

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DOKTORA TEZİ**

**Murat DENİZ**

**TERMİK SANTRAL KAYNAKLI HAVA KİRLİLİĞİNİN  
BİTKİLERDEKİ MİNERAL BESLENME VE ANTiOKSiDATİF  
SAVUNMA MEKANİZMASINA ETKİSİ**

**BİYOLOJİ ANABİLİM DALI**

**ADANA, 2010**

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TERMİK SANTRAL KAYNAKLI HAVA KİRLİLİĞİNİN BİTKİLERDEKİ  
MİNERAL BESLENME VE ANTİOKSİDATİF SAVUNMA  
MEKANİZMASINA ETKİSİ**

**Murat DENİZ**

**DOKTORA TEZİ**

**BİYOLOJİ ANABİLİM DALI**

Bu Tez .../.../2010 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından  
Oybirliği/Oyçokluğu ile Kabul Edilmiştir.

.....  
Yrd. Doç. Dr. Sema DÜZENLİ  
DANIŞMAN

.....  
Prof. Dr. Atabay DÜZENLİ  
ÜYE

.....  
Prof. Dr. Hüseyin DURAL  
ÜYE

.....  
Doç. Dr. Bülent TORUN  
ÜYE

.....  
Doç. Dr. Necattin TÜRKMEN  
ÜYE

Bu Tez Enstitümüz Biyoloji Anabilim Dalında hazırlanmıştır.

**Kod No:**

**Prof. Dr. İlhami YEĞİNGİL**  
**Enstitü Müdürü**

**Bu Çalışma Ç. Ü. Araştırma Projeleri Birimi Tarafından Desteklenmiştir.**  
**Proje No: FEF2005D14**

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

ÖZ

DOKTORA TEZİ

**TERMİK SANTRAL KAYNAKLI HAVA KİRLİLİĞİNİN BİTKİLERDEKİ  
MİNERAL BESLENME VE ANTIOKSİDATİF SAVUNMA  
MEKANİZMASINA ETKİSİ**

**Murat DENİZ**

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
BİYOLOJİ ANABİLİM DALI**

Danışman :Yrd. Doç. Dr. Sema DÜZENLİ  
Yıl: 2010, Sayfa: 175  
Jüri :Yrd. Doç. Dr. Sema DÜZENLİ  
:Prof. Dr. Atabay DÜZENLİ  
:Prof.Dr. Hüseyin DURAL  
:Doç. Dr. Bülent TORUN  
:Doç. Dr. Necattin TÜRKMEN

Bu tez çalışması, termik santral kaynaklı hava kirliliği sonucunda oluşan SO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> gibi kirlenici gazların bitkilerdeki mineral beslenme ve antioksidatif savunma mekanizmasına etkisini araştırmak için yapılmıştır. Bu amaçla 2006-2007 yılının Nisan ve Eylül aylarında, Adana ili, Yumurtalık ilçesinde bulunan Sugözü Termik Santrali'ne 1, 2.5, 5, 10, 15 km uzaklıkta belirlenen örneklik alanlardan *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. ve *Morus alba* L. türlerine ait yaprak örnekleri ve örnekleme alanına ait toprak örnekleri alınmıştır. Alınan yaprak örneklerinde ağır metal, mineral element, stoma dağılımı, klorofil, prolin, karotenoid, lipid peroksidasyonu, SH-bileşikleri, askorbik asit ve süperoksit dizmutaz (SOD) ölçülmüştür. Ayrıca örnek alınan topraklarda ağır metal ve mineral element analizleri yapılmıştır. Çalışma sonucu elde edilen veriler; özellikle doğu yönünde, 2.5 ve 5 km mesafedeki bitkilerin kirlilikten daha çok etkilendiğini göstermiştir. Kirlenici gazlara karşı oluşan antioksidatif savunma mekanizması sonucunda, örnek alınan her iki bitki türünün yapraklarında; toplam klorofil, karotenoid, prolin, lipid peroksidasyonu, SH-bileşikleri, askorbik asit ve SOD konsantrasyonunun arttığı, stoma yoğunluğunun ise azaldığı saptanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Termik santral kirliliği, lipid peroksidasyonu, askorbat, SOD

## ABSTRACT

### PhD THESIS

# EFFECT OF THERMAL POWER PLANT POLLUTION ON MINERAL NUTRITION AND ANTIOXIDATIVE DEFENCE MECHANISM ON EUCALYPTUS AND MORUS SPECIES

Murat DENİZ

ÇUKUROVA UNIVERSITY  
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES  
DEPARTMENT OF BIOLOGY

Supervisor :Asst. Prof. Dr. Sema DÜZENLİ  
Yıl: 2010, Sayfa: 175

Jury :Asst. Prof. Dr. Sema DÜZENLİ  
:Prof. Dr. Atabay DÜZENLİ  
:Prof. Dr. Hüseyin DURAL  
:Assoc. Prof. Dr. Bülent TORUN  
:Assoc. Prof. Dr. Necattin TÜRKMEN

The effects of air pollution arise from thermal power plants were investigated on April and September in 2006-2007. For this purpose, the woody tree species sampled were *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. and *Morus alba* L.. Leaf and soil materials were collected at a distance of about 1, 2.5, 5, 10 and 15 km from the Sugözü Thermal Power Plant. Samples collected were taken back to the laboratory where they were analysed for mineral elements, stomatal density, chlorophyll, carotenoids, proline, lipid peroxidation, SH-compounds, ascorbate and superoxide dismutase (SOD). Obtained data showed that at the distance of 2.5 and 5 km, antioxidant contents of leaves collected from East showed increases a range according to the degree of antioxidative response to air pollution violences. It was established that in the samples of leaves taken from this area; proline, total chlorophyll content, carotenoids, lipid peroxidation, SH-compounds, ascorbate and superoxide dismutase (SOD) increased but stomatal density decreased.

**Key Words:** Thermal power plant pollution, lipid peroxidation, ascorbate, SOD

## **TEŞEKKÜR**

Çalışma boyunca benden yardımlarını ve hoőgörülerini esirgemeyen eőim Arzu DENİZ'e, çocuklarım Osman Batu DENİZ ve Tuna Demir DENİZ'e ve saygıdeğer hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Sema DÜZENLİ'ye teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

## SAYFA

ÖZ.....	I
ABSTRACT.....	II
TEŞEKKÜR.....	III
İÇİNDEKİLER.....	IV
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	VI
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VII
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	X
1.GİRİŞ.....	1
2.ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	5
2.1. Kömürle Çalışan Bir Termik Santralin Bacalarından Yayıdığı Kirletici Maddeler.....	5
2.2. Hava Kirliliğinin Mineral Beslenme Üzerine Etkisi ve Bitkilerde Oluşan Değişiklikler.....	13
2.3. Hava Kirliliğinin Antioksidatif Savunma Mekanizmasına Etkisi ve Bitkilerde Oluşan Değişiklikler.....	24
2.4. Serbest Oksijen Radikallerinin Biyolojik Reaksiyonları.....	28
2.5. Hücrede Aktif Oksijen Üreten Yerler.....	32
2.6. Serbest Oksijen Radikallerine Karşı Bitkilerin Geliştirdiği Savunma Mekanizmaları.....	38
2.6.1. Enzimatik Savunma Mekanizmaları.....	39
2.6.2. Enzimatik Olmayan Savunma Mekanizmaları.....	42
3. MATERYAL VE METOD.....	51
3.1. Materyal.....	51
3.1.1. Analizlerde Kullanılan Bitki Materyali.....	51
3.2. Metod.....	52
3.2.1. Hava Kirletici Gazların Ölçülmesi.....	52
3.2.2. Toprakta Mineral Element Analizleri.....	52

3.2.3. Toprak pH'sının Belirlenmesi .....	53
3.2.4. Yaprakta Mineral Element Analizleri .....	53
3.2.5. Stoma Dağılımının Belirlenmesi .....	53
3.2.6. Klorofil ve Karotenoid Konsantrasyonunun Belirlenmesi.....	54
3.2.7. Prolin Konsantrasyonunun Belirlenmesi.....	54
3.2.8. Lipid Peroksidasyonunun Belirlenmesi .....	55
3.2.9. SH-Grupları Konsantrasyonunun Belirlenmesi.....	55
3.2.10. Askorbik Asit Konsantrasyonunun Belirlenmesi .....	56
3.2.11. Çözünür Protein Analizleri.....	57
3.2.12. Antioksidan Enzim Analizleri .....	57
3.2.13. İstatistiksel Analizler .....	58
4. BULGULAR VE TARTIŞMA .....	59
4.1. Araştırma Bulguları.....	59
4.1.1. Hava Kirletici Gazların Ölçüm Sonuçları .....	59
4.1.2. Toprakta Mineral Element Sonuçları.....	61
4.1.3. Toprak pH'sının Sonuçları .....	72
4.1.4. Yaprakta Mineral Element Sonuçları.....	73
4.1.5. Stoma Dağılımı Sonuçları .....	84
4.1.6. Klorofil Konsantrasyonu Sonuçları .....	85
4.1.7. Karotenoid Konsantrasyonu Sonuçları .....	88
4.1.8. Prolin Konsantrasyonu Sonuçları .....	89
4.1.9. Lipid Peroksidasyonu Sonuçları.....	90
4.1.10. SH-Grupları Konsantrasyonu Sonuçları.....	91
4.1.11. Askorbik Asit Konsantrasyonu Sonuçları.....	92
4.1.12. Çözünür Protein Konsantrasyonu Sonuçları .....	95
4.1.13. Antioksidan Enzim Sonuçları.....	96
4.2. Tartışma .....	97
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	109
KAYNAKLAR.....	121
ÖZGEÇMİŞ .....	138
EKLER.....	139

## **ÇİZELGELER DİZİNİ**

## **SAYFA**

Çizelge 2.1. Toksik radikallere karşı savunma sisteminde rol oynayan antioksidanların lokalizasyonu .....	38
Çizelge 4.1. Bitki örneklerinin alındığı alanlardaki gaz ölçüm sonuçları.....	61



## ŞEKİLLER DİZİNİ

## SAYFA

Şekil 2.1. Antropojenik stres faktörleri ve bitkide stresin oluşması .....	24
Şekil 2.2. Serbest oksijen radikallerinin sentezi .....	26
Şekil 2.3. Kloroplastlarda aktif oksijenin üretilmesi .....	33
Şekil 2.4. Mitokondride aktif oksijenin üretilmesi .....	35
Şekil 2.5. Endoplazmik retikulumda aktif oksijenin üretilmesi .....	36
Şekil 2.6. Askorbik asidin toksik radikallere karşı savunma mekanizmasındaki rolü .....	43
Şekil 2.7. H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 'nin kloroplastlardaki askorbat-glutasyon döngüsü ile etkisiz hale getirilmesi.....	45
Şekil 2.8. Karotenoidlerde serbest radikallerin etkisiz hale getirilmesi.....	49
Şekil 3.1. Yaprak ve toprak örneklerinin alındığı Sugözü Termik Santrali ve çevresi.....	52
Şekil 4.1. Termik santral kaynaklı kirletici gazların örnek alınan bitki topraklarındaki K konsantrasyonu üzerine etkileri .....	62
Şekil 4.2. Termik santral kaynaklı kirletici gazların örnek alınan bitki topraklarındaki Ca konsantrasyonu üzerine etkileri.....	63
Şekil 4.3. Termik santral kaynaklı kirletici gazların örnek alınan bitki topraklarındaki Mg konsantrasyonu üzerine etkileri.....	64
Şekil 4.4. Termik santral kaynaklı kirletici gazların örnek alınan bitki topraklarındaki Zn konsantrasyonu üzerine etkileri.....	65
Şekil 4.5. Termik santral kaynaklı kirletici gazların örnek alınan bitki topraklarındaki Cu konsantrasyonu üzerine etkileri.....	66
Şekil 4.6. Termik santral kaynaklı kirletici gazların örnek alınan bitki topraklarındaki Co konsantrasyonu üzerine etkileri.....	67
Şekil 4.7. Termik santral kaynaklı kirletici gazların örnek alınan bitki topraklarındaki Cr konsantrasyonu üzerine etkileri .....	68
Şekil 4.8. Termik santral kaynaklı kirletici gazların örnek alınan bitki topraklarındaki Na konsantrasyonu üzerine etkileri.....	69

Şekil 4.9. Termik santral kaynaklı kirletici gazların örnek alınan bitki topraklarındaki Ni konsantrasyonu üzerine etkileri .....	70
Şekil 4.10. Termik santral kaynaklı kirletici gazların örnek alınan bitki topraklarındaki Cd konsantrasyonu üzerine etkileri.....	71
Şekil 4.11. Termik santral kaynaklı kirletici gazların örnek alınan bitki topraklarındaki Pb konsantrasyonu üzerine etkileri .....	72
Şekil 4.12. Termik santral kaynaklı kirletici gazların örnek alınan bitki topraklarındaki pH üzerine etkileri .....	73
Şekil 4.13. Termik santral kaynaklı kirletici gazların örnek alınan bitki türlerinin yapraklarındaki K konsantrasyonu üzerine etkileri.....	74
Şekil 4.14. Termik santral kaynaklı kirletici gazların örnek alınan bitki türlerinin yapraklarındaki Ca konsantrasyonu üzerine etkileri .....	75
Şekil 4.15. Termik santral kaynaklı kirletici gazların örnek alınan bitki türlerinin yapraklarındaki Mg konsantrasyonu üzerine etkileri .....	76
Şekil 4.16. Termik santral kaynaklı kirletici gazların örnek alınan bitki yapraklarındaki Zn konsantrasyonu üzerine etkileri .....	77
Şekil 4.17. Termik santral kaynaklı kirletici gazların örnek alınan bitki yapraklarındaki Cu konsantrasyonu üzerine etkileri.....	78
Şekil 4.18. Termik santral kaynaklı kirletici gazların örnek alınan bitki yapraklarındaki Co konsantrasyonu üzerine etkileri.....	79
Şekil 4.19. Termik santral kaynaklı kirletici gazların örnek alınan bitki yapraklarındaki Cr konsantrasyonu üzerine etkileri.....	80
Şekil 4.20. Termik santral kaynaklı kirletici gazların örnek alınan bitki yapraklarındaki Na konsantrasyonu üzerine etkileri.....	81
Şekil 4.21. Termik santral kaynaklı kirletici gazların örnek alınan bitki yapraklarındaki Ni konsantrasyonu üzerine etkileri.....	82
Şekil 4.22. Termik santral kaynaklı kirletici gazların örnek alınan bitki yapraklarındaki Cd konsantrasyonu üzerine etkileri.....	83
Şekil 4.23. Termik santral kaynaklı kirletici gazların örnek alınan bitki yapraklarındaki Pb konsantrasyonu üzerine etkileri .....	84

Şekil 4.24. Termik santral kaynaklı kirletici gazların örnek alınan bitki türlerinin yapraklarındaki stoma dağılımı üzerine etkileri.....	85
Şekil 4.25. Termik santral kaynaklı kirletici gazların örnek alınan bitki türlerinin yapraklarındaki toplam klorofil konsantrasyonu üzerine etkileri .....	86
Şekil 4.26. Termik santral kaynaklı kirletici gazların örnek alınan bitki türlerinin yapraklarındaki klorofil a konsantrasyonu üzerine etkileri .....	87
Şekil 4.27. Termik santral kaynaklı kirletici gazların örnek alınan bitki türlerinin yapraklarındaki klorofil b konsantrasyonu üzerine etkileri.....	88
Şekil 4.28. Termik santral kaynaklı kirletici gazların örnek alınan bitki türlerinin yapraklarındaki karotenoid konsantrasyonu üzerine etkileri.....	89
Şekil 4.29. Termik santral kaynaklı kirletici gazların örnek alınan bitki türlerinin yapraklarındaki prolin konsantrasyonu üzerine etkileri .....	90
Şekil 4.30. Termik santral kaynaklı kirletici gazların örnek alınan bitki türlerinin yapraklarındaki lipid peroksidasyonu üzerine etkileri .....	91
Şekil 4.31. Termik santral kaynaklı kirletici gazların örnek alınan bitki türlerinin yapraklarındaki SH-bileşikleri konsantrasyonu üzerine etkileri.....	92
Şekil 4.32. Termik santral kaynaklı kirletici gazların örnek alınan bitki türlerinin yapraklarındaki toplam askorbik asit konsantrasyonu üzerine etkileri ...	93
Şekil 4.33. Termik santral kaynaklı kirletici gazların örnek alınan bitki türlerinin yapraklarındaki indirgenmiş askorbik asit konsantrasyonu üzerine etkileri.....	94
Şekil 4.34. Termik santral kaynaklı kirletici gazların örnek alınan bitki türlerinin yapraklarındaki okside askorbik asit konsantrasyonu üzerine etkileri....	95
Şekil 4.35. Termik santral kaynaklı kirletici gazların örnek alınan bitki türlerinin yapraklarındaki çözünen protein konsantrasyonu üzerine etkileri .....	96
Şekil 4.36. Termik santral kaynaklı kirletici gazların örnek alınan bitki türlerinin yapraklarındaki SOD konsantrasyonu üzerine etkileri.....	97



## SİMGELER VE KISALTMALAR

TA	: Taze ağırlık
KA	: Kuru ağırlık
•OH	: Hidroksil radikali
APX	: Askorbat peroksidaz
CAT	: Katalaz
DHA.	: Dihidro askorbat
GR	: Glutasyon redüktaz
GRX	: Guajakol peroksidaz
GSH	: Glutasyon
GSSH	: Okside glutasyon
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	: Hidrojen peroksit
Kl	: Klorofil
Kla	: Klorofil a
Klb	: Klorofil b
MDHA	: Monodihidro askorbat
PS	: Fotosistem
SOD	: Süperoksit dizmutaz
AsA	: Askorbik asit
O <sub>2</sub> <sup>-</sup>	: Süperoksit radikali
O <sub>2</sub> <sup>1</sup>	: Singlet oksijen



## 1.GİRİŞ

Bilindiği gibi hava kirliliği dünyanın pek çok yerindeki canlılar için önemli bir tehlike oluşturmaktadır. Yeni açılan sanayi tesisleri için meteorolojik koşulların dikkate alınmaması, kükürt yüzdesi fazla olan zararlı yakıtların kullanılması, kirlетici gazların atmosferde seyrelmesinin hedef alınmaması hava kirliliğine neden olmaktadır. Yerleşim ve yerleşim süresince kirlетici yakıtların kullanılması, hızlı nüfus artışı, düzensiz şehirleşme, yeşil alanların azalması ve kıyıların bozulması da kirliliği arttırmaktadır (Agrowal ve Agrowal, 2000; Lee, 2000). Bir yandan fosil kökenli maddelerin enerji üretimi amacıyla yakılarak biyosfere salınmaları sonucu oluşan kirliliği önleyici çalışmalar yapılırken, diğer taraftan dünyada ve Türkiye’de enerji kullanım ihtiyacından doğan gereksinimlerin büyük bölümü fosil yakıt kullanan termik santrallerden sağlanmaktadır (Atımtay, 2003; Baba ve Kaya, 2004).

Canlı ve cansız varlıkların uyum içinde olduğu ekosistemde, bu uyumu bozan hava kirliliği; gaz, sıvı veya katı şeklindeki yabancı maddelerin canlı sağlığına ve yeryüzünün ekolojik dengesine zarar verecek yoğunlukta ve sürede atmosferde bulunması olarak tanımlanmaktadır. Hava kirliliği su ve toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerinde de olumsuz etkiler oluşturmaktadır. Normal şartlarda atmosferin alt tabakasında kuru havanın bileşimi hacim olarak % 78.09 N<sub>2</sub>, % 20.95 O<sub>2</sub>, % 0.93 Ar, % 0.03 CO<sub>2</sub> ve diğer gazlardan oluşmaktadır (Hill ve Petrucci,1996).

Termik santrallerde yakıt olarak kullanılan kömür yüksek sıcaklıklarda yakıldığında, yapısında bulunan pek çok ağır metal (Fe, Cu, Zn, Mn, Pb, Cd, Ni, Co, Cr) küle geçmektedir. Külden de hava, su ve toprağa geçen bu metaller kök veya yapraklarla bitki bünyesine alındığında toksik etki yaratmaktadır. Bu durum toprak asitliğinin artmasına neden olduğu için, topraktaki Ca, Mg ve K gibi bitkinin büyüyüp gelişebilmesi için yaşamsal öneme sahip minerallerin bitki tarafından alınımını da engellemektedir (Constantine ve ark., 2004). Ayrıca yanma sonucu oluşan SO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> gibi kirlетiciler hakim rüzgarlarla ortalama 2-7 gün içerisinde atmosfere taşınmaktadır. CO<sub>2</sub> ve SO<sub>2</sub> gibi kirlетiciler doğrudan doğruya kaynaktan çıkarken, NO<sub>2</sub> ve O<sub>3</sub> gibi kirlетiciler kaynaktan çıktıktan sonra atmosferin diğer bileşenleriyle reaksiyona girmektedir (Tausz ve ark., 1998). Doğal yollardan ya

da antropojenik kaynaklardan çıkan bu kirleticiler ekosistemdeki dengeyi bozarak canlılara zarar vermektedir. Atmosferde bir kirleticinin yüksek yoğunlukta kısa süre veya düşük yoğunlukta uzun süre kalması bitkilerin bu kirleticileri yapraklarındaki stomalar aracılığıyla almasına neden olmakta, kloroplastlarda biriken SO<sub>2</sub> ve diğer kirleticiler bitkideki fotosentez sürecinin işleyişini bozarak bitkiye zarar vermektedir (Yanyun ve ark., 1991). Sonuçta, kirleticilerin bu etkileri sürgünlere ulaştığında, bitkilerde oksidatif stresin etkileri; yeşil sürgünlerin gelişemeyip kuruması, yaprak dökülmesi, çiçek ve meyve oluşumunun engellenmesi şeklinde kendini göstermektedir (Hongfa, 1990).

SO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> gibi hava kirleticileri biyolojik sistemin içerisine girdiğinde toksik oksijen radikallerinin oluşmasına neden olmaktadır. Genellikle dioksijen indirgenmesi sonucunda biyotik sistemlerde; süperoksit radikali (O<sub>2</sub><sup>-</sup>), hidrojen peroksit (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) ve oldukça reaktif hidroksil radikali (•OH) oluşmaktadır. Hidroksil radikali; DNA değişiklikleri, membran hasarı (lipid peroksidasyonu) ve enzim bozulmasıyla sonuçlanacak şekilde bitkideki biyomolekülleri okside etmektedir. Süperoksit ve hidrojen peroksit birleşiklerine karşı öncelikli savunma sistemi süperoksit dizmutaz, peroksidaz ve katalaz enzimlerini içermektedir. Buna ek olarak enzimatik olmayan savunma sistemi askorbik asit, glutatyon ve β-karoteni içermektedir (Richardson ve ark., 1989; Lee, 2000). Ayrıca prolin de serbest O<sub>2</sub> radikallerinin detoksifikasyonuna katılmaktadır (Bohnert ve Sheveleva, 1998). Bu antioksidan ürünlerindeki değişiklikler, lipid peroksidasyonunun yükselmesi, çözünür protein ve toplam klorofil miktarının azalması bitkilerde hava kirliliği sonucunda oluşan stresin biyolojik göstergesi olarak kabul edilmektedir (Richardson ve ark., 1989).

