µM SNP'nin maksimum biyolojik cevabı sağladığını rapor

etmişlerdir. Bunlara ek olarak cGMP'nin NO'nun sağladığı kök gelişimine katılırken H₂O₂'nin sağladığı kök gelişimine katılmadığı belirtilmiştir. Ayrıca NO'nun hipokotillerde içsel H₂O₂ içeriğini artırdığını da bildirmişlerdir.

Çalışmamızda elde ettiğimiz cGMP içeriklerinin kuraklık uygulamasında her iki buğday çeşidinde de günlere bağlı olarak arttığı belirlenmiş olup bu sonuçlar stres şartlarında cGMP'nin sinyal iletiminde rol oynadığına işaret etmektedir. Benzer şekilde SNP ve H₂O₂ uygulamalarında da her iki çeşitte cGMP içeriğinde artış meydana geldiği saptanmış olup bu sonuçlar literatürler ile [360, 363, 365, 366] uygunluk göstermektedir. PEG+SNP ve PEG+H₂O₂ uygulamalarında da her iki buğday çeşidinin yaprak dokularında uygulamaların konsantrasyonlarına ve günlerine bağlı olarak cGMP düzeylerinin arttığı belirlenmiştir. Bu sonuçlar cGMP'nin kuraklık şartlarında NO ve H₂O₂ ile birlikte çalıştığına işaret etmektedir.

5.12. *T. aestivum* L. cv. “Doğu-88” ve *T. aestivum* L. cv. “Yıldırım” Buğday Bitkilerinin Yaprak Dokularında Uygulama Gruplarının Süperoksit Dismutaz, Katalaz ve Glutasyon Peroksidaz Enzim Aktiviteleri Üzerine Etkileri

Doğu-88 çeşidi yaprak dokusunda kuraklık uygulamasına bağlı olarak saptanan SOD enzim aktivitesinin günlere bağlı olarak arttığı belirlenmiştir. SNP, H₂O₂ ve PEG+SNP uygulamalarında SOD enzim aktivitelerinin günlere bağlı olarak azaldığı saptanmıştır. PEG+H₂O₂ uygulamasında SOD enzim aktivitesinin 10 µM konsantrasyonda günlere bağlı olarak arttığı, 100 µM ve 1000 µM konsantrasyonlarda ise azaldığı bulunmuştur (Şekil 4.24). Yıldırım çeşidi yaprak dokusunda kuraklık, H₂O₂, PEG+SNP ve PEG+ H₂O₂ uygulamalarında SOD enzim aktivitelerinin günlere bağlı olarak azaldığı saptanmıştır SNP uygulamasında ise SOD enzim aktivitelerinin günlere bağlı olarak arttığı saptanmıştır (Şekil 4.34).

Doğu-88 bitkisi yaprak dokusunda CAT enzim aktivitesinin kuraklık, SNP, H₂O₂, PEG+SNP ve PEG+H₂O₂ uygulamalarında günlere bağlı olarak azaldığı saptanmıştır (Şekil 4.25). Yıldırım çeşidi yaprak dokusunda kuraklık, H₂O₂ ve PEG+SNP uygulamalarında CAT enzim aktivitesinin günlere bağlı olarak azaldığı ve SNP uygulamasında ise arttığı saptanmıştır. PEG+H₂O₂ uygulamasında ise CAT enzim aktivitelerinin 10 µM konsantrasyonda azalış ve artışların olduğu, 100 µM ve 1000 µM konsantrasyonlarda ise günlere bağlı olarak azaldığı belirlenmiştir (Şekil 4.35).

Doğu-88 çeşidi yaprak dokusunda kuraklık, SNP, H₂O₂, PEG+SNP ve PEG+H₂O₂ uygulamalarında günlere bağlı olarak azalan GSH-Px enzim aktiviteleri belirlenmiştir (Şekil 4.26) Yıldırım çeşidi yaprak dokusunda kuraklık, H₂O₂, PEG+SNP ve PEG+H₂O₂ uygulamalarında GSH-Px enzim aktivitesinin günlere bağlı olarak azaldığı saptanmıştır. SNP uygulamasında ise arttığı belirlenmiştir (Şekil 4.36).

Yapılan bir çalışmada, 5 buğday genotipinde (PBW 34 ,PBW 175, HDR-77, HD-2815 VE HD-2865) yüksek sıcaklık stresinin antioksidan enzim aktivitesi üzerine etkileri araştırılmıştır. Araştırmacılar, bitki gelişimin her aşamasında SOD, APX ve CAT aktivitesinde belirgin bir artışın bulunduğunu, GR ve POX aktivitesinde ise azalışların olduğunu bildirmişlerdir [387]. Basu vd. [315] tarafından yapılan çalışmada IR-29 (tuza duyarlı), Pokkali (tuza dayanıklı) ve Pusa Basmati (PB) prinç çeşitlerini, PEG kullanarak oluşturdukları kuraklık stresi koşullarında yetiştirmişler, stres sonunda yapraklarda SOD, CAT ve GPX enzim aktivitelerini belirlemişlerdir. Çalışma sonucunda PB ve IR-29 çeşitlerinde SOD ve CAT aktiviteleri azalma gösterirken, Pokkali çeşidinde herhangi bir değişim meydana gelmediği, GPX aktivitesinin ise tüm çeşitlerde artış gösterdiği bildirilmiştir. Ayrıca IR-29 çeşidinde oksidatif zararın daha fazla olduğu, Pokkali çeşidinde ise enzim aktivitelerinin diğer çeşitlere nazaran daha yüksek olduğu ve bu şekilde tuza tolerans seviyesinin de arttığı rapor edilmiştir. Sanchez-Rodriguez vd. [316] kuraklık stresinin domateste GR, APX ve CAT enzim aktivitelerinin artış gösterdiğini saptamışlardır. Farklı bir çalışmada, Yaşar vd. [95] tuz stresinin karpuz (*Citrullus lanatus* (Thunb.) Mansf.) yapraklarındaki antioksidatif enzim aktiviteleri (SOD, CAT, APX ve GR) üzerine etkisini belirlemek için yaptıkları çalışmada; tuza duyarlı Golden Crown F1, Crimson Sweet ile tuza-tolerant Diyarbakır ve Midyat yerel genotipinin fideleri kontrollü iklim odasında su kültüründe test etmişlerdir. Tuz uygulanan parsellerde, tuza dayanıklılık genotiplerin SOD, CAT, APX ve GR enzim aktivitelerinin duyarlı olanlara göre çok yüksek olduğu saptanmıştır. Midyat yerel genotipi SOD, CAT ve GR enzim aktiviteleri, Diyarbakır genotipi ise APX enzim aktivitesi bakımından diğerlerine göre daha yüksek bulunmuştur. Ayrıca kontroldeki (0 mM NaCl) Midyat yerel genotipi fidelerinin yaprak SOD, APX ve GR enzim aktivitelerinin, tuzlu ortamda kültüre alınan duyarlı genotiplerden fazla saptanmıştır. Farklı bir çalışmada, Hoagland kültür çözeltilisinde büyütülen ayçiçeği bitkisine 17 gün süreyle 100 µM SNP uygulaması yapılmıştır. Bundan farklı olarak kontrol grubuyla SNP uygulaması yapılan bitkilere 7. günden itibaren 10 gün süreyle 0.5 mM kadmiyum uygulaması (Cd+NO) yapılmıştır. Araştırma sonucunda SNP uygulaması yapılmayan grupta Cd toksitesinin neden olduğu klorozis, büyüme inhibisyonu ve yaprakların iç kısımlarındaki nekrotik noktalar gibi semptomların meydana geldiği, SNP ile muamele edilen grupta ise büyümede çok az miktarda inhibisyon olduğu, klorozis ve nekrozisin oluşmadığı bildirilmiştir. SOD enzim aktivitesinin kontrol grubunda 25.6±0.6 U/g yaş ağırlık, Cd uygulama grubunda 53.7±0.7 U/g yaş ağırlık, NO+Cd grubunda 40.46±1.3 U/g yaş ağırlık ve NO uygulama grubunda ise 24.3±0.8 U/g yaş ağırlık olduğu rapor edilmiştir. CAT enzim aktivitesinin ise kontrol grubunda 2.31±0.01 U/g

yaş ağırlık, Cd grubunda 1.35 ± 0.02 U/ U/g yaş ağırlık, Cd+NO grubunda 2.81 ± 0.03 U/ U/g yaş ağırlık ve NO grubunda ise 2.84 ± 0.03 U/ U/g yaş ağırlık olduğu belirtilmiştir. Araştırmacılar, ayçekirdeği bitkisinde Cd uygulamasından önce NO uygulamasının Cd'un neden olduğu oksidatif hasarı azaltabileceğini ve büyüme inhibisyonunun, klorofil parçalanmasının önlenmesi, antioksidan enzim aktivitelerini düzenlediği bildirmişlerdir. Ayrıca araştırmacılar, içsel NO sentezi için alternatif enzimatik kaynakların tamamen açıklanmasının bu molekülün stres toleransı ilişkisine yardımcı olacağını da rapor etmişlerdir [29]. Sang vd. [328] çalışmalarında su stresi altındaki mısır bitkisi yapraklarında nitrik oksit üretim kaynaklarının, su stresinin neden olduğu hidrojen peroksit birikiminde ve antioksidan enzimlerin aktivitelerinde nitrik oksidin rolünü araştırmışlardır. Çalışma sonucunda mısır mezofil hücrelerinde nitrik oksit üretiminin, sitozolik ve mikrozomal bölümlerde ise nitrik oksit sentaz (NOS) aktivitesinin arttığı saptandığı, su stresinin aynı zamanda kloroplastik ve sitozolik antioksidan enzimlerin (Süperoksit dismutaz, Askorbat peroksidaz, Glutatyon redüktaz) aktivitelerini artırdığı, bu durumun da NOS ve NR inhibitörleri ile ön muamele yapılarak tersine çevrildiği ve dışsal olarak uygulanan nitrik oksidin, su stresinin neden olduğu subelular antioksidan enzimlerin aktivitelerini artırdığı ve hidrojen peroksit birikimini azalttığı rapor edilmiştir. Khanna-Chopra ve Selote [331], tarafından yapılan bir çalışmada; iki buğday varyetesinin yapraklarında oksidatif stres kontrolünün ortaya çıkarılması amaçlanmıştır. Bunun için kuraklığa dayanıklı olarak C306 ve kuraklığa duyarlı olarak da Moti çeşitleri kullanılmıştır. Çalışmada örnekler doğrudan kuraklık stresine tabi tutulmuştur. Bunun yanında geri sulamayla kuraklığa alıştırma şeklinde de uygulama yapılmıştır. Araştırmada kuvvetli stres koşulları süresince kuraklığa alıştırılan C306 bitkilerinin kuraklığa alıştırma yapılmayan C306 bitkilerine göre daha iyi su içeriğine sahip oldukları ve düşük miktarda hidrojen peroksit birikiminden dolayı membran zararının daha az olduğu bildirilmiştir. Bu durumun özellikle APX ve POX gibi antioksidan enzimlerin aktivitelerinden kaynaklandığı belirtilmiştir. Moti bitkilerinde ise düşük turgor, yüksek hidrojen peroksit ve zayıf antioksidan enzim yanıtları gözlemlendiği de saptanmıştır. Terzi ve Kadioğlu [334] *Ctenanthe setosa* (Rosc.)'nın yaprak, petiyol ve köklerinde yaprak kıvrılması süresince antioksidan enzim sisteminin kuraklık toleransı ile ilişkisini araştırmıştır. Yapraklardaki SOD enzim aktivitesinin önemli bir değişim göstermediği, petiyol ve kökte ise kuraklığın erken dönemlerinde azaldığı, uzun dönemde ise arttığı belirtilmiştir. Kontrol ile kıyaslandığında glutatyon redüktaz aktivitesinin yaprak ve petiyolde önemli bir değişiklik göstermediği ancak kökte arttığı, peroksidaz aktivitesinin ise kökte azalırken yaprak ve petiyolde arttığı bildirilmiştir. Çalışmalarının sonucunda kuraklık stresi ile antioksidan enzim sisteminin

yakından ilişkili olduğunu belirtmişlerdir. Chou vd. [301] tarafından yapılan bir çalışmada sıcaklık ve kadmiyum (Cd) etkisindeki pirinç fidelerinin yapraklarında GR ve APX ifadesinde meydana gelen değişimlerde H₂O₂ etkisi araştırılmıştır. Sıcaklık uygulamasının H₂O₂ miktarında artış sağlamasından önce APX ve GR aktivitesinde artış sağladığı rapor edilmiştir. Araştırmacılar, H₂O₂ üretimindeki artış ile GR ve APX enzimlerinin aktivitelerindeki artışın ise NADPH oksidazın inhibitörleri olan difenil iodoniyum (DPI) ve imidazol (IMD) tarafından engellendiği de bildirilmiştir. Sıcaklık etkisi ile teşvik edilen OsAPX2 gen ifadesinin sıcaklık etkisi ile teşvik edilen APX aktivitesi ile ilişkili olduğu ancak bu durumun H₂O₂ tarafından düzenlenemediği belirtilmiştir. Kadmiyum uygulamasının H₂O₂ içeriğinde ve GR ile APX enzimlerinin aktivitesinde artış sağladığı ancak bu artışın sıcaklık uygulamasına nazaran daha az olduğu bildirilmiştir. Araştırmacılar, kadmiyum uygulamasının sıcaklık etkisi olmadan APX ve GR enzim aktivitelerinden önce H₂O₂ içeriğini artırdığını, DPI ve IMD ile muamelenin ise kadmiyum tarafından teşvik edilen H₂O₂ içeriğindeki artış ile GR ve APX aktivitesindeki artışı güçlü bir şekilde inhibe ettiğini hatta IDM ve DPI uygulamasının H₂O₂ uygulamasına yardımcı olabileceğini ve bu sonuçlardan pirinç yapraklarında sıcaklık ve kadmiyumun APX ve GR enzimlerinin aktivitelerindeki artışı H₂O₂'nin düzenleyici etki yapabileceği sonucuna vardıklarını bildirmişlerdir. Sairam vd. [141] uzun süreli toprak tuzluluğunun etkisi iki farklı buğday çeşidinde araştırılmıştır. Çalışmada tuza dayanıklı olan Kharchia 65 ve daha az dayanıklı KRL 19 çeşidi kullanılmıştır. Tuz stresinin her iki bitki çeşidinde de oransal su içeriği, klorofil, karatenoid, membran stabilite indeksi, toplam ağırlık ve ürün miktarında azalmaya neden olduğu, hidrojen peroksit, tiobarbutirik asit reaktif maddesi, prolin, glisin-betain, çözünebilir şeker, SOD, CAT ve GR aktivitesinde artış sağladığı rapor edilmiştir. Tuz stresinin parametrelerde neden olduğu azalmanın duyarlı olanda dayanıklı olana göre daha fazla olduğu SOD, CAT ve GR aktivitesi ile prolin, çözünebilir şeker, Na ve Na/K oranının ise dayanıklıda daha yüksek olduğu rapor edilmiştir. Farklı bir çalışmada *Cleome gynandra* ve *Cleome spinosa* bitkileri 3 hafta büyütüldükten sonra 10 gün kuraklık stresinde muamele edilmiş ve kuraklık uygulamasının 0. 5. ve 10. günlerinde örnekler alınmıştır. Yaprak dokusunda OSI nin 5. ve 10. günlerde arttığı, 5. gündeki SOD aktivitesin *C. spinosa*'da önemli fark göstermedi, 10. günde ise kontrollere göre SOD aktivitesini %22.68 oranında artırdığı belirtilmiştir. Ayrıca 5. günde *C. gynandra* bitkisinde SOD aktivitesinin *C. spinosa*'dan yüksek olduğu, 10. günde ise her ikisinde benzer miktarlarda SOD aktivitesi bulunduğu bildirilmiştir. CAT enzim aktivitesi ise kontrol grubuyla karşılaştırıldığında her iki çeşitte 5. günde yaklaşık olarak %45.75 arttığı, 10. günde ise kuraklık stresinde *C. gynandra*'da CAT aktivitelerinin *G.spinosa*'ya göre daha yüksek

olduğu belirlenmiştir [100]. Agarwal vd. [388] tarafından yapılan bir çalışmada C306 ve Hira buğday genotiplerinde antioksidan enzim indüksiyonu üzerine H_2O_2 , Ca^{+2} , ABA ve SA'nın düzenleyici rolleri araştırılmıştır. Çalışmanın sonuçlarına göre 1 mM SA, 0.5 mM ABA, 5 mM Ca^{+2} ve 0.05 mM H_2O_2 uygulamasının SOD, APX, CAT ve NADPH oksidaz aktivitelerini oldukça artırdığı bildirilmiştir. Yapılan başka bir çalışmada, *Oryza sativa* L. cv. Nipponbare bitkilerine 0, 1, 10, 100, 1000 μ M SNP ve H_2O_2 ön uygulaması yapılmıştır. Daha sonra bitkiler 100 μ M NaCl bulunan ortamda 8 gün süreyle büyütülmüştür. Aynı zamanda bitkiler NaCl içermeyen ortamda da yetiştirilmiştir. Yüksek konsantrasyonda H_2O_2 'nin oksidatif hasara neden olduğu, düşük konsantrasyonda ise tuz stres toleransını artırdığı bildirilmiştir. Tuz stresine bağlı olarak, 1–10 μ M SNP ön uygulamasının 100 μ M SNP ön uygulamasına göre büyüme inhibisyonunu önemli derecede azalttığı rapor edilmiştir. Bunun yanında SNP ön uygulamasının H_2O_2 'ye göre POX ve SOD enzim aktiviteleri üzerine daha etkili olduğu bildirilmiştir. Araştırmacılar H_2O_2 ve NO'nun abiyotik stres için önemli bir sinyal molekülü olabileceğini de ileri sürmüşlerdir [49].