Bununla birlikte bir kirleticinin yaprakta oluşturacağı zararın şiddeti; hava kirleticisinin yoğunluğu, bitkinin bu kirleticiye maruz kalma süresi, genetik yapısı ayrıca ışık, toprak, sıcaklık ve mineral besinler gibi birçok faktöre bağlı olarak değişmektedir (Lee, 2000; Hutchinson, 1984). Bitkilerin hava kirliliğine karşı toleransını birçok mekanizma etkilemektedir. Bu mekanizmalar bitkinin morfolojik ve anatomik özelliklerini; köklerin derinliği, bitkinin olgunluğu, stoma sayısı ve pozisyonu, yaprak dökücü veya her dem yeşil olması, tek yıllık ya da çok yıllık

olması, yaprak kütikulasının kalınlığı ve büyüme formlarını kapsamaktadır (Taylor ve Pitelka, 1992; Tingey ve Anderson, 1991; Darrall, 1989). Örneğin iri yapraklı, ortalama olarak yüz yaşında olan bir kayın ağacı saatte 1.7 kg O<sub>2</sub> üretmekte, 2.35 kg CO<sub>2</sub> tüketmektedir. Ayrıca yılda 1 ton tozu süzmekte, baca gazları, bakteri ve virüsleri bağlamaktadır (Reich, 1987).

Gelişmekte olan ülkelerde enerji ihtiyacı sürekli olarak artmaktadır. Türkiye'de de elektrik enerjisine olan ihtiyaç her yıl % 7-8 oranında artmakta ve hızla artan bu ihtiyacı karşılamak üzere yeni enerji yatırımları yapılmaktadır. Ancak bu yatırımlar için yukarıda belirtilen unsurların göz önüne alınması gerekmektedir. Sugözü Termik Santrali'nin yarısı büyüklüğünde olan Yatağan Termik Santrali'nin yarattığı olumsuz etkiler bilinmektedir (Sarı, 2003).

Sugözü Termik Santrali: Akdeniz'in doğusunda, Adana'ya 70 km uzaklıkta, 200 hektarlık bir alan üzerine kurulmuştur. Toplam kurulu gücü 1210 MW'lık olan santralde saatte 450 ton kömür yakılacağı, yine saatte 60 ton külün yaklaşık 31 hektarlık alana yayılacağı belirtilmektedir. Tüm filtrelerin çalışması durumunda bile günde çevreye 200 ton sülfürik asit ve 70 ton nitrik asit yağacağı belirtilmektedir. Santralin kurulduğu jeomorfolojik konum gereği bacalardan çıkacak olan kirleticilerin uzun mesafelere taşınabilmesi, deniz kenarında olması, bağıl nemin yüksek olması, hakim rüzgar yönünün (güneybatı lodos) denizden karaya doğru olması nedeniyle buradaki bitkilerin ve bitkisel alanların zarar görebileceği belirtilmektedir (Ortaş, 2002).

Bu çalışma ile Sugözü Termik Santrali'nin bacalarından çıkan kirletici gazların bitkilerde oluşturduğu strese karşı hangi savunma mekanizmalarının etkin olarak kullanıldığı örneklik alanlardan alınan bitkilerin yapraklarıyla yapılan analizlerle saptanmıştır. Bu amaçla 2006 ve 2007 yıllarında Nisan ve Eylül ayı olmak üzere 4 farklı dönemde bacanın doğusu, kuzey-doğusu, kuzeyi, kuzey-batısı ve batısından örnekler alınmıştır. Örnek alınan yerler, maksimum emisyon mesafesi hesaplanarak saptanmıştır. Buna göre termik santralin doğusunda Botaş'ın 5 km uzağı, batısında Yumurtalık ilçe merkezi, kuzeyinde Yakapınar maksimum uzaklıktaki örneklik alanlar olarak belirlenmiştir. Belirlenen her yön için 1, 2.5, 5, 10 ve 15 km uzaklıklardan bitkilere ait yaprak örneklerinin alınmasının çalışmanın

güvenirliği açısından gerekli olduğu saptanmıştır. Bu mesafelerde sadece *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. ve *Morus alba* L. bitkileri yayılış gösterdiği için çalışma bu iki bitki türüyle gerçekleştirilmiştir. Ayrıca bitkilerin toprakta oluşması muhtemel olan kirlilikten nasıl etkilendiğini saptamak için örneklerin alındığı yer ve dönemlerde bitkilere ait toprak örnekleri alınarak analiz edilmiştir. Böylece, rnek alınan bitki türlerinde kirlilik zararını en aza indirebilmek için antioksidatif savunma mekanizmasını oluşturan parametreler değiştiğinde, bu parametrelerin birbirleriyle olan etkileşimleri incelenmiş, hem bu türler için hangi fizyolojik süreçlerin antioksidatif savunma mekanizması için daha önemli olduğu hem de bitkilerin hangi boyutlarda etkilendiği saptanmıştır.

## 2.ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Termik santraller kömür, fuel-oil, motorin ve doğal gaz gibi kaynakların kullanılmasıyla enerjinin üretildiği tesislerdir. Kömüre dayalı bir termik santraldeki ana işlem, kömürdeki kimyasal enerjinin elektrik enerjisine dönüştürülmesidir. Bu işlem sonucu santrallerin bacalarından çıkan kirleticiler bitki bünyesine alınmakta ve bitkilerde buna karşı bir dizi savunma mekanizması geliştirmektedir. Bu konuda daha önce yapılan araştırmalar çalışmanın bütünlüğünü sağlayacak şekilde ve aşağıda belirtildiği gibi düzenlenmiştir.

### 2.1. Kömürle Çalışan Bir Termik Santralin Bacalarından Yayıdığı Kirletici Maddeler

Kömürle çalışan bir termik santralin bacalarından yaydığı kirletici maddeler; kükürt oksitler (özellikle  $SO_2$ ),  $NO_x$ ,  $CO_2$ , katı partiküller, hidrokarbonlar ve küllerden oluşmaktadır (Hesketh, 1973; Keskin ve Mert, 2001). Bu kirleticiler rüzgar, yağış, nem ve yer çekimi gibi faktörlere bağlı olarak çevreye yayılmaktadır. Termik santrallerde kömür yakılması sonucu bacalardan çıkan kirletici gazlar ve küller yağışlarla toprak suyuna karışmaktadır. Böylece yüksek düzeyde kükürt ve ağır metal içeren bu maddeler atmosfer ve toprakta kontaminasyona neden olmaktadır (Baba, 2003).

#### *Kükürt Oksitler*

Termik santrallerde fosil yakıtlardan kömürün yakılmasıyla meydana gelen  $SO_x$ 'ler  $SO_2$  ve  $SO_3$ 'ü kapsamaktadır. Bunlar havayı kirleten, renksiz ve yanıcı olmayan gazlardır. Genel olarak bacalardaki  $SO_3$  emisyonu,  $SO_2$  emisyonunun % 1-2'si kadardır.  $SO_3$ , suda çözünen son derece aktif bir madde olup havanın nemini çekerek  $H_2SO_4$ 'e dönüşmektedir. Bu nedenle havada daha çok sülfürik asit halinde bulunmakta ve çabucak yeryüzüne inmektedir (Gündüz, 1994).

Havadaki SO<sub>2</sub> oranı meteorolojik şartlara ve hava basıncına bağlıdır. Sisli havada SO<sub>2</sub> miktarı artmakta, yağışlı havada azalmaktadır. Bitki türüne göre 0.05-10 ppm SO<sub>2</sub>'ye maruz kalma sonucunda zararlı etkiler görülmeye başlamaktadır (Lewitt, 1980).

SO<sub>2</sub>, stomalar aracılığıyla bitki dokularına girdikten sonra bitki hücrelerinin çevresindeki sucul ortamda toksik sülfid ve bisülfid türlerini oluşturacak şekilde ayrışmaktadır. Bunlar da yapısal ve enzimatik proteinlerin disülfid köprüleriyle doğrudan reaksiyona girerek enzimlerin fonksiyonlarında azalma meydana getirmektedir. Sülfidin süperoksit ile reaksiyona girerek sülfata dönüştürülmesi ile detoksifikasyonunun sağlanması ışık etkisiyle gerçekleşen reaksiyonlarla kloroplastlarda olmakta, bu olaya fotosentetik elektron taşıma zinciri aracılık etmektedir. Ancak bu reaksiyonlar ışıklandırılmış kloroplastlarda hidroksil radikali ve hidrojen peroksit oluşumuna neden olan bir reaksiyon zincirini başlatmaktadır. Sülfitle birlikte bu toksik radikaller membran proteinlerine ve lipidlerine zarar vermektedir (Ranieri ve ark., 1997; Bersin, 1950; Asada ve Kiso, 1973). SO<sub>2</sub>'nin neden olduğu oksidatif stres sonucunda ışığa bağlı olarak yapraklarda lipid peroksidasyonu ve klorofil parçalanması gerçekleşmektedir (Shimazaki ve ark., 1980; Peiser ve ark., 1982). SO<sub>2</sub> tarafından başlatılan reaksiyonlar sonucunda üretilen H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, Calvin döngüsündeki tiyol enzimleri inhibe etmektedir (Tanaka ve ark., 1982). Bu enzimlerin inhibisyonu geri dönüşümlüdür ancak yüksek miktarda süperoksit üretimi ve CO<sub>2</sub> asimilasyonunun inhibe edilmesi biyomoleküllerin geri dönüşümsüz olarak zarar görmesine neden olmakta APX, katalaz, GR gibi enzimler inaktif hale gelmektedir (Tanaka ve ark., 1982). Peroksizomlarda katalazın inhibe olması fotorespirasyonunun azalmasına ve daha sonraki süreçte ise PSI'de daha fazla süperoksit üretilmesine yol açmaktadır (Zelitch, 1973). Sonuç olarak SOD yıkımına, klorofil parçalanmasına (Shimazaki ve ark., 1980) ve lipid peroksidasyonuna neden olmaktadır (Peiser ve ark., 1982).

SO<sub>2</sub> etkisi ile zarara uğramış yaprakların mikroskopik incelemesinde klorofilin parçalandığı, plazmanın zarar gördüğü, kalsiyumpektinatın çözülmesi sonucu ara lamellerin ortadan kalktığı saptanmıştır. Stomaların yakınındaki klorofilce zengin mezofil dokularda daha şiddetli hasarlar meydana gelmektedir.

Belirli bir konsantrasyona kadar SO<sub>2</sub> bitki dokusunun tamponlanmasıyla zararsız hale getirilebilmektedir. Bu durumda SO<sub>2</sub>, oksitlenerek sülfata çevrilmekte ve bitkinin kükürt ihtiyacının karşılanmasına katkıda bulunmaktadır. Ancak yüksek konsantrasyonlarda SO<sub>2</sub>, plazmaya asit etkisi yapmakta ve klorofildeki demirin yerinden koparılmasına neden olarak CO<sub>2</sub> asimilasyonunu engellemektedir. Savunma reaksiyonu olarak solunum ve terleme artmaktadır. CO<sub>2</sub>/SO<sub>2</sub> oranı ne kadar küçük ise bitkilerde meydana gelen tahribat o kadar fazla olmaktadır (Faller, 1976).

SO<sub>2</sub>'nin bitkilerdeki temel hedeflerinden birinin, net CO<sub>2</sub> asimilasyonunda azalma ve fotosentez oranında düşmeye neden olacak şekilde, kloroplastlar olduğu saptanmıştır. Bu olay fotosentezde hem ışık reaksiyonları hem de karanlık reaksiyonlarına bağlı olarak gerçekleşebilmektedir. Esas olarak SO<sub>2</sub>, PSII'de fotosentetik elektron taşıma sistemini ve yüksek turnover oranına sahip olan D1 proteinini etkilemektedir (Ranieri ve ark., 1997).

SO<sub>2</sub>'ye maruz kalan otsu ve odunsu bitkilerin sürgünlerinde sülfür miktarının arttığı saptanmıştır (Bytnerowicz ve Grulke, 1992). Ancak, sadece sürgünlerdeki sülfür miktarının artması SO<sub>2</sub>'ye maruz kalma anlamına gelmemektedir (Rennenberg, 1984). Çünkü sürgünün sülfür içeriği; bitki türü, sülfürü fazla olan topraklarda yetişme, iklimsel faktörler ve SO<sub>2</sub>'ye maruz kalma süresi gibi çeşitli etmenlere bağlı olarak değişebilmektedir (De Kok, 1990). Bazı durumlarda sürgünlerdeki yüksek sülfür miktarı vakuoldeki sülfat birikimine atfedilmektedir (Cram, 1990).

SO<sub>2</sub>'nin bitkiler üzerine olan etkileriyle ilgili yapılan çalışmaların bazıları şöyledir:

Shimazaki ve ark. (1980), 2 ppm SO<sub>2</sub>'ye 2 saat maruz bırakılan ıspanak yapraklarında SOD aktivitesinin % 60 oranında azaldığını, katalazın ise % 70 oranında inhibe edildiğini saptamışlardır. Yapılan bu çalışmada APX ve guajakol peroksidaz SO<sub>2</sub> uygulamasından etkilenmemiştir.

Covello ve ark. (1989), SO<sub>2</sub>'nin PSII'yi inhibe ettiğini ve bunun ardından membran tilakoidlerinde lipid peroksidasyonunun oluştuğunu saptamışlardır.

Agrawal ve Agrawal (1989), bir termik santrale 30 km uzaklığa kadar belirledikleri noktalardan aldıkları *Magnifera indica*, *Citrus medico*, *Bounganvillaea*

*spectabilis* türlerinin yapraklarıyla yaptıkları analizlerde SO<sub>2</sub>'nin artmasına paralel olarak askorbik asit ve klorofil miktarının azaldığını saptamışlardır.

Gupta ve Ghause (1986), SO<sub>2</sub> kirliliğine maruz kalan patlıcanda, epidermal hücrelerin sıklığının artmasına karşın stoma yoğunluğu, stomatal index, stoma poru açıklığı ve epidermal hücrelerin büyüklüğünün azaldığını saptamışlardır.

Singh ve ark. (1985), *Calendula officinalis* L.'nin 30 günlük fidelerini SO<sub>2</sub> ile muamele etmiş ve SO<sub>2</sub> uygulaması sonucunda fotosentetik pigmentlerin ve protein miktarının azaldığını saptamışlardır. Elektron mikroskopisiyle yapılan çalışmalar SO<sub>2</sub>'nin stoma porlarının genişliğini değiştirdiğini göstermiştir.

Kong ve ark. (1999), *Xanthoparmelia mexicana*'yı 0.5 ppm SO<sub>2</sub>'ye maruz bırakmanın klorofil a, klorofil b ve protein miktarını düşürdüğünü belirtmiştir. 0.5 ppm SO<sub>2</sub>'ye maruz kalmada SOD aktivitesi artmış ancak peroksidaz aktivitesi yalnız 1.5 ppm'de önemli bir değişiklik göstermiştir. Glutasyon, SO<sub>2</sub> konsantrasyonunun artmasıyla birlikte çarpıcı bir şekilde yükselmiştir. 0.5 ve 1.5 ppm'e maruz bırakma glutasyonun sırasıyla % 30-120 yükselmesine neden olmuştur. Tüm uygulamalarda molondialdehit neredeyse değişmeden kalmıştır. Glikoz miktarı düşmüştür.

Hongfa ve ark. (2000)'a göre SO<sub>2</sub> ile muamele edilen monokotiledonlarda klorofil miktarı artmış, dikotiledonlarda ise klorofil miktarı azalmıştır. SO<sub>2</sub>'nin klorofil b'ye olan etkisi klorofil a'ya olan etkisinden daha fazladır. SO<sub>2</sub> konsantrasyonu 0.1 ppm'den daha düşük olduğunda hücre zarlarının geçirgenliği artmıştır.

Harvey (1989), hava kirliliğine karşı meşe, kavak, akça ağaç, kızılbaş ve söğüt gibi ağaçların otsu bitkilerden daha dirençli olduğunu belirtmektedir. Kirletici gazlardan SO<sub>2</sub> miktarının havada 1.5 ppm'nin üzerinde olması buğday bitkisinin verimini azaltmaktadır. Aynı şekilde elma, patlıcan, domates, lahana ve maydanoz 1.6-2.5 ppm arasında gelişmelerini ancak sürdürürken; kiraz, soğan ve mısırın bu değerlerin üzerindeki SO<sub>2</sub>'ye karşı oldukça dayanıklı olduğu saptanmıştır.

Tanaka ve Sugahara (1980), SO<sub>2</sub>'ye maruz bırakılan kavak ağaçlarında, artan SO<sub>2</sub> ile korelasyon gösterecek şekilde SOD aktivitesinin de arttığını saptamışlardır.

Kubo ve ark. (1995), SO<sub>2</sub>'nin *Arabidopsis thaliana*'daki antioksidan enzimleri üzerine olan etkilerini araştırmışlardır. SO<sub>2</sub>, yapraklardaki askorbat

peroksidaz ve guajakol peroksidaz aktivitesinin artmasına neden olmuş ancak superoksit dismutaz, katalaz, monodihidroaskorbat redüktaz, dihidroaskorbat redüktaz ve glutasyon redüktaz aktivitesini çok az etkilemiştir.

Madamanchi ve Alscher (1990), SO<sub>2</sub>'ye hassasiyeti farklı olan iki bezelye çeşidinde SO<sub>2</sub>'nin askorbik asit, glutasyon, superoksit dismutaz ve glutasyon redüktaz üzerine olan etkisini araştırmışlardır. SO<sub>2</sub>'ye maruz bırakılan dirençli çeşitte total glutasyon birikiminin daha fazla olduğu saptanmıştır. Okside glutasyon ve total askorbik asit miktarında önemli bir değişiklik olmamıştır. Glutasyon redüktaz aktivitesi toplam glutasyon ile uygunluk göstermiş, SOD aktivitesi de artmıştır. Bu çalışmada elde edilen verilere göre SO<sub>2</sub>'ye karşı dirençlilik mekanizmasında GR ve SOD'un oldukça önemli olduğu ortaya çıkmıştır.

### *Azot Oksitler*

Enerji santralleri NO<sub>2</sub>'nin ortama yayılmasında önemli bir rol oynamaktadır. NO<sub>2</sub>, çözünme özelliği az olan, yanıcı bir gazdır. NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>'ün en önemli temel maddesidir (Harrison, 1998). Azot monoksit (NO) renksiz ve kokusuz olup zararsız bir gazdır. Oksitlendiği zaman sarı-kahverengi keskin kokulu ve zararlı bir gaz haline gelmektedir. NO<sub>x</sub>'in atmosferdeki kalıcılık süresi yaklaşık olarak 1 gündür. NO<sub>x</sub>'in atmosferdeki eşik değeri 560 µg/m<sup>3</sup> (4700 µg/m<sup>3</sup> = 2.5 ppm)'ün altındadır. Koku için eşik değeri 1-3 ppm'dir (Gündüz, 1994).

NO<sub>2</sub>'nin serbest amino asit miktarı (Van Dijk ve Roelofs, 1988; Massal ve ark., 1988; Bolsinger ve Fluckiger, 1989) ve protein miktarını (Lahdesmaki ve ark., 1990) arttırdığı saptanmıştır. NO<sub>x</sub>, stomalar aracılığıyla bitki bünyesine girdikten sonra su ile reaksiyona girmekte ve NO<sub>3</sub><sup>-</sup> iyonları oluşmaktadır. Daha sonra NO<sub>2</sub><sup>-</sup> iyonlarının oluşmasıyla, bitkiler için çok daha toksik hale gelmektedir (Kaji ve ark., 1980; Wellburn, 1990). NO<sub>x</sub>, bitki yapraklarına girdikten sonra hücre duvarının sucül ortamında çözünmekte ve apoplastın diğer bileşenleri (askorbik asit gibi) ile reaksiyona girmektedir (Thoene ve ark., 1991).

NO ve NO<sub>2</sub>'nin neden olduğu oksidatif stres sonucunda bitkilerde fizyolojik olarak birçok değişiklik meydana gelmektedir. Oksidatif stres sonucunda meydana

gelen lipid biyosentezinin inhibisyonu ve lipid peroksidasyonuna bağlı olarak membran hasarı ortaya çıkmakta ve net fotosentez azalmaktadır (Wellburn, 1990; Bytnerowicz ve Grulke, 1992).

NO<sub>2</sub> ve SO<sub>2</sub>'nin kombine etkisi bitkiler için çok daha zararlı olmaktadır. NO<sub>2</sub> düşük konsantrasyonlarda olduğunda bitkilerdeki nitrit redüktazı aktive etmektedir. Böylece, amonyak ve aminoasitlerin sentezi arttığı için bitkilerde büyüme de artmaktadır. Ancak SO<sub>2</sub> kloroplastlardaki nitrit redüktaz aktivitesini inhibe etmekte, böylece NO<sub>2</sub>'nin detoksifikasyonunu önleyerek bitkide oluşacak zararın şiddetini de arttırmaktadır (Lichtenthaler ve Buschmann, 1984).

NO<sub>x</sub>'in bitkiler üzerine olan etkileriyle ilgili yapılan çalışmaların bazıları şöyledir:

Schulz ve Hartling (2001), NO<sub>x</sub>, O<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub> gibi kirletici gazların yoğun olduğu ortamda yetişen *Pinus sylvestris* L.'nin yaprak analizlerini yapmışlardır. Çalışma sonucunda, tüm yapraklarda glutatyonun kirletici gaz konsantrasyonuna bağlı olarak azaldığı saptanmıştır. Glutatyon redüktaz aktivitesi okside glutatyon ile korelasyon göstermiştir. Bununla birlikte SOD aktivitesi ve yapraklardaki askorbik asit miktarı değişmeden kalmıştır. Sadece yapraklardaki okside askorbik asit (dihidroaskorbat) konsantrasyonu artmıştır.

Tripathi ve ark. (1999), NO<sub>x</sub> emisyonunun bitkiler üzerine olan etkilerini araştırmışlardır. Çalışmalarının sonucunda, emisyon kaynağına yaklaştıkça *Ficus religiosa*, *Syzyium jambolana*, *Azadirachta indica*, *Cassia fistula* ve *Mangifera indica* türlerinin yapraklarındaki klorofil, karotenoid, şeker ve askorbik asit miktarının azaldığını saptamışlardır.

### **CO<sub>2</sub> ve CO**

Atmosferdeki karbondioksit miktarı fosil yakıtların ve özellikle kömürün yakılması sonucunda % 40 artarak 285-290 ppm'den 370 ppm'e çıkmıştır. (Heath ve Mansfield, 2000).

CO<sub>2</sub> ve CO'nun bitkiler üzerine olan etkileriyle ilgili yapılan çalışmaların bazıları şöyledir:

Gielen ve ark. (2000), *Pinus sylvestris* L. fidelerinde yüksek CO<sub>2</sub>'nin klorofil miktarına ve yaprak özelliklerine olan uzun süreli etkilerini araştırmışlardır. Yüksek CO<sub>2</sub>, yapraklarda klorofil miktarının % 26 oranında azalmasına neden olmuştur.

Lin ve Wang (2002), buğdayda yüksek CO<sub>2</sub>'in protein ve klorofil miktarını azalttığını ve SOD aktivitesini arttırdığını saptamışlardır. İndirgenmiş glutatyonun okside glutatyonla dönüşmesi ile indirgenmiş glutatyon/okside glutatyon oranı azalmıştır. Ayrıca indirgenmiş askorbik asidin okside askorbik asite dönüşmesiyle de indirgenmiş askorbik asit/okside askorbik asit oranı azalmıştır.

Lin ve ark. (2001), *Pinus sylvestris* L. fidelerinde, yüksek CO<sub>2</sub>'nin çeşitli yaprak özelliklerine olan etkilerini araştırmıştır. CO<sub>2</sub> uygulamasından 4 yıl sonra, yüksek CO<sub>2</sub>, yapraktaki stoma yoğunluğunu % 7.4, yaprak ve mezofil doku kalınlığını sırasıyla % 6.4 ve 5.7 oranında arttırmıştır. Buna ek olarak floem hücrelerinin teşkil ettiği alan % 4 artmıştır. CO<sub>2</sub> konsantrasyonu çok yükseldiğinde ise stoma yoğunluğu azalmıştır. Yaprak yapısı ve anatomisindeki diğer değişiklikler (mezofil dokunun artması gibi) yüksek CO<sub>2</sub> koşulları altında fotosentezin artmasına neden olmuştur. Bununla birlikte yüksek CO<sub>2</sub>, floem hücrelerinin fotosentez ürünlerini büyümekte olan yapraklara daha aktif olarak transfer etmesini sağlamıştır.

Wang ve ark. (1998), bir yıllık elma (*Malus domestica*) yapraklarını 8 gün boyunca CO<sub>2</sub>'ye maruz bırakmıştır. CO<sub>2</sub>'nin 200 l l<sup>-1</sup>'den 360 l l<sup>-1</sup>'e yükseltilmesi yapraklarda sorbitol, sükroz, glikoz ve fruktoz miktarının önemli ölçüde artmasına neden olmuştur. CO<sub>2</sub> konsantrasyonunun 360 l l<sup>-1</sup>'den 1600 l l<sup>-1</sup>'e yükseltilmesi yapraklarda sükroz miktarında küçük bir artışa neden olmuş, nişasta konsantrasyonu ise CO<sub>2</sub> yükselmesine bağlı olarak artış göstermiştir.

Schwanz ve Polle (2001), yüksek CO<sub>2</sub>'ye maruz bırakılan kavak ağaçlarının yapraklarında fotosentezin ve elektrolit akışının azaldığını saptamıştır. Şiddetli stres, yapraklarda pigment ve protein azalmasına neden olmuştur. Bu olay superoksit dizmutazın hızlı indüksiyonuyla gerçekleşmiştir. Detoksifikasyon sistemindeki askorbat-glutatyon aktivitesi katalaz aktivitesinde de olduğu gibi superoksit dizmutazdan daha az kararlı çıkmıştır. Bu sonuçlar CO<sub>2</sub>'nin neden olacağı stresin superoksit dizmutaz tarafından sınırlandırıldığını göstermiştir.

***Katı partiküller (PM)***

SO<sub>2</sub> ve NO<sub>2</sub>'nin yanması ile ortaya çıkan partiküller havada asılı olarak bulunmakta, sülfat ve nitrat içeren asit partiküllerine dönüşebilmektedir. Havada asılı bulunan katı partiküllerin çapları 0.1-100 µm arasında değişmektedir (İncecik, 1994).

***Hidrokarbonlar (HC)***

Hidrokarbonlar troposferi kirleten maddelerdir, bunların kendilerinden ziyade, fotokimyasal reaksiyonlarla meydana getirdikleri ürünler kirlilik yaratmaktadır. Hidrokarbonların atmosferdeki kalıcılık süresi tam olarak bilinmemektedir. HC'lardan etilen, bitki büyümesini durdurmaktadır (Gündüz, 1994; Toros, 2000).

***Flor ve Hidrojenflorür***

HF renksiz, keskin kokulu, kuvvetli yakıcı bir gaz olup çeşitli fabrikalar ve termik santrallerin bacalarından atmosfere yayılmaktadır. Temiz havada 0.003 ile 0.006 mg F/m<sup>3</sup> arasında HF bulunmaktadır. Emisyon kaynakları civarında ise bu miktar 10-40 misli artmaktadır. Bu şekilde havaya karışan F ve bileşikleri (HF) yağmur suyu ile toprağa karışmakta, toprakta birikerek kontaminasyona neden olmaktadır. F'un bitkilere vereceği zarar neme bağlıdır çünkü nemli havada bitkiler daha çok F almaktadır. Yağmur ise havanın flor içeriğini azaltmakta böylece bitkiler daha az zarar görmektedir (Bergmann, 1992).

**2.2. Hava Kirliliğinin Mineral Beslenme Üzerine Etkisi ve Bitkilerde Oluşan Değişiklikler**

Normal bir toprakta bitki için zararsız olan toplam mineral element miktarları yaklaşık olarak şöyledir: As, 20; B, 25; Be, 10; Br, 10; Cd, 3; Co, 50; Cr, 100; Cu, 100; F, 200; Hg, 2; Mo, 5; Ni, 50; Pb, 100; Sb, 5; Se, 10; Sn, 50; U, 5; V, 50; Zn,

300. Bitki tarafından tolere edilebilecek olan bu konsantrasyonlar ppm= mg/kg olarak verilmiştir (Kloke, 1981).

Ağır metaller  $5 \text{ g/cm}^3$ 'den daha yoğun olan metallerdir. 90 doğal elementten 53 tanesi ağır metal olup bunların bazıları bitkiler için önemli, bazıları ise önemsizdir. Bunlardan 17 tanesi, fizyolojik koşullarda çözünebilirliğe sahip olup canlı hücreler tarafından alındıklarından bitkiler için önemlidir (Weast, 1984). Bu metallere Fe, Mo ve Mn bitkiler için önemli mikro besin elementleridir. Zn, Ni, Cu, V, Co, W ve Cr toksik elementler olup bitkiler için düşük konsantrasyonlarda önemli iz elementlerdir. As, Hg, Ag, Sb, Cd, Pb ve U'nun ise bitkiler için bilinen hiçbir yararı yoktur, bu nedenle bu elementlerin bitkiler için çok daha toksik olabileceği düşünülmektedir (Schützendübel ve Polle, 2002).

Endüstriyel aktivitelerden dolayı toprakta toksik metaller birikmekte ve geniş bir alana yayılan bu toksik elementler bitkiye iki şekilde zarar vermektedir; ya doğrudan bitki büyümesini ve biyosentetik yolları inhibe etmekte ya da serbest radikallerin oluşumuna neden olmaktadır (Foyer ve ark., 1994). Ağır metallerin bitkiler tarafından alınması topraktaki organik madde içeriği, toprak pH'sı gibi toprak karakteriyle de ilgili olduğundan topraktaki kontaminasyon bazen bitki yapraklarıyla uygunluk göstermemektedir (Jones, 1991). Örneğin pH değeri yüksek olan topraklar  $\text{SO}_2$ 'ye karşı direnci arttırmaktadır (Pukacka ve Pukacki, 2000). Ayrıca genel olarak düşük pH'larda kationların alınımı azalırken anyonların alınımı artmaktadır (Kaçar ve Katkat, 1998).

Bitki kökleriyle topraktan alınan, korteks içindeki metaller konsantrasyon gradiyentine göre apoplastik boşluğa alınmakta ve ayrıca hücre duvarında da birikmektedir. Toksik etkileri ise plazma membranı ve hücre içinde ortaya çıkmaktadır. Metallerin iki farklı yolla alındığı saptanmıştır; ya pasif alınım ile sadece konsantrasyon gradiyentine göre metal membranın diğer tarafına geçmekte ya da bu olay taşıyıcı substratlarla enerji gerektiren yollarla olmaktadır. Cd, Cu ve Ni için yaygın bir transmembran taşıyıcısı bulunmaktadır. Bu metallerin alınımı K, Ca ve Mg tarafından inhibe edilmektedir (Kaçar ve Katkat, 1998). Canlı hücreler tarafından alınan metallerin toksisitesinin daha iyi anlaşılması için bunların kimyasal özelliklerinin iyi bilinmesi gerekmektedir. Ağır metallerin çoğu fizyolojik koşullarda

$\delta$ -orbitalini tam olarak dolduramamış geçiş metallere aittir. Aerobik hücrelerin fizyolojik olarak redoks potansiyeli -420 mV ile +800 mV arasında değişmektedir. Bu nedenle biyolojik önemi olan ağır metaller redoks aktif ve redoks inaktif metaller olarak iki gruba ayrılmaktadır. Eğer metal reaksiyona gireceği molekülden daha düşük redoks potansiyeline sahipse reaksiyon gerçekleşmez.  $\text{Cu}^+$  ve  $\text{Fe}^{+2}$  gibi redoks aktif metaller Fenton reaksiyonu aracılığıyla önce süperoksit radikalinin daha sonraki reaksiyonlarla da hidrojen peroksit ve hidroksil radikalinin oluşumuna neden olmaktadır (Schützendübel ve Polle, 2002).

Metaller ayrıca sistein residülerine bağlanarak enzimleri inaktif hale getirmektedir. Enzimlerin çoğu aktiviteleri için çok önemli olan metalleri içermektedir. Bir metalin başka bir metal tarafından enzimdeki yerinden çıkarılması enzimi inhibe etmekte ya da aktivite kaybına neden olmaktadır. Co, Zn ve Ni gibi divalent katyonlar ribuloz 1,5 biP-karboksilaz/oksijenaz enzimindeki Mg'un yerine geçerek aktivite kaybına neden olmaktadır (Wildner ve Henkel, 1979). Turpta kalmodulin proteinindeki Ca'nın yerine Cd'nin geçmesi kalmoduline bağlı fosfodiesteraz aktivitesini inhibe etmektedir (Rivetta ve ark., 1997).

Bitkilerin ağır metallere maruz kalması sonucu, hücrede reaktif oksijen türleri oluşmakta ve bu olay hücrenin ölmesine neden olmaktadır. Örneğin Cu, redoks özelliklerinden dolayı doğrudan reaktif oksijen türlerinin oluşumuna neden olmaktadır. Ağır metallere maruz kalma sonucu oluşan stres; APX, guajakol peroksidaz (GRX) ve SOD gibi enzimlerin aktivitelerinin yükselmesine yol açmaktadır. Glutasyon okside olduğundan GSH/GSSG oranı azalmaktadır. Aynı şekilde Zn, Co, Ni ve toksik etkili Pb, Cd gibi bitkiler için gerekli olmayan ağır metallere maruz kalma sonucunda da bitkilerde oksidatif stres belirtileri ortaya çıkmaktadır. Örneğin Cd, hem fotosentez hem de respirasyonda elektron transferini bozarak reaktif oksijen türlerinin oluşumuna neden olmaktadır. Böylece savunma mekanizması olarak bitkilerde prolin miktarı artmaktadır. Çalışmaların bazılarında ise ağır metallere bağlı olarak oluşan oksidatif stresten dolayı bitki yapraklarında GSH ve karotenoid miktarının arttığı lipid ve proteinlerin hasar gördüğü saptanmıştır. Örneğin ağır metaller içerisinde en çok Pb protein oksidasyonu ve lipid peroksidasyonuna neden olmaktadır (Sanita Di Toppi ve ark., 2003).

Ağır metallerin bitkiler üzerine olan etkileriyle ilgili yapılan çalışmaların bazıları şöyledir:

Miller ve Mcfee (1983), topraktaki metal toksisitesini saptamak için endüstriyel emisyonun yüksek olduğu bölgelere belirli uzaklıkta belirledikleri yerlerden aldıkları toprak örneklerini analiz etmiştir. Bacalara 5 km uzaklıkta, 2.5 cm'den alınan topraklarda Cd, Zn, Cu ve Pb kontaminasyonu olduğunu saptamışlardır. Ancak 67 km'den sonra 30-36 cm derinliğinden alınan toprak örneklerinde herhangi bir kontaminasyon belirlenememiştir.

Pukacka ve Pukacki (2000), yaptıkları çalışmada SO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> emisyonlarının yüksek olduğu yerlerden alınan toprak örneklerinde, toprak pH'sının düştüğünü belirtmektedir. Emisyon küllerindeki Cu, Pb ve Cd'ye bağlı olarak topraktaki metal konsantrasyonunun ve alüminyum miktarının arttığını saptamışlardır. Bunun sonucunda bitkiler topraktaki Ca, Mg ve K gibi mineral besinlerin yerine ağır metalleri aldığından *Pinus sylvestris* L.'nin iğne yapraklarında SOD ve guajakol peroksidaz aktivitesi artmıştır.

Rautio ve ark. (1998), Rusya'daki bir fabrikanın çevresinden toplanan *Pinus sylvestris* L. yapraklarındaki Al, Ca, Cd, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Ni, Pb ve Zn konsantrasyonlarını saptamışlardır. Fabrikaya yakın olan yerlerden alınan çam yapraklarındaki Ni, Cu ve Fe konsantrasyonları oldukça yüksek bulunmuştur. Mn ve Zn'nin ise azaldığı saptanmıştır. Fabrikaya 50 km kadar olan uzaklıklarda emisyonların etkisi çam yapraklarının kimyasında açık bir şekilde görülebilmektedir.

Koptsik ve ark. (2001), Rusya'da bir nikel fabrikasının etrafındaki bölgelerden toplanan çam yapraklarının kimyasında hava kirliliğinin değişikliklere neden olduğunu saptamışlardır. Fabrikaya yakın yerlerde Ni, Cu ve S konsantrasyonları yükselmiştir. Kirletici kaynağına yaklaştıkça yapraklardaki Ni ve Cu konsantrasyonunda artışlar olmuş ve çam yapraklarındaki element kompozisyonunda değişiklikler meydana gelmiştir. Ayrıca atmosferden kaynaklanan kirleticilerin toprak kontaminasyonuna neden olduğu saptanmıştır.

### ***Kükürt (S)***

Normal bir bitki S ihtiyacının büyük bir kısmını topraktan sülfat şeklinde alarak karşılamaktadır. Ortamdaki SO<sub>2</sub> konsantrasyonları yüksek olduğunda bitki önemli ölçüde kükürt ihtiyacını stomalar aracılığıyla aldığı SO<sub>2</sub> ile de karşılayabilmektedir. SO<sub>2</sub>, bitki içinde indirgenerek S içeren organik moleküllerin yapımında kullanılmaktadır (Bergmann, 1992). 1.5 mg/m<sup>3</sup> SO<sub>2</sub> üzerindeki konsantrasyonlarda ise bitkide zararlı etkiler görülmeye başlamaktadır (Faller, 1968). Kök aracılığıyla topraktan sülfat alınmasını Se, Mo ve Cr anyonları etkilemekte, diğer moleküller ve ortam pH'sı ise etkilememektedir. Köklerle alınan S, genç yapraklara ve meristemlere doğru hareket etmektedir. Bitki topraktan yeteri kadar S alamazsa, bitkide protein sentezi azalmakta, karbonhidrat birikimi artmakta ve kloroplast oluşumu engellenmektedir. S noksanlığı öncelikle genç yapraklarda görülmektedir. Bitkisel materyalin kuru maddesinde türe göre yaklaşık olarak % 0.10-0.50 oranında S bulunmaktadır. Topraktaki S miktarı ise % 0.01-0.15 arasında değişmektedir (Bergmann, 1992).

### ***Potasyum (K)***

Bitkinin topraktan fazla miktarda K alması Na, Mg ve Ca alınımını engellemekte ya da bu iyonların hücreden atılmasına yol açmaktadır. Bunun tersi bir durum varsa yani bitki topraktan yeterince K alamıyorsa Na, Mg ve Ca'un bitki tarafından alınımı kolaylaştırılmaktadır (Grimme ve Braunschweig, 1974). K noksanlığında, K yaşlı yapraklardan genç yapraklara taşınmakta, bu nedenle K noksanlığında görülen belirtiler önce yaşlı yapraklarda ortaya çıkmaktadır. K noksanlığı görülen bitkilerde su alınımı bozulduğundan hücrede birçok fizyolojik süreç olumsuz olarak etkilenmekte, transpirasyon artmaktadır. K, stomaların açılıp kapanmasında da önemlidir. Stoma hücrelerinin açılması, K iyonlarının sağladığı turgor ile sağlanmaktadır. Bitkilerde K noksanlığında, aminoasitlerin biriktiği ancak proteinlerin azaldığı saptanmıştır. K, kloroplastların yapısına girmediği halde noksanlığında kloroplastlar dejenerasyona uğramaktadır. K noksanlığında bitkilerde

gerekenden fazla karbonhidrat birikimi olduğu saptanmıştır. Bitkisel materyalin kuru maddesinde türe göre yaklaşık olarak % 1.0-6.0 oranında K bulunmaktadır. Topraklarda ise normal koşullarda % 0.50-2.50 arasında K bulunmaktadır (Bergmann, 1992). SO<sub>2</sub> ile muamele edilen monokotiledonlarda, SO<sub>2</sub> konsantrasyonu 0.1 ppm'den daha yüksek olduğunda domates yaprakları ciddi şekilde hasar görmüş ve K değişimi azalmıştır. K miktarının yükselmesi SO<sub>2</sub>'yle önemli ölçüde ilgilidir, bu nedenle toprakta düşük miktarda K bulunması bitkide direnci arttırmaktadır (Hongfa ve ark., 2000). Bitkilerin topraktan K alması toprak pH'sı tarafından etkilenmektedir. Toprakta fazla miktarda bulunan Al ve Mn gibi değişebilir katyonlar potasyum alınımını olumsuz olarak etkilemektedir (Kaçar ve Katkat, 1998).

### ***Kalsiyum (Ca)***

Hücre çeperi ve özellikle yeni bölünen hücreleri ayıran orta lamelin sentezlenmesi için Ca pektinat çok önemlidir (Akman ve ark., 2001). Bitki bünyesinde Ca çok hareketli olmadığı için semptomlar öncelikle genç yapraklarda ve büyüme noktalarında ortaya çıkmaktadır. Ca noksanlığında yapraklardaki karbonhidrat miktarı artmaktadır. Bitkisel materyalin kuru maddesinde türe göre yaklaşık olarak % 0.5 oranında Ca bulunmaktadır (Bergmann, 1992). Türkiye'de toprakların Ca içeriği bölgeler arasında oldukça büyük farklılıklar göstermekte olup Akdeniz Bölgesi'ndeki topraklarda ortalama olarak % 10.1-38.5 arasında Ca bulunmaktadır. Bitkilerin topraktan Ca alınımını Mg ve K iyonları ile toprak pH'sı etkilemektedir (Kaçar ve Katkat, 1998).

### ***Magnezyum (Mg)***

Mg, fotosentez için mutlak olan klorofil molekülünün halkasal yapısına girmektedir. Bu nedenle Mg yokluğunda yapraklardaki klorofil miktarı azalmaktadır. Mg, bitki bünyesinde hareketli olduğu için Mg noksanlığında görülen semptomlar öncelikle yaşlı yapraklarda görülmektedir. Genel olarak topraktaki Mg bitkiler tarafından K ve Ca'dan daha az miktarlarda alınmaktadır (Mengel ve ark., 1984).

Bitkisel materyalin kuru maddesinde türe göre yaklaşık olarak % 0.1-0.5 oranında Mg bulunmaktadır (Bergmann, 1992). Toprakların Mg içeriği % 0.1-4.0 arasında değişmektedir. Bitkilerin topraktan Mg alınımını Ca, K ve Mn iyonları ile toprak pH'sı etkilemektedir. Toprak pH'sı 5.0'in altına düştüğünde bitkilerin kökleriyle Mg alınımını azalmaktadır (Kaçar ve Katkat, 1998).

### ***Demir (Fe)***

Fe<sup>+++</sup> (ferri) halde bitkiler tarafından alınmakta ve Fe<sup>++</sup> (ferro)'ya indirgenmektedir (Akman ve ark., 2001). Fe eksikliğinde yapraklardaki klorofil miktarı azalmaktadır. Fe bitki bünyesinde en yavaş hareket eden elementlerden biri olduğu için semptomlar öncelikle genç yapraklarda görülmektedir. Fe eksikliğinde protein sentezinin ve dolayısıyla klorofil oluşumunun inhibe edilmesi (kloroplastlarda klorofil-protein kompleksi oluşmadığından) çoğu zaman geri dönüşümsüzdür (Jacobson ve Oertli, 1965). Bitkisel materyalin kuru maddesinde türe göre yaklaşık olarak 40-100 ppm miktarlarda Fe bulunmaktadır (Mengel ve ark., 1984). Ancak pirinç, yulaf, ıspanak marul gibi ferrofilik olarak bilinen bazı bitkilerde 800 ppm'e kadar Fe toksik etki yapmamaktadır (Bergmann, 1992). Yüksek miktarda Fe bitkilerde lipid peroksidasyonuna neden olmaktadır (Sandmann ve Gonzales, 1989). Fe ayrıca Fenton reaksiyonunu katalizlemekte ve katalaz konsantrasyonunun azalmasına neden olmaktadır (Foyer ve ark., 1994). Topraklardaki Fe miktarı % 0.02-10 arasında değişmekte olup ortalama olarak % 3.8 kadardır. Bitkilerin topraktan Fe alınımını Cu, Ni, Co, Zn, Cr ve Mn gibi ağır metaller etkilemektedir. Ayrıca Ca'ı fazla topraklarda da Fe alınımını azalmaktadır. Toprak pH'sı yükseldikçe bitkilerin kökleriyle Fe alınımını azalmaktadır (Saglio, 1969).

### ***Mangan (Mn)***

Mn eksikliğinde yapraklarda kloroplastlar zarar görmekte ve klorofil miktarı azalmaktadır. Mn'in bitki içerisindeki hareketliliği azdır. Kuru maddedeki Mn içeriği 10 ppm'nin altına düştüğünde birçok bitki türü bundan olumsuz etkilenmektedir.