Yaptığımız çalışmada kuraklığa dayanıklı olan Doğu-88 çeşidi yaprak dokusunda duyarlı olan Yıldırım çeşidi yaprak dokusuna göre daha yüksek SOD ve GSH-Px antioksidan enzim aktiviteleri saptanmıştır. CAT enzim aktivitesi ise Yıldırım çeşidinde daha yüksek bulunmuştur. Kuraklık uygulamasına bağlı olarak Doğu-88 çeşidinin yaprak dokusunda SOD enzim aktivitesinin günlere bağlı olarak arttığı belirlenirken Yıldırım çeşidinde bu durumun tam tersi olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuç bitkinin kuraklık toleransına uyum mekanizmasında antioksidan enzim aktivitelerinin önemini ortaya koymaktadır. Elde ettiğimiz bu sonuç literatürler [307, 315, 331] ile uygunluk göstermektedir. Kuraklığa dayanıklı olan Doğu-88 çeşidinin yaprak dokusunda SNP uygulamasında konsantrasyonlara paralel olarak SOD enzim aktivitesinde artışların olduğu, SNP uygulamasında belirlenen SOD enzim aktivitesinin kontrol grubundan oldukça yüksek olduğu ve günlere bağlı olarak azaldığı belirlenmiştir. Kuraklığa duyarlı olan Yıldırım çeşidinde ise SNP uygulamalarının her üç konsantrasyonunda SOD enzim aktivitesinin günlere bağlı olarak artış gösterdiği, bu değerlerin kontrol grubundan yüksek olduğu, Doğu-88 çeşidinde belirlenen aktiviteden ise daha az olduğu belirlenmiştir. Bu sonuçlar SNP'nin ve dolayısıyla NO'nun antioksidan enzim sistemi üzerine etkili olduğunu göstermektedir. Özellikle SNP uygulamasının 2. gününde her iki bitki çeşidinde de kontrol grubuna ve kuraklık uygulamasına göre yüksek SOD enzim aktiviteleri belirlenmiş olup elde ettiğimiz sonuçlar literatürler [29, 327] ile uygunluk göstermektedir. Doğu-88 çeşidinde gözlemlenen enzim aktivitesindeki azalmanın ise reaktif oksijen türü olan NO'nun bitkide hızlı antioksidan savunma cevabı oluşturduğu ve bitkinin bu

durum karşısındaki sinyal yanıtlarının bu şekilde düzenlendiği düşünülmektedir. Yapılan bir çalışmada 16 gün boyunca 150 mM NaCl ile uygulama yapılan ve yapılmayan narenciye bitkisinin köklerinin, 8 saat süreyle 10 mM H₂O₂ ve 48 saat süreyle 100 µM sodyum nitroprussid (SNP) uygulamasına bağlı olarak bitkinin yapraklarındaki birincil antioksidan savunma yanıtları araştırılmıştır. Tuzlulukla beraber gerçek enzim aktivitelerinin H₂O₂ veya SNP'ye yanıt olarak yeniden düzenlendiği bildirilmiştir [321]. H₂O₂ uygulamasının her üç konsantrasyonunda belirlenen SOD enzim aktivitesinin Doğu-88 ve Yıldırım çeşidinde günlere bağlı olarak azaldığı saptanmıştır. H₂O₂ uygulamasının devam ettirilmesiyle ilerleyen günlerde SOD enzim aktivitesinin kontrol grubunda belirlenen değerlere göre azaldığı da çalışmamızda gözlenmiştir. Wi vd. [389], hidrojen peroksit uygulanan transgenik bitkilerde hidrojen peroksidin etilen biyosentezini azalttığını, MnSOD, CuZnSOD ve CAT gibi ROT temizleyici antioksidan enzimlerin aktivitelerinde ise artışlara neden olduğunu bildirmişlerdir. Bu sonuçlar literatür [389] ile farklılık göstermektedir. Çalışmamızda uygulama gruplarının erken aşamasında antioksidan enzim aktivitelerinin arttığı ancak ilerleyen dönemlerde azalmaya başladığı belirlenmiştir. Buna kullanılan materyallerin fizyolojik farklılıklarının sebep olduğu düşünülmektedir. Buna ilave olarak antioksidan enzimin artan H₂O₂ içeriğini düşürmeye çalıştığı için aktivitede azalma meydana geldiğini söyleyebiliriz. Her iki bitki çeşidinde de PEG+SNP uygulamasında belirlediğimiz SOD enzim aktivitesinin günlere bağlı olarak azaldığı belirlenmiştir. Ancak Doğu-88 çeşidinde ki SOD enzim aktivitesinin Yıldırım çeşidine göre yüksek olduğu bulunmuştur. PEG+SNP uygulamasında elde edilen SOD enzim aktivitelerinin kuraklık uygulamasından elde edilen aktiviteden yüksek olması NO vericisi SNP'nin kuraklığın olumsuz etkisini düzelttiği fikrini vermektedir. PEG+H₂O₂ uygulamasında 10 µM konsantrasyonda belirlenen SOD enzim aktivitesinin Doğu-88 çeşidinde günlere bağlı olarak arttığı, Yıldırım çeşidinde ise azaldığı çalışmamızda belirlenmiştir. Her iki bitki çeşidinde 100 µM ve 1000 µM konsantrasyonda belirlenen SOD enzim aktivitesinin günlere bağlı olarak azaldığı saptanmıştır. Ayrıca Doğu-88 ve Yıldırım çeşidinde PEG+H₂O₂ uygulamasında belirlenen SOD enzim aktivitelerinin bitkilerin kontrol gruplarında belirlenen SOD enzim aktivitelerinden daha az olduğu gözlenmiştir. Bu sonuçlar antioksidan savunma sisteminin stres şartlarıyla başa çıkmaya çalıştığını akla getirmektedir.

Yaptığımız çalışmada kuraklığa dayanıklı olan Doğu-88 çeşidinin yaprak dokusundaki CAT aktivitesinin kuraklığa duyarlı olan Yıldırım çeşidine göre daha az olduğu belirlenmiştir. Simova-Stoilova vd. [329] erken gelişim aşamalarında, antioksidan yanıtlar ile kuraklık duyarlılığı veya toleransında varyetelerde önemli bir ilişki bulunmadığını rapor etmişlerdir. Kuraklık uygulamasında her iki bitki çeşidinde CAT enzim aktivitesinin günlere

bağlı olarak azaldığı, Doğu-88 çeşidinde meydana gelem azalmanın ise Yıldırım çeşidine göre daha fazla olduğu çalışmamızda belirlenmiştir. Bu sonuçlar Ali vd. [336] tarafından PEG ile oluşturulan stres şartlarında *Spathiphyllum* bitkisinde thiobarbutirik asit reaktif maddeleri birikiminin etkisiyle CAT, GR, GPx ve glutatyon S-transferaz (GST) aktivitelerindeki inhibisyonun oksidatif stresi ortaya çıkardığı bildirdikleri çalışma ile uygunluk göstermektedir. SNP uygulamasında kuraklığa dayanıklı buğday çeşidi olan Doğu-88'de CAT aktivitelerinin oldukça arttığı belirlenmiş olup, CAT enzim aktivitesinin günlere bağlı olarak azaldığı da saptanmıştır. Kuraklığa duyarlı olan Yıldırım çeşidinde ise SNP uygulamasının her üç konsantrasyonunda CAT enzim aktivitesinin günlere bağlı olarak arttığı belirlenmiştir. Doğu-88 çeşidinin yaprak dokusunda belirlenen CAT enzim aktivitesinin Yıldırım çeşidinde belirlenen enzim aktivitesine göre oldukça yüksek olduğu gözlenmiştir. Elde ettiğimiz bu sonuçlar SNP uygulamasının antioksidan enzim aktivitesi üzerine etkilerinin farklı olduğunu ortaya koymaktadır. Kuraklığa dayanıklı olan bitkide enzim aktivitesinde belirgin bir artış ve ilerleyen günlerde azalma meydana gelirken duyarlı olan çeşitte enzim aktivitesinde artış olmuştur. Bu sonuçlar Wang vd. [314] tarafından NO'nun reaktif oksijen türleri mekanizması ve bitki gelişmesi üzerine ikili etki yaptığını rapor ettikleri çalışma ile uygunluk göstermektedir. Yıldırım çeşidinde SNP etkisiyle CAT enzim aktivitesinde meydana gelen artış Zhang vd. [340] tarafından yapılan çalışma ile paralellik göstermektedir. Doğu-88 çeşidinde ise NO reaktif oksijen türevi olarak hareket edip bitkideki antioksidan enzim aktivitesini düşürmüştür. Çalışmamızda, H₂O₂ uygulamasının her üç konsantrasyonunda Doğu-88 ve Yıldırım çeşidinin yaprak dokularında belirlenen CAT enzim aktivitesinin günlere bağlı olarak azaldığı belirlenmiştir. Çalışmamızda H₂O₂ uygulamasının 2. gününde literatürde Zhang vd. [310]'nin H₂O₂ uygulamasının antioksidan enzim aktivitesini artırdığını belirttikleri çalışmalarına benzer şekilde CAT enzim aktivitesinde artış olduğu belirlenmiştir. Uygulamaya devam edildikçe CAT enzim aktivitesinde azalma meydana gelmiştir. Bu sonuç, H₂O₂ uygulamasının stres ortamı oluşturduğu ve bunun sonucunda enzim aktivitesini teşvik ettiği ve aktivitenin artan H₂O₂ miktarı ile azaldığı fikrini vermektedir. PEG+SNP uygulamasında her iki bitki çeşidinde her üç konsantrasyonda belirlenen CAT enzim aktivitesinin günlere bağlı olarak azaldığı belirlenmiştir. Yıldırım çeşidinde PEG+SNP uygulamasının 10 µM konsantrasyonunun 6. günündeki CAT enzim aktivitesinin kuraklık uygulamasının 6. gününde belirlenen CAT enzim aktivitesinden az olduğu tespit edilmiştir. 100 µM ve 1000 µM konsantrasyonlardaki CAT enzim aktivitelerinin kuraklık uygulamasından yüksek olduğu bulunmuştur. Benzer şekilde Doğu-88 çeşidinin yaprak dokusunda PEG+SNP uygulamasının her üç konsantrasyonunda belirlenen CAT

enzim aktivitesinin kuraklık uygulamasındaki CAT enzim aktivitesinden yüksek olduğu gözlenmiştir. Bu sonuçlar NO'nun antioksidan enzim sistemi üzerine olumlu etki yaptığını göstermektedir. Yaptığımız çalışmada elde ettiğimiz bu sonuçlar Tan vd. [327] bildirdikleri sonuçlar ile uygunluk göstermektedir. PEG+H₂O₂ uygulamasında her iki bitki çeşidinde de CAT enzim aktivitesinin günlere bağlı olarak azaldığı tespit edilmiştir. Doğu-88 çeşidinde PEG+H₂O₂ uygulamasında belirlenen CAT enzim aktivitesinin tek başına kuraklık uygulamasında belirlenen CAT enzim aktivitesinden yüksek olduğu belirlenirken Yıldırım çeşidinde ise PEG+H₂O₂ uygulamasında her üç konsantrasyonda 2. günde belirlenen CAT enzim aktivitesinin tek başına kuraklık uygulamasındaki enzim aktivitesinden, 4. günde sadece 10 µM konsantrasyonda belirlenen aktivitenin tek başına kuraklık uygulamasındaki aktiviteden yüksek olduğu bunun dışında belirlenen CAT enzim aktivitelerinin ise kuraklık uygulamasında belirlenen aktiviteden az olduğu saptanmıştır. Bu sonuçlar H₂O₂'nin kuraklığa duyarlı olan bitkide stres şartlarını artırarak antioksidan savunma sistemi üzerine baskılayıcı etki yaptığını, kuraklığa dayanıklı bitkide ise kuraklık şartlarının oluşturduğu olumsuz durumu düzeltici etki yaptığını işaret etmektedir. Sonuçlarımız He vd. [319] tarafından, H₂O₂ ile ön muamele yapılan buğday tohumlarının kuraklığa dayanıklılığını araştırdıkları çalışmada rapor ettikleri H₂O₂'nin stres şartları altında antioksidan enzimlerin aktivasyonunu tetiklediği böylece oksidatif hasarın hafifletildiği ve kuraklık şartları altında filizlerin fizyolojik davranışlarını iyileştirdiği sonucuyla kısmen uygunluk göstermektedir. Bunun sebebinin çalışmamızda kuraklık ile H₂O₂ uygulaması bitki çimlendikten sonra uygulanması ve bu uygulamanın günlere ve konsantrasyonlara bağlı olarak sürdürülmesinden kaynaklanmış olduğu düşünülmektedir.

Çalışmamızda, kuraklığa dayanıklı olan Doğu-88 çeşidinin yaprak dokusunda Yıldırım çeşidinde göre GSH-Px aktivitesinin hemen hemen aynı seviyede olduğu belirlenmiştir. Kuraklık uygulamasında ise Yıldırım ve Doğu-88 çeşidinde GSH-Px enzim aktivitesinin günlere bağlı olarak azaldığı saptanmıştır. Bu sonuçlar kuraklık uygulamasının sonucunda GSH-Px enziminin oksidatif stresle mücadele ettiğini göstermektedir. SNP uygulamasında ise Doğu-88 çeşidinde GSH-Px enzim aktivitesinin günlere bağlı olarak her üç konsantrasyonda da azaldığı, Yıldırım çeşidinde ise arttığı belirlenmiştir. Yıldırım çeşidinde 100 µM SNP uygulamasının GSH-Px enzim aktivitesi üzerine etkisinin daha fazla olduğu saptanmıştır. Bu sonuç SNP'nin enzim aktiviteleri üzerine belirli konsantrasyonda daha etkili olabileceği fikrini ortaya çıkarmaktadır. Doğu-88 çeşidinde SNP uygulamasına bağlı olarak enzim aktivitesinin her üç günde de kontrol grubundan ve kuraklık uygulamasından yüksek olması SNP'nin antioksidan enzim aktivitesini olumlu yönde

etkilediğini göstermektedir ve literatürler ile uygunluk göstermektedir [303, 313]. H_2O_2 uygulamasında ise her iki bitki çeşidinde GSH-Px enzim aktivitesinin günlere bağlı olarak azaldığı gözlenmiştir. Doğu-88 çeşidinde H_2O_2 uygulamasının 6. gününde belirlenen GSH-Px enzim aktivitesinin kontrol grubundan daha az olduğu belirlenmiştir. Yıldırım çeşidinde ise 100 μM ile 1000 μM konsantrasyonların 4. günü ile her üç konsantrasyonun 6. gününde belirlenen enzim aktivitesinin kontrol grubundan düşük olduğu saptanmıştır. Bu sonuçların substrat olarak H_2O_2 kullanan enzim için normal olduğu düşünülmektedir. Çünkü ortamda yüksek konsantrasyonda substrat bulunmaktadır ve enzim aktivitesi zaman içerisinde azalacaktır. PEG+SNP uygulamasında ise uygulama grubunun her üç konsantrasyonunda hem Doğu-88 hem de Yıldırım çeşidinin yaprak dokusunda GSH-Px enzim aktivitesinin günlere bağlı olarak azaldığı belirlenmiştir. Doğu-88 çeşidinde PEG+SNP uygulamasının her üç konsantrasyonunda, 2. 4. ve 6. günlerde belirlenen GSH-Px enzim aktivitesi kuraklık uygulamasından ve kontrol grubundan yüksek bulunmuştur. Yıldırım çeşidinde ise 100 μM ile 1000 μM PEG+SNP uygulamasının 2. ve 4. günündeki GSH-Px enzim aktivitesinin kuraklık uygulamasından ve kontrol grubundan yüksek olduğu saptanmıştır. Bunun yanında PEG+SNP uygulamasının her üç konsantrasyonunda Yıldırım çeşidinde belirlenen GSH-Px enzim aktivitesinin kuraklık uygulamasına göre yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuçlar Cui vd. [390] tarafından yapılan domates fidelerinde eksojen olarak uygulanan SNP'nin ROT temizleyici enzimlerin aktivitesini artırdığını bildirdikleri çalışma ile uygunluk göstermekte olup SNP'nin antioksidan savunma sistemine yardımcı olduğunu ortaya koymaktadır. PEG+ H_2O_2 uygulamasında her iki bitki çeşidinde de uygulamanın her üç konsantrasyonunda GSH-Px enzim aktivitesinin günlere bağlı olarak azaldığı belirlenmiştir. Yıldırım çeşidinde belirlenen enzim aktivitesi Doğu-88 çeşidine göre oldukça azdır. Bunun sebebinin iki bitkinin abiyotik stres koşullarına karşı verdikleri antioksidan savunma yanıtlarının birbirinden farklı olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu sonuçlar CAT enzim aktivitesinde olduğu gibi He vd. [319] H_2O_2 ile ön muamele yapılan buğday tohumlarının kuraklığa dayanıklılığını araştırmışlardır. Araştırmacılar, H_2O_2 'nin stres şartları altında antioksidan enzimlerin aktivasyonunu tetiklediği böylece oksidatif hasarın hafifletildiği ve kuraklık şartları altında filizlerin fizyolojik davranışlarını iyileştirdiğini rapor etmişlerdir. Sonuçlarımız He vd.ç [319] tarafından yapılan çalışma ile kısmen uygunluk göstermektedir.

5.13. *T. aestivum* L. cv. “Doğu-88” ve *T. aestivum* L. cv. “Yıldırım” Buğday Bitkilerinin Yaprak Dokularında Uygulama Gruplarının Malondialdehit İçeriği Üzerine Etkileri

Doğu-88 çeşidi yaprak dokusunda kuraklık ve H₂O₂ uygulamalarında MDA içeriklerinin günlere bağlı olarak arttığı belirlenmiştir. SNP ve PEG+SNP uygulamalarında ise MDA içeriklerinin azaldığı saptanmıştır. PEG+H₂O₂ uygulamasında MDA içeriklerinin 10 µM konsantrasyonda günlere bağlı olarak azaldığı, 100 µM ve 1000 µM konsantrasyonlarda ise arttığı belirlenmiştir (Şekil 4.27).

Yıldırım çeşidi yaprak dokusunda MDA içeriklerinin kuraklık uygulamasında günlere bağlı olarak arttığı saptanmıştır. SNP uygulamalarında MDA içeriklerinin günlere bağlı olarak azaldığı belirlenmiştir. H₂O₂, PEG+SNP ve PEG+ H₂O₂ uygulamalarının 10 µM konsantrasyonunda MDA içeriğinin günlere bağlı olarak azaldığı, 100 µM ve 1000 µM konsantrasyonlarında ise arttığı saptanmıştır (Şekil 4.37).

Uzilday vd. [100] tarafından yapılan bir çalışmada, *Cleome gynandra* ve *C.spinosa* bitkileri 3 hafta büyütüldükten sonra 10 gün kuraklık stresinde muamele edilmiş ve kuraklık uygulamasının 0. 5. ve 10. günlerinde örnekler alınmıştır. Araştırma sonucunda *C. gynandra*'nın MDA seviyelerinin önemli bir değişiklik göstermediği, *C. spinosa*'da 5. ve 10. gün stres uygulamalarında MDA içeriklerinin % 35 ve % 81 oranında artış gösterdiği saptanmıştır. Araştırmacılar bu çalışmanın sonucunda *C.spinosa*'da kuraklık süresine bağlı olarak artan ROT üretiminin antioksidan savunmayı baskılayarak MDA içeriğindeki artışı önlemede yetersiz kaldığını bildirmişlerdir. Şeker pancarı ile yapılan farklı bir çalışmada tuz stresine bağlı olarak MDA düzeyinin arttığı bildirilmiştir. [140]. Fasulye bitkisiyle yapılan bir çalışmada kuraklık stresi uygulamasında MDA içeriğinin arttığı rapor edilmiştir [104]. Tuz stresine karşı dayanıklı ve duyarlı olan pirinç çeşitlerinde tuz stresi uygulamasının MDA içeriğinin duyarlı olan çeşitte arttığı, dayanıklı çeşitte ise değişmediği bildirilmiştir [391]. Yapılan bir çalışmada Zhang vd. [310] düşük ışık altındaki salatalık (*Cucumis sativus* cv. Jinchun no. 4) yapraklarında dışsal olarak uyguladıkları H₂O₂'nin antioksidan enzim aktivitesi ve lipid peroksidasyonu üzerine etkilerini araştırmışlardır. Araştırma sonucunda düşük ışığın süperoksit radikali, içsel H₂O₂ ve MDA miktarlarında artış sağladığını belirtmişlerdir. Dışsal uygulanan H₂O₂ ve düşük ışık kombinasyonunun içsel H₂O₂, süperoksit radikali ve MDA seviyelerinde azalmaya neden olduğunu bildirmişlerdir. Wang vd. [314] yaptıkları çalışmada su altı bitkisi *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle üzerinde yarım gün ile 4 gün süreyle 25–400 µM dışsal SNP uygulamasının etkilerini araştırmışlardır. Araştırmada bitki gelişimindeki değişimler ile MDA, toplam klorofil, ve H₂O₂ içeriklerindeki değişimler incelenmiştir. Çalışma sonucunda 25–100 µM SNP uygulamasının bitki gelişimi ile toplam klorofil

içeriğinde artış sağladığı, H_2O_2 miktarında ise azalışa neden olduğu belirlenmiştir. 200–400 μM SNP uygulamasında ise H_2O_2 ve MDA içeriğinde artış ve toplam klorofil içeriğinde ise azalma meydana geldiği rapor edilmiştir. Sanchez-Rodriguez vd. [316] kuraklık stresinin domateste, bitki gelişimi ve yaprak oransal su içeriğinin olumsuz etkilediğini, stres ile birlikte yaprak dokularında MDA miktarında artış meydana geldiğini bildirmişlerdir. Literatürde NO'nun membran geçirgenliğini, ROT üretim oranını, MDA ve H_2O_2 miktarları ile CO_2 konsantrasyonunu çeşitli antioksidan enzimlerin aktivitesini artırarak azalttığı bildirilmektedir [13, 58, 392–395]. Song vd. [385] farklı bir çalışmada, iki farklı kamış bitkisinin (*Phragmites communis* Trin.) kallusları ile sıcaklık stresine toleranslarını araştırmışlardır. Birbirinden farklı olan kumul kamış (DR) ve bataklık kamış (SR) bitkileri kullanılmıştır. Araştırmacılar oksidatif hasardan SR kalluslarının DR kalluslarına göre daha fazla etkilendiğini belirtmişlerdir. Bunun yanında DR kalluslarının SR kalluslarına göre sıcaklık stresi şartlarında daha yüksek gelişme kapasitesi sergilediği ve DR kalluslarında daha az iyon sızıntısı meydana geldiği rapor edilmiştir. Nitrik oksit vericileri olan SNP ve SNAP ile muamele yapıldığında her iki kallus örneğinde de H_2O_2 ve MDA içeriğinin azaldığı, süperoksit dismutaz, katalaz, askorbat peroksidaz ve peroksidaz aktivitelerinin ise arttığı rapor edilmiştir. NO'nun sıcaklık stresi tarafından oluşturulan oksidatif stresin etkilerini bertaraf edebildiği ve aktif oksijen süpürücüsü enzimlerin aktivasyonunda sinyal molekülü olarak rol oynayabileceğini bildirmişlerdir. Yapılan bir çalışmada, yabani ve transgenik alfaalfa bitkisinde tuz stresinin MDA içeriğinde artış meydana getirdiği, bu artışın yabani tip bitkide daha fazla olduğu rapor edilmiştir. Tuz stresinin artan konsantrasyonunda MDA içeriğinde daha fazla artışların bulunduğu da belirlenmiştir [396].