Bitkisel materyalin kuru maddesinde türe göre yaklaşık olarak 10-50 ppm Mn bulunmaktadır (Mengel ve ark., 1984). Topraklardaki Mn miktarı ise 20-300 ppm arasında değişmektedir. Bitkilerde topraktan Mn alınımı Mg, Ca, Fe, Zn ve Cu gibi elementler tarafından engellenmektedir. Fazla kireçli topraklar da Mn alınımı azaltmaktadır (Kaçar ve Katkat, 1998). Ortam pH'sının 7-8'den 4.5-5.4'e düşmesinin Mn alınımını önemli ölçüde arttırdığı saptanmıştır (Bergmann, 1992).

### ***Çinko (Zn)***

Zn aynı Cu gibi çok düşük konsantrasyonlarda bile bitkiler için toksik etki yapabilmektedir. Ancak az miktarda da olsa bitki metabolizması için mutlaka gerekli olan bir elementtir. Zn alınımı, diğer ağır metaller (özellikle Cu) tarafından engellenmektedir. Bitkilerin Zn gereksinimi türe göre yaklaşık olarak 20-50 ppm arasında değişmektedir (Mengel ve ark., 1984). Zn eksikliği özellikle elma, armut gibi ağaçlarda görülmektedir (Akman ve ark., 2001). Zn, redoks aktif metal olduğu için yüksek konsantrasyonları bitkide oksidatif hasara yol açmaktadır. Oluşan stres sonucunda bitki yapraklarında GSH miktarı azalmaktadır. Aktif taşıma ile alınan ve şelat oluşturan Zn tonoplasta transfer edilmekte ve vakuolde birikmektedir. Bu şekilde bitkide oluşacak metal toksisitesi önlenmektedir. Ayrıca metal toksisitesini önlemek için savunma mekanizması olarak bitki yapraklarında GSH sentezinin arttığı saptanmıştır (Schützendübel ve Polle, 2002). Türkiye'deki topraklarda genel olarak Zn eksikliği görülmektedir (Kaçar ve Katkat, 1998). Toprak pH'sının yükselmesi Zn alınımını önemli ölçüde azaltmaktadır. Ayrıca yüksek miktarlarda Fe bulunan topraklar da Zn alınımı olumsuz olarak etkilenmektedir (Kaçar ve Katkat, 1998).

### ***Bakır (Cu)***

Cu, oksitleyici-redükleyici bazı enzimlerin (SOD) ko-faktör olarak bileşimine girmektedir (Akman ve ark., 2001). Bitkilerde Cu ile birlikte Zn, Mn ve Fe de SOD enziminin farklı izozimlerinin yapısına girmektedir. Bitki yapraklarında Cu

miktarının az olmasına bağlı olarak Cu-Zn SOD enziminin aktivitesinde önemli ölçüde düşüş olduğu yapılan araştırmalarla saptanmıştır (Kaçar ve Katkat, 1998). Cu, bitki bünyesinde fazla hareketli olmadığı için eksikliğinde ilk semptomlar genç yapraklarda görülmektedir. Bitkilerde yaklaşık olarak türe göre 5-15 ppm civarında Cu bulunmaktadır (Bergmann, 1992). Yüksek miktarda Cu, bitkilerde lipid peroksidasyonu ve klorofil parçalanmasına neden olmaktadır (Sandmann ve Gonzales, 1989). Cu ayrıca Fenton reaksiyonunu katalizlemekte ve katalaz konsantrasyonunun azalmasına neden olmaktadır (Foyer ve ark., 1994). Cu, redoks aktif metal olduğu için yüksek konsantrasyonları bitkide oksidatif hasara yol açmaktadır (Schützendübel ve Polle, 2002). Toksik düzeydeki Cu'nun hücrede K sızıntısına neden olduğu (Wainwright ve Woolhouse, 1977) ve SH-gruplarının oksidasyonunu katalizlediği (Gross ve ark., 1970) yapılan çalışmalarla saptanmıştır. Topraklarda 1-50 ppm arasında Cu bulunmaktadır. Bitkilerin topraktan Cu alınımı Zn tarafından engellenmektedir (Kaçar ve Katkat, 1998).

### *Sodyum (Na)*

Na'un bitkiler için mutlak gerekli bir besin elementi olup olmadığı tartışma konusudur. Hücrede K, Na'nın görevini yapabilmekte fakat Na, K'un yerine geçememektedir. Bununla birlikte Na konsantrasyonun belirli bir miktarda artması bazı bitkilerin verimini arttırmaktadır. Yapılan çalışmalarda topraklarda Na'nın eksik olduğu durumlar nadir olarak saptanmıştır (Mengel ve ark., 1984). Bitkisel materyalin kuru maddesindeki Na içeriği türe göre çok büyük değişiklikler göstermekte ve 350- 9000 ppm (% 0.01- 0.90) arasında değişmektedir (Bergmann, 1992). Topraklardaki Na miktarı ise % 0.1- 1.0 arasında değişmektedir. Bitkilerde topraktan Na alınımı özellikle Ca iyonları tarafından engellenmektedir (Kaçar ve Katkat, 1998).

***Kobalt (Co)***

Co, normal koşullar altında bitkisel materyalin kuru maddesinde türe göre yaklaşık olarak 0.01-0.40 ppm miktarlarda bulunmaktadır (Bergmann, 1992). Diğer ağır metaller gibi Co da şelat oluşturabilmektedir. Co, diğer ağır metallerin fizyolojik bağlanma noktalarından ayrılmasına neden olabilmektedir. Örneğin yüksek miktarda Co ile besleme bitkide Fe noksanlığına neden olmaktadır (Nicholas, 1961). Toprakların Co içeriği 1-70 ppm arasında değişmektedir. Toprakta fazla miktarda Co bulunması bitkilerde Mn ve Fe alınımını azaltmaktadır (Kaçar ve Katkat, 1998).

***Flor (F)***

F, bitkiler için gerekli bir element değildir ayrıca F ve HF emisyonu olan yerlere 1-8 km uzaklıkta büyüyen bitkilerin zarar gördüğü saptanmıştır. F, bitkisel materyalde bitki türüne göre yaklaşık olarak 2 ppm miktarında bulunmakta ancak F kirliliğine maruz kalan bitkilerde bu oran 50-2000 ppm'e kadar yükselmektedir (Bergmann, 1992). Gaz formundaki HF'nin, bitki tarafından alındığında bitkilere zararlı olacak şekilde solunumu arttırdığı, yapraklarda renk kaybına ve kurumaya neden olduğu belirtilmektedir (Mengel ve ark., 1984). Toksik düzeydeki F karbonhidrat metabolizmasıyla ilgili enzimleri çalışamaz hale getirmektedir. Birçok bitki 15-25 ppm F'ye maruz kaldığında etkilenmemekte ancak daha yüksek konsantrasyonlarda rüzgar ve nem şartlarına bağlı olarak bitkide hasar belirtileri ortaya çıkmaktadır. Flora karşı orta yaşlı yapraklar yaşlı yapraklardan daha çok hassastır. Bitkiler floru topraktan da aldıklarından, toprağın kalsiyum içeriğinin yeterli olması halinde bitkilerin direnci artmaktadır. Ayrıca kalsiyum toprakta ve muhtemelen bitkide floru çözünmez veya çok güç çözünür hale getirmektedir (Bergmann, 1992).

### ***Nikel (Ni)***

Ni de şelat bileşikleri oluşturma eğilimindedir ve fizyolojik etkinliği yönünden Co'ya benzemektedir. Ni de diğer ağır metallerin fizyolojik bağlanma noktalarından ayrılmasına neden olabilmektedir. Örneğin yulafta yüksek miktarda Ni zehirlenmesinin Fe noksanlığına neden olduğu saptanmıştır (Nicholas, 1961). Bitkisel materyalin kuru maddesinde türe göre yaklaşık olarak 0.1-5 ppm Ni bulunmaktadır (Mengel ve ark., 1984). Bununla birlikte yapılan çalışmalarda tahıl bitkilerinde toksik etkilerin ancak 100 ppm'den sonra ortaya çıktığı saptanmıştır (Crooke, 1956). Ni, redoks aktif metal olduğu için yüksek konsantrasyonları bitkide oksidatif hasara yol açmaktadır (Schützendübel ve Polle, 2002). Topraklarda bulunan Ni miktarı 0.2-450 ppm gibi geniş bir oranda değişiklik göstermektedir. Toprak pH'sının yükselmesi Ni alınımını azaltmaktadır (Kaçar ve Katkat, 1998).

### ***Kurşun (Pb)***

Pb kirliliği olan ortamlarda Pb, kısmen yaprakların stomalarıyla bitki bünyesine alınmakta ancak büyük bir kısmı yüzeysel olarak yapışıp kalmaktadır. Kirliliğin yoğun olduğu yerlerde bitkilerin yapraklarında kuru maddede Pb'nin 60 ppm'ye kadar çıktığı gözlenmiştir (Mengel ve ark., 1984). Normal koşullarda bitki türüne bağlı olarak kuru maddede yaklaşık olarak 2-7 ppm arasında Pb bulunmaktadır (Bergmann, 1992).

### ***Kadmiyum (Cd)***

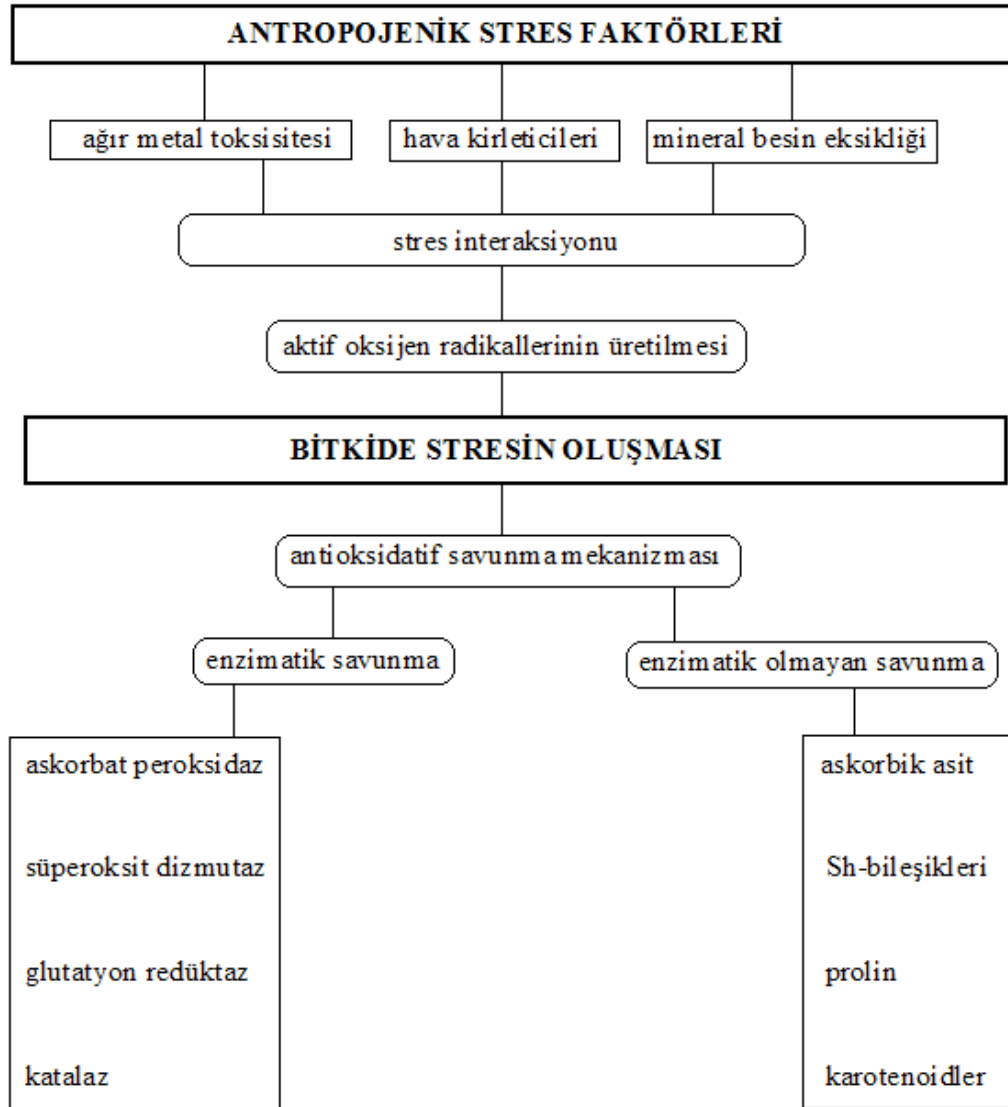
Cd ve Pb'nin bitki metabolizması için bilinen herhangi bir yararının olmadığı ve bu elementlerin bitkiler için oldukça toksik olduğu saptanmıştır. Cd, Pb'ye oranla nispeten daha toksiktir (Balsberg Pahlsson, 1989). Jordan (1975), kirlletici emisyonunun olduğu bir bacanın yakınından aldığı *Quercus rubra*'nın yapraklarında 5-35 ppm Cd ve 250 ppm Zn'nin bitkiye zarar verdiğini saptamıştır. Normal olarak bitki türüne göre kuru maddede yaklaşık olarak 0.1-1 ppm arasında Cd

bulunmaktadır (Alloway, 1995). Jackson ve Alloway (1991) ise kirlenmemiş toprakta 0.1-0.5 ppm olan Cd miktarının kirlenmiş topraklarda 150 ppm'ye kadar çıktığını saptamışlardır. Cd, redoks aktif metal olduğu için yüksek konsantrasyonları bitkide oksidatif hasara yol açmaktadır (Schützendübel ve Polle, 2002).

### ***Krom (Cr)***

Bitkilerde yüksek Cr'nin fotosentezi inhibe ettiği ve kökler başta olmak üzere bitkide büyümeyi engellediği saptanmıştır. Cr, kökten diğer organlara taşınmadığı için yaklaşık % 98'i kök içinde kalarak buradaki büyümeyi engellemektedir. Bu nedenle bitkilerin yapraklarındaki Cr miktarı kuru maddede yaklaşık olarak 0.02-1.00 ppm arasında değişmektedir (Bergmann, 1992).

### 2.3. Hava Kirliliğinin Antioksidatif Savunma Mekanizmasına Etkisi ve Bitkilerde Oluşan Değişiklikler



Şekil 2.1. Antropojenik stres faktörleri ve bitkide stresin oluşması

#### *Serbest Oksijen Radikallerinin Sentezi ve Etkileri*

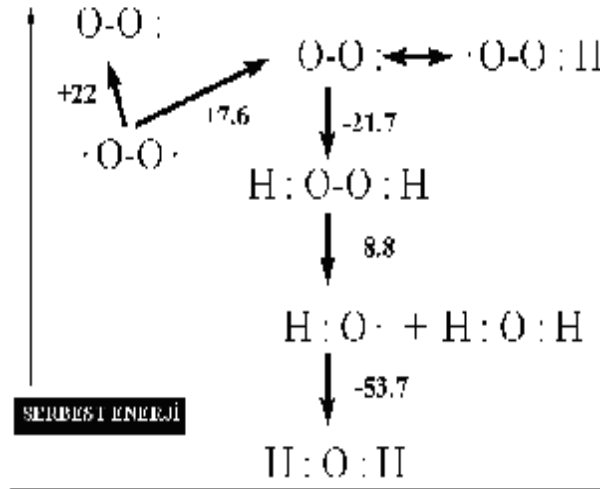
Toksik O<sub>2</sub> radikalleri fotosentez sırasında kloroplastlarda yoğun olarak sentezlenmektedir. Fotosentez sırasında absorbe edilen ışık enerjisi ve açığa çıkan

elektronlar herhangi bir stresten dolayı CO<sub>2</sub> indirgenmesinde kullanılmayınca kloroplastlarda birikmekte ve O<sub>2</sub>'nin aktivasyonuna neden olmaktadır. Moleküler O<sub>2</sub>'nin aktivasyonu toksik etkinlikleri yüksek olan O<sub>2</sub> radikalleri meydana gelmektedir (Foyer ve ark., 1994). Normal koşullarda fotosentetik elektron taşınması sırasında açığa çıkan elektronların yaklaşık olarak % 10'unun süperoksit üretmek için kullanıldığı tahmin edilmektedir. Stres sırasında ise bitkilerde biyosentetik reaksiyonlar gerilemekte, ATP'ye olan ihtiyaç azalmakta sonuçta mitokondri ve kloroplastlardaki elektron taşıma sisteminde elektron fazlalığı oluşmaktadır. Bu elektronlar moleküler oksijen ile reaksiyona girerek aktif oksijen türlerinin oluşmasına neden olmaktadır (Asada ve ark., 1977). Bu toksik O<sub>2</sub> radikalleri membranların fosfolipidlerine (özellikle doymamış yağ asitlerine), klorofile, proteinlere, DNA ve diğer hücre kısımlarına zarar vermekte yani hücrede oksidatif olarak yıkımlar meydana getirmektedir. Stres sırasında özellikle ışık yoğunluğu fazla ise klorofil ve membranlarda görülen fotooksidatif hasarın şiddeti de fazla olmaktadır (Foyer ve ark., 1994; Polle, 1996).

### ***Oksijenin Aktivasyonu***

Atmosferik oksijenin iki tane eşleşmemiş elektronu bulunmaktadır. Bu özellik oksijeni paramanyetik yapmakta diğer bir değişle oksijen aktive edilmezse organik moleküllerle reaksiyona girememektedir. Oksijendeki eşleşmemiş elektronlar paralel spinlere sahip olduğundan karşı spinlerde eşleşmemiş elektronlara sahip organik moleküllere karşı reaktif değildir. Bu spin sınırlamasının anlamı şudur; biyokimyasal reaksiyonlarda oksijen indirgenmesinin ortak mekanizmaları sadece bir elektronun transferini gerektiren mekanizmalardır (monovalent indirgenme). Oksijen, eşleşmemiş elektronlardan birindeki spinin yerini ters çevirmek için gerekli enerjinin absorbe edilmesiyle de aktive edilmektedir. Bu olay gerçekleştiğinde triplet oksijen karşı spinlerde iki elektrona sahip singlet oksijene dönüşmektedir. Sonuç olarak singlet oksijen iki elektronun eş zamanlı transferini gerektiren reaksiyonlara katılmaktadır (divalent indirgenme) (Mc Kersie ve Lehsem, 1994).

Triplet oksijenin aktivasyonu ya singlet oksijene dönüşmesiyle ya da endotermik olarak süperoksit ( $O_2^-$ ) radikaline indirgenmesiyle olmaktadır. Süperoksit ise daha sonra sırasıyla hidrojen peroksit ( $H_2O_2$ ), hidroksil radikali ( $\bullet OH$ ) ve son olarak suya dönüşmektedir. Oksijenin süperoksit indirgenmesinin ilk adımı endotermik, sonraki indirgemeler ise ekzotermiktir. Bu reaksiyonlarda süperoksit hem yükseltgeyici hem de indirgeyicidir. Süperoksit; askorbik asit ve NADPH'ı okside etmekte, Sitc ve metal iyonlarını indirgemektedir. Hidrojen peroksit ve oksijen oluşumuna yol açan bir dizmutasyon reaksiyonu kendiliğinden olmakta ya da SOD tarafından kataliz edilmektedir (Gebicki ve Bielski, 1981).



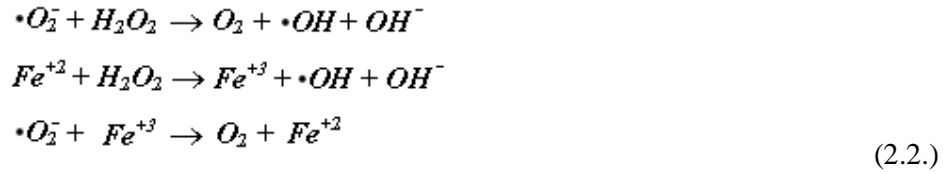
Şekil 2.2.Serbest oksijen radikallerinin sentezi (Mc Kersie ve Lehsem, 1994)

Süperoksidin univalent indirgenmesiyle hidrojen peroksit üretilmektedir. Hidrojen peroksit tüm elektronları eşleşmiş olduğu için serbest radikal değildir. Ancak hidrojen peroksit önemlidir çünkü membranlara kolaylıkla nüfuz etmekte ve hücrede farklı bölümlere dağılmaktadır. Birçok enzim (peroksidazlar) kompleks organik moleküllerin sentezini gerektiren reaksiyonlarda hidrojen peroksidi substrat olarak kullanmaktadır. Bu reaksiyonlarda hidrojen peroksidin reaktivitesi için indirgeyici bir metal gereklidir, böylece hidroksil radikali oluşmakta ve organik moleküllerin oksidasyonu gerçekleşmektedir (Mc Kersie ve Lehsem, 1994).

Haber ve Weiss (1934) ya da Fenton (1894; 1899) reaksiyonu şeklinde adlandırılan reaksiyonla aşağıda belirtildiği gibi bir metal iyonunun varlığında hidrojen peroksitten hidroksil radikali oluşmaktadır.



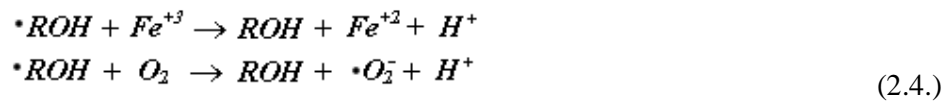
Biyolojik sistemlerde ferro iyonların kullanılabilirliği Fenton reaksiyonunu sınırlamaktadır. Ancak demirin ferro formu yeniden döngüye girmesi indirgeyici bir ajan olan süperoksit tarafından sağlandığı için hidroksil radikalının üretimi gerçekleşmektedir. Süperoksit aşağıda belirtilen reaksiyonlarla bu olayın gerçekleşmesini sağlamaktadır.



Böylece demirin ya da başka metallerin eser miktardaki varlığında hidroksil radikali meydana gelmekte ve organik maddelerin oksidasyonu başlamaktadır. Organik moleküllerin oksidasyonu, organik moleküllere OH ekleyerek ya da bir H atomunun molekülden soyutlanmasıyla gerçekleşmektedir.



Yukarıda belirtilen reaksiyonda hidroksil radikali organik bir substratla reaksiyona girerek hidroksillenmiş radikali oluşturmaktadır.



Daha sonra yukarıdaki reaksiyonlarda belirtildiği gibi dihidroksillenmiş ürünler oluşmaktadır. Bu reaksiyonlarda oluşan dihidroksillenmiş ürünler ise aşağıda belirtildiği gibi R-R şeklindeki çapraz bağlı ürünlerin oluşmasına neden olmaktadır.



Yukarıdaki reaksiyonlar sonucunda hidroksil radikali organik substratların okside olmasına yol açmakta, sonuç olarak su ve bir organik radikal oluşmaktadır.



Bu organik molekül ise aşağıdaki reaksiyonda gösterildiği gibi bir tane eşleşmemiş elektrona sahip olduğu için triplet O<sub>2</sub> ile reaksiyona girmekte böylece peroksil radikali oluşmaktadır.



Peroksil radikali aşağıdaki reaksiyonda belirtildiği gibi diğer bir organik molekülden bir H atomunu abstrakte ederek ikinci bir karbon radikalinin oluşumuna neden olmaktadır.



Bu reaksiyon zinciri serbest O<sub>2</sub> radikallerinin organik moleküllere nasıl zarar verdiğini göstermektedir (Mc Kersie ve Lehsem, 1994).

#### 2.4. Serbest Oksijen Radikallerinin Biyolojik Reaksiyonları

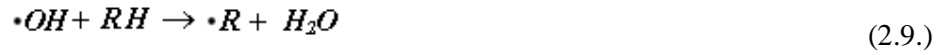
Serbest O<sub>2</sub> radikalleri hücrede özellikle membran fosfolipidlerini (özellikle doymamış yağ asitleri), proteinleri ve DNA'yı parçalamaktadır. Aktif oksijenin organik substratlarla olan reaksiyonları oldukça karmaşıktır; membranların yüzey özellikleri, makro moleküllerin bağlanma özellikleri, enzimlerin dağılımı, substratlar ve katalizitlere bağlı olarak değişik komplikasyonlar vardır. Bu nedenle tek bir hücrenin içindeki farklı kısımlarda bile oksijenle olan reaksiyonların oranı ve yapısı farklıdır. Hücrenin ölümüne yol açan oksidatif hasarın doğası her zaman açık değildir ancak sonuç olarak oksidatif hasar, membran lipidlerindeki peroksidasyon reaksiyonlarıyla ilişkilidir. Bitkilerde çevresel strese bağlı olarak oksijenin aktif formlarının proteinleri ve nükleik asitleri azaltabileceği ve reaksiyonların oldukça öldürücü olabileceği saptanmıştır (Stadtman, 1986).

##### *Lipidlerin Oksidatif Hasarı*

Membranın çift lipid tabakası; fosfolipidler ve glikolipidlerden (glikolipidler, bir ester bağıyla gliserol omurgasının birinci ve ikinci karbonuna bağlı yağ asidi zincirine sahiptirler) meydana gelmektedir. Açıl zincirindeki çift bağın sayısına ve

durumuna göre yağ asitlerinin peroksidasyon reaksiyonları farklıdır. Peroksidasyon reaksiyonları lipid (R), yağ asidi ve bitki hücrelerinde yaygın olarak bulunan linolat ile olmaktadır (Frankel, 1985).

Lipidlerin peroksidasyonu; başlatma- yayma- bitirme olarak üç ayrı adımda gerçekleşmektedir. Doymamış yağ asidi (linolat vb.) ve hidroksil radikali arasında oluşan başlatma reaksiyonu, yağ asidindeki metilvinil grubundan bir H atomunun soyutlanmasını gerektirmektedir (Bradley ve Minn, 1992).



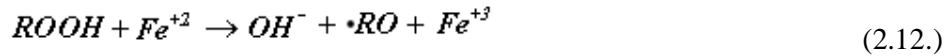
Yayma reaksiyonlarında ise bu dirençli yapı eşleşmemiş iki elektronu olduğu için biradikal olan triplet oksijen ile reaksiyona girmekte, bu reaksiyon sonucunda bir peroksil radikali oluşmaktadır.



Peroksil radikali daha sonra ikinci bir yağ asidinden bir H atomunu soyutlayarak lipid hidroperoksidi oluşturmakta ve serbest radikale merkezlik eden diğer karbonu bıraktığından ikinci bir H atomu abstraksiyonuna katılabilmektedir. Böylece peroksil radikali bir H atomunu abstrakte ederek peroksidasyon reaksiyonunu başlattığında bu olay reaksiyon zincirinde oksijen ile reaksiyona girme yeteneğindeki bir C radikal ürününün oluşmasını sağlamaktadır.

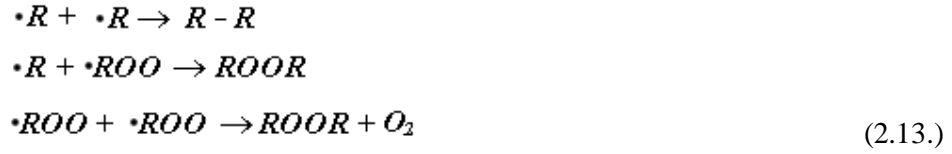


Lipid hidroperoksit (*ROOH*) demir ya da diğer metal katalizitlerin varlığında fenton reaksiyonuna katılarak reaktif alkoksi radikallerini oluşturmaktadır.



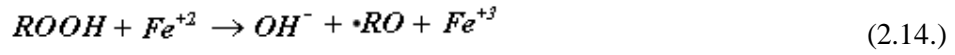
Şimdiye kadar gerçekleşen bu reaksiyonlarda *ROOH*'nin indirgenme ürünleri olarak malondialdehit gibi aldehytler, etan ve etilen gibi hidrokarbonlar oluşmaktadır. Bu nedenle bu indirgenme ürünleri lipid peroksidasyonu ürünü olarak ölçülmektedir.

Membran lipidlerindeki peroksidasyon reaksiyonlarında, karbon ya da peroksil radikalleri konjuge ürünleri şekillendirmek için çapraz bağlandığında reaksiyonlar sonlandırılmaktadır (Bradley ve Minn, 1992).



Böylece çapraz bağlanmış yüksek molekül ağırlıklı yağ asitleri ve fosfolipidler peroksidede olmuş membran lipidlerinde birikmektedir (Mc Kersie ve Lehsem, 1994).

Singlet oksijen doymamış yağ asitleriyle reaksiyona girerek bir kompleks hidroperoksit karışımını üretmekte ve doymamış yağ asitlerinin oksidasyonuna neden olmaktadır. Lipidler şekillendiğinde hidroperoksitler birçok farklı ürüne ayırmakta; bunlardan bazıları metal katalizitlerin varlığında serbest oksijen radikallerini oluşturmaktadır (Bradley ve Minn, 1992).



Bitki membranlarındaki lipid peroksidasyonu reaksiyonları sonucunda doymamış yağ asitlerinin azaldığı, aldehitlerin, hidrokarbonların ve çapraz bağlı ürünlerin ise arttığı yukarıdaki mekanizmalarda gösterilmiştir. Çevresel streslerin bitki membranlarına olan etkileri araştırıldığında birçok araştırmacı etan veya malondialdehit gibi lipid peroksidasyonu ürünlerini ya da doğrudan stresi yaratan serbest oksijen radikallerini ölçmüştür. Bu reaksiyonların substratları olan membran yağ asitleri test edildiğinde doymamış yağ asitlerinin önemli ölçüde azaldığı saptanmış böylece serbest oksijen radikalleri ölçülmüştür. Ancak bu radikallerin stresle oluşan radikaller olduğu kesin olarak saptanamamıştır. Bu çelişkili durumdan dolayı çimlenme sürecindeki tohumda serbest radikaller ölçülmüştür (Wilson ve McDonald, 1986). Ayrıca in vitro olarak fenton reaksiyon ürünleri bitki membranlarına uygulandığında, serbest oksijen radikalleri bitki membran lipidlerinin azalmasına yol açmış fakat bu olay doymamış yağ asitlerinin azalmasını gerektirmemiştir (Mc Kersie ve Lehsem, 1994).

Bu klasik mekanizmaya alternatif olarak Nichaus (1978) tarafından hazırlanan lipid peroksidasyonu mekanizmasına göre esterler C-O bandını yararak süperoksit ile reaksiyona girmektedir. Yağ asidi bir ester bağıyla fosfolipid molekülünün gliserol omurgasına bağlandığı için; süperoksit, fosfolipid tabakasına

saldırmakta ve deesterifikasyon reaksiyonlarıyla serbest yağ asitleri üretilmektedir. Bu olay deneysel olarak yapılan çalışmalarla da gösterilmiştir. Bu reaksiyonlar doymamış yağ asitleri için belirleyici olmadığından bazı durumlarda fosfolipid moleküllerine bağlı yağ asitlerinin azalması olmaktadır. Deneysel olarak bu reaksiyonlar bitki membranlarında olduğunda fosfolipidlerin azalması gözlenmekte ancak doymamış yağ asitleri azalmamaktadır. Bu durum stres sırasında bitkilerde yaygın olarak gözlene de birçok araştırmacı bu durumun fosfolipaz ya da spesifik olmayan bir lipaz enziminin hareketinden kaynaklandığını düşünmektedir. Sonuçta enzimatik ve kimyasal reaksiyonlar aynı ürünleri verdiği için bu mekanizmalar arasındaki farkı anlamak zorlaşmakta, bazı bitki membranlarının peroksidasyon reaksiyonları yerine neden deesterifikasyon reaksiyonlarını gerçekleştirdikleri anlaşılamamaktadır.

### *Proteinlerin Oksidatif Hasarı*

Proteinlere oksidatif saldırı; spesifik aminoasit modifikasyonlarına, peptid zincirinin fragmentasyonuna, çapraz bağlı reaksiyon ürünlerinin bir araya gelmesine, elektriksel şarjın değişmesine, proteoliz hassasiyetinin yükselmesine neden olmaktadır. Bir peptiddeki aminoasitlerin oksidatif saldırıya karşı hassasiyetleri ve farklı aktif oksijen türlerinin bunlara karşı reaktivitesi farklıdır. Birincil, ikincil ve üçüncül protein yapılarındaki belirli aminoasitlerin hassasiyetleri de farklıdır. Bu karmaşık duruma rağmen bir genelleme yapmak mümkündür. Aminoasitleri tutan sülfür ve tiyol gruplarının olduğu bölgeler spesifik olarak hassas bölgelerdir. Aktif oksijen, sistein çökeltisinden bir H atomu soyutmakta böylece bir tiyil radikali oluşmaktadır. Bu da ikinci bir tiyil radikale çapraz bağlanarak disülfid köprülerin oluşmasını sağlamaktadır. Alternatif olarak oksijen bir metionin çökeltisine eklenerek metionin sülfoksit türevlerini oluşturmaktadır (Farr ve Kogama, 1991).

Bu indirgenmenin her ikisi de tiyoredoksin ve tiyoredoksin redüktaz aracılığıyla mikrobiyal sistemlerde gerçekleştirilebilmektedir. Bezelye kloroplastlarında bir metionin-S-oksit redüktaz proteini ölçülmüştür (Ferguson ve Burke, 1992). Bu enzim metionil sülfoksidi tiyoredoksin varlığında metionil

resüdülerine geri indirgenmekte, bazı durumlarda da proteinin biyolojik aktivitelerini düzenlemektedir (Brot ve Weissbach, 1982).

Serbest radikallerin proteinlere olan diğer saldırıları geri dönüşümsüzdür. Örneğin, süperoksitle demirsülfür oksidasyonu enzimatik yapıyı tahrip etmektedir (Gardner ve Fridovich, 1991). Protein okside olduğunda birçok aminoasit spesifik olarak geri dönüşümü olmayan modifikasyonlar geçirmektedir. Örneğin triptofan, bitrozin ürünlerini oluşturmak için çapraz bağlanmaktadır (Davies, 1987). Histidin, lisin, prolin, arjinin ve serin oksidasyonla karbonil gruplarını oluşturmaktadır (Stadtman, 1986).

Demir gibi redoks döngüsüne girme yeteneğinde olan kofaktörlerin varlığında proteinlerin oksidatif olarak hasar görmesi artmaktadır. Böyle durumlarda metal, proteinde divalent hareket bölgesine bağlanmaktadır. Metal daha sonra fenton reaksiyonundaki hidrojen peroksit ile reaksiyona girerek hidroksil radikalini oluşturmaktadır. Böylece proteine bağlandığı hareket bölgesinin yakınında aminoasit çökeltisini okside etmektedir (Stadtman, 1986).

Proteinlerin oksidatif modifikasyonunda, proteoliziz için spesifik aminoasitlerin işaretlenmesi mekanizmalardan biridir (Stadtman, 1986). Bitkilerde okside proteinleri azaltan spesifik proteazlar bulunmaktadır (Farr ve Kogama, 1991).

### *DNA'nın Oksidatif Hasarı*

Serbest oksijen radikalleri; iyon radyasyonu, delesyon ve mutasyon ile DNA'da lezyonlar ve genetik olarak öldürücü etkiler meydana getirmektedir (Imlay ve Linn, 1986).

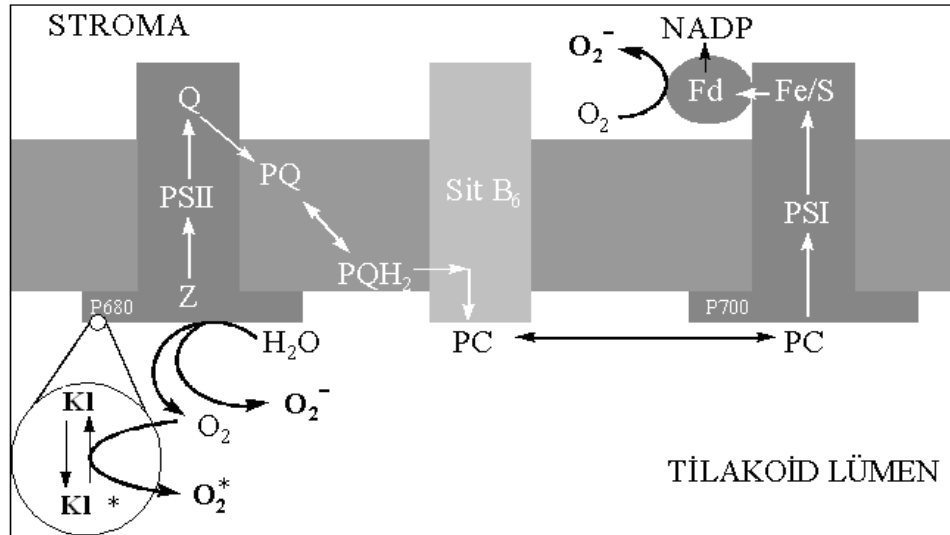
## **2.5. Hücrede Aktif Oksijen Üreten Yerler**

Oksijenin süperoksit, hidrojen peroksit ve hidroksil radikaline indirgenmesi biyolojik sistemlerde oksijenin aktivasyonunun temel mekanizmasını oluşturmaktadır. Ayrıca fotosentetik bitkilerde fotosistemler aracılığıyla singlet oksijen oluşmaktadır. Aktif oksijen türleri; ksenobiyotiklerin oksidasyonu ya da

lignin polimerizasyonu gibi metabolizmadaki kimyasal reaksiyonların bir parçasıymış gibi oluşmaktadır. Ancak çevre stresleri gibi bazı durumlarda elektron taşıma sistemi ile de aktif oksijen oluşturulmaktadır (Mc Kersie ve Lehsem, 1994).

### ***Kloroplastlar***

Elstner (1991)'de belirttiği gibi kloroplastlar içinde aktif  $O_2$  üreten en az dört farklı bölge bulunmaktadır.



Şekil 2.3.Kloroplastlarda aktif oksijenin üretilmesi (Mc Kersie ve Lehsem, 1994)

1) PSI, Mehler reaksiyonu ile oksijeni indirgeyebilir ki bu kloroplastlardaki önemli bir oksijen aktivasyonu mekanizmasıdır. NADP'nin sınırlı olduğu yerlerde PSI'nin indirgeyici kısmı oksijenin monovalent olarak indirgenmesine katkıda bulunmaktadır. Örneğin bu olay Calvin döngüsünde NADPH'ın okside olmasının PSI'nin sağladığı elektronlar kadar hızlı olmaması durumunda ortaya çıkmaktadır.

2) Normalde fotoaktif olmuş klorofil sahip olduğu eksitasyon enerjisini PSII'nin reaksiyon merkezine göndermektedir. Ancak elektron taşıma sisteminde ele geçmiş olan bu ışık enerjisinden yararlanmanın önlenildiği durumlarda elde edilen bu enerji oksijenin triplet formdan singlet forma dönüşmesine neden olmaktadır. Bu

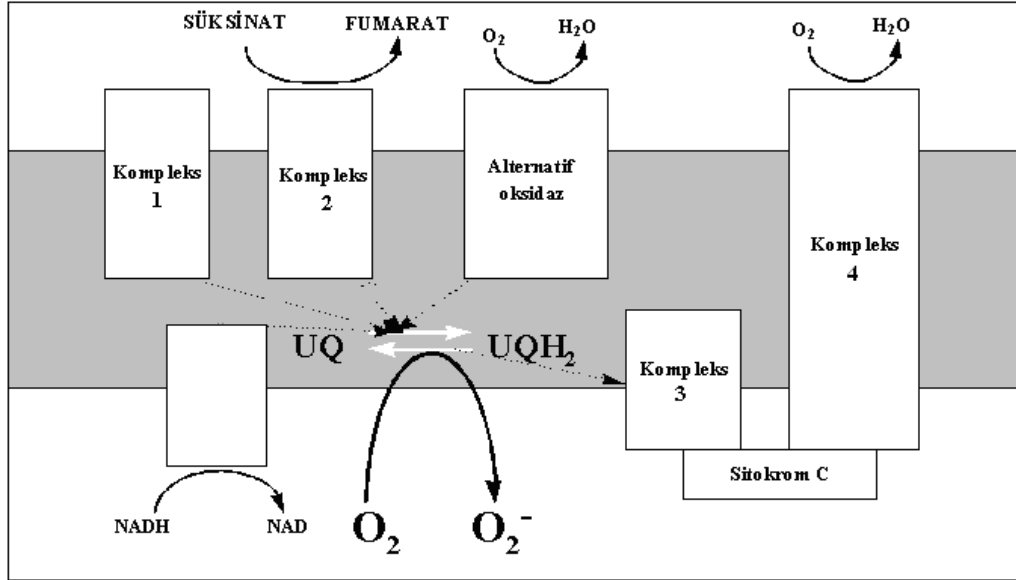
olay kuraklık veya diğer streslerden dolayı stomaların kapanması, membran taşıma sisteminin zarar görmesi, önemli besin elementlerinin eksikliği, ksenobiyotik kimyasalların (kirleticiler, herbisitler) varlığı gibi durumlarda gerçekleşmektedir.

3) PSII'nin okside edici kısmı olan  $H_2O$ 'dan PSII'nin reaksiyon merkezine dört tane elektronun transferiyle triplet  $O_2$  serbest bırakılmaktadır. Elektronların bu kısımdan moleküler  $O_2$ 'ye taşınması ya da bazı indirgenmiş  $O_2$  ürünlerinin serbest hale geçmesi aktif  $O_2$  oluşumuna yol açmaktadır.

4) Kloroplastlardaki fotorespirasyon en açık oksijenasyon yoludur. Rubisko, fosfoglikolat ve fosfogliserat oluşumu için RuBP'nin 2.C'una oksijen eklenmesini kataliz etmektedir. Bu olay ile kloroplastlarda aktif oksijen üretilmemekte ancak peroksizomlarda bu olayı takip eden sonraki reaksiyonlarda glikolat metabolizmasıyla aktif  $O_2$  üretilmektedir.

### *Mitokondri*

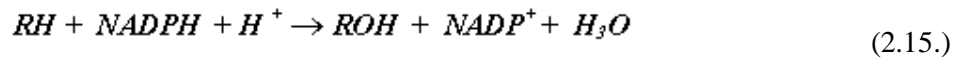
Çok sayıda  $O_2$ , mitokondriyal elektron taşıma sistemindeki sitokrom oksidaz tarafından yakılmakta ve dört elektronun oksijene sıralı olarak transferi ile su salınmaktadır. Bitki mitokondrisi alternatif oksidazlarla  $O_2$  indirgeme bölgesine sahiptir, alternatif oksidazlar siyadine dirençli olduklarından sitokrom oksidazdan farklıdır. Buna rağmen bu bölgelerden hiç biri önemli miktarlarda süperoksit üretmemektedir (Rich ve Bonner, 1978). Ancak izole olmuş mitokondriler NADH'ın varlığında süperoksit ve hidrojen peroksit üretmektedir (Loschen ve ark., 1973; 1974). Ubikinondan sonraki elektron akışını bloke eden Antimisin A, oksijen indirgenmesini arttırmaktadır. Özet olarak ubikinon indirgenmesinin arttığı diğer durumlarda zincirin ubikinon-sitokrom b bölgesinde oksijen indirgenmesi gerçekleşmektedir (Rich ve Bonner, 1978). Çeşitli Fe-S proteinleri ve NADH dehidrogenaz süperoksit ve hidrojen peroksit oluşumuna katkıda bulunmaktadır (Turrens ve ark., 1982).