Yaptığımız çalışmada kuraklığa dayanıklı olan Doğu-88 çeşidi yaprak dokularında belirlenen MDA içeriğinin kuraklığa duyarlı olan Yıldırım çeşidine göre daha az olduğu belirlenmiştir. Kuraklık uygulamasında ise her iki çeşitte de MDA içeriklerinde günlere bağlı olarak artışların olduğu gözlenmiştir. Kuraklığa dayanıklı Doğu-88 çeşidinde kuraklık uygulamasına bağlı olarak belirlenen MDA içeriğinin kuraklığa duyarlı olan Yıldırım çeşidinde belirlenen MDA içeriğinden daha az olduğu tespit edilmiştir. Çalışmamızda kuraklık uygulamasında elde ettiğimiz MDA içerikleri literatürler ile [310, 322, 391, 396] uygunluk göstermektedir. Çalışmamızda SNP uygulamalarının her üç konsantrasyonunda belirlenen MDA içeriklerinin her iki bitki çeşidinde günlere bağlı olarak azaldığı belirlenmiştir. Bu sonuç literatürler ile uygunluk göstermektedir [321, 385]. Yapılan bir çalışmada, buğday bitkisinde NO'nun tuz stresi üzerine etkileri araştırılmıştır. Çalışmada buğday bitkilerine 150 μM NaCl, 300 μM NaCl, 150 μM NaCl+SNP ve 300 μM NaCl+SNP

uygulamaları yapılmıştır. Araştırma sonucunda MDA içeriğinin tuz stresinin konsantrasyonuna paralel şekilde arttığı saptanmıştır. 150 μ M NaCl+SNP uygulamasında ise hem kontrol grubundan hem de NaCl uygulamalarından daha az MDA içeriği bulunduğu, 300 μ M NaCl+SNP uygulamasında ise MDA içeriğinin azaldığı belirlenmiştir ve bu sonuçlar çalışmamızda MDA içerikleri üzerine PEG+SNP uygulamasında elde ettiğimiz sonuçlarla uygunluk göstermektedir [397]. PEG+H₂O₂ uygulamasında Doğu-88 ve Yıldırım çeşidinde 10 μ M konsantrasyonda belirlenen MDA içeriklerinin günlere bağlı olarak azaldığı, 100 μ M ve 1000 μ M konsantrasyonlarda ise günlere bağlı olarak arttığı saptanmıştır. Kuraklığa duyarlı Yıldırım çeşidinde belirlenen MDA içerikleri Doğu-88 çeşidinde belirlenen içeriklere göre oldukça yüksek bulunmuştur. Yıldırım çeşidine tek başına hidrojen peroksit uygulaması yapıldığında azalış gösteren MDA içerikleri PEG+H₂O₂ uygulamasının yüksek konsantrasyonlarında artışlar göstermiştir. Bunun nedeninin oksidatif hasarın bitkinin antioksidan savunma gücünün çok üzerinde artmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Aynı durum Doğu-88 çeşidi içinde geçerlidir. Ancak Doğu-88 'in oksidatif hasarla mücadele yeteneğinin Yıldırım çeşidinden yüksek olması iki bitki çeşidinde PEG+H₂O₂ uygulamasında belirlenen MDA içeriği arasındaki farkı açıklayabilir.

5.14. *T. aestivum* L. cv. “Doğu-88” ve *T. aestivum* L. cv. “Yıldırım” Buğday Bitkilerinin Yaprak Dokularında Uygulama Gruplarının Toplam Çözünebilir Protein Miktarı Üzerine Etkileri

Doğu-88 çeşidi yaprak dokusunda toplam çözünebilir protein miktarlarının kuraklık ve H₂O₂ uygulamalarında günlere bağlı olarak arttığı, SNP ve PEG+SNP uygulamalarında ise her üç konsantrasyonda azaldığı belirlenmiştir. PEG+H₂O₂ uygulamasında toplam çözünebilir protein miktarlarının 10 μ M konsantrasyonda günlere bağlı olarak azaldığı, 100 μ M ve 1000 μ M konsantrasyonlarda ise arttığı belirlenmiştir (Şekil 4.28).

Yıldırım çeşidi yaprak dokusunda toplam çözünebilir protein miktarının kuraklık uygulamasında günlere bağlı olarak azaldığı belirlenmiştir. SNP ve PEG+H₂O₂ uygulamalarında ise arttığı saptanmıştır. H₂O₂ uygulamasında toplam çözünebilir protein miktarlarının azaldığı (100 μ M konsantrasyon hariç), PEG+SNP uygulamasında ise 10 μ M konsantrasyonda günlere bağlı olarak azaldığı, 100 μ M, 1000 μ M konsantrasyonlarda ise arttığı belirlenmiştir (Şekil 4.38).

Gülen ve Eriş [398] tarafından yapılan çalışmada, 25 °C’de 3 hafta süreyle yetiştirilen çilek bitkisi sıcaklık stresine maruz bırakılmıştır. Sıcaklık stresi, her 48 saatte sıcaklığın 5 derece artırılmasıyla sağlanmıştır (30 °C, 35°C, 40°C, 45°C). Sıcaklık stresi arttıkça toplam çözünebilir protein miktarının azaldığı bildirilmiştir. Yaptığımız çalışmada Gülen ve Eriş’in

[397] elde ettikleri sonuca uygun olarak, kuraklığa dayanıklı buğday çeşidi olan Doğu-88 bitkisinde, kuraklığa duyarlı olan Yıldırım çeşidine göre oldukça yüksek toplam çözünebilir protein miktarları belirlenmiştir. Kuraklık uygulamasında toplam çözünebilir protein miktarlarının Doğu-88 çeşidinde günlere bağlı olarak arttığı, Yıldırım çeşidinde ise azaldığı saptanmıştır. Beligni ve Lamattina [50], 1 ay süre ile yetiştirdikleri *Solanum tuberosum* bitkisinin yapraklarına NO vericileri olan 100 µM SNP uygulamasını takiben 36 saat süre ile 4 mg/L diquat (herbisit) uygulaması yapmışlardır. Araştırmacılar, sadece herbisit uygulanan grupta malondialdehit miktarlarının kontrole göre % 79 artış gösterdiği, SNP uygulanan grupta kontrol grubuna göre % 19 arttığını, SNP'nin herbisit nenden olduğu protein kaybını % 100 engellediğini bildirmişlerdir. Çalışmamızda SNP uygulamalarında Doğu-88 çeşidinde toplam çözünebilir protein miktarının günlere bağlı olarak azaldığı, Yıldırım çeşidinde işse arttığı belirlenmiştir. Bu sonuç SNP uygulamasının toplam çözünebilir protein miktarı üzerine farklı etki etmediğini göstermektedir. Yıldırım çeşidinde elde edilen sonuçlar Zahang vd. [381] tarafından ultraviyole radyasyon stresi altındaki mısır bitkisinde dışsal olarak uygulanan nitrik oksit vericisinin protein miktarında artış sağladığı bildirdikleri çalışmalarıyla paralellik göstermektedir. Doğu-88 çeşidinde elde edilen sonuçlar ise Liu vd. [380] tarafından yapılan soğuk stresi altındaki salatalık (*Cucumis sativus* L.) bitkisinde dışsal olarak uyguladıkları SNP'nin düşük konsantrasyonlarda toplam çözünebilir protein miktarında artış, yüksek konsantrasyonda ise azalış meydana getirdiğini bildirdikleri çalışmalarıyla büyük ölçüde uygunluk göstermektedir. Tu vd. [384], buğday bitkisinde 0.1 mM SNP uygulamasının çözünebilir protein içeriğini azalttığını bildirmiştir. Sonuçlarımız Tu vd. tarafından bildirilen sonuçlarla paralellik göstermektedir. H₂O₂ uygulamasının her üç konsantrasyonunda belirlenmiş olan toplam çözünebilir protein içeriklerinin Doğu-88 çeşidinde günlere bağlı olarak arttığı belirlenmiş olup bu sonuç El-Shora [378] tarafından yapılan sakız kabağı bitkisinin yapraklarında H₂O₂ tarafından oluşturulan oksidatif stres ile protein miktarının azaldığını saptadıkları çalışma ile farklılık göstermektedir. Jiang vd. [399] tütün bitkisinin yapraklarında eksojen olarak uygulanan H₂O₂'nin toplam çözünebilir protein miktarlarını azalttığını bildirmiştir. Verma ve Sharma [400] *Vigna radiata*'ta H₂O₂ uygulamasının çözünebilir protein içeriğini azalttığını belirtmektedirler. Yıldırım çeşidinde ise 10 µM konsantrasyonda 4. günde 2. güne göre arttığı, 6. günde ise 2. ve 4. güne göre azaldığı, 100 µM konsantrasyonda günlere bağlı olarak arttığı, 1000 µM konsantrasyonda ise hemen hemen sabit kaldığı belirlenmiştir. Bu sonuçlar H₂O₂'nin toplam çözünebilir protein miktarı üzerine etkilerinin farklı konsantrasyonlarda ve bitki çeşitlerinde değişik etkiler yaptığını ortaya koymaktadır. Ayrıca kök ve yaprak dokularında verilen yanıtların birbirinden farklı olduğu

görülmektedir. Bitkinin içsel metabolizmasındaki sinyal iletiminin kullanılan dokuların yapısına ve çeşidine bağlı olarak değişiklik gösterdiği düşünülmektedir. PEG+SNP uygulamasında Doğu-88 çeşidinde belirlenen toplam çözünebilir protein miktarının her üç konsantrasyonda günlere bağlı olarak azaldığı belirlenmiştir. Elde edilen bu sonuçlardan SNP'nin kuraklık uygulamasıyla beraber protein miktarını azalttığı görülmektedir. Yıldırım çeşidinde ise toplam çözünebilir protein miktarının 10 µM konsantrasyonda günlere bağlı olarak azaldığı, 100 µM konsantrasyonda arttığı, 1000 µM konsantrasyonda ise 2. ve 4. gün aynı olan değer 6. günde arttığı belirlenmiştir. Doğu-88 çeşidinin yaprak dokusunda PEG+H₂O₂ uygulamasında ise toplam çözünebilir protein miktarının 10 µM konsantrasyonda günlere bağlı olarak azaldığı, 100 µM ve 1000 µM konsantrasyonlarda ise arttığı belirlenmiş olup PEG+H₂O₂ uygulamasının yüksek konsantrasyonlarda çeşitli stres proteinlerinin sentezlenmesine aracılık ettiğine işaret etmektedir. Yıldırım çeşidinin yaprak dokusunda ise PEG+H₂O₂ uygulamasında her üç konsantrasyonunda toplam çözünebilir protein miktarının günlere bağlı olarak arttığı belirlenmiş olup bu sonuç kuraklığa duyarlı olan bitkide PEG+H₂O₂ uygulamasının koruyucu etki yaptığını akla getirmektedir.

5.15. *T. aestivum* L. cv. “Doğu-88” ve *T. aestivum* L. cv. “Yıldırım” Buğday Bitkilerinin Yaprak Dokularında Uygulama Gruplarının Hidrojen Peroksit İçeriği Üzerine Etkileri

Doğu-88 çeşidi yaprak dokusunda kuraklık, H₂O₂, PEG+SNP ve PEG+H₂O₂ uygulamalarında günlere bağlı olarak artan H₂O₂ içeriği saptanmıştır. SNP uygulamalarında H₂O₂ içeriklerinde artış ve azalışların olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.29).

Yıldırım çeşidi yaprak dokusunda kuraklık, SNP, H₂O₂ ve PEG+SNP (100 µM hariç) uygulamalarında, H₂O₂ içeriklerinin günlere bağlı olarak arttığı belirlenmiştir. PEG+H₂O₂ uygulamasında 10 µM ve 1000 µM konsantrasyonlarda H₂O₂ içeriklerinin günlere bağlı olarak arttığı, 100 µM konsantrasyonun 4. gününde azaldığı, 6. gününde ise tekrar arttığı saptanmıştır (Şekil 4.39).

Araştırmamızın sonucunda, kuraklığa dayanıklı olan Doğu-88 çeşidinin yaprak dokusunda, Yıldırım çeşidine göre daha az olan hidrojen peroksit içeriği saptanmıştır. Kuraklık uygulamasında her iki bitki çeşidinin yaprak dokusunda H₂O₂ içeriğinin günlere bağlı olarak arttığı belirlenmiş olup, Yıldırım çeşidinde daha yüksek olduğu gözlenmiştir. Elde ettiğimiz sonuçlar literatürler ile desteklenmektedir. Nitekim yapılan bir çalışmada 2 farklı kavak çeşidinde (*Populus kangdingensis* C. Wang et Tung ve *P. cathayana* Rehder) şiddeti artırılan kuraklık stresinin etkileri araştırılmıştır. Çalışmada gövde boyunda, yaprak gelişiminde, oransal su içeriğinde, malondialdehit ve hidrojen peroksit içeriklerinde önemli değişimler olduğu belirtilmiştir. Çalışmada *P. kangdinensis* çeşidinde *P. cathayana* çeşidine

göre MDA ve H_2O_2 içeriklerinde daha az artış olduğu bildirilmiştir ve bu sonuçtan *P. kangdinensis* çeşidinin *P. cathayana* çeşidine göre kuraklığa toleranslı olduğu rapor edilmiştir [382]. Hasanuzzaman vd. [397] yaptıkları çalışmada tuz stresinin buğday filizlerinde hidrojen peroksit içeriğini artırdığını bildirmiştir. 150 μM NaCl uygulamasında kontrol grubuna göre yüksek olan H_2O_2 içeriği bulunduğu, 300 μM NaCl uygulamasında ise H_2O_2 içeriğinin arttığı rapor edilmiştir. Çalışmamızda Hasanuzzaman vd. [397] tarafından yapılan çalışmadaki sonuçlara uygun şekilde her iki bitki çeşidinde de H_2O_2 içeriğinin kuraklık uygulamasının devam eden günlerinde arttığı saptanmıştır. SNP uygulamasında Doğu-88 çeşidinin yaprak dokusunda H_2O_2 içeriğinin 10 μM konsantrasyonda günlere bağlı olarak arttığı, 100 μM ve 1000 μM konsantrasyonlarda ise azaldığı belirlenirken, Yıldırım çeşidi yaprak dokusunda SNP uygulamalarına bağlı olarak her üç konsantrasyonda günlere bağlı olarak H_2O_2 içeriğinin arttığı belirlenmiştir. Hasanuzzaman vd. [397] buğday bitkisinde SNP uygulamasının H_2O_2 içeriğini azalttığını bildirmiştir. Çalışmamızda Doğu-88 çeşidi yaprak dokusunda 10 μM SNP uygulaması hariç, SNP uygulamalarında H_2O_2 içeriğinde azalmalar olduğu bulunmuştur. Yıldırım çeşidinde ise aksine H_2O_2 içeriğinde SNP uygulamalarına bağlı olarak artışlar gözlenmiştir. Ancak bu artışların kuraklık uygulamasından daha az olması dikkat çekicidir. Sonuçta SNP uygulaması H_2O_2 içeriğini kuraklık uygulamasına göre azaltmıştır. Sheokand vd. [383] ise, nohut bitkisinde SNP uygulamasının H_2O_2 içeriğinin özellikle yüksek konsantrasyonda SNP uygulamasına bağlı olarak arttığını rapor etmişlerdir ve araştırmacıların sonuçları çalışmamızda elde ettiğimiz sonuçlarla uygunluk göstermektedir. Yapılan bir çalışmada, Hoagland kültür çözeltilisinde 4 hafta süreyle büyütülen soya fasulyesi bitkilerinin 2. yapraklarından yaprak diskleri alınmış ve 48 saat 200 μM $CdCl_2$ çözeltisiyle muamele edilmiştir. Kontrol grubunda H_2O_2 miktarı 0.25 ± 0.02 μM , 200 μM Cd uygulamasında ise H_2O_2 miktarının 1.58 ± 0.16 μM olduğu rapor edilmiştir. Araştırmacılar H_2O_2 'nin Cd'nin sebep olduğu oksidatif strese benzer etki yaptığını bildirmişlerdir. Aynı zamanda H_2O_2 'nin savunma yanıtlarında bir sinyal molekülü olabileceği düşünülse de süperoksit radikalının bu mekanizmada daha etkili rol oynadığını rapor etmişlerdir [401]. PEG+SNP uygulamasında ise H_2O_2 içeriklerinin Yıldırım çeşidi yaprak dokusunda 10 μM ve 1000 μM konsantrasyonlarında, Doğu-88 çeşidi yaprak dokusunda ise PEG+SNP'nin her üç konsantrasyonunda günlere bağlı olarak arttığı belirlenmiştir. Bu sonuçların literatürden [397], farklı olduğu anlaşılmıştır. Buna SNP uygulamasının oksidatif stresi artırmasının neden olduğu düşünülmektedir. Çalışmamızda H_2O_2 uygulamasının sonucunda her iki buğday çeşidinin yaprak dokularında H_2O_2 içeriğinin günlere bağlı olarak arttığı belirlenmiştir. Ortama eksojen olarak eklenen H_2O_2 , H_2O_2 konsantrasyonunun artmasına ve antioksidan

enzim sisteminin inhibe olmasına sebep olmuş olabilir. Bitkilerin kök ve yaprak dokularındaki H_2O_2 içeriğinin farklı olması kök ve yaprak dokuları arasında sinyal iletiminde farklılıklar olduğunu göstermektedir. H_2O_2 uygulamasına ilk maruz kalan kök dokusudur. Kuraklığa dayanıklı bitkinin var olan savunma mekanizmasını kök dokusunun korunması için kullanarak yaşamsal faaliyetlerini sürdürmeye çalıştığı ve bunun sonucunda yaprak dokularında H_2O_2 içeriğinin arttığı düşünülmektedir. PEG+SNP uygulamasında her iki bitki çeşidinin yaprak dokularında günlere bağlı olarak H_2O_2 içeriğinin arttığı saptanmıştır. PEG+ H_2O_2 uygulamasında da PEG+SNP uygulamasında olduğu gibi her iki bitki çeşidinin yaprak dokularında günlere bağlı olarak H_2O_2 içeriğinin arttığı saptanmıştır. Bu durum kuraklık ile birlikte SNP ve H_2O_2 uygulamasının oksidatif hasarın derecesini artırmasından kaynaklanabilir. Bitkiler artan oksidatif hasarla mücadele edememiş ve sonuçta reaktif oksijen türevi olan H_2O_2 içeriği artmış olabilir.

5.16. *T. aestivum* L. cv. “Doğu-88” ve *T. aestivum* L. cv. “Yıldırım” Buğday Bitkilerinin Yaprak Dokularında Uygulama Gruplarının Oransal Su İçeriği Üzerine Etkileri

Doğu-88 çeşidi yaprak dokusunda SNP uygulaması hariç, diğer uygulamalarda oransal su içeriği günlere bağlı olarak azalmıştır (Şekil 4.30).

Yıldırım çeşidi yaprak dokusunda SNP ve PEG+SNP uygulamalarında oransal su içeriğinin günlere bağlı olarak arttığı kuraklık, H_2O_2 ve PEG+ H_2O_2 uygulamalarında ise azaldığı belirlenmiştir (Şekil 4.40).

Yapılan bir çalışmada, araştırmacılar PEG tarafından oluşturulan stres şartlarında *Spathiphyllum* bitkisinin içine yerleştirilen ve alıştırılan dağ ginseng kök ekstraktlarının doku kültürünün (TCGM) olası antioksidan aktivitesini araştırılmıştır. Araştırmada PEG uygulanmış bitkilerde fotosentetik verimlilikte azalma olduğu, net CO_2 taşınımı, stomatal geçirgenlik, terleme oranı, oransal su içeriği ve yaprak ozmotik potansiyelinin PEG uygulanan bitkide düştüğü saptanmıştır [336]. Farklı bir çalışmada Kumar vd. [307], Pigeonpea’da polietilen glikol ile oluşturulan su eksikliğinin fizyolojik ve biyokimyasal değişimleri üzerine etkilerini incelemiştir. Araştırmacılar, bitkileri hafif ve sert stres şartları olmak üzere iki aşamalı strese tabi tutmuşlardır. Su stresi şartlarını PEG’li besin çözeltisi ile 14 gün boyunca sulayarak ozmotik potansiyelin -0,04 MPa’ya düşürülmesiyle sağlamışlardır. Çalışmada oransal su içeriğinin su stresi altında belirgin şekilde azaldığı, serbest prolin içeriğinin stres şartları süresince arttığı, CAT aktivitesinde azalma, SOD ve peroksidaz aktivitelerinde ise artış olduğu belirtilmiştir. Ishibashi vd. [282] fasulye bitkilerinde hidrojen peroksit uygulamasının kuraklık stresinin etkilerini azaltabileceğini bildirmiştir. Bu amaçla fasulye bitkisinin yapraklarına H_2O_2 püskürterek kuraklık stresine karşı etkisini incelemişlerdir.