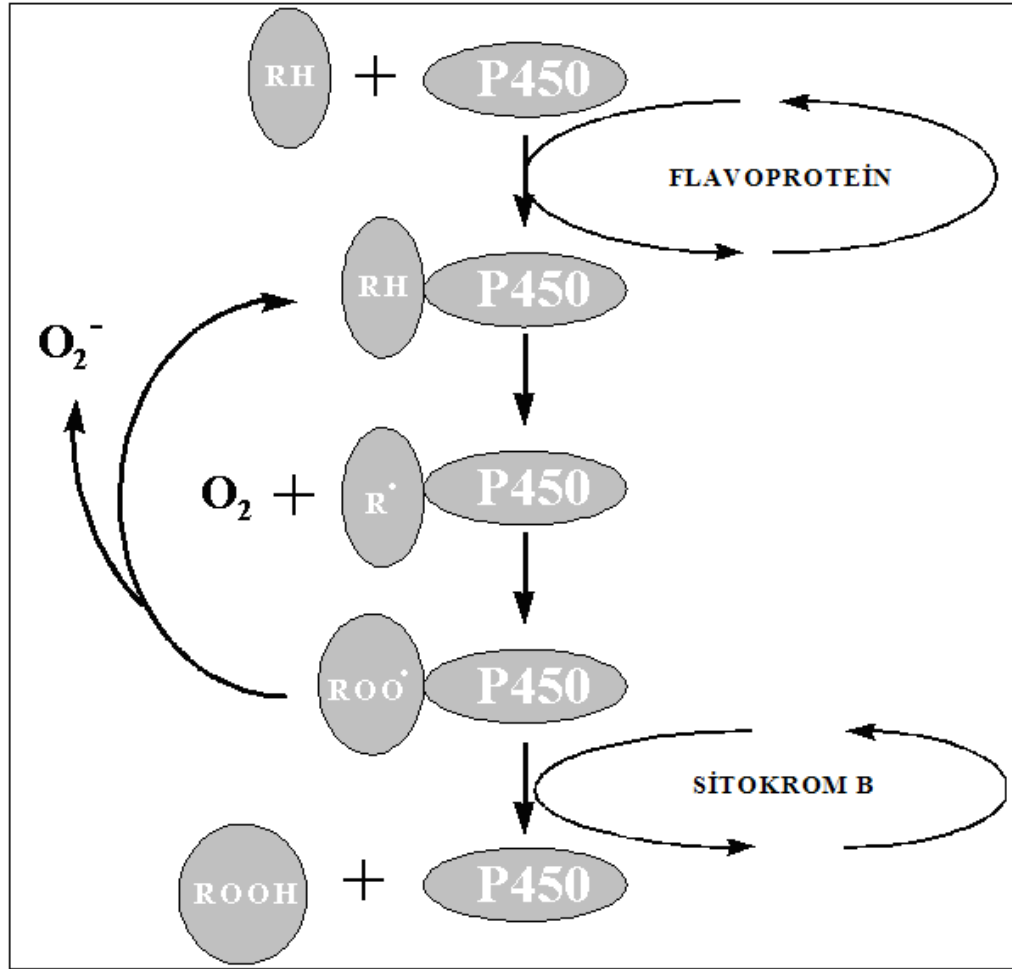
Şekil 2.4.Mitokondride aktif oksijenin üretilmesi (Mc Kersie ve Lehsem, 1994)

### ***Endoplazmik Retikulum***

Oksidasyon, hidroksilasyon, dealkilasyon, deaminasyon ve desaturasyon gibi birçok oksidatif süreç agER’da gerçekleşmektedir. Karmaşık yapılı bir çeşit oksijenazlar elektron dönörü olarak NADP(H)’ı kullanıp bir oksijen atomunu organik substratların içine eklemektedir. Sitokrom P<sub>450</sub> tarafından kataliz edilen reaksiyon şu şekilde gerçekleşmektedir:



Bitkilerdeki en iyi karakterize olmuş oksidaz sitokrom P<sub>450</sub>, flavonoid ve lignin biyosentezinde rolü olan sinamat-4-hidroksilaz olup diğer oksidazların giberillin ve sterol biyosentezi gibi farklı kimyasal yollarda görevi bulunmaktadır. Bu sistemle O<sub>2</sub>’nin aktive olması için, bu kompleks moleküllerin sentezlenmesinden önce oksijen eklenmesinin gerçekleşmesi gerekmektedir. Süperoksit, sitokrom P<sub>450</sub>’yi içeren elektron taşınmasına bağlı olan mikrosomal NADP(H) aracılığıyla üretilmektedir (Winston ve Cederbaum, 1983). Bu olay aşağıda belirtildiği gibi olmaktadır.



Şekil 2.5.Endoplazmik retikulumda aktif oksijenin üretilmesi (Mc Kersie ve Lehsem, 1994)

Şekil 2.5’de belirtildiği gibi Sitokrom P<sub>450</sub> öncelikle onun organik substratı olan RH ile reaksiyona girmektedir. Kompleks, her ikisi de eşleşmiş elektronlara sahip olduğu için triplet oksijen ile hemen reaksiyona girebilecek olan bir ara radikali oluşturmak üzere bir flavoprotein aracılığıyla indirgenmektedir. Bu okside olmuş kompleks, sitokrom b aracılığıyla indirgenmekte ya da süperoksida ayrılmaktadır. Kompleks, RH substratının univalent olarak indirgenmesi ve P<sub>450</sub>-RHOO kompleksini oluşturmak için triplet oksijenin reaksiyona girmesinden sonra P<sub>450</sub>-RH ve süperoksida ayrılmaktadır (Mc Kersie ve Lehsem, 1994).

### ***Mikrobadiler***

Peroksizomlar ve gliyoksizomlar tek membranlı organeller olup yağ asitlerinin  $\beta$ -oksidasyonunda ve glikolat oksidaz, katalaz ve birçok peroksidazları kapsayan gliyoksilik asit döngüsünde enzimlerin gerekli yerlere taşınmasında görevlidir. Peroksizomlarda glikolat oksidaz aracılığıyla glikolattan oksijene iki elektronun transferiyle  $H_2O_2$  üretimi olmaktadır (Lindqvist ve ark., 1991). Ksantin oksidaz aracılığıyla ksantinin ürik aside dönüşmesi sırasında bir mol süperoksit üretilmektedir (Fridovich, 1970).

### ***Plazma membranları***

Plazmalemma fraksiyonlarında NAD(P)H oksidaz aktivitesiyle süperoksit üretildiği saptanmıştır (Vianello ve Macri, 1991). Bu flavoproteinler, nitrojen bileşikleri ya da belirli kinonların redoks döngüsüyle süperoksit üretmektedir. Köklerde NAD(P)H oksidaz,  $Fe^{+3}$ 'ün  $Fe^{+2}$ 'ye indirgenmesini sağlamakta böylece süperoksit üretimi gerçekleştirilmektedir. Süperoksit üretilmesinin biyolojik, fiziksel ya da kimyasal strese karşı bitki savunma mekanizması için bir sinyal olduğu yapılan çalışmalarda saptanmıştır (Cakmak ve Marschner, 1988).

### ***Hücre Duvarları***

Hücre duvarları; metabolizmanın ve oksijen aktivasyonunun etkin olarak gerçekleştiği yerlerdir. Bu reaksiyonlardan bazıları patojenlere karşı savunma sisteminde önemlidir. Çoğu biyosentetik olan bu reaksiyonlarla ksenobiyotik kimyasalların farklı bölümlere dağılması ya da azaltılması sağlanmaktadır. Örneğin lignin habercisi olan fenilpropanoid  $H_2O_2$ 'ye bağlı reaksiyonlar tarafından çapraz bağlanmaktadır (Gross, 1980). Hücre duvarındaki bir malat dehidrogenaz aracılığıyla NADH üretilmekte daha sonra bu da  $H_2O_2$  üretmek için kullanılmaktadır (Gross ve ark., 1977). Bu olay plazmalemmadaki NADH oksidaz aracılığıyla gerçekleştirilmektedir (Vianello ve Macri, 1991).

## 2.6. Serbest Oksijen Radikallerine Karşı Bitkilerin Geliştirdiği Savunma Mekanizmaları

Stres koşullarında ortaya çıkan  $O_2$  radikallerine karşı bitkiler enzimatik ve enzimatik olmayan savunma mekanizmaları geliştirmektedir. Enzimatik mekanizmalardan SOD; süperoksit radikalinin detoksifikasyonunda, katalaz, askorbat peroksidaz ve glutatyon redüktaz; hidrojen peroksitin detoksifikasyonunda rol oynamaktadır. Ayrıca askorbik asit, glutatyon, karotenoidler ve prolin gibi bileşikler de bitkilerde stres sırasında oluşan toksik radikallere karşı savunma sisteminde rol oynayan antioksidanlardır (Richardson ve ark., 1989).

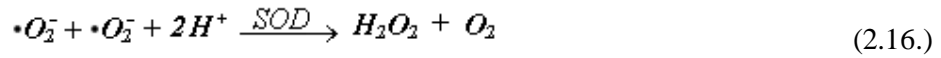
Çizelge 2.1.Toksik radikallere karşı savunma sisteminde rol oynayan antioksidanların lokalizasyonu

BİTKİLERDEKİ ANTİOKSİDATİF SAVUNMA MEKANİZMALARI		
Antioksidan	Lokalizasyon	Reaktif Oksijen
SOD	klorofil, sitokrom, mitokondri, peroksizom, apoplast	$O_2^-$
APX	klorofil, sitokrom, mitokondri, peroksizom, apoplast	$H_2O_2$
CAT	peroksizom	$H_2O_2$
GR	sitokrom	$H_2O_2$ , ROOH
AsA	klorofil, sitokrom, mitokondri, peroksizom, apoplast	$H_2O_2$ , $O_2^-$
GSH	klorofil, sitokrom, mitokondri, peroksizom, apoplast	$H_2O_2$
Karotenoidler	klorofil	$O_2^1$

### 2.6.1. Enzimatik Savunma Mekanizmaları

#### *Süperoksit dismutaz (SOD)*

SOD'un önceleri bir bakır depo proteini olduğu düşünülmüştür. Ancak günümüzde SOD'un aşağıdaki denklemde görüldüğü gibi süperoksidin hidrojen peroksit ve oksijene dismutasyonunu katalizlediği bilinmektedir.



Böylece SOD, süperoksit konsantrasyonlarının düşük ve sabit miktarlarda kalmasını sağlamaktadır. Sonuçta bu enzimin aktivitesi hidroksil radikalının oluşumunu sağlayan Haber-Weiss reaksiyonunun iki unsurunun oranlarını belirlemektedir. SOD, bütün aerobik organizmalarda ve hücrede aktif oksijen üreten birçok kısımda bulunduğu için oksidatif strese karşı savunma mekanizmasında merkezi bir rolü olduğu düşünülmektedir (Bowler ve ark., 1992).

Metal kofaktörlerine bağlı olarak üç farklı SOD izozimi vardır; Cu/Zn-SOD, Mn-SOD, Fe-SOD izozimleri. Bu izozimler; doğal poli açil amid jel elektroforezi ile ayrılarak, negatif boyama ile aktiviteleri saptanarak, KCN ve H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>'ye karşı hassasiyetleri saptanarak belirlenmektedir. Mn-SOD tüm inhibitörlere karşı dirençlidir. Cu/Zn-SOD her iki inhibitöre karşı da hassastır. Fe-SOD ise KCN'ye karşı dirençli, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>'ye karşı hassastır. Bu izozimlerin hücre içindeki dağılımları da farklıdır. Mn-SOD ökaryotik hücrelerin mitokondrilerinde, Cu/Zn-SOD'un ise bazıları sitosolde diğerleri ise yüksek bitkilerin kloroplastlarında bulunmaktadır. Fe-SOD izozimleri genel olarak yüksek bitkilerde bulunmaz ancak bulunduğu durumlarda kloroplastlarda lokalize olmuştur (Bowler ve ark, 1992). Prokaryotik Mn-SOD ve Fe-SOD ile ökaryotik Cu/Zn-SOD enzimleri dimerdir ancak mitokondriyal Mn-SOD tetramerdir (Scandalias, 1993).

Hücrelerdeki SOD aktivitesi; yüksek ışık, kuraklık ya da hücrenin aşırı su almış olmasını kapsayan ksenobiyotik stresler ve çeşitli çevresel stresler sırasında artmaktadır. Hücre içi kısımların oksidatif strese maruz kalma derecesine göre SOD izozimlerinin her biri bağımsız olarak regüle edilmektedir. Fakat moleküler düzeyde

bunun nasıl olduğu tam olarak bilinmemektedir. Her bir organeldeki oksidatif hasar bölgesinden çekirdeğe difüze olan lipid peroksidasyonu ürünlerinin spesifik SOD genlerinin transkripsiyonunu arttıracakları ileri sürülmektedir (Bowler ve ark., 1992).

### *Katalaz (CAT)*

Katalaz; hidrojen peroksidin su ve oksijene dizmutasyonunu katalizleyen bir enzimdir. Askorbat peroksidaz ve glutatyon redüktaz ile birlikte hidrojen peroksidin detoksifikasyonunda rol oynamaktadır. Hidrojen peroksit; katalaz ve peroksidaz enzimleri tarafından yok edilmektedir (Mc Kersie ve Lehsem, 1994).

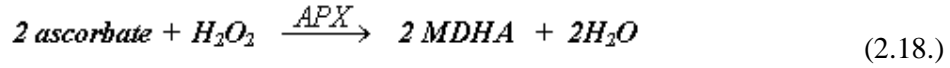


Ancak katalazın koruyucu etkisi sınırlıdır çünkü kendi substratına karşı ilgisi zayıftır, ışığa karşı aşırı duyarlıdır, üstelik sadece peroksisomlarda bulunmaktadır. Doğrudan Calvin döngüsünde tiyol içeren enzimlerin oksidasyonlarına neden olarak fotosentezi engelleyen hidrojen peroksidin etkisiz hale getirilmesi için daha etkili enzimatik mekanizmalar gerekmektedir. Katalaz; bütün aerobik ökaryotlarda bulunur ve saf halde izole edilen ilk enzimlerden biridir. Tüm formları tetramerdir. 220.000 molekül ağırlığındadır. Birçok bitkide değişik formları saptanmıştır. Bu formlar mısırdan klonlanmış olup bu genlerin homologları diğer birçok farklı bitkiden de klonlanmıştır. Mısırın CAT-1, CAT-2 ve CAT-3 şeklinde adlandırılan üç farklı izoformu vardır, bunların her biri ayrı kromozomlardadır ve farklı şekillerde ekspres edilerek, bağımsız olarak düzenlenmektedir. CAT-1 ve CAT-2 peroksisom ve sitosolde lokalize olmuştur ancak CAT-3 mitokondride bulunmaktadır (Redinbaugh ve ark., 1988; Scandalias, 1990). Test edilen bitkiler içerisinde sadece patates katalazı NADPH içermektedir (Beaumont ve ark., 1990). Katalazın ışığa karşı hassasiyeti ve PSII'nin D1 proteinine benzer orandaki hızlı turnover oranı olması dikkate alındığında bu olay oldukça ilginçtir. Bu durumun hidrojen peroksidin inaktivasyonundan kaynaklanabileceği düşünülmektedir (Hertwig ve ark., 1992). Her şeye rağmen proteinin turnover oranını azaltan tuzluluk, sıcak şoku ya da soğuk gibi stresler katalaz aktivitesinin bitmesine neden olmaktadır (Hertwig ve ark., 1992). Bu

durumun bitkilerin bu çevresel streslerin oksidatif öğelerini tolere etmesi için önemli olduğu saptanmıştır. Örneğin SO<sub>2</sub> gibi hava kirleticilerine maruz kalan bitkilerde CAT-2 geninin indüksiyonunun arttığı saptanmıştır (Willekens ve ark, 1995).

### ***Askorbat peroksidaz (APX)***

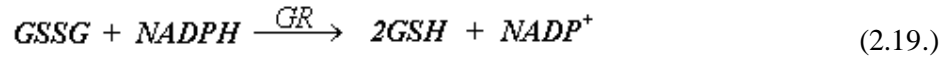
H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>; güçlü bir oksidan olan •OH radikalinin üretilmesine neden olmaktadır. Bitki hücrelerinde H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> için, hem kloroplastlarda hem de sitosolde çalışan askorbat-glutasyon döngüsü etkin bir detoksifikasyon mekanizmasıdır. Bu mekanizma ile H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, askorbat peroksidaz aracılığıyla H<sub>2</sub>O'ya indirgenmektedir. Bunun için askorbik asit kullanılmakta ve monodihidro askorbat açığa (MDHA) çıkmaktadır (Asada, 1992).



Askorbat peroksidazın izozimleri kloroplastlarda, sitosolde, peroksizomlarda ve mitokondride bulunmaktadır (Chen ve Asada, 1989).

### ***Glutasyon redüktaz (GR)***

Glutasyon redütaz, Asada- Halliwell döngüsünde NADPH'ı elektron donörü olarak kullanıp glutasyon havuzundaki okside glutasyonun (GSSG) rejenerasyonunu (GSH'a dönüşmesini) sağlamaktadır (Foyer ve Halliwell, 1976).

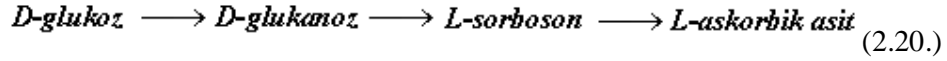


Bitkilerde GR aktivitesi daha çok kloroplastlarda olmakla birlikte, GR'nin mitokondriyal ve sitosolik izozimleri de bulunmaktadır. SO<sub>2</sub> ve NO<sub>2</sub> gibi kirleticilere maruz kalan bitkilerde, GR ve APX aktivitesinin yükseldiği saptanmıştır (Creissen ve ark., 1994).

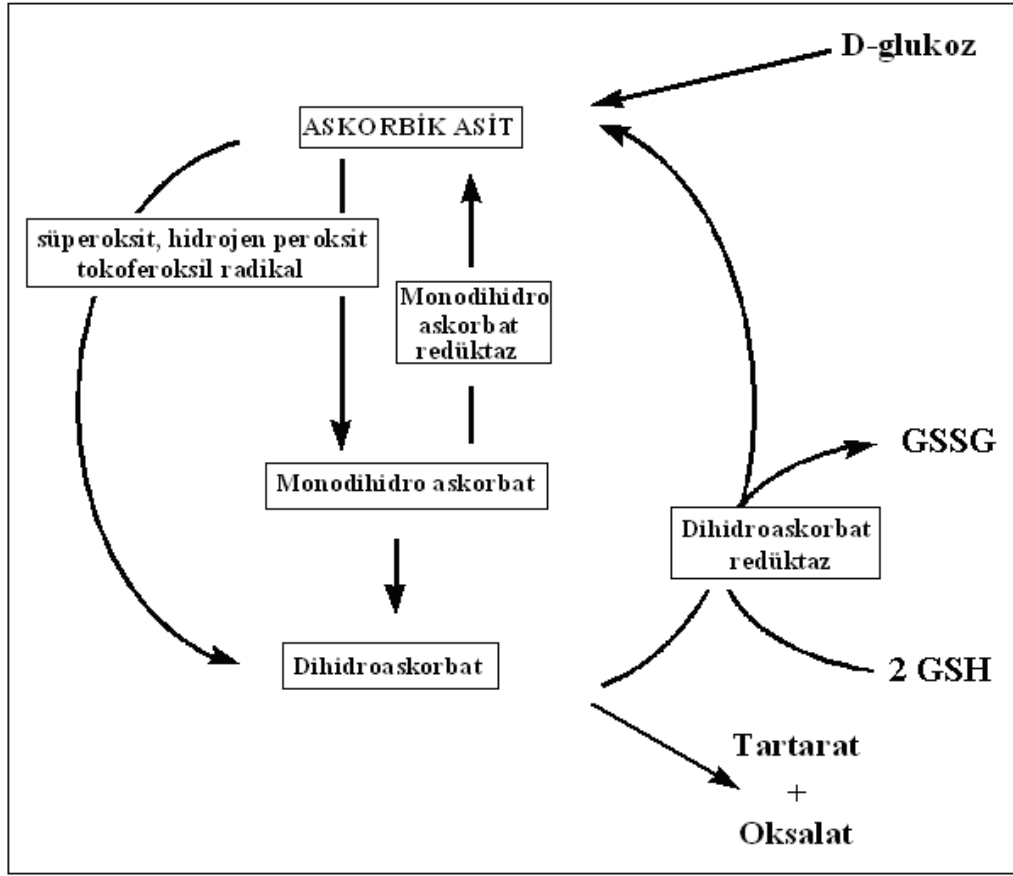
### 2.6.2. Enzimatik Olmayan Savunma Mekanizmaları

#### *Askorbik asit*

Askorbat; bitkide büyüme, farklılaşma ve metabolizmayı kapsayan birçok fizyolojik süreçte gereklidir (Foyer, 1993). Askorbat, serbest radikallerin çoğu için indirgeyici olduğundan oksidatif stresin neden olduğu zararı azaltmaktadır. Askorbat sentezi kloroplastlarda ve sitosolde olmaktadır. L-askorbik asit (C vitamini) yüksek bitkilerde heksoz şekerlerden sentezlenmektedir. İki ayrı yol olmasına rağmen yüksek bitkiler öncelikle doğrudan D-glikozu askorbik aside dönüştürmektedir (Foyer, 1993). Dönüştürme sırasında aynı dizideki karbon zinciri korunmaktadır. Bu kimyasal yol D-glikozun birinci karbonunun oksidasyonunu ve ikinci karbonu ile üçüncü karbonu arasında enediol oluşumunu gerektirmektedir (Mc Kersie ve Lehsem, 1994).

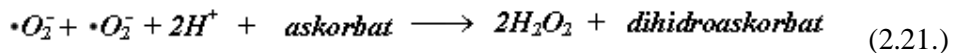


Ayrıca glutatyon da askorbik asit döngüsüne katılarak askorbik asidin dihidroaskorbattan rejenerasyonunu sağlamaktadır. Bir antioksidan olarak askorbik asit; süperoksit, hidrojen peroksit ve hidroksil radikali ile reaksiyona girerek bunların MDHA veya DHA'ya dönüşmesini sağlamaktadır. Askorbik asidin indirgenmiş formlarının yeniden askorbik asit döngüsüne girmesi ya NAD(P)H bağımlı MDHA redüktaz ya da DHA redüktaz tarafından kataliz edilmektedir. DHA ise tartarat ya da oksalata ayrışmaktadır (Asada, 1992).

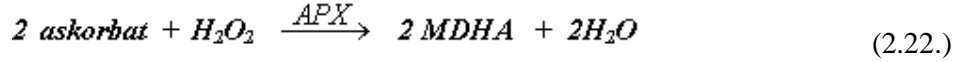


Şekil 2.6. Askorbik asidin toksik radikallere karşı savunma mekanizmasındaki rolü (Mc Kersie ve Lehsem, 1994)

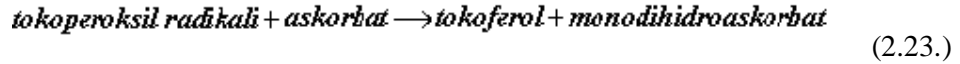
Askorbat; ya doğrudan serbest oksijen radikallerini, enzim katalizitleri olsun ya da olmasın etkisiz hale getirmekte veya dolaylı olarak tokoferol döngüsüyle indirgemektedir. Singlet oksijen ile reaksiyona girerek önemli makromolekülleri oksidatif hasara karşı korumaktadır. Askorbik asit ayrıca diğer bir antioksidan olan E vitamininin (tokoferol) de indirgenmiş durumda kalmasını sağlamaktadır. Askorbik asit süperoksitle olan reaksiyonunda fizyolojik olarak SOD'a benzer bir role sahiptir (Mc Kersie ve Lehsem, 1994).



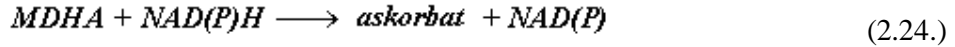
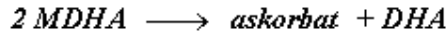
$H_2O_2$  ile olan reaksiyon APX tarafından kataliz edilmektedir. Askorbat peroksidaz, indirgenmiş askorbik asidi elektron kaynağı olarak kullandıktan sonra  $H_2O_2$  detoksifike edilmekte ve MDHA açığa çıkmaktadır (Asada, 1992).



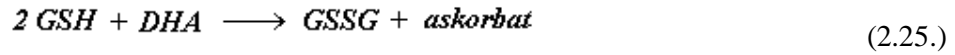
Askorbik asidin bir antioksidan olarak dolaylı görevi, membrana bağlı antioksidanların örneğin tokoferol gibi (Tokoferol; sırasıyla peroksil radikalleri ve singlet oksijeni etkisiz hale getirir.) rejenerasyonunu sağlamaktır (Mc Kersie ve Lehsem, 1994).