Araştırmacılar yapraklara H_2O_2 ön uygulaması yapılan bitkilerde distile su ile uygulama yapılanlara göre kuraklık stresinin neden olduğu yaprakta sararmanın engellendiğini belirtmişlerdir. Ayrıca, kuraklık stresi etkisindeki bitkilerde belirlenen oransal su içeriğinin de H_2O_2 ön uygulaması yapılan bitkilerde distile su uygulaması yapılanlara göre daha yüksek olduğunu saptamışlardır. Sanchez-Rodriguez vd. [316], kuraklık stresinin domateste, bitki gelişimi ve yaprak oransal su içeriğinin olumsuz etkilediğini, stres ile birlikte yaprak dokularında MDA miktarında artış meydana geldiğini bildirmişlerdir. Arasimowicz-Jelonek vd. [318] yaptıkları çalışmada NO'nun şiddetli su eksikliğinin etkilerini azalttığını ve doku dehidrasyonunun başlangıç safhasında bitkinin korunmasına yardımcı olduğunu ileri sürmüşlerdir. Tan vd. [327] yaptıkları çalışmada ozmotik stres altında uygulanan SNP'nin yaprak su kaybının azalmasına, yüksek oransal su içeriğine ve artmış prolin içeriğine neden olduğu belirtilmiştir. Sairam vd. [141] yaptıkları çalışmada tuza dayanıklı olan *Kharchia* 65 ve daha az dayanıklı KRL 19 çeşidinde dayanıklı olanda OSİ oranının daha yüksek olduğunu rapor etmiştir. Balestrasse vd. [401] Hoagland kültür çözeltisinde 4 hafta süreyle büyütülen soya fasulyesi bitkilerinin 2. yapraklarından yaprak disklerine 48 saat 200 μM $CdCl_2$ çözeltisiyle muamele etmişlerdir. OSİ'nin kontrol grubunda 85.4 ± 0.7 (%) olarak bulunduğu, 200 μM Cd uygulamasında ise 84.9 ± 0.8 (%) olduğunu bildirmişlerdir.

Yaptığımız çalışmada kuraklığa dayanıklı olan Doğu-88 çeşidinde duyarlı olan Yıldırım çeşidine göre daha yüksek seviyede OSİ bulunduğu belirlenmiştir. Kuraklık uygulamasında ise her iki buğday çeşidine OSİ değerlerinde azalmalar olduğu tespit edilmiştir. Yapılan çalışmada yüksek miktarda yaprak oransal su içeriğinin sürdürülmesinin bitkiye kuraklık şartlarında yardım edeceği bildirilmiştir. Kuraklığa dayanıklı çeşitlerin yüksek seviyedeki yaprak oransal su içeriği seviyelerinin dayanıklı çeşidin su kullanımında daha iyi olmalarından kaynaklandığı ileri sürülmüştür. Kuraklığa dayanıklı olan bitkinin kuraklık stresi koşulları altında aşırı su kaybından kaçınmak amacıyla transpirasyon oranını kontrol altında tuttukları düşünülmektedir [402]. Elde ettiğimiz sonuçlar literatürler [141, 402] ile uygunluk göstermektedir. SNP uygulamasında her iki bitki çeşidinde de OSİ'nin günlere bağlı olarak arttığı ve kuraklık uygulamasının yanı sıra kontrol grubunda belirlenen OSİ değerlerinde yüksek olan oransal su içeriği saptanmıştır. Bu sonuçlar SNP'nin ve dolayısıyla NO'nun bitkinin su tutma kapasitesini artırdığını ortaya koymaktadır ve başka çalışmalar ile uygunluk göstermektedir [318, 327]. H_2O_2 uygulamasında ise Doğu-88 ve Yıldırım çeşidinde OSİ'nin her üç konsantrasyonda da günlere bağlı olarak azaldığı belirlenirken Yıldırım çeşidinde meydana gelen OSİ kayıplarının Doğu-88'den fazla olduğu gözlenmiştir. Ishibashi vd. [282] fasulye bitkilerinde hidrojen peroksit (H_2O_2) uygulamasının

kuraklık stresinin etkilerini azaltabileceğini bildirmiştir. Araştırmacılar yapraklara H_2O_2 ön uygulaması yapılan bitkilerde distile su ile uygulama yapılanlara göre kuraklık stresinin neden olduğu yaprakta sararmanın engellendiğini belirtmişlerdir. Ayrıca, kuraklık stresi etkisindeki bitkilerde belirlenen oransal su içeriğinin de H_2O_2 ön uygulaması yapılan bitkilerde distile su uygulaması yapılanlara göre daha yüksek olduğunu saptadıkları çalışmanın sonucu ile farklılık göstermektedir. Bunun nedeninin çalışmamızda H_2O_2 uygulamasının araştırmacılardan farklı olarak çimlenmenin ardından yapılması olduğu düşünülmektedir. Ayrıca kullanılan materyallerin farklılığı da sonuçlar arasındaki farklılığı anlamlı kılmaktadır. PEG+SNP uygulamasında ise Doğu-88 çeşidinde her üç konsantrasyonda belirlenen OSİ değerlerinin günlere bağlı olarak azaldığı saptanmıştır. Bu değerlerin kontrol grubundan belirlenen OSİ değerlerinden düşük, kuraklık uygulamasındaki OSİ değerlerinden yüksek olduğu da çalışmamızda belirlenmiştir. Yıldırım çeşidinde ise 10 μM konsantrasyonda kontrol grubundan yüksek 2. 4. ve 6. günde değişmeyen, 100 μM konsantrasyonda kontrol grubundan yüksek ve günlere bağlı olarak artan, 1000 μM konsantrasyonda ise 2. günde 4. ve 6. günlerden yüksek, 4. ve 6. günlerde birbirine eşit olan OSİ değerleri saptanmıştır. Bu sonuçlar NO'nun oransal su içeriğinin korunmasına yardımcı olduğu veya en azından stres şartlarında düzeltici etki yaptığı fikrini akla getirmektedir. Literatürlerde SNP ve dolayısıyla NO'nun oransal su içeriği üzerine olumlu etki yaptığı bildirilmiştir. Elde ettiğimiz sonuçlar Arasimowicz-Jelonek vd. [318] ve Tan vd. [327] tarafından yaptıkları çalışmaları destekler niteliktedir. Çalışmamızda PEG+ H_2O_2 uygulamasının her iki bitki çeşidinde aynı şekilde etki gösterdiği ve oransal su içeriğinin günlere bağlı olarak her üç konsantrasyonda azaldığı belirlenmiştir. Ancak kuraklığa dayanıklı Doğu-88 çeşidinde belirlenen oransal su içeriğinin duyarlı olan Yıldırım çeşidinden daha yüksek olduğu saptanmıştır. Ayrıca Doğu-88 çeşidinde PEG+ H_2O_2 uygulamasında belirlenen OSİ değerlerinin kuraklık uygulamasından daha yüksek olduğu, Yıldırım çeşidinde ise 100 μM konsantrasyonun 4. ve 6. gününde, 1000 μM konsantrasyonun 2. 4. ve 6. gününde belirlenen OSİ değerlerinin kuraklık uygulamasında belirlenen değerlerden daha az olduğu gözlenmiştir. Elde ettiğimiz bu sonuçlar kuraklık stresiyle beraber H_2O_2 uygulamasının bitkinin yaşamını olumsuz yönde etkilediğini göstermektedir. Dayanıklı olan bitkide oransal su içeriği üzerine bir dereceye kadar düzeltici etki yapan H_2O_2 uygulaması duyarlı olan bitkide özellikle yüksek konsantrasyonlarda olumsuz etki yapmıştır. Bu durum bitkinin stres şartlarına karşı duyarlı olmasını anlamlandırmaktadır.

Kuraklık canlıları etkileyen en önemli abiyotik stres şartlarından birisidir. Beslenmesi doğrudan veya dolaylı olarak toprağa bağlı olan insanoğlunun yaşamını en fazla etkileyen

olumsuz etkilerden birisi kuraklıktır. Kuraklık stresinin bitkide oluşturduğu etkilerin mekanizmasının anlaşılması önem taşımaktadır. Abiyotik stresin oluşturduğu serbest radikal ve diğer oksidanlar bitki hücrelerinde ROT'un miktarlarında artışa neden olur. ROT sadece oksidatif zarara neden olmaz, aynı zamanda bazı sinyal yanıtları da ortaya koyar. Bu nedenle ROT'ların konsantrasyonlarının kontrolü hayati bir yanıttır. Çalışmamız, ROT'un sebep olduğu oksidatif hasarı NO'nun sınırlayabildiği ve bitkileri oksidatif strese karşı korumada rol alması ile ilişkili literatürlerle uygunluk göstermektedir. Bu yanıtların oluşmasını sağlayan sinyal iletim mekanizmasının aydınlatılması bitkilerin stres şartlarına uyumlarının anlaşılmasını sağlayacaktır. Yaptığımız çalışma sonucunda elde ettiğimiz verilerden, farklı bitkilerin farklı dokularında stres şartlarına karşı oluşturulan sinyal iletiminin ve yanıtların farklı olduğu görülmüştür. Sinyal iletiminde NO vericisi SNP ve H₂O₂'nin etkilerinin bulunduğu belirlenmiştir. Bunun yanında antioksidan enzim yanıtları ile MDA, OSI, H₂O₂ içeriği ve toplam çözünebilir protein içeriklerinin de bitkiden bitkiye ve dokudan dokuya farklılık gösterdiği belirlenmiştir. Bitkilerin stres şartlarına uyum mekanizmalarında enzimatik antioksidan savunma sisteminin ve sinyal iletiminin önemi bir kez daha ortaya konmuştur. Ayrıca, NO'nun cGMP düzeyini artırdığı belirlenmiş olup bu sonucun cGMP'nin fonksiyonun ve stres tepkilerinin anlaşılmasına katkı sağlayacağı açıktır. Bundan sonra yapılacak çalışmalarda, fizyolojik tepki cevaplarında önemli bir sinyal molekülü olan cGMP'nin NO'ya bağlı sinyallerde, biyotik ve abiyotik streslere tepkilerde, transkripsiyonel düzenlemede, bitki hormon tepkimeleri gibi pek çok fizyolojik işlevde oynadığı rol araştırılmalıdır. Kuraklık stresi koşulunda yetiştirilen dayanıklı ve duyarlı buğday bitkisinde gerek antioksidan enzim aktiviteleri gerekse sinyal iletiminde rol aldığı varsayılan biyomoleküllerin işlevleri ile SNP ve H₂O₂ tarafından sinyal sisteminde oluşturulan olası değişikliklerin mekanizmasının deneysel sistem ile açıklanmaya çalışıldığı bu araştırmanın, dünya ve ülkemiz için önemli bir tehdit olan kuraklık stresinin bitkideki oluşturduğu uyartı, uyum ve savunma mekanizmasının açıklanabilmesinde literatüre katkıda bulunacağı düşünülmektedir.

6. KAYNAKLAR

- [1] J. Roch, T. Hewezi, A. Bouniols, L. Gentzbittel. Real-time PCR monitoring of signal transduction related genes involved in water stress tolerance mechanism of sunflower. *Plant Physiology and Biochemistry* 47 (2009) 139–145.
- [2] T.T, Kozlowski, S.G. Pallardy. *Physiology of Woody Plants*, Academic Press, San Diego, (1997).
- [3] N. Smirnoff. “The role of active oxygen in the response of plants to water deficit and desiccation”, *New Phytol.*, 125: (1993) 27-58.
- [4] Ş. Kuşvuran. “Relationships between physiological mechanisms of tolerances to drought and salinity in melons” PhD Thesis Çukurova University, Turkey, 2010.
- [5] H. Chehab, B. Mechri, F.B, Mariem, M. Hammami, S. Ben Elhadj, M. Braham.. Effect of different irrigation regimes on carbohydrate partitioning in leaves and wood of two table olive cultivars (*Olea europaea* L. cv. Meski and Picholine). **Agricultural Water Management**, vol. 96, issue 2: (2009) 293-298
- [6] E. Vranova, D. Inze, F. Breusegem. Signal transduction during oxidative stress. **Exp. Bot.** 372: (2002) 1227-1236
- [7] Y. Hu, Schmidhalter U.. Spatial distributions and net deposition rates of mineral elements in the elongating wheat (*Triticum aestivum* L.) leaf under saline soil conditions. **Planta** 204. (1998) 212–219.
- [8] S. Lovelli, M. Perniola, A. Ferrara, T. Di Tommaso. Yield response factor to water (Ky) and water use efficiency of *Carthamus tinctorius* L. and *Solanum melongena* L. **Agric. Water Manage.**, 92: (2007).73-80.
- [9] R. Munns. Comparative physiology of salt and water stress. **Plant Cell Environ.** 25: (2002) 239-250.
- [10] N.J. Brown-Peterson, M.L. Salin. Purification and charecterization of a mesohalic catalase from the halophilic bacterium *Halobacterium halobium*. **Journal of Bacteriology.** 177; (1995) 378-384.
- [11] H. Kim, J.S. Lee,Y.C. Hah, J.H. Roe. Charecterization of major catalase from *Streptomyces ceolicolor* ATTC 10147. **Microbiology**, 140; (1994) 3391-3397.
- [12] H.B. Dunford, J.S. Stillman. On the function and mechanism of action of peroxidase. **Coord Chem. Rev.**, 19; (1976) 187-251.
- [13] Q. Shi, F. Ding, X. Wan, M. Wei.. Exogenous nitric oxide protects cucumber roots against oxidative stress induced by salt stress. **Plant Physiol Biochem** 45: (2007) 542–550.

- [14] H. Yamasaki, Y. Sakihama. Simultaneous production of nitric oxide and peroxynitrite by plant nitrate reductase: *in vitro* evidence for the NR-dependent formation of active nitrogen species. **FEBS Lett.** 468, (2000) 89–92.
- [15] Z. Faltin, D. Holland, M. Velcheva, M. Tsapovetsky, P.K. Roeckel-Drevet, A. Handa, M. Abu-Abied, M. Friedman-Einat, Y. Eshdat, A. Perl. Glutathione peroxidase regulation of reactive oxygen species level is crucial for *in vitro* plant differentiation. **Plant Cell Physiol.** 51 (7): (2010) 1151–1162.
- [16] M. Nishikawa, M. Hashida, Y. Takakura. Catalase delivery for inhibiting ROS-mediated tissue injury and tumor metastasis. **Advanced Drug Delivery Reviews** 61 (2009) 319–326.
- [17] S. Yılmaz, O.S. Temizer. Meme kanserli hastalarda lipit peroksidasyonu ve bazı enzim aktiviteleri arasındaki ilişki. **Türk Biyokimya Dergisi** 28(4); (2003) 252–256.
- [18] L. Ederli. **Plant Physiology and Biochemistry** 47(1) (2008) 42–48
- [19] A. Zafra, M.I., Rodríguez-García, J.D. Alché. Cellular localization of ROS and NO in olive reproductive tissues during flower development, **BMC Plant Biology** 10 (2010).
- [20] A. Besson-Bard, C. Courtois, A. Gauthier, J. Dahan, G. Dobrowolska, S. Jeandroz, A. Pugin, D. Wendehenne. Nitric oxide in plants: production and cross-talk with Ca²⁺ signaling, **Molecular Plant** 1 (2008) 218–228.
- [21] S. Neill, R. Barros, J. Bright, R. Desikan, J. Hancock, J. Harrison, P. Morris. D. Ribeiro, I. Wilson. Nitric oxide, stomatal closure, and abiotic stress, **Journal of Experimental Botany.** 59 (2008) 165–176.
- [22] F.J. Corpas, A. Carreras, R. Valderrama, M. Chaki, J.M. Palma, D.A. Del Río, J.B. Barroso. Reactive nitrogen species and nitrosative stress in plants, **Plant Stress** 1 (2007) 37–41.
- [23] A.D. Shapiro. Nitric oxide signaling in plants, **Plant Hormones** 72 (2005) 339–398.
- [24] L. Lamattina, C. Garcia-Mata, M. Graziano, G. Pagnussat. Nitric oxide: the versatility of an extensive signal molecule, **Annual Review of Plant Biology** 54 (2003) 109–136.
- [25] F.J. Corpasa, M. Leterrier, R. Valderrama, M. Airaki, M. Chaki, J.M. Palma, J.B. Barroso. Nitric oxide imbalance provokes a nitrosative response in plants under abiotic stress. **Plant Science** 181 (2011) 604–611

- [26] V. Velikova, S. Fares and F. Loreto. Isoprene and nitric oxide reduce damages in leaves exposed to oxidative stress. **Plant Cell Environ** 31: (2008) 1882-94.
- [27] H.M. Siddiqui, M.H. Al-Whaibi and M.O. Basalah. Role of nitric oxide in tolerance of plants to abiotic stress. **Protoplasma**. DOI 10.1007/ s00709-010-0206-9. 2010.
- [28] W. Qiao and L.M. Fan. Nitric oxide signaling in plant responses to abiotic stresses. **Journal of Interactive Plant Biology**, 50 (10): (2008) 1238-1246.
- [29] N.V. Laspina, M.D. Groppa, M.L. Tomaro, M.P. Benavides. Nitric oxide protects sunflower leaves against Cd-induced oxidative stress. **Plant Sci** 169: (2005) 323–330
- [30] C. Garcia-Mata, L. Lamattina. Nitric oxide induces stomatal closure and enhances the adaptive plant responses against drought stress. **Plant Physiol.** 126, (2001) 1196–1204.
- [31] P.C. Bethke, I.G. Libourel, N. Aoyama, Y.Y. Chung, D.W. Still, R.L. Jones. The *Arabidopsis* aleurone layer responds to nitric oxide, gibberellin, and abscisic acid and is sufficient and necessary for seed dormancy. **Plant Physiol.** 143, (2007) 1173–1788.
- [32] P.C. Bethke, I.G. Libourel, R.L. Jones. Nitric oxide reduces seed dormancy in *Arabidopsis*. **J. Exp. Bot.** 57, (2006) 517–526.
- [33] I.G. Libourel, P.C. Bethke, R. De Michele, R.L. Jones. Nitric oxide gas stimulates germination of dormant *Arabidopsis* seeds: use of a flow-through apparatus for delivery of nitric oxide. **Planta** (2006) 223, 813–820.
- [34] M.V. Beligni, L. Lamattina. Nitric oxide stimulates seed germination, de-etiolation, and inhibits hypocotyl elongation, three lightinducible responses in plants. **Planta** 210, (2000) 215–221.
- [35] T.E. Mishina, C. Lamb, J. Zeier. Expression of a nitric oxide degrading enzyme induces a senescence programme in *Arabidopsis*. **Plant Cell Environ.** 30, (2007) 39–52.
- [36] F.Q. Guo, N.M. Crawford. *Arabidopsis nitric oxide synthase1* is targeted to mitochondria and protects against oxidative damage and dark-induced senescence. **Plant Cell** 17, (2005) 3436–3450.
- [37] Y.Y. Leshem, R.B.H. Wills, V.V.V. Ku. Evidence for the function of the free radical gas-nitric oxide (NO)-as an endogenous maturation and senescence regulating factor in higher plants. **Plant Physiol. Biochem.** 36, (1998) 825–833

- [38] Y.K. He, R.H. Tang, H. Yi, R.D. Stevens, C.W. Cook, Ahn SM et al. Nitric oxide represses the *Arabidopsis* floral transition. **Science** 305, (2004) 1968–1971.
- [39] C. Garcia-Mata, L. Lamattina. Absciscic acid (ABA) inhibits lightinduced stomatal opening through calcium- and nitric oxide-mediated signaling pathways. **Nitric Oxide** 17, (2007) 143–151.
- [40] J. Bright, R. Desikan, J.T. Hancock, I.S. Weir, S.J. Neill (2006). ABA induced NO generation and stomatal closure in *Arabidopsis* are dependent on H₂O₂ synthesis. **Plant J.** 45, (2006) 113–122.
- [41] R. Desikan, M.K. Cheung, J. Bright, D. Henson, J.T. Hancock, S.J. Neill. ABA, hydrogen peroxide and nitric oxide signalling in stomatal guard cells. **J. Exp. Bot.** 55,(2004) 205–212.
- [42] F.Q. Guo, M.Okamoto, N.M. Crawford. Identification of a plant nitric oxide synthase gene involved in hormonal signaling. **Science** 302, (2003). 100–103.
- [43] S.J. Neill, R. Desikan, A. Clarke, J.T. Hancock. Nitric oxide is a novel component of abscisic acid signaling in stomatal guard cells. **Plant Physiol.** 128, (2002a). 13–16.
- [44] J. Floryszak-Wieczorek, M. Arasimowicz, G. Milczarek, H. Jelen, H. Jackowiak. Only an early nitric oxide burst and the following wave of secondary nitric oxide generation enhanced effective defense responses of pelargonium to a necrotrophic pathogen. **New Phytol.** (2007) 175, 718–730.
- [45] M.G. Zhao, X. Zhao, Y.X. Wu, L.X. Zhang. Enhanced sensitivity to oxidative stress in *Arabidopsis* nitric oxide synthesis mutant. **J. Plant Physiol.** 164, (2007a) 737–745.
- [46] M.G. Zhao, Q.Y. Tian, W.H. Zhang. Nitric oxide synthasedependent nitric oxide production is associated with salt tolerance in *Arabidopsis*. **Plant Physiol.** (2007b) 144, 206–217.
- [47] L.V. Modolo, O. Augusto, I.M. Almeida, J.R. Magalhaes, I. Salgado. Nitrite as the major source of nitric oxide production by *Arabidopsis thaliana* in response to *Pseudomonas syringae*. **FEBS Lett.** 579, (2005) 3814–3820.
- [48] L. Zhao, F. Zhang, J. Guo, Y. Yang, B. Li, L. Zhang. Nitric oxide functions as a signal in salt resistance in the calluses from two ecotypes of reed. **Plant Physiol.** 134, (2004) 849–857.

- [49] A. Uchida, A.T. Jagendorf, T. Hibino, T. Takabe. Effects of hydrogen peroxide and nitric oxide on both salt and heat stress tolerance in rice. **Plant Sci.** 163, (2002) 515–523.
- [50] C. Garcia-Mata, L. Lamattina. Nitric oxide and abscisic acid cross talk in guard cells. **Plant Physiol.** 128, (2002) 790–792.
- [51] M. Delledonne, Y. Xia, R.A. Dixon, C. Lamb. Nitric oxide functions as a signal in plant disease resistance. **Nature.** 394, (1998) 585–588.
- [52] M. Arasimowicz, J. Floryszak-Wieczorek (2007) Nitric oxide as a bioactive signaling molecule in plant stress responses. *Plant Sci* 172:876–887.
- [53] M. Leitner, E. Vandelle, F. Gaupels, D. Bellin, M. Delledonne. NO signals in the haze: nitric oxide signalling in plant defence, **Curr. Opin. Plant Biol.** 12 (2009) 451–458
- [54] A. Besson-Bard, A. Pugin, D. Wendehenne. New insights into nitric oxide signaling in plants, **Annu. Rev. Plant Biol.** 59 (2008) 21–39. 146.
- [55] O. Lamotte, K. Gould, D. Lecourieux, A. Sequeira-Legrand, A. Lebrun- Garcia, J. Durner et al. Analysis of nitric oxide signalling functions in tobacco cells challenged by the elicitor cryptogein. **Plant Physiol.** 135, . (2004). 516–530.
- [56] D. Wendehenne, A. Pugin, D. Klessig, J. Durner. Nitric oxide: comparative synthesis and signaling in animal and plant cells. **Trends Plant Sci.** 6, (2001). 177–183.
- [57] S.J. Neill, R. Desikan, and J.T. Hancock. (2003). Nitric Oxide Signaling in Plants. **New Phytol.**, 159, (2003) 11–35.
- [58] M. Kopyra, E.A. Gwozdz (2004). The role of nitric oxide in plant growth regulation and responses to abiotic stress. **Acta Physiol. Plant.** 26, (2004) 459–472.
- [59] Y.Y. Leshem, E. Haramaty. The characterization and contrasting effects of the nitric oxide free radical in vegetative stress and senescence of *Pisum sativum* Linn. foliage. **J. Plant Physiol.** 148, (1996). 258–263.
- [60] M.V. Beligni, L. Lamattina (1999). Nitric oxide counteracts cytotoxic processes mediated by reactive oxygen species in plant tissues. **Planta** 208, (1999). 337–344.
- [61] M.V. Beligni, L. Lamattina Nitric oxide in plants: the history is just beginning. **Plant Cell Environ.** 24, (2001). 267–278.

- [62] H. Yamasaki, Y. Sakihama. Simultaneous production of nitric oxide and peroxyxynitrite by plant nitrate reductase: *in vitro* evidence for the NR-dependent formation of active nitrogen species. **FEBS Lett.** 468, (2000) 89–92.
- [63] A.C. Jaleel, P. Manivannan, A. Wahid, M. Farooq, H.J. Al-Juburi, R. Somasundaram, R. Panneerselvam. Drought Stress in Plants: A Review on Morphological Characteristics and Pigments Composition. **Int. J. Agric. Biol.**, **2009. Vol. 11, No. 1.**
- [64] T. Gaspar, T. Franck, B. Bisbis, C. Kevers, L. Jouve, J.F. Hausman and J. Dommes. Concepts in plant stress physiology. Application to plant tissue cultures. **Plant Growth Regul.**, 37: 2002263–285
- [65] H.G. Jones, M.B. Jones. *Introduction: some terminology and common mechanisms*, in: H.G. Jones, T.J. Flowers, M.B. Jones (Eds.), *Plants Under Stress*, Cambridge university Press, Cambridge, 1989, pp. 1–10
- [66] S. Mahajan, N. Tuteja. *Archives of Biochemistry and Biophysics* 444 (2005) 139-158.
- [67] K. Shinozaki, and K. Yamaguchi-Shinozaki. Gene networks involved in drought stress response and tolerance. *Journal of Experimental Botany*, Vol. 58, 2007. No. 2, pp. 221–22.
- [68] K. Yamaguchi-Shinozaki, K. Shinozaki. Organization of cisacting regulatory elements in osmotic- and cold-stress-responsive promoters. *Trends in Plant Science* 10, 2005. 88–94.
- [69] H.E. Beck, S. Fettig, C. Knake, K. Hartig, T. Bhattarai. Specific and unspecific responses of plants to cold and drought stress. *J. Biosci.* 32(3), April 2007, 510-510.
- [70] A. Mostajeran and V. Rahimi-Eichi. Effects of Drought Stress on Growth and Yield of Rice (*Oryza sativa* L.) Cultivars and accumulation of proline and soluble sugars in sheath and blades of their different ages leaves. *American-Eurasian J. Agric. & Environ. Sci.*, 5 (2): 2009. 264-272.
- [71] N. Isendahl and G. Schmidt. Drought in the mediterranean-WWF policy proposals. In A, edited by W. Report. 2006. Madrid.
- [72] B. Valliyodan H.T. Nguyen.. Understanding regulatory networks and engineering for enhanced drought tolerance in plants. **Curr. Opin. Plant Biol.**, 9: 2006. 189-195.

- [73] B.A.M. Bouman, S. Peng, A.R. Castañeda, R.M. Visperas. Yield and water use of irrigated rewetting. *Plant Production Science*, 7(4): 406-420. **Agricultural Water Management**. 74(2): 2005. 87-105
- [74] J.S. Boyer. Plant productivity and environment. **Science** 218: 1982. 443–448
- [75] T.T. Kozlowski and S.G. Pallardy. *Physiology of Woody Plants*, Academic Press, San Diego, (1997).
- [76] H.G. Jones. *Plants and Microclimate*, Cambridge University Press, Cambridge, (1992).
- [77] T. Kalefetoğlu, Y. Ekmekçi. The effects of drought on plants and tolerance mechanisms. **G.U. J. Sci.**, 18(4): 2005. 723-740.
- [78] C.A. Jaleel, P. Manivannan, G.M.A. Lakshmanan, M. Gomathinayagam, R. Panneerselvam. Alterations in morphological parameters and photosynthetic pigment responses of *Catharanthus roseus* under soil water deficits. **Colloids Surf. B: Biointerfaces**, 61: 2008c. 298–303
- [79] C.A. Jaleel, P. Manivannan, B. Sankar, A. Kishorekumar, R. Gopi, R. Somasundaram, R. Panneerselvam. Induction of drought stress tolerance by ketoconazole in *Catharanthus roseus* is mediated by enhanced antioxidant potentials and secondary metabolite accumulation. **Colloids Surf. B: Biointerfaces**, 60: 2007d. 201–206
- [80] C.A. Jaleel, R. Gopi, B. Sankar, M. Gomathinayagam, R. Panneerselvam. Differential responses in water use efficiency in two varieties of *Catharanthus roseus* under drought stress. **Comp. Rend. Biol.**, 331: 2008a. 42–47
- [81] C.A. Jaleel, B. Sankar, P.V. Murali, M. Gomathinayagam, G.M.A. Lakshmanan, R. Panneerselvam. Water deficit stress effects on reactive oxygen metabolism in *Catharanthus roseus*; impacts on ajmalicine accumulation. *Colloids Surf. B: Biointerfaces*, 2008e.
- [82] M. Farooq, S.M.A. Basra, A. Wahid, Z.A. Cheema, M.A. Cheema, A. Khaliq. Physiological role of exogenously applied glycinebetaine in improving drought tolerance of fine grain aromatic rice (*Oryza sativa* L.). **J. Agron. Crop Sci.**, 194: 2008. 325–333
- [83] W.X. Wang, B. Vinocur, O. Shoseyov, A. Altman. Biotechnology of plant osmotic stress tolerance: physiological and molecular considerations. **Acta Hort.** 560, 2001. 285–292.

- [84] B.D. McKersie, Y. Lehem. Stress and stress coping in cultivated plants, *Kluwer Academic Publishers*, Netherlands, (1994).
- [85] F.B. Salisbury, C.W. Ross. *Plant Physiology*, *Wadsworth Publishing Co.*, California, (1992).
- [86] M.K. Campbell. *Biochemistry*, *Harcourt Brace Jovanovich College Publishers*, Fort Worth, USA, (1991).
- [87] E.A. Bray. "Plant responses to water deficit", **Trends Plant Sci.**, 2: (1997) 48-54.
- [88] M. Farooq, A. Wahid, N. Kobayashi, D. Fujita, S.M.A. Basra. Plant drought stress: effects, mechanisms and management. *Agron. Sustain. Dev.*, 29: 2009. 185–212
- [89] N. Zollinger, R. Koenig, T. Cerny-Koenig, R. Kjellgren. Relative salinity tolerance of Intermountain Western United States native herbaceous perennials. *HortScience* 42, 2007. 529–534.
- [90] A.M. Azza Mazher, E.M. Fatma El-Quesni, M.M. Farahat. Responses of ornamental plants and woody trees to salinity. *World J. Agric. Sci.* 3, 2007. 386–395.
- [91] M.J. Sánchez-Blanco, P. Rodríguez, M.A. Morales, M.F. Ortuno, A. Torrecillas. Comparative growth and water relation of *Cistus albidus* and *Cistus monspeliensis* plants during water deficit conditions and recovery. *Plant Sci.* 162, 2002. 107–113.
- [92] M. Perassaklı, J.T. Huber, J.T. Tucker. Dry matter yield, nitrogen absorbtion, and water uptake by sweet corn under salt stress. **J. Plant Nutr.**, 12: 1987. 279-290.
- [93] B. Halliwell. Reactive species and antioxidants. redox biology is a fundamental theme of aerobic life, **Plant Physiol.** 141 (2006) 312-322
- [94] G. Miller, N. Suzuki, S. Ciftci-Yilmaz, R. Mittler. Reactive oxygen species homeostasis and signalling during drought and salinity stresses, **Plant Cell Environ.** 33, (2010) 453-467.
- [95] F. Yaşar, S. Ellialtıoğlu, T. Özpay, Ö. Uzal. Tuz stresinin Karpuzda (*Citrullus lanatus* (Thunb.) Mansf.) antioksidatif enzim (SOD, CAT, APX ve GR) aktivitesi üzerine etkisi. Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Bilimleri Dergisi (**J. Agric. Sci.**), 18(1): 2008, 61-65.
- [96] H. Koca, M. Bor, F. Özdemir, İ. Türkan. 'The effect of salt stress on lipid peroxidation, antioxidative enzymes and proline content of sesame cultivars, **Env. I and Exp. Bot.**, 60: (2007) 344-351 .
- [97] K. Apel, H. Hirt. Reactive oxygen species: metabolism, oxidative stress, and signal transduction, **Annu. Rev. Plant Biol.** 55 (2004) 373-399.

- [98] O. Blokhina, E. Virolainen, K.V. Gagerstedt. Antioxidants, oxidative damage and oxygen deprivation stress: a review, **Annals of Botany** (Lond.) 91 (2003) 179–194.
- [99] K. Asada. The water-water cycle in chloroplasts: Scavenging of active oxygens and dissipation of excess photons. **Annu Rev Plant Physiol Plant Mol Biol**, 50: 1999. 601–639.
- [100] B. Uzilday, İ. Türkan, A.H. Sekmen, R. Özgür, H.C. Karakaya. Comparison of ROS formation and antioxidant enzymes in *Cleome gynandra* (C4) and *Cleome spinosa* (C3) under drought stress. *Plant Science* 182 (2012)
- [101] S.Y. Hsu, C.H. Kao, Differential effect of sorbitol and polyethylene glycol on antioxidant enzymes in rice leaves, **J. Plant Growth Regul.** 39 (2003) 83–89. B.63.
- [102] E.A. Tambussi, C.G. Bartoli, J. Beltrano, J.J. Guiamet, J.L. Araus, J.L. Oxidative damage to thylakoid proteins in water-stressed leaves of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Physiologia Plantarum* 108: 2000. 398 - 404.
- [103] A. Sofo, N. Cicco, M. Paraggio, N.A. Scopa. Regulation of the Ascorbate–Glutathione Cycle in plants under drought stress. Anjum et al. (eds.), *Ascorbate-Glutathione Pathway and Stress Tolerance in Plants*, DOI 10.1007/978–90–481–9404–9–5, (2010).
- [104] İ. Türkan, M. Bor, F. Özdemir, H. Koca. Differential responses of lipid peroxidation and antioxidants in the leaves of drought-tolerant *P. acutifolius* Gray and drought-sensitive *P. vulgaris* L. subjected to polyethylene glycol mediated water stress, *Plant Science*, 168: 2005. 223–231.
- [105] C.H. Foyer, G. Noctor. Redox homeostis and antioxidant signaling: a metabolic interface between stress perception and physiological responses, *Plant Cell* 17 (2005) 1866–1875.
- [106] K.V. Chaitanya, D. Sundar, S. Masilamani, A. Ramachandra Reddy. Variation in heat stress-induced antioxidant enzyme activities among three mulberry cultivars. *Plant Growth Regul.* 36, 2002. 175–180.
- [107] J. Mano. Early events in environmental stresses in plants-induction mechanisms of oxidative stress, In: Inze, D., Montago, M.V. (Eds.), *Oxidative Stress in Plants*. Taylor and Francis Publishers, New York, USA, 2002. p. 217–245.

- [108] A. Ramachandra Reddy, K.V. Chaitanya, D. Sundar. Water stress-mediated changes in antioxidant enzyme activities of mulberry (*Morus alba* L.). **J. Seri. Sci. Jpn.** 69, 2000. 169– 175.
- [109] C.L.M. Sgherry, C. Pinzino F. Navari-Izzo. Sunflower seedlings subjected to increasing water stress by water deficit: changes in O₂⁻ production related to the composition of thylakoid membranes, **Physiol Plant**, 96: (1996). 446-452 (1996).
- [110] I. Fridovich. Biological effects of superoxide radical, **Arach. Biochem. Biophys.** 247: (1986). 1–11.
- [111] H.D. Rabinowitch, I. Fridovic. Superoxide radical, superoxide dismutase and oxygen toxicity in plants, **Photochem. Photobiol.** 188: (1983). 206–213.
- [112] Q. Li, B. Yu, Y. Gao, A.H. Dai, J.G. Bai. 2011. Cinnamic acid pretreatment mitigates chilling stress of cucumber leaves through altering antioxidant enzyme activity. **J. Plant Physiol.** 168, 927–934.
- [113] B. Tuanhui, I. Cuiying, M. Fengwang, F. Fengjuan, S. Huairui. Responses of growth and antioxidant system to root-zone hypoxia stress in two *Malus* species. **Plant Soil**, 327: (2010). 95-105
- [114] S. Bian and Y. Jiang. Reactive oxygen species, antioxidant enzyme activities and gene expression patterns in leaves and roots of Kentucky bluegrass in response to drought stress and recovery. **Scientia Horticulturae** 120: (2009) 264–270.
- [115] Z. Xie, L. Duan, X. Tian, B. Wang, A. Egrinya-Eneji, Z. Li. Coronatine alleviates salinity stress in cotton by improving the antioxidative defense system and radical-scavenging activity. **J. Plant Physiol.** 165, (2008). 375–384.
- [116] A. Molassiotis, T. Sotiropoulos, G. Tanou, G. Diamantidis, I. Therios. Boroninduced oxidative damage and antioxidant and nucleolytic responses in shoot tips culture of the apple rootstock EM9 (*Malus domestica* Borkh). **Environ. Exp. Bot.** 56, (2006). 54–62
- [117] H.A. Jung , J.C. Park, H.Y. Chung, J. Kim, J.S. Choi. Antioxidant flavonoids and chlorogenic acid from the leaves of *Eriobotrya japonica*. **Arch Pharm Res.** Apr; 22 (2): (1999). 213-8.
- [118] P. Pietta, P. Simonetti, P. Mauri. Antioxidant activity of selected medicinal plants. **J. of Agr. Food Chem.** 46, (1998). 4487–4490.
- [119] G-C. Yen, H-Y. Chen. Antioxidant activity of various tea extracts in relation to their antimutagenicity. **J. Agr. Food Chem.**, 43: (1995). 27–32.

- [120] S.S. Gill, N. Tuteja. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. *Plant Phy. Biochem.* xxx (2010) 1–22.
- [121] S. Bhattachrjee. Reactive oxygen species and oxidative burst: roles in stress, senescence and signal transduction in plant, **Curr. Sci.** 89 (2005) 1113–1121.
- [122] B. Halliwell, J.M.C. Gutteridge. *Free Radicals in Biology and Medicine*, Oxford: Clarendon Press. (1989).
- [123] S.A. Charles, B. Halliwell. Effect of hydrogen peroxide on spinach (*Spinacia oleraceae*) chloroplast fructose biphosphatase. **Biochem. J.**, 189: (1980). 373–376.
- [124] W.M. Kaiser. Reversible inhibition of the Calvin cycle and activation of the oxidative pentose phosphate cycle in isolated intact chloroplasts by hydrogen peroxide, **Planta**, 145: (1979). 377-382.
- [125] S. Jung. Variation in antioxidant metabolism of young and mature leaves of *Arabidopsis thaliana* subjected to drought, **Plant Sci.**, 166: (2004). 459-466.
- [126] A. Ramachandra Reddy, K.V. Chaitanya, P.P. Jutur, K. Sumithra. Differential antioxidative responses to water stress among five mulberry (*Morus alba* L.) cultivars, **Environ. Exp. Bot.**, 52: (2004). 33–42.
- [127] H.A. Pinheiro, F.M. DaMatta, A.R.M. Chaves, E.P.B. Fontes, M.E. Loureiro. Drought tolerance in relation to protection against oxidative stress in clones of *Coffea canephora* subjected to long-term drought, **Plant Sci**, 167, (2004). 1307–1314.
- [128] B. Srivalli, G. Sharma, R. Khanna-Chopra. Antioxidative defence system in upland rice cultivar subjected to increasing intensity of water stress followed by recovery. **Physiol. Plant.**, 119: (2003). 503–512.
- [129] K. Razmjoo, P. Heydarizadeh and M.R. Sabzalian. Effect of salinity and drought stresses on growth parameters and essential oil content of *Matricaria chamomile*. **Int. J. Agric. Biol.**, 10: (2008). 451–454.
- [130] C.A. Jaleel, P. Manivannan, A. Wahid, M. Farooq, H.J. Al-Juburi, R. Somasundaram, and R. Panneerselvam. Drought Stress in Plants: A Review on morphological characteristics and pigments composition. **Int. J. Agric. Biol.**, Vol. 11, No. 1, (2009).
- [131] T.S. Gechev, F. Van Breusegem, J.M. Stone, I. Denev, C. Laloi. Reactive oxygen species as signals that modulate plant stress responses and programmed cell death. **Bioessays**. (11): (2006). 1091-1101.