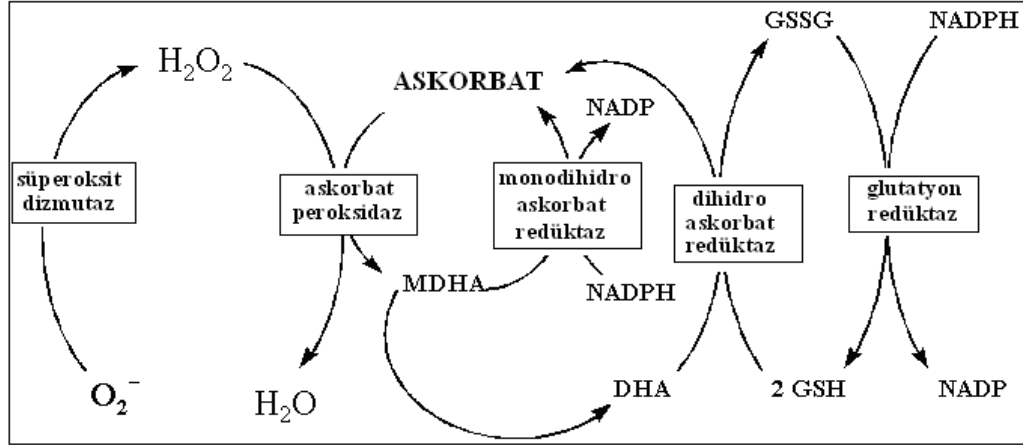
MDHA ya kendiliğinden ya da NAD(P)H bağımlı MDHA redüktaz tarafından askorbata indirgenmektedir.



DHA, pH 6'dan büyük olduğunda tartarat ya da oksalata dönüştüğünden stabil değildir. Bu nedenle DHA hemen (glutatyonun ekuvalent indirgenmesinden yararlanılarak) DHA redüktaz aracılığıyla askorbik aside indirgenmektedir (Mc Kersie ve Lehsem, 1994).

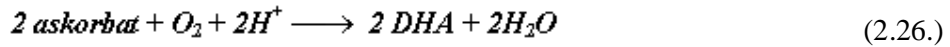


Askorbat; kloroplast, sitosol ve vakuolde bulunmaktadır. Askorbik asidin yaklaşık olarak % 20-40'ı yaprak hücrelerinin mezofil dokusunun kloroplastlarında lokalize olmuştur. Kloroplastlar, askorbik asidin okside formundan indirgenmiş formunu oluşturacak tüm enzimleri içermektedir. H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, kloroplastlardaki askorbat-glutatyon döngüsü ile etkisiz hale getirilmektedir (Foyer ve Halliwell, 1976).



Şekil 2.7.H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>'nin kloroplastlardaki askorbat-glutatyon döngüsü ile etkisiz hale getirilmesi (Mc Kersie ve Lehsem, 1994)

Askorbat metabolizması ile ilgili çalışmaların detayları kloroplastlarda yoğunlaşmasına rağmen fotosentetik ve fotosentetik olmayan hücrelerin sitosollerinde de askorbat rejenerasyonu için gerekli tüm enzimler bulunmaktadır (Chen ve Asada, 1989). Ayrıca hücre duvarında da bu enzimler bulunmaktadır. Bu nedenle hücre duvarının sentezinde askorbik asidin rolü olabileceği düşünülmektedir (Çünkü askorbik asit mM konsantrasyonlarda hücre duvarında bulunmaktadır.) (Polle ve ark., 1990). Hücre duvarı askorbat peroksidaz içermez ancak askorbat oksidaz içerir (Chichiricco ve ark., 1989). Bu enzim, her bir enzim için 8-12 bakır molekülü içermekte ve aşağıdaki reaksiyonu katalizlemektedir (Mc Kersie ve Lehsem, 1994).



### Glutatyon

Glutatyon (GSH) bir tripeptiddir (Glu-Cys-Gly) ve antioksidan görevi sisteinin sülfidril grubu tarafından kolaylaştırılmaktadır (Rennenberg, 1982). Glutatyonun oksidasyonunda; sülfidril, disülfid bağını (GSSG) oluşturarak ikinci bir okside glutatyon ile reaksiyona giren bir tiyil radikalini oluşturmaktadır. Bazı baklagiller Glu-Cys-Ala tripeptidine homolog olan homoglutatyon (hGSH) içerirler. GSH, 340 mV'lik redoks potansiyeline sahiptir, bu durum GSH'nin

dihidroaskorbati, askorbata indirgemesini ya da proteinlerin disülfid bağlarının indirgenmesini sağlamaktadır (Klapheck, 1988).

GSH; bitkilerdeki birçok dokunun hücre ve hücre içi kısmında bulunmaktadır. Miktarı ise dokunun yaşına ve büyüme ortamına (Örneğin GSH miktarı karanlığa göre ışıktaki daha fazladır) göre değişmektedir. GSH, hücre içinde en fazla kloroplastlarda lokalize olmuştur (1-4 mM). Ayrıca önemli miktarlarda sitosolde de bulunmaktadır (Mc Kersie ve Lehsem, 1994).

GSH, birçok yolla antioksidan olarak görev yapmaktadır; kimyasal olarak singlet oksijen, süperoksit ve hidroksil radikalleriyle doğrudan reaksiyona girdiğinden direk olarak serbest radikalleri etkisiz hale getirmektedir. GSH; membran yapısını açıl peroksitleri hareket ettirmek suretiyle, lipid peroksidasyonu reaksiyonlarını düzenleyerek stabilize etmektedir (Price ve ark., 1990). Ayrıca askorbik aist döngüsüne katılarak askorbik asidin DHA'dan rejenerasyonunu sağlamaktadır (Loewus, 1988). Bitkide düşük molekül ağırlıklı bir tiyol (SH) bileşiği olan GSH, kükürt taşınmasında önemlidir. Ayrıca çok sayıda hücrenel olayda da önemlidir. GSH singlet oksijen ve hidroksil radikaliyle reaksiyona girerek enzimlerin SH gruplarının okside olmasını önlemektedir. GSH sentezinde, ilk önce glutamat ve sistein glutamilsistein sentetaz enzimi aracılığıyla birleşerek glutamilsisteini oluşturmaktadır (Rennenberg, 1982).



Daha sonraki adım glutatyon sentetaz tarafından glisin eklenmesini gerektirmektedir.



Baklagiller hGSH biriktirdiği için onlarda bu ikinci adım homoglutatyon sentetaz aracılığıyla alanin eklenmesini gerektirmektedir (Mc Kersie ve Lehsem, 1994).



GSSG'nin GSH'ye indirgenmesini GR enzimi kataliz etmektedir (Smith ve ark., 1985).

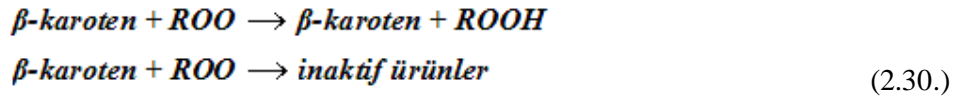
Özetle; Işıklandırılmış kloroplastların tilakoidlerinde çok yaygın olarak ta PSI'de süperoksit ve hidrojen peroksit üretilmektedir. Süperoksit, kendiliğinden olan bir dizmutasyonla ya da SOD enzimi aracılığıyla hidrojen peroksite dönüşmektedir (Asada, 1992). Hidrojen peroksit ise askorbat ya da askorbat peroksidaz enzimi aracılığıyla etkisiz hale getirilmektedir. Böylece askorbik asidin indirgenmiş formları olan MDHA ve DHA oluşmaktadır. MDHA, NADH bağımlı MDHA redüktaz, DHA ise GSH'a bağımlı DHA redüktaz tarafından tekrar indirgenmiş askorbik aside dönüştürülmekte yani askorbik asidin rejenerasyonu sağlanmaktadır. Askorbik asidin rejenerasyonunu sağlayan bu yolda son elektron donörü NAD(P)H'dir. Bu arada DHA redüktaz yardımıyla askorbik asidin rejenerasyonunda görev alan glutatyon okside olmuştur. Okside glutatyon, GR enzimi aracılığıyla (elektron kaynağı olarak NADPH kullanılmakta) indirgenerek GSH'a dönüşmektedir. Bu yol iki olaya sebep olmaktadır; birincisi muhtemelen fenton reaksiyonuna katılacak olan hidrojen peroksitin detoksifikasyonu diğeri ise NAD(P)H'nin oksidasyonudur. Son olay ise enerji tüketimidir. Başlangıçta kloroplast katalaz (NADPH içermez) içerdiği için bu olay çok mantıklı görülmektedir. Çünkü NADPH gerekmeden hidrojen peroksidin yıkımını sağlamaktadır. Fakat bu olay PSI'den oksijene elektron transferine neden olduğu için yüksek redoks potansiyeli ve yüksek NADPH/NADP oranı oluşturmaktadır. Halliwell-Asada yoluyla bu yüksek redoks potansiyelinin azaltılmasıyla PSI'in oksijeni indirgeme eğilimi minimize edilmektedir. Böylece fotosentez sırasında önce süperoksit ve ardından hidrojen peroksit; askorbat peroksidaz, DHA redüktaz ya da MDHA redüktaz ve glutatyon redüktaz enzimlerinin birlikte yaptıkları aktivitelerle etkisiz hale getirilmektedir. Bu şekilde gerçekleşen reaksiyonlar ile bitkilerdeki stresin zararı azaltılmaktadır (Mc Kersie ve Lehem, 1994).

### ***Karotenoidler***

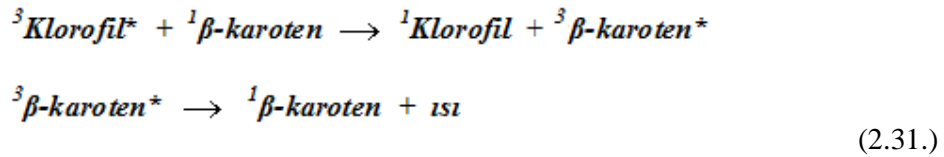
Karotenoidler; C<sub>40</sub> isoprenoid ve tetraterpendirler. Karotenoidler, hem fotosentetik hem de fotosentetik olmayan bitki dokularının plastidlerinde bulunup kloroplastları yüksek ışıktan korumaktadırlar. Karotenoidlerin belki bundan da

önemli rolü ise triplet klorofili ve aktif oksijen formlarını detoksifike edebilme yeteneğidir. İki çeşit karotenoid vardır. Karotenler hidrokarbondurlar, ksantofiller ise bir ya da daha fazla oksijen atomu içeren karoten türevidirler (Mc Kersie ve Lehsem, 1994).

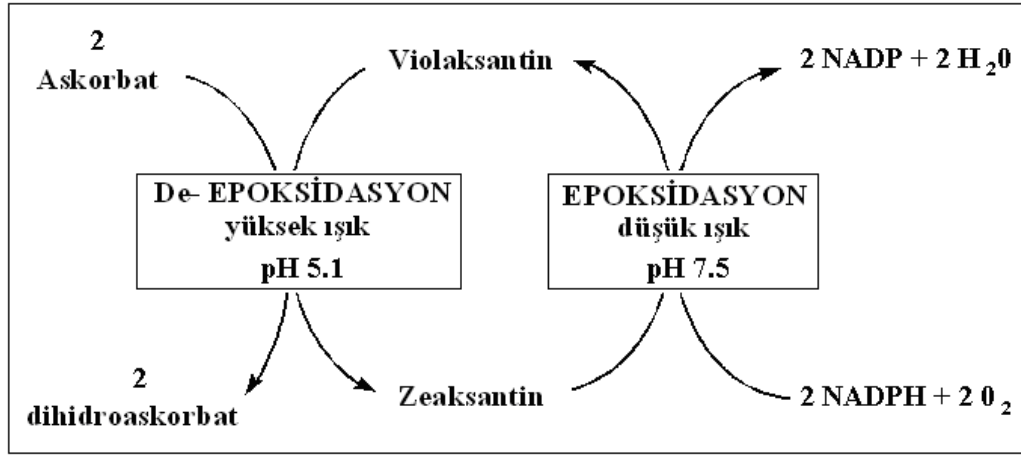
Karotenoidler, fotosistemleri şu dört yoldan biri ile koruduğundan antioksidan görevi görmektedir; lipid peroksidasyonu ürünleri ile reaksiyona girerek reaksiyon zincirini sonlandırmakta (Burton ve Ingold, 1984), singlet oksijeni yok ederek ısı enerjisi açığa çıkarmakta (Mathis ve Kleo, 1973), triplet klorofili yok etmekte ya da eksitasyon enerji fazlasını ksantofil döngüsüyle yok etmektedir. Karotenoidler peroksi radikallerini aşağıdaki reaksiyonlarda görüldüğü gibi etkisiz hale getirerek tokoferolün çoğalmasını sağlamaktadır (Burton ve Ingold, 1984).



Bu reaksiyonlarda  $\beta$ -karotenin indirgenmiş formlarının döngüye yeniden nasıl girdiği henüz bilinmemektedir. Ancak bu reaksiyonlar ile  $\beta$ -karoten peroksi radikalini etkisiz hale getirmektedir.  $\beta$ -karotenin daha koruyucu olan asıl önemi fotosentetik dokularda doğrudan triplet klorofili etkisiz hale getirmesi ve singlet oksijen oluşumunu önlemesidir. Böylece bitkiyi oksidatif stresten korumaktadır (Mc Kersie ve Lehsem, 1994).



De-epoksidasyonda; indirgenmiş askorbat (epoksidasyonda ise NADPH) elektron donörü olarak kullanılmakta ve karotenoidler klorofili yüksek ışık hasarından korumaktadırlar. Işık altında de-epoksidasyonla violaksantin zeaksantine dönüşmekte, karanlıkta ya da düşük ışıkta ise tam tersi olmaktadır. Böylece zeaksantin fotosentetik kapasiteyi aşan ışık oranlarını akümle edebilmektedir (Mc Kersie ve Lehsem, 1994).



Şekil 2.8.Karotenoidlerde serbest radikallerin etkisiz hale getirilmesi (Mc Kersie ve Lehsem, 1994)



### 3. MATERYAL VE METOD

#### 3.1. Materyal

##### 3.1.1. Analizlerde Kullanılacak Bitki Materyali

Analizlerde kullanılacak bitki materyali 2006 ve 2007 yıllarında Nisan ve Eylül ayı olmak üzere 4 farklı dönemde alınmıştır.

Bacaların yüksekliği, kirletici gaz konsantrasyonları ve rüzgarın esiş yönüne göre kirliliğin maksimum olduğu uzaklık hesaplanmış ve böylece Sugözü Termik Santrali'ne uzaklıkları belirlenen örneklik alanlardan bitki örnekleri alınmıştır. Bu yerlerin belirlenmesinde bitkilerin yayılış alanlarının uygunluğuna da dikkat edilmiştir.

Bacanın güneyi Akdeniz'e bakmaktadır. Bu nedenle bacanın doğusu, kuzey-doğusu, kuzeyi, kuzey-batısı ve batısından örnekler alınmıştır. Örnek alınacak mesafelerin belirlenmesi için maksimum emisyon mesafesi aşağıdaki formülle hesaplanmış, elde edilen sonuca göre örneklik alanlar belirlenmiştir.

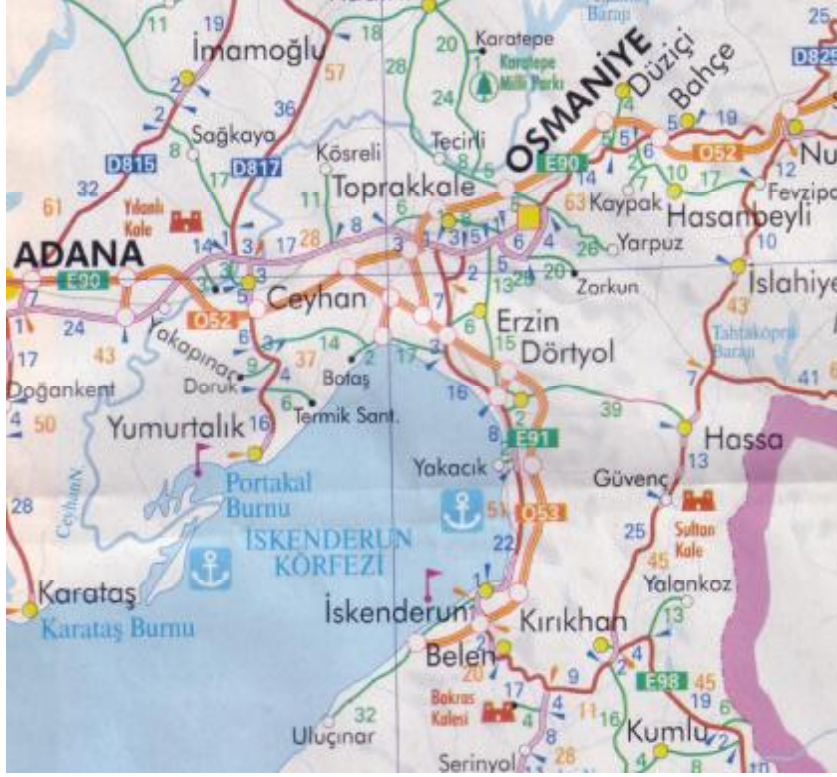
maksimum emisyon mesafesi (m) = baca yüksekliği x 10-15, (Loub, 1975)

maksimum emisyon mesafesi (m) = 150 m x 15

Buna göre, maksimum emisyon mesafesi 2.250 m'dir.

Çalışma alanı Şekil 3.1'de belirtilmiştir. Buna göre termik santralin doğusunda Botaş'ın 5 km uzağı, batısında Yumurtalık ilçe merkezi, kuzeyinde Yakapınar maksimum uzaklıktaki örneklik alanlar olarak belirlenmiştir.

Belirlenen her yön için 1, 2.5, 5, 10, 15 km uzaklıklardan bitkilere ait yaprak örneklerinin alınmasının çalışmanın güvenilirliği açısından gerekli olduğu saptanmıştır. Bu mesafelerde sadece *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. ve *Morus alba* L. bitkileri yayılış gösterdiği için çalışma bu iki bitki türüyle gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.1. Yaprak ve toprak örneklerinin alındığı Sugözü Termik Santrali ve çevresi

### 3.2. Metod

#### 3.2.1. Hava Kirletici Gazların Ölçülmesi

Örneklerin alındığı yer ve dönemlerde MSI marka gaz analiz cihazıyla (MSI 150 tipli) kirletici gazların ölçümleri yapılmıştır. Ölçümü yapılan hava kirleticilerinden  $NO_x$ ,  $SO_2$  ppm olarak saptanmıştır. Ayrıca havadaki  $O_2$  % oran olarak,  $CO_2$  miktarı ise ‰ oran olarak hesaplanmıştır.

#### 3.2.2. Toprakta Mineral Element Analizleri

Alınan bitki örneklerinin topraklarındaki toplam mineral element ve ağır metallerin tayini Schlihting ve Blume (1966)'a göre yapılmıştır. Analizleri yapılan mineral element ve ağır metaller K, Ca, Mg, Zn, Cu, Co, Na, Ni, Pb, Cd, Cr' dir.

Bu amaçla yaklaşık 0.5 g toprak örneği platin krozede 1-2 damla su, 1 ml % 60'lık HClO<sub>4</sub> ve 5 ml % 40'lık HF ile muamele edildikten sonra 200 °C de kum banyosunda kurutulmuştur. Soğutma işleminden sonra üzerine 10 ml 5 N HCl ve 5 ml deiyonize su ilave edilerek çözelti ortamına geçen iyonların konsantrasyonlarına göre uygun atomik absorpsiyon cihazıyla (Atiunicam 929 veya Hitachi 180-80) okumaları yapılmıştır.

### 3.2.3. Toprak pH'sının Belirlenmesi

Alınan toprak örneklerinin pH'sı Jackson (1964)'a göre belirlenmiştir. Toprak reaksiyonu, cam elektrotlu pH-metre ile 1:2.5'lük toprak-su karışımında belirlenmiştir.

### 3.2.4. Yaprakta Mineral Element Analizleri

Mineral element analizleri Bremner (1965)'e göre yapılmıştır. Bu amaçla laboratuara getirilen yaprak örnekleri % 0.1'lik HCl ile yıkandıktan sonra saf sudan geçirilmiş ve 70 °C'de etüvde 48 saat kurutulmuştur. Kurutulan örnekler daha sonra öğütülerek ve bunlardan 200 mg alınarak 5 saat 550 °C'de kül fırınında yakılmıştır. Yakma işleminden sonra elde edilen kül %3.3'lük HCl'de çözdürülüp mavi bant filtre kağıdı ile filtre edilmiştir. Elde edilen süzükte elementlerin konsantrasyonlarına göre uygun atomik absorpsiyon cihazıyla (Atiunicam 929 veya Hitachi 180-80) okumalar yapılmıştır.

### 3.2.5. Stoma Dağılımının Belirlenmesi

Stoma sayımı Düzenli (1984)'nin belirttiği gibi yapılmıştır.

### 3.2.6. Klorofil ve Karotenoid Konsantrasyonunun Belirlenmesi

Klorofil ve karotenoid konsantrasyonu analizleri Arnon (1949)'a göre yapılmıştır. Taze yaprak örnekleri (100-200 mg) 15 ml % 80'lik (hacim/hacim) asetonla homogenize edildikten sonra kaba filtre kağıdı kullanılarak filtre edilmiştir. Filtre edilen örneklerde 652 nm'de toplam klorofil, 663 nm'de klorofil a, 645 nm'de klorofil b ve 470 nm'de karotenoid absorbansları ölçülmüştür. Hesaplamalar Lichtenthaler ve Wellburn (1983) tarafından aşağıda verilen formüllere göre yapılmıştır (A:ölçülen absorbans değeri).

$$\text{Toplam klorofil} = A_{652} \times 27.8 / \text{mg örnek ağırlığı}$$

$$\text{Klorofil a (Kla)} = ( 11.75 \times A_{663} - 2.35 \times A_{645} ) \times 20 / \text{mg örnek ağırlığı}$$

$$\text{Klorofil b (Klb)} = ( 18.61 \times A_{645} - 3.96 \times A_{663} ) \times 20 / \text{mg örnek ağırlığı}$$

$$\text{Karotenoid} = ((1000 \times A_{470} - 2.27 \times \text{Kla} - 81.4 \times \text{Klb}) / 227) \times 20 / \text{mg örnek ağırlığı}$$

### 3.2.7. Prolin Konsantrasyonunun Belirlenmesi

Prolin analizi Bates ve ark. (1973)'a göre yapılmıştır.

Prolin analizleri için 0.5 g kuru bitki materyali 10 ml %3'lük sülfosalisilik asit ile homojenize edilmiştir. Daha sonra homejenat mavi bant filtre kağıdıyla filtre edilmiştir.