- [132] C.A. Jaleel, P. Manivannan, B. Sankar, A. Kishorekumar, R. Gopi, R. Somasundaram, R. Panneerselvam. *Pseudomonas fluorescens* enhances biomass yield and ajmalicine production in *Catharanthus roseus* under water deficit stress. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**. 60; (2007a) 7–11.
- [133] A. Harb, A. Krishnan, M.M.R. Ambavaram and A. Pereira. Molecular and physiological analysis of drought stress in *Arabidopsis* reveals early responses leading to acclimation in plant growth. **Plant Physiology**, November (2010), Vol. 154.
- [134] M.M. Chaves, J.S. Pereira, J. Maroco, M.L. Rodrigues, C.P.P. Ricardo, M.L. Osorio, I. Carvatho, T. Faria and C. Pinheiro. How plants cope with water stress in the field photosynthesis and growth? *Ann. Bot.*, 89: (2002). 907–916.
- [135] C.A. Jaleel, R. Gopi and R. Panneerselvam. Growth and photosynthetic pigments responses of two varieties of *Catharanthus roseus* to triadimefon treatment. **Comp. Rend. Biol.**, 331: (2008 b). 272–277
- [136] H.B. Shao, L.Y. Chu, M.A. Shao, C. A. Jaleel and M. Hong-Mei. Higher plant antioxidants and redox signaling under environmental stresses. **Comp. Rend. Biol.**, 331: (2008). 433–441
- [137] R.M. Bhatt, and N.K. Srinivasa Rao. Influence of pod load response of okra to water stress. **Indian J. Plant Physiol.**, 10: (2005). 54– 59
- [138] M.M. Kusaka, M. Ohta and T. Fujimura. Contribution of inorganic components to osmotic adjustment and leaf folding for drought tolerance in pearl millet. **Physiol. Plant.**, 125: (2005). 474–489.
- [139] F. Anjum, M. Yaseen, E. Rasul, A. Wahid and S. Anjum. Water stress in barley (*Hordeum vulgare* L.). I. Effect on morphological characters. **Pakistan J. Agric. Sci.**, 40: (2003 a). 43–44
- [140] M. Bor, F. Özdemir and İ. Türkan. The effect of salt stress on lipid per-oxidation and antioxidants in leaves of sugar beet *Beta vulgaris* L. and wild beet *Beta maritima* L. **Pl. Sci.**, 164: (2003). 77–84
- [141] R.K. Sairam, K.V. Rao, G.C. Srivastava. Differential response of wheat genotypes to term salinity stress in relation to oxidative stress, antioxidant activity and osmolyte concentration. **Pl. Sci.**, 163: (2002). 1037– 46.
- [142] A. Kamel, D.M. Loser. Contribution of carbohydrates and other solutes to osmotic adjustment in wheat leaves under water stress. **J. Plant Physiol.** 145: (1995) 363–366.

- [143] A. Bast, G.R.M.M. Haenen, J.A.D. Cees. Oxidants and antioxidants: State of the art. **The American Journal of Medicine**, 91, (1997), (Suppl 3C), 30, 3C-2S_3C-13S.
- [144] K. Asada. Ascorbate peroxidase—a hydrogen scavenging enzyme in plants, *Physiol. Plant* 85: (1992). 235–241.
- [145] B. Halliwell. Oxidative damage, lipid peroxidation, and antioxidant protection in chloroplasts. **Chem. Phys. Lipids**. 44: (1987). 327–340.
- [146] A.D. Özşahin. Malatya yöresine ait bazı üzüm ve kayısı çeşitlerinin fitokimyasal içeriklerine bağlı olarak antioksidan aktivitelerinin araştırılması. PhD Thesis. Firat University, Turkey. 2010
- [147] A.R. Verma, M. Vijayakumar, C.V. Rao, C.S. Mathela. *In vitro* and *in vivo* antioxidant properties and DNA damage protective activity of green fruit of *Ficus glomerata*. **Food and Chem. Toxicol.**, 48, (2010). 704–709.
- [148] U. Mercan. Toksikolojide serbest radikallerin önemi. **YYU. Vet. Fak. Derg.** 15 (1-2): (2004). 91-96
- [149] C.M. Ajila, U.J.S. Prasada Rao. Protection against hydrogen peroxide induced oxidative damage in rat erythrocytes by *Magnifera indica* L. Peel extract. **Food and Chem. Toxicol.**, 46, (2008). 303-309.
- [150] A.P. Wickens. Ageing and free radical theory. **Respiration Phy.** 128, (2001). 379–391.
- [151] B. Halliwell. Free radicals and antioxidants: A Personal View. **Nutr. Rev.** 52, (1994). 253–265.
- [152] B. Halliwell, J.M.C. Gutteridge. Oxygen toxicity, oxygen radicals, transition metals and disease. **Biochem. J.**, 219, (1984). 1–14.
- [153] S. Yanbeyi. Aspirin ve antioksidant buthylated hydroxyanisole'ün tavşanlarda eritrosit total katalaz, süperoksit dismutaz ve glutatyon peroksidaz aktiviteleri üzerine etkileri. PhD Thesis, O.M.Ü. Turkey. 1999.
- [154] S. Bhattacharjee. Reactive oxygen species and oxidative burst: role in stress, senescence and signal transduction in plant. **Curr. Sci.** 89 (2005) 1131–1121.
- [155] M. Çakır. Aspirin ve vitamin E (α -Tokoferol)'nin farelerde (*Mus musculus*) karaciğer total süperoksit dismutaz ve katalaz aktivitelerine etkileri. *Yüksek Lisans Tezi*, O. M.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun. 1997.
- [156] S. Pantarulo, A. Sanchez, A. Boveris. Hydrogen peroxide metabolism in soybean embryonic axes at the onset of germination. **Plant Physiol.** 86 (1988) 626-630.

- [157] İ. Gülçin, Ö.İ. Küfrevioğlu, M. Oktay, M.E. Büyükokuroğlu. Antioxidant, antimicrobial, antiulcer and analgesic activities of nettle (*Urtica dioica* L.). **Journal of Ethnopharma.**, 90, (2004). 205–215.
- [158] D. Klug, J. Rabani, I. Fridovich, I. A direct demonstration of the catalytic action of superoxide dismutase through the use of pulse radiolysis. **J. Biol. Chem.**, 247(15), (1972). 4839-4842.
- [159] K. Kılınç.. Serbest oksijen radikallerinin biyokimyasal etkileri ve metabolizması. **Biyokimya Dergisi**, 2, (1985). 60-89.
- [160] D. Ünal. Serbest radikaller. Sendrom, Mart: (1999). 68-80.
- [161] İ. Dikici. Akut viral hepatitlerle interferon tedavisi görmüş kronik viral hepatitlerde oksidatif stresin araştırılması. *Uzmanlık Tezi*, S. Ü. Tıp Fak. Biyokimya Anabilim Dalı, Konya. 1999.
- [162] Y. Imahori, M. Takemura, J. Bai. Chilling-induced oxidative stress and antioxidant responses in mume (*Prunus mume*) fruit during low temperature storage. **Postharvest Biol. and Techno.**, 49, (2008). 54–60.
- [163] S. Kawanishi, Y. Hiraku, S. Oikawa. Mechanism of guanine-specific DNA damage by oxidative stress and its role in carcinogenesis and aging. **Mutation Rese.**, 488, (2001). 65–76.
- [164] S. Matsuzaki, P.A. Szewda, L.I. Szewda, K.M. Humphries. Regulated production of free radicals by the mitochondrial electron transport chain: Cardiac ischemic preconditioning. **Avdan. Drug Deliv. Revi.**, 61, (2009). 1324–1331.
- [165] K.H. Cheeseman, T.F. Slater. An introduction to free radical biochemistry. **Br. Med. Bull.**, 49(3), (1993). 481-93.
- [166] M. Uysal. Serbest radikaller, lipid peroksidleri ve organizmada prooksidanantioksidan dengeyi etkileyen koşullar. **Klinik Gelişim**, 11, (1998). 336-341.
- [167] A.W. Girotti. Lipid hydroperoxide generation, turnover, and effector action in biological systems. **J. Lipid Res.** 39(8), (1998). 1529-42.
- [168] J.P. Bolanos, M.A. Moro, I. Lizasoain, A. Almeida. Mitochondria and reactive oxygen and nitrogen species in neurological disorders and stroke: Therapeutic implications. **Avdan. Drug Deliv. Revi.**, 61, (2009). 1299–1315.
- [169] E. Vranova, S. Atichartpongkul, R. Villarroel, M.V. Montagu, D. Inze, W.V. Camp. Comprehensive analysis of gene expression in *Nicotiana tabacum* leaves acclimated to oxidative stress, **Proc Natl Acad Sci U.S.A.** 99 (2002) 870-875.

- [170] M. Genestra. Oxy radicals, redox-sensitive signaling cascades and antioxidants. **Cell. Signal.**, 19, (2007). 1807–1819.
- [171] J.B. Jeong, J.H. Park, H.K. Lee, S.Y. Ju, S.C. Hong, J.R. Lee, G.Y. Chung, J.H. Lim, H.J. Jeong. Protective effect of the extracts from *Cnidium officinale* against oxidative damage induced by hydrogen peroxide via antioxidant effect. **Food and Chem. Toxicol.**, 47, (2009). 525–529.
- [172] I. Fridovich. Superoxide dismutases. **Annu. Rev. Biochem.**, 44, (1975). 147–59.
- [173] A. Doyotte, C. Cossu, M.C. Jacquin, M. Babut, P. Vasseur. 1997. Antioxidant enzymes, glutathione and lipid peroxidation as relevant biomarkers of experimental or field exposure in the gills and digestive gland of freshwater bivalve. *Unio tumidus*. **Aquatic Toxicol.**, 39, (1997). 93–110.
- [174] C.L. Fattman, L.M. Schaefer, T.D. Oury. Extracellular superoxide dismutase in biology and medicine. **Free Radical Biology & Medicine**, Vol. 35, (2003). No. 3, pp. 236–256.
- [175] E. Cemeli, A. Baumgartner, D. Anderson, D. Antioxidants and the comet assay. **Muta. Resear.**, 681, (2009). 51–67.
- [176] R. Mittler. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance, **Trends Plant Sci.** 7 (2002) 405–410,
- [177] R.R. Ferreira, R.F. Fornazier, A.P. Vitoria, P.J. Lea, R.A. Azevedo. Changes in antioxidant enzyme activities in soybean under cadmium stress, **J. Plant Nutr.** 25 (2002) 327–342
- [178] C. Bowler, M.V. Montagu, D. Inze. 1992, Superoxide dismutase and stress tolerance. **Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.** 43, (1992). 83–116.
- [179] B. Seçkin, İ. Türkan, A. Sekmen, C. Özfidan. The Role of Antioxidant Defense Systems at Differential Salt tolerance of *Hordeum marinum* Huds. (sea barleygrass) and *Hordeum vulgare* L. (cultivated barley). **Environmental and Experimental Botany**. 2010. Accepted Manuscript.
- [180] L.A. Del Rio, L.M. Sandalio, D.A. Altomare, B.A. Zilinskas. Mitochondrial and peroxisomal manganese superoxide dismutase: differential expression during leaf senescence, **J. Exp. Bot.** 54 (2003) 923–933.
- [181] İ. Akkuş. Serbest radikaller ve fizyopatolojik etkileri. Mimoza yayınları, Kuzucular ofset, Konya. 1995
- [182] S. Fırat. Kobaylarda radyasyonla oluşan akciğer hasarında doku glutatyon, glutatyon peroksidaz, glutatyon- S-transferaz düzeyleri ve N-asetil sistein’in bu

- sistem üzerindeki etkisi. *Uzmanlık Tezi*, G. Ü. Tıp Fak. Biyokimya Biyokimya Anabilim Dalı, Ankara. 1997.
- [183] J.M. Gutteridge. Lipid peroxidation and antioxidants as biomarkers of tissue damage. **Clin. Chem.**, 41, (1995) 1819-1828.
- [184] N. A. Polidoros and J.G. Scandalios. Role of hydrogen peroxide and different classes of antioxidants in the regulation of catalase and glutathione S-transferase gene expression in maize (*Zea mays* L.). *Physiol.Plant.*, 106 (1999) 112-120.
- [185] P.B. Mathur, M.J. Devi, V. Vadez, K.K. Sharma. Differential antioxidative responses in transgenic peanut bear no relationship to their superior transpiration efficiency under drought stress. **Journal of PlantPhysiology** 166: (2009) 1207—1217.
- [186] G. Mungan. Kan bankalarında CPDA-1 (Citrate Phosphate Dextrose Adenine) ile saklanan kanlarda allopürinolün lipid peroksidasyonu ve biyokimyasal parametrelere etkisinin incelenmesi. *Uzmanlık Tezi*, Ankara Hastanesi Biyokimya ve Klinik Biyokimya Anabilim Dalı, Ankara. 1996.
- [187] C. Michiels, M. Raes, O. Toussaint, J. Remacle. Importance of Seglutathione peroxidase, catalase, and Cu/Zn-SOD for cell survival against oxidative stress. **Free Radic. Biol. Med.**, 17(3), (1994). 235-48.
- [188] B. Mannervik. Glutathione peroxidase. **Methods Enzymol.**, 113, (1985) 490-5.
- [189] N. Garg, G. Manchanda. ROS generation in plants: boon or bane? **Plant Biosys.** 143 (2009) 8-96.
- [190] J.L. Montillet, S. Chamnongpol, C. Rustérucchi, J. Dat, B. Van de Cotte, J.P. Agnel, C. Battesti, D. Inzé, F.V. Breusegem, C. Triantaphylides. Fatty acid hydroperoxides and H₂O₂ in the execution of hypersensitive cell death in tobacco leaves, **Plant Physiol.** 138 (2005) 1516-1526.
- [191] SS. Fam, J.D. Morrow. The isoprostanes: unique products of arachidonic acid oxidation-a review, **Curr. Med. Chem.** 10 (2003) 1723-1740.
- [192] K.J.A. Davies. Oxidative stress, antioxidant defenses, and damage removal, repair, and replacement systems, **IUBMB Life** 50 (2001) 279-289.
- [193] Y. Yamauchi, A. Furutera, K. Seki, Y. Toyoda, K. Tanaka, Y. Sugimoto. Malondialdehyde generated from peroxidized linoleic acid causes protein modification in heat-stressed plants. **Plant Phy. Biochem.** 46: (2008) 786–796
- [194] E.E. Farmer, C. Davoine. Reactive electrophile species. **Curr Opin Plant Biol.** 10: (2007) 380–386

- [195] H. Weber, A. Che' telat, P. Reymond, E.E. Farmer. Selective and powerful stress gene expression in *Arabidopsis* in response to malondialdehyde. **Plant J.** 37: (2004) 877–888.
- [196] H. Kubista, T.E. Hawkins, S.E. Moss. Annexin V mediates a peroxideinduced Ca^{2+} -influx in B-cells. **Curr Biol** 9: (1999) 1403–1406
- [197] C.A. Rice-Evans, A.T. Diplock, M.C.R. Symons. Techniques in free radicals research. **Elsevier**, Amsterdam, (1991). vol 22.
- [198] S.S.A. Hayat, A. Hasan, M. Mori, Q. Fariduddin and A. Ahmad. Nitric oxide: Chemistry, biosynthesis, and physiological role. In: Nitric Oxide in Plant Physiology. (Eds.): S. Hayat., M. Mori, J. Pichtel and A. Ahmad. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, (2010) Weinheim.
- [199] Y. Leshem. The biological of conquest of nitric oxide, in: Lehsem, Y. (Ed.), Nitric Oxide in Plants. Occurence, Function and Use, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Boston, London, 2000, pp. 3–23.
- [200] J. Rodrigo, D.R. Springall, O. Uttenthal, M.L. Bentura, F. Abadia-Molina, V. Riveros-Moreno, R. Martinez-Murillo, J.M. Polak, S. Moncada. Locations of nitric oxide synthase in the adult rat brain, **Phil. Trans. R. Soc. Lond. B.** 345 (1994) 175–221.
- [201] P.L. Feldman, O.W. Griffith, D.J. Stuehr. The surprising life of nitric oxide, **Chem. Eng. News** 71 (1993) 26–38.
- [202] M. Moreau, C. Lindermayr, J. Durner, D.F. Klessig, NO synthesis and signaling in plants – where do we stand? **Physiol. Plantarum** 138 (2010) 372–383,
- [203] A. Besson-Bard, J. Astier, S. Rasul, I. Wawer, C. Dubreuil-Maurizi, S. Jeandroz, D. Wendehenne, Current view of nitric oxide-responsive genes in plants, **Plant Sci.** 177 (2009) 302–309.
- [204] A. Besson-Bard, A. Pugin, D. Wendehenne. 2008. New insights into nitric oxide signaling in plants. **Ann. Rev. Plant Biol.**, 59: (2008). 21-39.
- [205] N.M. Crawford, F.Q. Guo. New insights into nitric oxide metabolism and regulatory functions. **Trends Plant Sci.**, 10: (2005). 195-200.
- [206] H.H.H.W. Schmidt, U. Walter. Cell, 78, (1994) 919–925.
- [207] D.E. Koshland. Jr. Science, 258, (1992) 1861.
- [208] J.K. Hong, B.W. Yun, J.G. Kang, M.U. Raja, E. Kwon, K. Sorhagen, C. Chu, Y. Wang, G.Y. Loake. Nitric oxide function and signalling in plant disease resistance, **J. Exp. Bot.** 59 (2008) 147–154.

- [209] I.D. Wilson, S.J. Neill, J.T. Hancock. Nitric oxide synthesis and signalling in plants. **Plant Cell. Environ.** 31, (2008) 622–631; 189.
- [210] E. Baudoin. The language of nitric oxide signalling, **Plant Biol.** 13 (2011) 233–242.
- [211] L.A. Klepper. WSSA . 184, (1975) 70.
- [212] L.A. Klepper. **Plant Physiol.**, 61 (1978) (Suppl.), 65.
- [213] L.A. Klepper. **Atmos. Environ.**, 13, .(1979) 537–542.
- [214] L.A. Klepper. **Plant Physiol.**, 93, (1990) 26–32.
- [215] L.A. Klepper. **Pest Biochem. Physiol.**, 39, (1991) 43–48.
- [216] L.A. Klepper. **Plant Physiol.**, 85, (1987) 96–99.
- [217] M.V. Beligni, A. Fath, P.C. Bethke, L. Lamattina, R.L. Jones. Nitric oxide acts as an antioxidant and delays programmed cell death in barley aleurone layers, **Plant Physiol.**, 129 (4): (2002) 1642–1650.
- [218] Beligni, M.V. ve Lamattina, L., , Nitric oxide: a non-traditional regulator of plant growth, **Trends Plant Sci.**, 6(11): (2001b) 508-509.
- [219] C.M.C.P. Gouvêa, J.F. Souza, A.C.N. Magalhaes, I.S. Martins. NO-releasing substances that induce growth elongation in maize root segments, **Plant Growth Reg.** 21: (1997)183–187.
- [220] E.A. Ribeiro, F.Q. Cunha, W.M.S.C. Tamashiro, I.S. Martins. Growth phase-dependent subcellular localization of nitric oxide synthase in maize cells, **FEBS Letters**, 445: (1999) 283–286.
- [221] M.A. Ferrer, A. Ros Barcelo. Differential effects of nitric oxide on peroxidase and H₂O₂ production by the xylem of *Zinnia elegans*, **Plant, Cell and Env.** 22: (1999) 891–897.
- [222] C. Stohr and W.R. Ullrich. Generation and possible roles of NO in plant roots and their apoplastic space. **J. Exp. Bot.**, 53, (2002). 2293–2303.
- [223] P. Rockel, F. Strube, A. Rockel, J. Wildt, W.M. Kaiser. **J. Exp. Bot.**, 53, (2002) 1–8.
- [224] W.M. Kaiser, H. Weiner, A. Kandlbinder, C.B. Tsai, P. Rockel, M. Sonoda, E. Planchet. **J. Exp. Bot.** 53. (2002) 875-882.
- [225] E. Planchet. **J. Exp. Bot.**, 53, (2002) 875–882.
- [226] H. Yamasaki, Y. Sakihama, S. Takahashi. **Trends Plant Sci.**, 4, (1999) 128–129.
- [227] J.M. Palma, L.M. Sandalio, F.J. Corpas, M.C. Romero-Puertas, I. McCarthy, L.A. Del Rio. **Plant Physiol. Biochem.**, 40, (2002) 521–530.

- [228] C. Stohr, F. Strule, G. Marx, W.R. Ullrich, P. Rockel. **Planta**, 212, (2001) 835–841.
- [229] J.L. Boucher, A. Genet, S. Vadon, M. Delaforge, Y. Henry, D. Mansuy. **Biochem. Biophys. Res. Commun.**, 187, (1992) 880–886.
- [230] M. Graziano, L. Lamattina. **Trends Plant Sci.**, 10, (2005) 4–8.
- [231] D. Mansuy, J.L. Boucher. **Drug Metab. Rev.**, 34, (2002) 593–606.
- [232] P. Wojtaszek. Nitric oxide in plants: To NO or not to NO, **Phytochem.** 54 (1): (2000) 1-4.
- [233] Y.A. Henry, B. Ducastel, A. Guissani. Nitric Oxide Research from Chemistry to Biology (eds Y.A. Henry, A. Guissani, and B. Ducastel), Landes Company, 1997. pp. 15–46.
- [234] N. Horemans, C.H. Foyer, H. Asard. **Trends Plant Sci.**, 5, (2000) 263–267.
- [235] R.V. Cooney, P.T. Harwood, L. Custer, A.A. Franke. **Environ. Health Perspect.**, 102, (1994) 460–462.
- [236] P.J. Davies. The plant hormone concept: concentration, sensitivity and transport, in *Plant Hormones: Physiology, Biochemistry and Molecular Biology* (ed. P.J. Davies), Kluwer Academic Press, Dordrecht, The Netherlands, 1995. pp. 13–18.
- [237] A.J. Trewaras, R. Malho. **Plant Cell**, 9, (1997) 1181–1195.
- [238] A. Ghasemi, S. Zahedias. Is Nitric Oxide a Hormone? *Iranian Biomedical Journal* 15 (3): (July 2011) 59-65
- [239] G. Pagnussat, M. Simontachi, S. Puntarulo, L. Lamattina. **Plant Physiol.**, 129, (2002) 954–956.
- [240] J. Durner, D.F. Klessig. **Curr. Opin. Plant Biol.**, 2, (1999) 369–374.
- [241] Kim, O.K., Murakami, A., Nakamura, Y., and Ohigashi, H. **Cancer Lett.**, 125, (1998) 199–207.
- [242] Durner, J., Wendehenne, D., and Klessig, F. **Proc. Natl. Acad. Sci. USA**, 9, (1998) 10328–10333.
- [243] M. Delledonne, Y. Xia, R.A. Dixon, C. Lamb. **Nature**, 394, (1998) 585–588.
- [244] T. Noritake, K. Kawakita, N. Doke. **Plant Cell Physiol.**, 37, (1996) 113–116.
- [245] A. Caro, S. Puntarulo. **Free Radic. Res.**, 31, (1999) 205–212.
- [246] A.M. Laxalt, M.V. Beligni, L. Lamattina., Nitric oxide preserves the level of chlorophyll in potato leaves infected by *Phytophthora infestans*, **Eur. J. Plant Pathol.**, 73: (1998) 643–651.

- [247] M.V. Beligni, C. Garcia Mata, M. Graziano, L. Lamattina. Nitric oxide functions as both antioxidant and antistress agent in plants, American Society of Plant Biologists Meetings, July 15-19 (2000), San Diego, California, USA, Poster, 0649.
- [248] M.C. Pedroso, J.R. Magalhaes, D.J. Durzan., A nitric oxide burst precedes apoptosis in angiosperm and gymnosperm callus cells and foliar tissues, **J. Exptl. Bot.**, 51: (2000a) 1027–1036.
- [249] H. Garcês, D. Durzan, M.C. Pedroso. Mechanical stress elicits nitric oxide formation and DNA fragmentation in *Arabidopsis thaliana*, **Annals of Botany**, 87: (2001) 567-574.
- [250] C. Garcia-Mata, R. Gay, S. Sokolovski, A. Hills, L. Lamattina, M.R. Blatt. Nitric oxide regulates K⁺ and Cl[–] channels in guard cells through a subset of abscisic acid-evoked signaling pathways, **Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.**, 100: (2003) 11116–11121.
- [251] F.Y. Cheng, S.Y. Hsu, C.H. Kao. Nitric oxide counteracts the senescence of detached rice leaves induced by dehydration and polyethylene glycol but not by sorbitol, **Plant Growth Regul.**, 38: (2002) 265–272.
- [252] C. Stohr, S. Stremlau. **J. Exp. Bot.**, 57, (2006) 463–470.
- [253] A.R. Wellburn. Why are atmospheric oxides of nitrogen usually phytotoxic and not alternative fertilizers? **New Phytol.** 115, (1990) 395–429.
- [254] R. Shingles, M.H. Roh, R.E. McCarty. Nitrate transport in chloroplast inner envelope vesicles. **Plant Physiol.** 112, (1996). 1375–1381.
- [255] M.L. Orozco-Cardenas, C.A. Ryan. Nitric oxide negatively modulates wound signaling in tomato plants. **Plant Physiol.** 130, (2002) 487– 493.
- [256] D. Wendehenne, J. Durner, D.F. Klessig. Nitric oxide: a new player in plant signalling and defence responses. **Curr. Opin. Plant Biol.** 7, (2004) 449–455.
- [257] Z. Zhao, G. Chen, C. Zhang. Interaction between reactive oxygen species and nitric oxide in drought-induced abscisic acid synthesis in root tips of wheat seedlings. **Aust. J. Plant Physiol.** 28, (2001) 1055– 1061.
- [258] K.S. Gould, A. Klinguer, A. Pugin, D. Wendehenne. Nitric oxide production in tobacco leaf cells: a generalized stress response? **Plant. Cell. Environ.** 26, (2003) 1851-1862.
- [259] M.C. Romero-Puertas, M. Delledonne., Nitric oxide signalling in plant-pathogen interactions, **IUBMB Life**, 55: (2003) 579–583.

- [260] Y.Y. Zhang, L.L. Wang, Y.L. Liu, Q. Zhang, Q.P. Wei, W.H. Zhang. Nitric oxide enhances salt tolerance in maize seedlings through increasing activities of proton-pump and Na⁺/H⁺ antiport in the tonoplast. **Planta** 224, (2006b) 545–555.
- [261] Q.Y. Tian, D.H. Sun, M.G. Zhao, W.H. Zhang. Inhibition of nitric oxide synthase (NOS) underlies aluminum-induced inhibition of root elongation in *Hibiscus moscheutos*. **New Phytol.** 174, (2007) 322–331
- [262] N. Mallick, F.H. Mohn, L. Rai, C.J. Soeder. Impact of physiological stresses on nitric oxide formation by green alga, *Scenedesmus obliquus*. **J. Microbiol. Biotechnol.** 10, (2000) 300–306.
- [263] Y. Sakihama, S. Nakamura, H. Yamasaki. Nitric oxide production mediated by nitrate reductase in the green alga *Chlamydomonas reinhardtii*: an alternative NO production pathway in photosynthetic organisms. **Plant Cell Physiol.** 43, (2002) 290–297.
- [264] MC. Pedroso, J.R. Magalhaes, D. Durzan. Nitric oxide induces cell death in *Taxus* cells. **Plant Sci.** 157, (2000a) 173–180.
- [265] S.A.H. Mackerness, C.F. John, B. Jordan, B. Thomas. Early signaling components in ultraviolet-B responses: distinct roles for different reactive oxygen species and nitric oxide. **FEBS Lett.** 489, (2001) 237–242.
- [266] R.R. Ferreira, R.F. Fornazier, A.P. Vitoria, P.J. Lea, R.A. Azevedo. Changes in antioxidant enzyme activities in soybean under cadmium stress, **J. Plant Nutr.** 25 (2002) 327–342.
- [267] A. Fröhlich, J. Durner The hunt for plant nitric oxide synthase (NOS): Is one really needed? **Plant Science.** 181 (2011) 401–404
- [268] E. Planchet, M. Sonoda, J. Zeier, W.M. Kaiser Nitric oxide (NO) as an intermediate in the cryptogeiin induced hypersensitive response – a critical re-evaluation. **Plant Cell Environ.** 29, (2006) 59–69.
- [269] X.P. She, X.G. Song, J.M. He. Role and relationship of nitric oxide and hydrogen peroxide in light/dark-regulated stomatal movement in *Vicia faba*. **Acta Bot. Sin.** 46, (2004) 1292–1300.
- [270] Wang, X., Li, J., Liu, J., He, W., Bi, Y. Nitric oxide increases mitochondrial respiration in a cGMP-dependent manner in the callus from *Arabidopsis thaliana*, **Nitric Oxide** 23 (2010) 242–250.

- [271] L. Dong, X. Zhang, J. Jiang, G.Y. An, L.R. Zhang, C.P. Song. NO may function in the downstream of H₂O₂ in ABA-induced stomatal closure in *Vicia faba* L. **J. Plant Physiol. Mol. Biol.** 31, (2005) 62–70.
- [272] T. Jubany-Marí, S. Munné-Bosch, M. López-Carbonell, L. Alegre. Hydrogen peroxide is involved in the acclimation of the Mediterranean shrub, *Cistus albidus* L., to summer drought. **J Exp Bot.** ;60: (2009)107–20.
- [273] K. Ozaki, A. Uchida, T. Takabe, F. Shinagawa, Y. Tanaka, T. Hayashi, T. Hattori, A.K. Rai, T. Takabe. Enrichment of sugar content in melon fruits by hydrogen peroxide treatment. **J Plant Physiol**;166: (2009) 569–78.
- [274] D. Wendehenne, K. Gould, O. Lamotte, E. Vandelle, D. Lecourieux D. Courtois C et al.. NO signaling functions in the biotic and abiotic stress responses. In: Blume Y et al., eds. *Cell Biology and Instrumentation: UV Radiation, Nitric Oxide and Cell Death in Plants*. IOS Press, Amsterdam, the Netherlands. 2006. pp. 190–198
- [275] R.P. Newton, L. Roef, E. Witters, H. Van Onckelen. Cyclic nucleotides in higher plants: the enduring paradox. **New Phytol.** 143, (1999) 427–455; 146
- [276] S. Neill, J. Bright, J. Hancock, J. Harrison, R. Barros, R. Desikan, D. Riberio. Nitric oxide, stomatal closure and abiotic stress. **Comparative Biochemistry and Physiology, Part A** 146 (2007) S255– S266.
- [277] J.C. Isner, T. Nuhse, F.J.M. Maathuis. The cyclic nucleotide cGMP is involved in plant hormone signalling and alters phosphorylation of *Arabidopsis thaliana* root proteins. **Journal of Experimental Botany**, Page 1 of 7 doi:10.1093/jxb/ers045.
- [278] S. Meier, L. Madeo, L. Ederli, L. Donaldson, S. Pasqualini, C. Gehring. Deciphering cGMP signatures and cGMP-dependent pathways in plant defence **Plant Signal Behav.** 4(4): (2009) 307–309.
- [279] M. L. Salmi, E. K. Morris, S.J. Roux and D.M. Porterfield. Nitric oxide and cgmp signaling in calcium-dependent development of cell polarity in *Ceratopteris richardii*. **Plant Physiology**, Vol. 144, 2007. pp. 94–104
- [280] K.A. Lucas, G. M. Pitari, S. Kazerounian, I. Ruiz-Stewart, J. Park, S. Schulz, K.P. Chepenik, and A.S. Waldman. (2000) *Pharmacol. Rev.* 52, 375-414.
- [281] İ. Gülçin, Isırgan Otu'nun (*Urtica dioica*) Antioksidan Aktivitesinin Belirlenmesi, Oksidatif Enzimlerinin Karakterizasyonu ve Bazı *İn Vivo* Etkilerinin İncelenmesi. Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Doktora Tezi. Erzurum. 2002

- [282] Y. Ishibashi, H. Yamaguchi, T. Yuasa, M. Iwaya-inoue, S. Arima, S-H. Zheng. Hydrogen peroxide spraying alleviates drought stress in soybean plants. **Journal of Plant Physiology** 168 (2011) 1562-1567
- [283] L-J. Quan, W. Zhang, W. Shi, H.Y. Li. Hydrogen peroxide in plants: a versatile molecule of the reactive oxygen species network, **J. Integrat. Plant Biol.** 50 (2008) 2-18.
- [284] J. Bailey-Serres, R. Mittler. The roles of reactive oxygen species in plant cells. **Plant Physiol.**;141: (2006) 311.
- [285] C.H. Foyer, H. Lopez Delgado, J.F. Dat, I.M. Scott. Hydrogen peroxide- and glutathioneassociated mechanisms of acclimatory stress tolerance and signalling. **Physiol Plant.**;100: (1997) 241–54.
- [286] R. Mittler, S. Vanderauwera, M. Gollery, F. Van Breusegem. The reactive oxygen gene network in plants. **Trends Plant Sci** 9: (2004) 490–498
- [287] M. Delledonne. NO news is good news for plants. **Curr Opin Plant Biol** 8: (2005). 390–396
- [288] H.K. Lum, Y.K.C. Butt, S.C.L. Lo.. Hydrogen peroxide induces a rapid production of nitric oxide in mung bean (*Phaseolus aureus*). **Nitric Oxide** 6, (2002) 205–213
- [289] T. Finkel. 1998. Oxygen radicals and signalling. **Current Opinion in Cell Biology.** 10, (1998) 248-253.
- [290] S. Neill, R. Desikan, A. Clarke, R.D. Hurst, J.T. Hancock. Hydrogen peroxide and nitric oxide as signaling molecules in plants. *Journal of Experimental Botany*. Vol 53, No. 372. Antioxidant and Reactive Oxygen Species in Plants Special Issue. 2002. Pp.1237-1247.
- [291] FAO 2007. Anonim. www.fao.org
- [292] P. DAVIS. 1985, *Flora of Turkey and The East Aegean Islands*, Vol. 9, 1985. Edinburgh University Pres, Edinburgh.
- [293] A. Kaya. 2006. Çukurova'nın taban ve kıraç koşullarında bazı ekmeklik buğday genotiplerinin morfolojik ve teknolojik özelliklerinin belirlenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarla Bitkileri Anabilim Dalı, ADANA
- [294] FAO 2009. Anonim. 2009. FAO. www.fao.org
- [295] TÜİK, 2008. TÜİK 2008. <http://www.tuik.gov.tr>
- [296] Anonim. 2012. Hububat Sektör Raporu (Temmuz 2010).
- [297] Anonim 2012. Türkiye Yıllık Hububat ve Yem Raporu (Nisan 2011)

- [298] R.C. Hosney. Principle of Cereal Science and Technology. American Association of Cereal Chemists, St. Paul, MN, USA. 1994.
- [299] M. Fernández-Marcos, L. Sanz, O. Lorenzo. Nitric oxide: An emerging regulator of cell elongation during primary root growth. **Plant Signal Behav.** 1; (2012) 7(2).
- [300] A.H. Sekmen, İ. Türkan, Z. Özgecan Tanyolaç, C. Özfidan, A. Dinç. Different antioxidant defense responses to salt stress during germination and vegetative stages of endemic halophyte *Gypsophila ob lanceolata* Bark. **Environmental and Experimental Botany** 77 (2012) 63– 76.
- [301] T-S. Chou, Y-Y. Chao, C.H. Kao. Involvement of hydrogen peroxide in heat shock- and cadmium-induced expression of ascorbate peroxidase and glutathione reductase in leaves of rice seedlings. **Journal of Plant Physiology** 169 (2012) 478– 486.
- [302] K. Wang, X. Zhang, E. Ervin. E. Antioxidative responses in roots and shoots of creeping bentgrass under high temperature: Effects of nitrogen and cytokinin. **Journal of Plant Physiology** 169 (2012) 492-500.
- [303] H.Y. Li, W.Z. Zhang. Absciscic acid-Induced Chilling tolerans in maize seedlings is mediated by nitric oxide and associated with antioxidant system. **Advanced Materials Research** Vol. 378-379 (2012). pp. 423-427.
- [304] J. Jiang, M. Su, L. Wang, C. Jiao, Z. Sun, W. Cheng, F. Li, C. Wang. Exogenous hydrogen peroxide reversibly inhibits root gravitropism and induces horizontal curvature of primary root during grass pea germination. **Plant Physiology and Biochem.** 53 (2012) 84-93
- [305] A. Sabra, F. Daayf, S. Renault. Differential physiological and biochemical responses of three *Echinacea* species to salinity stress. **Scientia Horticulturae** 135 (2012) 23-31.
- [306] E. Sanchez-Rodriguez, M.M. Rubio-Wilhelmi, B. Blasco, R. Leyva, L. Romero, J.M. Ruiz. Antioxidant response resides in the shoot in reciprocal grafts of drought-tolerant and drought-sensitive cultivars in tomato under water stress. *Plant Sci.* (2012), doi: 10.1016/j.plantsci.2011.12.019
- [307] RR. Kumar, K. Karajol, G.R. Naik. Effect of Polyethylene Glycol Induced Water Stress on Physiological and Biochemical Responses in Pigeonpea. (*Cajanus cajan* L. Millsp.). **Recent Research in Science an Technology** 2011, 3(1): 148-152.

- [308] M.F. Iannone, M.D. Groppa, M.P. Benavides. Nitric oxide inhibits nitrate reductase activity in wheat leaves Eliana Paola Rosales,. **Plant Physiol. and Biochem.** 49 (2011) 124-130 .
- [309] H. Masoumil, F. Darvish, J. Daneshian, G. Normohammadi, D. Habibi. Effects of water deficit stress on seed yield and antioxidants content in soybean (*Glycine max* L.) cultivars. **African Journal of Agricultural Research** Vol. 6 (5) 2011, pp. 1209-1218.
- [310] X-L. Zhang, X-F Jia, B. Yu, Y. Gao, J-G. Bai. Exogenous hydrogen peroxide influences antioxidant enzyme activity and lipid peroxidation in cucumber leaves at low light. **Scientia Horticulturae** 129 (2011) 565-662.
- [311] J. Sirová, M. Sedlářová, J. Piterková, L. Luhová, M. Petrivalsky. The role of nitric oxide in the germination of plant seeds and pollen. **Plant Science** 181 (2011) 560–572
- [312] L.C. Ferreira, A.C. Cataneo, L.M.R. Remaeh, N. Corniani, T.F. De Fumis, Y.A. De Souza, J. Scavroni, B.J.A. Soares. Nitric oxide reduces oxidative stress generated by lactofen in soybean plants. **Pesticide Biochemistry and Physiology** 97 (2010) 47–54.
- [313] Y. Xu, X. Sun, J. Jin, H. Zhou. Protective effect of nitric oxide on light-induced oxidative damage in leaves of tall fescue. **Journal of Plant Physiology** 167 (2010) 512–518
- [314] H. Wang, S. Zhang, W. Zhang, C. Wei, P. Wang. Effects of nitric oxide on the growth and antioxidant response of submerged plants *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle. **African Journal of Biotechnology** Vol. 9(44), 2010. pp. 7470-7476.
- [315] S. Basu, A. Roychoudhury, P.P. Saha, D.N. Sengupta. Differential antioxidative responses of indica rice cultivars to drought stress. **Plant Growth Reg.** 60 (1): 2010. 51-59.
- [316] E. Sanchez-Rodriguez, M. Rubio-Wilhelmi, L.M. Cervilla, B. Blasco, J.J. Rios, M.A. Rosales, L. Romero, J.M. Ruiz. Genotypic differences in some physiological parameters symptomatic for oxidative stress under moderate drought in tomato plants. **Plant Science**, 178: 2010. 30–40.
- [317] X. Wang, J. Li, J. Liu, W. He, Y. Bi. Nitric oxide increases mitochondrial respiration in a cGMP-dependent manner in the callus from *Arabidopsis thaliana*. **Nitric Oxide** 23 (2010) 242–250

- [318] M. Arasimowicz-Jelonek, J. Floryszak-Wieczorek, J. Kubis. Involvement of nitric oxide in water stress-induced responses of cucumber roots. **Plant Science** 177 (2009) 682–690.
- [319] L. He, Z. Gao, R. Li. Pretreatment of seed with H₂O₂ enhances drought tolerance of wheat (*Triticum aestivum* L.) seedlings. **African Journal of Biotechnology** Vol. 8 (22), 2009. pp 6151–6157.
- [320] M. Zaefyzadeh, R.A. Quliyev, S.M. Babayeva, M.A. Abbasov. The effect of the interaction between genotypes and drought stress on the superoxide dismutase and chlorophyll content in durum wheat landraces. **Turk J Biol** 33 (2009) 1-7.
- [321] G. Tanou, A. Molassiotis, G. Diamantidis. Hydrogen peroxide- and nitric oxide-induced systemic antioxidant prime-like activity under NaCl-stress and stress-free conditions in citrus plants. **Journal of Plant Physiology** 166 (2009) 1904—1913
- [322] W-B. Wang, Y-H. Kim, H-S. Lee, K-Y. Kim, X-P. Deng, S-S. Kwak. Analysis of antioxidant enzyme activity during germination of alfalfa under salt and drought stresses. **Plant Physiology and Biochemistry** 47 (2009) 570–577.
- [323] H.R. Moussa, S.M. Abdel-Aziz. Comparative response of drought tolerant and drought sensitive maize genotypes to water stress. **Australian Journal of Crop Science** 1(1): (2008) 31-36.
- [324] S. Shao Hong-bo, C. Li-ye, S. Ming-an, C.A. Jaleel, M. Hong-mei. Higher plant antioxidants and redox signaling under environmental stresses. **C. R. Biologies** 331 (2008) 433–441.
- [325] Y.F. Xue, Z.H.P. Liu. Antioxidant Enzymes and physiological characteristics in two Jerusalem artichoke cultivars under salt stress. **Russian Journal of Plant Phy.**, 55 (6): (2008) 776-781.
- [326] L. Zhao, J. He, X. Wang, L. Zhang. Nitric oxide protect against polyethylene glycol-induced oxidative damage in two ecotypes of reed suspension cultures. **Journal of Plant Physiology** 165 (2008) 182-191.
- [327] J. Tan, H. Zhao, J. Hong, Y. Han, H. Li, W. Zhao. Effects of exogenous nitric oxide on photosynthesis, antioxidant capacity and proline accumulation in wheat seedlings subjected to osmotic stress. **World Journal of Agricultural Sciences** 4 (3): (2008) 307-313.
- [328] J. Sang, M. Jiang, F. Lin, S. Xu, A. Zhang, M. Tan. Nitric oxide reduces hydrogen peroxide accumulation involved in water stress-induced subcellular anti-oxidant

- defense in maize plants. *Journal of Integrative Plant Biology*, 50 (2): (2008) 231–243.
- [329] L. Simova-Stoilova, K. Demirevska, T. Petrova, N. Tsenov, U. Feller. Antioxidative protection in wheat varieties under severe recoverable drought at seedling stage. **Plant Soil Environ.**, 54, (12): (2008) 529-539
- [330] Y. Lei, J. Yin, C. Li. Effects of osmotic stress and sodium nitroprusside pretreatment on proline metabolism of wheat seedlings. **Biologia Plantarum** 51 (2): (2007) 386–390.
- [331] R. Khanna-Chopra, S.D. Selote. Acclimation to drought stress generates oxidative stress tolerance in drought-resistant than-susceptible wheat cultivar under field conditions. **Environmental and Experimental Botany** 60 (2007) 276–283
- [332] Q. Shi, F. Ding, X. Wang, M. Wei. Exogenous nitric oxide protect cucumber roots against oxidative stress induced by salt stress. **Plant Physiology and Biochemistry** 45 (2007) 542–550.
- [333] N.H. Song, X.L. Yin, G.F. Chen, H. Yang. Biological responses of wheat (*Triticum aestivum*) plants to the herbicide chlorotoluron in soils. **Chemosphere** 68 (2007) 1779–1787
- [334] R. Terzi, A. Kadioglu. Drought Stress Tolerance And The Antioxidant Enzyme System in *Ctenanthe setosa*. **Acta Biologica Cracoviensia Series Botanica** 48/2: (2006) 89-96.
- [335] X. Tian and Y. Lei. Nitric oxide treatment alleviates drought stress in wheat seedlings. **Biologia Plantarum** 50 (4): (2006) 775-778.
- [336] M.B. Ali, E.J. Hann, K.Y. Paek. Protective role of *Panax ginseng* extract on lipid peroxidation and antioxidant status in polyethylene glycol induced *Spathiphyllum* leaves. **Biochem. Engineering Journal** 32 (2006) 143–148.
- [337] Z. Kolbert, B. Bartha, L. Erdei. Generation of nitric oxide in roots of *Pisum sativum*, *Triticum aestivum* and *Petroselinum crispum* plants under osmotic and drought stress. Proceedings of the 8th Hungarian Congress on Plant Physiology and the 6th Hungarian Conference on Photosynthesis, 2005.
- [338] A.D. Neto, J.T. Prisco, J. Ene'as-Filho, J-V.R. Medeiros, E. Gomes-Filho. Hydrogen peroxide pre-treatment induces salt stress acclimation in maize plants. **Journal of Plant Physiology** 162 (2005) 1114-1122.
- [339] Y.C Xu, B.L. Zhao. The main origin of endogenous NO in higher non-leguminous plants. **Plant Physiology and Biochemistry** 41 (2003) 833–838.

- [340] H. Zhang, W-B. Shen, L-L. Xu. Effects of Nitric Oxide on the Germination of Wheat Seeds and Its Reactive Oxygen Species Metabolism Under Osmotic Stres. *Acta Botanica Sinica* 2003, 45 (8): 901-905.
- [341] D.R. Hoagland, and D.I. Arnon. The water culture method for growing plants without soil. *California Agr. Expt. Sta. Circ.* (1938) 37.
- [342] D. Ghigo, C. Riganti, E. Gazzano, C. Costamagna, A. Bosia. Cycling of NADPH by glucose 6-phosphate dehydrogenase optimizes the spectrophotometric assay of nitric oxide synthase activity in cell lysates. **Nitric Oxide** 15 (2006) 148–153
- [343] X. Hu, S.J. Neill, Z. Tang, W. Cai. Nitric Oxide Mediates Gravitropic Bending in Soybean Roots. **Plant Physiol.** Vol. 137. (2005) pp. 663-670.
- [344] M.M. Bradford. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Anal. Biochem.** 72, (1976) 248–254.
- [345] B. P. Ronald. Spectrophotometric measurement of secondary lipid oxidation products, *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*, 2001. D2.4.1–D2.4.8.
- [346] H. Aebi. Catalase *in vitro*, *Methods in Enzymology*, 105, (1984) 121-126.
- [347] D. Paglia, W.N. Valentine. Studies on the quantitative and qualitative characterization of erythrocyte glutathione peroxidase. **J Lab Clin Med.** 70: (1967) 158–169.
- [348] L.V. Bindschedler, F. Minibayeva, S.L. Gardner, C. Gerrish, D.R. Davies, P.G. Bolwell. Early signalling events in the apoplastic oxidative burst in suspension cultured French bean cells involve cAMP and Ca², **New Phytol.** 151, (2001) 185-194.
- [349] Z.B Porgalı. “Ayçiçeği (*Helianthus annuus* L.) bitkisinde kadmiyum sülfat (cdso₄) uygulamasının bazı metabolik olaylar üzerine etkisi”. Doktora Tezi. İnönü Üniversitesi. Malatya.
- [350] J-C. Yiu, M-J. Tseng, C-W. Liu, C-T Kuo. Modulation of NaCl stress in *Capsicum annuum* L. seedlings by catechin. *Scientia Horticulturae* 134 (2012) 200–209.
- [351] S. Neill, J. Bright, R. Desikan, J. Hancock, J. Harrison, I. Wilson. 2008. Nitric oxide evolution and perception. **J. Exp. Bot.** 59, (2008) 25–35.
- [352] C.H. Foyer, M. Lelandais, K.J. Kunert. Photooxidative stress in plants. **Physiol Plant;** 92: (1994) 696–717.

- [353] R.G. Alscher, J.L. Donahue, C. Cramer. Reactive oxygen species and antioxidants: relationships in green cells. **Physiol Plant**;100: (1997) 224–33.
- [354] S. Shigeoka, T. Ishikawa, M. Tamoi, Y. Miyagawa, T. Takeda, Y. Yabuta, K. Yoshimura. Regulation and function of ascorbate peroxidase isoenzymes. **J Exp Bot.** 53: (2002) 1305–19
- [355] J. Bailey-Serres, R. Mittler. The roles of reactive oxygen species in plant cells. **Plant Physiol.**141: (2006) 311.
- [356] A. Stroin'ski, J. Floryszak-Wieczorek, Guanosine 3,5-cyclic monophosphate changes in germination seeds of *Hordeum vulgare*, **Plant Sci.** 42 (1985) 1–4.
- [357] C. Laloi, K. Apel, A. Danon. Reactive oxygen signalling: the latest news. **Curr Opin Plant Biol** 7: (2004) 323–328.
- [358] T. Fukao and J. Bailey-Serres. Plant responses to hypoxia—Is survival a balancing act? **Trends Plant Sci.** 9, (2004) 449–456.
- [359] J. Dat, S. Vandenbeeke, E. Vranova, M. Van Montagu, D. Inze, F. Van Breusegem. Dual action of the active oxygen species during plant stress responses. **Cellular and Molecular Life Sciences**, 57, (2000) 779–795.
- [360] L.M. Dubovskaya, Y.S. Bakakina, E.V. Kolesneva, D.L. Sodel, M.R. McAinsh, M.A. Hetherington, I.D. Volotovski. cGMP-dependent ABA-induced stomatal closure in the ABA-insensitive *Arabidopsis* mutant *abi1-1*. **New Phytologist**. 191: (2011). 57–69.
- [361] J. Sirova, M.Sedlářová, J. Piterková, L. Luhová, M. Petrivalsky. The role of nitric oxide in the germination of plant seeds and pollen. **Plant Science** 181 (2011) 560–572
- [362] L. Donaldson, N. Ludidi, M.R. Knight, C. Gehring, K. Denby. Salt and osmotic stress cause rapid increases in *Arabidopsis thaliana* cGMP levels. **FEBS Letters** 569 (2004) 317–320.
- [363] D.P.R.O. Marciano, F.T. Ramos, M.N. Alvim, J.R. Magalhaes, M.G.C. Franca. Nitric oxide reduces the stress effects of aluminum on the process of germination and early root growth of rice, *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 173 (2010) 885–891.
- [364] C. Bogdan. **Trends in Cell Biology**, 11, (201) 66-75.
- [365] G. Cevahir, E. Aytamka, Ç. Erol. The role of nitric oxide in plants. *Biotechnol. & Biotechnol. EQ.* 21/2007/1.

- [366] W. Liao, H. Xiao, M. Zhang. Role and relationship of nitric oxide and hydrogen peroxide in adventitious root development of marigold. **Acta Physiol Plant.** 31: (2009) 1279–1289.
- [367] Y. Zhou, J. Zhou, L. Huang, X. Ding, K. Shi, J. Yo, Grafting of *Cucumis sativus* onto *Cucurbita ficifolia* leads to improve plant growth, increased light utilization and reduced accumulation of reactive oxygen species in chilled plants, **Journal of Plant Research** 122 (2009) 529–540.
- [368] C. Pinheiro, J.A. Passarinho, C.P. Ricardo, Effect of drought and rewatering on the metabolism of *Lupinus albus* organs, **Journal of Plant Physiology** 161 (2004) 1203–1210.
- [369] O. Blokhina, E. Virolainen, K.V. Gagerstedt, Antioxidants, oxidative damage and oxygen deprivation stress: a review, **Annals of Botany** (Lond.) 91 (2003) 179–194.
- [370] C.H. Foyer, B. Halliwell, Presence of glutathione and glutathione reductase in chloroplasts: a proposed role in ascorbic acid metabolism, **Planta** 133 (1976) 21–25.
- [371] Z.B. Qiu, X. Liu, X.J. Tian, M. Yue. Effects of CO₂ laser pretreatment on drought stress resistance in wheat. **Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology** 90: (2008) 17–25.
- [372] P. Manivannan, C.A. Jaleel, B. Sankar, A. Kishorekumar, R. Somasundaram, P.D.R. Heerden, J.W. Swanepoel, G.H.J. Kruger. 2007. Modulation of photosynthesis by drought in two desert scrub species exhibiting C₃-mode CO₂ assimilation. **Environmental and Experimental Botany** 61: 124–136.
- [373] M. Menconi, C.L.M. Sgherri, C. Pinzino, F. Navari-Izzo. 1995, Activated oxygen production and detoxication in wheat plants subjected to a water deficit programme, **J. Exp. Bot.** 46 (290): 1123–1130.
- [374] S-C. Xu, Y.P. Li, J. Hu, Y-J. Guan, W-G. MA, Y-Y. Zhebg, S-J. ZHU. Responses of Antioxidant Enzymes to Chilling Stress in Tobacco Seedlings. **Agricultural Sciences in China.** 2010, 9(11):1594–1601.
- [375] K. Shah, R. G. Kumar, S. Verma, R.S. Dubey. Effect of cadmium on lipid peroxidation, superoxide anion generation and activities of antioxidant enzymes in growing rice seedlings. **Plant Science** 161 (2001) 1135–1144

- [376] I. Cakmak, W.J. Horst, Effect of aluminium on lipid peroxidation, superoxide dismutase, catalase and peroxidase activities in root tips of soybean (*Glycine max*), **Physiol. Plant** 83 (1991) 463–468.
- [377] K.V.S.K. Prasad, P. Pardha Saradhi, P. Sharmila. Concerted action of antioxidant enzymes and curtailed growth under zinc toxicity in *Brassica juncea*, **Environ. Exp. Bot** 42 (1999) 1–10.].
- [378] H.M. El-Shora. Activities of Antioxidative Enzymes and Senescence in Detached *Cucurbita pepo* Under Cu-and Oxidative Stress by H₂O₂. *Beeth. Mock.* (2003). 44. No.1.
- [379] N. Mohammadkhani, R. Heidari. Effects of drought stress on soluble proteins in two maize varieties. **Turk J Biol** 32 (2008). 23-30.
- [380] X. Liu, L. Wang, L. Liu, Y.g Guo and H. Ren. Alleviating effect of exogenous nitric oxide in cucumber seedling against chilling stress. *African Journal of Biotechnology* Vol. 10 (21), (2011). pp. 4380-4386.
- [381] M. Zahang, L. An, H. Feng, T. Chen, K. Chen, Y. Liu, H. Tang, J. Chang, X. Wang. The cascade mechanisms of nitric oxide as a second messenger of ultraviolet b in inhibing mesocotyl elongations. **Photochemistry and Photobiology**. Volume 77. (2003). Issue 2. Pages 219-275.
- [382] F.Yang ve L-F. Miao. Adaptive responses to progressive drought stress in two poplar species originating from different altitudes. **Silva Fennica** 44 (1): (2010) 23-37.
- [383] S. Sheokand, V. Bhankar, V. Sawhney. Ameliorative effect of exogenous nitric oxide on oxidative metabolism in NaCl treated chickpea plants. **Braz. J. Plant Physiol.**, 22(2): 81-90, 2010.
- [384] J. Tu., W-B. Shen, L-L. Xu. Regulation of nitric oxide on the aging process of wheat leaves. **Acta Botanica Sinica** 3, 45(9): (2003) 1055-1062.
- [385] L. Song, W. Ding, M. Zhao, B. Sun, L. Zhang. Nitric oxide protects against oxidative stress under heat stress in the calluses from two ecotypes of reed. **Plant Science** 171 (2006) 449-458.
- [386] M. Mazid, T.A. Khan, F. Mohammad. Role of Nitric oxide in regulation of H₂O₂ mediating tolerance of plants to abiotic stress: A synergistic signalling approach. **Journal of Stress Physiology & Biochemistry**, Vol. 7 No. 2 2011, pp. 34-74

- [387] M. Almeselmani, P.S. Deshmukh, R.K. Sairam, S.R. Kushwaha, T.P. Singh. Protective role of antioxidant enzymes under high temperature stress. **Plant Science** 171 (2006) 382-386.
- [388] S. Agarwal, R.K. Sairam, G.C. Srivastava, A. Tyagi, R.C. Meena. Role of ABA, salicylic acid, calcium and hydrogen peroxide on antioxidant enzymes induction in wheat seedlings. **Plant Science** 169 (2005) 559-570.
- [389] S.J. Wi, S.J. Jang, K.Y. Park. Inhibition of biphasic ethylene production enhances tolerance to abiotic stress by reducing the accumulation of reactive oxygen species in *Nicotiana tabacum*. **Mol. Cells**, **30**(1): (2010). 37–49.
- [390] X. Cui, Y. Zhang, X. Chen, H. Jin, X. Wu.. Effects of exogenous nitric oxide protects tomato plants under copper stress. **Bioinformatics and Biomedical Engineering**. 3rd International Conference, Beijing, 2009. pp. 1-7.
- [391] T. Demiral, İ. Türkan. Comparative lipid peroxidation, antioxidant defense systems and proline content in roots of two rice cultivars differing in salt tolerance, **Env. and Exp. Botany**, 2004.
- [392] S. Sheokand, A. Kumari and V. Sawhney. Effect of nitric oxide and putrescine on antioxidative responses under NaCl stress in chickpea plants. **Physiol. Mol. Biol. Plants**, 14: (2008) 355-362.
- [393] AI. López-Carrión, R.Castellano, MA. Rosales, JM. Ruiz, L. Romero. Role of nitric oxide under saline stress: implications on proline metabolism. **Biol Plant** 52: (2008) 587–591
- [394] W. Yu-qing, Z. Zhu-jun, HE. Yong. Alleviation of membrane lipid peroxidation by nitric oxide in cucumber leaves under salt stress. **J Zhejiang Uni (Agric Life Sci)** 33: (2007) 533–538
- [395] Y. Guo, Z. Tian, D. Yan, J. Zhang, P. Qin. Effects of nitric oxide on salt stress tolerance in *Kosteletzkya virginica*. **Life Sci J** 6: (2009) 67–75
- [396] A-K. Bao, S-M. Wang, G-Q. Wu, J.-J. Xi, J-L. Zhang, C-M. Wang. Overexpression of the *Arabidopsis* H⁺-PPase enhanced resistance to salt and drought stress in transgenic alfalfa (*Medicago sativa* L.). **Plant Science** 176 (2009) 232–240
- [397] M. Hasanuzzaman, M.A. Hossain, M. Fujita. Nitric oxide modulates antioxidant defense and the methylglyoxal detoxification system and reduces salinity-induced damage of wheat seedlings. **Plant Biotechnol. Rep.** 5: (2011) 353–365.

- [398] H. Gülen, A. Eris. Effect of heat stres on peroxidase activity and total protein concent in strawberry plants. **Plant Science** 166 (2004) 739–744.
- [399] Jiang L, Kong XW, Cao SQ, Zhang RX. Hydrogen peroxide is involved in regulation of tobacco leaf senescence. 42(1): (2009) 82–8.
- [400] G. Verma and S. Sharma. Role of H₂O₂ and cell wall monoamine oxidase in germination of *Vigna radiata* seeds. **Indian J. Biochem Biophys.** 47(4):(2010) 249–53.
- [401] K.B. Balestrasse, G.O. Noriega, A. Batlle, M.L. Tomaro. Heme oxygenase activity and oxidative stres signaling in soybean leaves. **Plant Science** 170 (2006) 339–346
- [402] M. Kulkarni, B. Schneider, E. Raveh, N. Tel-Zur., Leaf anatomical characteristics and physiological responses to short-term drought in *Ziziphus mauritiana* (Lamk.) Scientia Horticulturae, *Article in press*. 2010.

ÖZGEÇMİŞ

19.04.1979 tarihinde Kahramanmaraş'ta doğdum. İlk, orta, ve lise öğrenimimi Kahramanmaraş'ta tamamladım. 1998 yılında Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Biyoloji Bölümünde lisans öğrenimime başladım. Lisans eğitimimi 2002 yılında tamamladım ve aynı yıl Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde yüksek lisans öğrenimime başladım. 2006 yılında yüksek lisans eğitimimi tamamladım ve aynı yıl İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde doktora eğitimime başladım. Milli Eğitim Bakanlığına bağlı bir eğitim kurumunda öğretmen olarak görev yapmaktayım. Evli ve bir çocuk babasıyım.