Elde edilen süzüntüden 2 ml filtrat alınarak, üzerine 2 ml asit ninhidrin (Asit ninhidrin çözeltisinin hazırlanışı: 1.25 g'lık ninhidrinle 30 ml glasiyal asetik asit ve 20 ml 6 M fosforik asidin çözülene kadar çalkalanmasıyla hazırlanmıştır. 24 saat durağan kalan reagent soğukta (+4 °C) korunmuştur.) ve 2 ml glasiyal asetik asit ilave edilerek 100 °C'de 1 saat inkübe edilmiştir. Soğuyuncaya kadar buz banyosunda tutulan reaksiyon karışımı 4 ml toluenle ekstrakte edilmiştir.

Toluen sulu fazdan aspire edilip, oda sıcaklığında soğutulduktan sonra absorbans değerleri U.V. spektrofotometresinde (CE 5502 UV spectrophotometer) 520 nm dalga boyunda okunmuştur.

0.1, 0.2, 0.3, 0.4 µmol/prolin içeren standartlar hazırlanmış ve hesaplamalar aşağıdaki formülde belirtildiği gibi yapılmıştır.

$((\mu\text{g prolin} / \text{ml toluen}) / 115.5 \mu\text{mol}) / ((\text{g örnek}) / 5) = \mu\text{mol prolin} / \text{g materyalin taze ağırlığı}$

### 3.2.8. Lipid Peroksidasyonunun Belirlenmesi

Lipid peroksidasyonu ölçümü Hodges ve ark. (1999)'a göre yapılmıştır. Bu amaçla yaklaşık 1 gram taze yaprak örneği % 80'lik etil alkol ile homogenize edildikten sonra 3000 g'de santrifüj edilmiştir. Elde edilen ekstraktta analiz iki aşamada gerçekleştirilmiştir. Birinci aşamada; santrifügattan alınan sıvı fazdan 1 hacim ekstrakt üzerine 1 hacim % 20'lik (ağırlık / hacim) TCA (trichloroacetic acid) ve 1 hacim % 0.01'lik BHT (Butylated Hydroxytoluene) eklenmiştir. İkinci aşamada; santrifügattan alınan sıvı fazdan 1 hacim ekstrakt üzerine 1 hacim % 0.65 TBA (2-Thiobarbituric acid) içeren % 20'lik TCA ve bunun üzerine de 1 hacim % 0.01'lik BHT eklenmiştir. Daha sonra vorteksle karıştırılan örnekler 95 °C'ye ayarlı su banyosunda 25 dakika inkube edilmiş ve ardından şok soğutma yapılmıştır (Hemen buz banyosuna alınmıştır.). Soğutulan örnekler tekrar 3000 g'de santrifüj edilmiş ve santrifügatın birinci aşama örnekleri 532 ve 600 nm'de, ikinci aşama örnekleri ise 532, 600 ve 440 nm'de spektrofotometre ile absorbans okumaları yapılmıştır. Sonuçlar aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır (ABS: Absorbans, MDA: Malondialdehid).

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

### 3.2.9. SH-Grupları Konsantrasyonunun Belirlenmesi

SH-grubu analizleri, % 5'lik meta-fosforik asit ekstraksiyonunda 5-5'-dithiobis (2-nitrobenzoik asit) (DTNB) çözeltisi kullanılarak Cakmak ve

Marschner (1992)'de belirtildiği gibi yapılmıştır. Buna göre 0.5 gram bitki örneği %5'lik metafosforik asit ile homogenize edilip 4000 g'de santrifüj edilmiştir. Santrifügatlardan 0.5 ml alınarak, üzerine 5 mM EDTA içeren 150 mM'lık fosfor tamponu (pH=7.4) ve 0.5 ml 6 mM DTNB çözeltisi eklenmiş ve 20 dakika oda sıcaklığında inkube edilmiştir. Renklendirilen örneklerde okumalar spektrofotometrede 412 nm dalga boyunda yapılmıştır. Standartlar 0-100 µg/ml aralığında hazırlanmış, standart olarak indirgenmiş glutatyon kullanılmıştır.

### 3.2.10. Askorbik Asit Konsantrasyonunun Belirlenmesi

Toplam ve indirgenmiş askorbik asit analizleri Cakmak ve Marschner (1992) tarafından bildirildiği gibi yapılmıştır. Yöntemin esası, ortama katılan  $Fe^{+3}$ 'ün askorbik asit ile  $Fe^{+2}$ 'ye indirgenmesi ve  $Fe^{+2}$ 'nin bipyridin ile komplekslenerek oluşan kırmızı rengin 525 nm'de ölçümüne dayanmaktadır. Buna göre, yaklaşık 0.5 g taze yaprak örneği sıvı azot ve kuvars kumu yardımıyla 10 ml % 5'lik *meta*-fosforik asit ile homogenize edilmiş ve ardından 4000 g'de 30 dakika santrifüj edilmiştir.

Toplam askorbik asidi belirlemek için, santrifügattan 0.2 ml alınarak üzerine 5 mM EDTA içeren 0.5 ml 150 mM'lık fosfor tamponu (pH 7.4), 0.1 ml 10 mM DTT (1,4 dithiotreitol) eklenmiş ve 15 dakika oda sıcaklığında inkube edilmiştir. Bu sürenin bitiminde aşırı DTT'yi ortadan kaldırmak için bu çözeltinin üzerine 0.1 ml % 5'lik (ağırlık / hacim) NEM (*N*-ethylmaleimid) ilave edilmiştir. Reaksiyon ortamında askorbik asit miktarına bağlı renk oluşumu, sırasıyla 0.4 ml % 10'lük TCA (trichloroacetic acid), 0.4 ml % 44'lük orto-fosforik asit, 0.4 ml % 70'lik etil alkol içinde hazırlanmış % 4'lük 2,2'-bipyridin ve 0.2 ml % 3'lük  $FeCl_3$  kimyasallarının ortama katılmasıyla gerçekleştirilmiştir.

İndirgenmiş askorbik asiti, belirlemek için ortama yukarıda belirtilen kimyasallardan sadece DTT ve NEM ilave edilmemiş, diğer işlemler toplam askorbik asit analizinde olduğu gibi yapılmıştır. Daha sonra toplam ve indirgenmiş askorbik asit ölçümleri için hazırlanan örnekler renk gelişimi için +40 °C'de 40 dakika inkube edilmiştir. Bu sürenin ardından örnekler spektrofotometrede 525 nm'de ölçüme alınmıştır.

Okumalar, standart olarak 0-100 µg/ml aralığında L(+) askorbik asit kullanılarak yapılmıştır. Toplam askorbik asitten indirgenmiş askorbik asit çıkarılarak okside askorbik asit düzeyi hesaplanmıştır.

### 3.2.11. Çözünür Protein Konsantrasyonunun Belirlenmesi

Çözünür protein konsantrasyonunun belirlenmesi Bradford (1976)'a göre yapılmıştır. Buna göre, 100 µl= 0.1 ml enzim santrifüğü üzerine 5 ml protein analiz çözeltisi ilave edilmiş ve ardından vortekslenmiştir. Daha sonra 595 nm'de spektrofotometrede okumalar yapılmıştır. Standart olarak 0-600 µg/ml arasında hazırlanan inek serum albumini kullanılmıştır.

Protein analiz çözeltisinin hazırlanması: 100 mg coomasie brilliant blue (G 250) 50 ml % 99.5'lik etil alkol içerisinde çözdürülmüştür. Daha sonra çözelti üzerine 100 ml % 85'lik ortofosforik asit ilave edilerek çözelti 600 ml'ye tamamlanmış ve kaba filtre kağıdı ile filtre edilmiştir. Daha sonra bu çözeltinin üzerine 100 ml % 87'lik gliserol eklenmiş ve saf su ile 1000 ml'ye tamamlanmıştır.

### 3.2.12. Antioksidan Enzim Analizleri

#### *Süperoksit Dizmutaz (SOD)*

Süperoksit dizmutaz (SOD) aktivitesi Cakmak ve Marschner (1992)'de belirtildiği gibi yapılmıştır. Buna göre, 1 g taze yaprak örneği sıvı azot ve kuvars kumu yardımıyla 0.1 mM Na-EDTA içeren 50 mM (pH = 7.6)'lık 10 ml fosfor tamponu ile homogenize edilmiştir. Homogenize edilen örnekler 15000 g, 4 °C'de, 15 dakika santrifüj edilmiştir. SOD aktivitesi, nitro blue tetrazolyum kloridinin (NBT) ışık altında O<sub>2</sub><sup>-</sup> indirgenmesine bağlı olarak saptanmıştır. Bu amaçla son hacmi 5 ml olan reaksiyon ortamına 0.1 mM Na-EDTA içeren 50 mM (pH = 7.6)'lık fosfor tamponu konulduktan sonra üzerine enzim ekstraktı, 0.5 ml 50 mM Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> (pH = 10.2), 0.5 ml 12 mM L-Methionin, 0.5 ml 75 µM NBT ve 10 µM riboflavin eklenmiştir. NBT'nin O<sub>2</sub><sup>-</sup> tarafından indirgenmesi örneklerin 24

°C ve  $400 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  ışık intensitesi altında 15 dakika bekletilmesi ile sağlanmıştır. Daha sonra 560 nm’de spektrofotometrede okuma yapılmıştır. SOD aktivitesi veya inhibisyonu aşağıdaki formülde belirtildiği gibi hesaplanmıştır.

$$\text{SOD aktivitesi veya \% inhibisyon} = ( 1 - A / B )$$

A: örnek absorbansı

B: blank absorbansı

### 3.2.13. İstatistiksel Analizler

Elde edilen veriler 4 tekrarlı olacak şekilde one-way ANOVA ile analiz edilmiştir. Yapılan uygulamanın matematiksel modeli aşağıda belirtildiği gibidir:

$$Y_{ij} = m + a_i + e_{ij} \quad (3.1.)$$

Analiz sonuçları  $P < 0.05$ 'de istatistiksel olarak önemli kabul edilmiştir.

Çizelgelerdeki istatistiksel analiz sonuçlarının önem derecesi  $P < 0.05$ 'de \*,  $P < 0.01$ 'de ise \*\* olarak belirtilmiştir. İstatistiksel olarak önemli olmayanlar ise herhangi bir sembole belirtilmemiştir.

## 4.BULGULAR VE TARTIŞMA

### 4.1. Araştırma Bulguları

Analizlerde kullanılacak bitki ve toprak örnekleri Sugözü Termik Santrali'nin doğusuna, kuzeydoğusuna, kuzeyine, kuzeybatısına ve batısına 1, 2.5, 5, 10, 15 km uzaklıklarda belirlenen mesafelerden, 2006-2007 yıllarının Nisan ve Eylül aylarında olmak üzere 4 kez alınmıştır. Tüm analizler 4 tekerrür olacak şekilde yapılmıştır. Örneğin prolin için çalışma boyunca; 2 (yıl) x 2 (ay) x 2 (tür) x 5 (mesafe) x 5 (yön) x 4 (tekerrür) = 800 okuma yapılmıştır. Yapılan istatistiksel analizler sonucunda, kirletici gazların, doğu yönünden örnek alınan bitkilerin yapraklarında diğer yönlere göre daha belirgin etki gösterdiği saptanmıştır. Tüm yönlerden elde edilen analiz sonuçlarını bir grafikte vermek mümkün olamayacağından, grafiklerde sadece doğu yönündeki yaprak ve toprak örnekleriyle yapılan analizlerin istatistiksel ortalamaları ve standart sapmaları belirtilmiştir. Ayrıca Sugözü Termik Santrali'nden kaynaklanan kirletici gazların, bitki yaprak ve toprak örnekleriyle analizi yapılan parametreler üzerine genel etkileri tezin ekler kısmında belirtilmiştir.

#### 4.1.1. Hava Kirletici Gazların Ölçüm Sonuçları

NO<sub>x</sub>, ölçümü yapılan tüm dönemler ve mesafeler göze alındığında sadece 2006 yılının Eylül ayında, 2.5 km mesafede koku eşik değerinde olup 1 ppm olarak saptanmıştır. Diğer dönemlerde ise 0 ppm olarak ölçülmüştür. NO<sub>x</sub> için, sıfır (0) değerleri 1.91 mg/mm<sup>3</sup>'ten daha az konsantrasyonda olduğu şeklinde kabul edilmektedir. Aletin ölçüm sınırı bu değerler arasındadır. 1 ppm NO<sub>x</sub>: 1.91 mg/m<sup>3</sup>'tür. Kısaca gaz ölçüm aletiyle ortamdaki NO<sub>x</sub> değeri 0 ppm olarak ölçüldüğünde, bu durum ortamda NO<sub>x</sub> olmadığı anlamına gelmemektedir.

SO<sub>2</sub>, ölçümü yapılan tüm dönemler ve mesafeler göze alındığında, doğu yönünde ve 2.5 km mesafede 1 ppm olarak saptanmıştır. Ayrıca 2006 yılının Eylül ayında, doğu yönünde, 5 km mesafede 1 ppm SO<sub>2</sub> saptanmıştır. Diğer dönemlerde ise 0 ppm olarak ölçülmüştür. SO<sub>2</sub> için, sıfır (0) değerleri 2.66

mg/mm<sup>3</sup>,ten daha az konsantrasyonda olduğu şeklinde kabul edilmektedir. Aletin ölçüm sınırı bu değerler arasındadır. 1 ppm SO<sub>2</sub>: 2.66 mg/m<sup>3</sup>,tür.

CO<sub>2</sub>, ölçümü yapılan tüm dönemler ve mesafeler göze alındığında, sadece doğu yönünde 2.5 ve 5 km mesafede normal değerlerin üzerindedir. Diğer yönlerde ve mesafelerde ise ideal değerlere yakındır.

O<sub>2</sub>, ölçümü yapılan tüm dönemler ve mesafeler göze alındığında, sadece doğu yönünde 2.5 ve 5 km mesafede normal değerlerin altındadır. Diğer yönlerde ve mesafelerde ise ideal değerlere yakındır.

Gaz ölçüm aletiyle yapılan ölçümler sonucunda elde edilen verilere göre, kirletici gaz emisyonunun doğu yönünde diğer yönlere göre daha yoğun olduğu saptanmıştır. Ayrıca elde edilen tüm ölçüm sonuçları mesafelere göre değerlendirildiğinde, kirletici gazlar özellikle 2.5-5 km mesafede diğer mesafelere göre daha yoğundur. Sugözü Termik Santralinin doğusunda belirlenen mesafelerden alınan gaz ölçümlerinin sonuçları Çizelge 4.1.'de verilmiştir. Ölçümü yapılan hava kirleticilerinden NO<sub>x</sub> ve SO<sub>2</sub> değerleri ppm olarak belirtilmiştir. Ayrıca havadaki O<sub>2</sub> miktarı % oran olarak, CO<sub>2</sub> miktarı ise ‰ oran olarak belirtilmiştir.

Çizelge 4.1.Bitki örneklerinin alındığı alanlardaki gaz ölçüm sonuçları

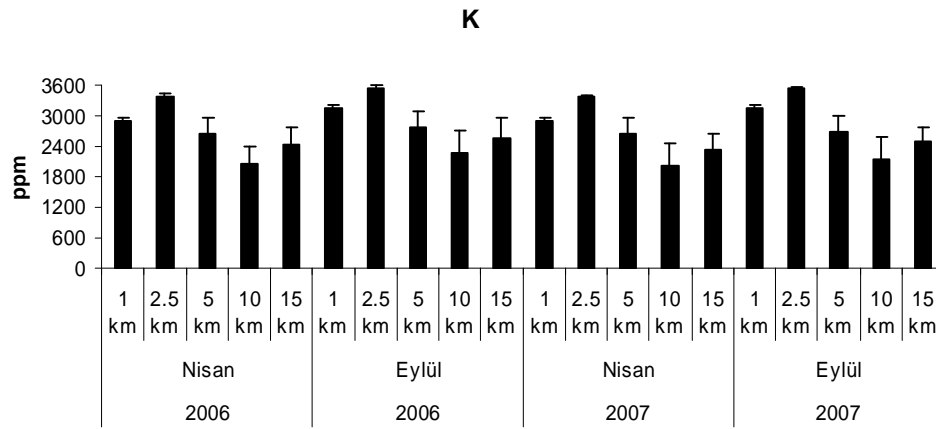
Yıl	Ay	Bacaya uzaklık (km)	Gaz ölçüm sonuçları			
			SO <sub>2</sub> (ppm)	NO <sub>x</sub> (ppm)	CO <sub>2</sub> (‰)	O <sub>2</sub> (‰)
2006	Nisan	1	0	0	0,87	19,98
		2.5	1	0	1,43	18,79
		5	0	0	1,45	18,56
		10	0	0	0,67	20,87
		15	0	0	0,54	20,88
	Eylül	1	0	0	0,76	19,90
		2.5	1	1	1,36	19,30
		5	1	0	1,41	19,59
		10	0	0	0,45	20,02
		15	0	0	0,39	20,03
2007	Nisan	1	0	0	0,81	19,76
		2.5	1	0	1,23	19,03
		5	0	0	1,12	19,54
		10	0	0	0,65	20,54
		15	0	0	0,42	20,76
	Eylül	1	0	0	0,67	19,30
		2.5	1	0	1,02	18,70
		5	0	0	1,07	18,90
		10	0	0	0,56	19,90
		15	0	0	0,43	20,86

#### 4.1.2. Toprakta Mineral Element Sonuçları

Örnek alınan bitkilere ait toprak analizlerinde K, Ca, Mg, Zn, Cu, Co, Cr, Na, Ni, Cd ve Pb konsantrasyonları ölçülmüştür.

Örnek alınan bitki topraklarındaki K konsantrasyonunun istatistiksel olarak olmasa da, 2006 yılında 2007 yılına göre ve Eylül ayında Nisan ayına göre daha yüksek olduğu saptanmıştır. Tüm mesafeler göze alındığında, topraklardaki K konsantrasyonunun 10 km mesafede istatistiksel olarak daha az olduğu saptanmıştır. Analiz sonuçları yönere göre değerlendirildiğinde, topraklardaki en yüksek K konsantrasyonu doğudan alınan topraklarda, en düşük K konsantrasyonu ise batıdan alınan topraklarda saptanmıştır. Ancak yönere göre oluşan farklılıklar istatistiksel olarak önemli değildir. Elde edilen tüm veriler

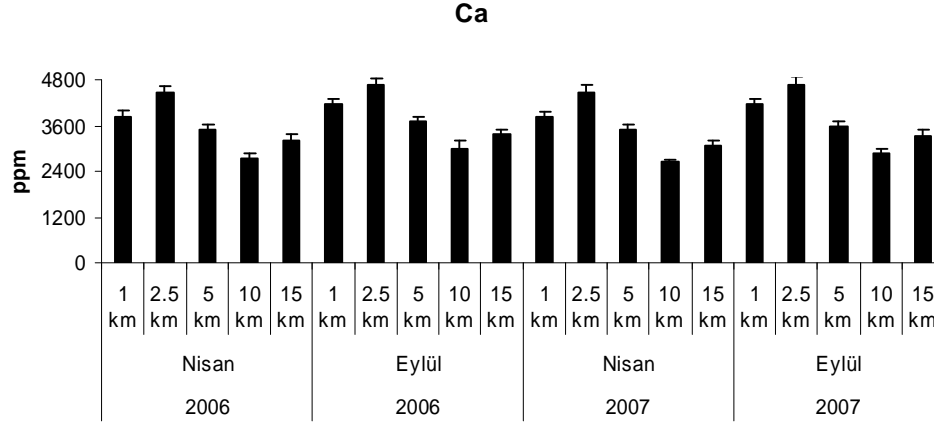
değerlendirildiğinde, K'nın bitki topraklarındaki değerlerinin 2000-3600 ppm arasında değiştiği görülmektedir. Sugözü Termik Santrali'nden kaynaklanan kirletici gazların doğu yönünde, bitki topraklarındaki K konsantrasyonu üzerine etkileri Şekil 4.1.'de gösterilmiştir. Ayrıca Sugözü Termik Santrali'nden kaynaklanan kirletici gazların örnek alınan bitki topraklarındaki K konsantrasyonu üzerine genel etkileri Ek 1'de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Termik santral kaynaklı kirletici gazların örnek alınan bitki topraklarındaki K konsantrasyonu üzerine etkileri

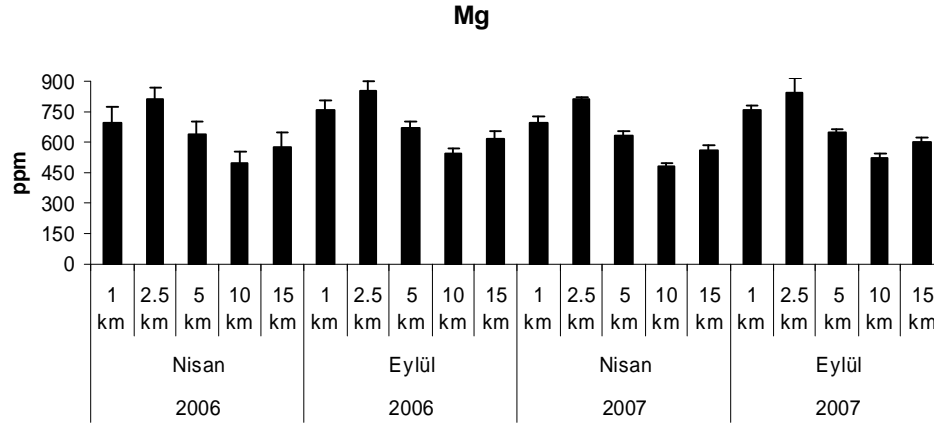
Bitki topraklarındaki Ca konsantrasyonunun 2006 yılında 2007 yılına göre ve Eylül ayında Nisan ayına göre daha yüksek olduğu saptanmıştır. Ancak yıllar ve aylar arasında oluşan farklılıklar istatistiksel olarak önemli değildir. Analiz sonuçları mesafelere göre değerlendirildiğinde, topraklardaki Ca konsantrasyonunun 10 km mesafede istatistiksel olarak daha az olduğu saptanmıştır. İstatistiksel olarak olmasa da, en yüksek Ca konsantrasyonu doğudan alınan topraklarda, en düşük Ca konsantrasyonu ise batıdan alınan topraklarda saptanmıştır. Elde edilen tüm veriler göze alındığında, analizi yapılan elementlerden Ca'nın bitki topraklarındaki değerleri 2500-4800 ppm arasında değişmektedir. Sugözü Termik Santrali'nden kaynaklanan kirletici gazların doğu yönünde, bitki topraklarındaki Ca konsantrasyonu üzerine etkileri Şekil 4.2.'de gösterilmiştir. Ayrıca Sugözü Termik Santrali'nden kaynaklanan kirletici gazların

örnek alınan bitki topraklarındaki Ca konsantrasyonu üzerine genel etkileri Ek 2’de gösterilmiştir.



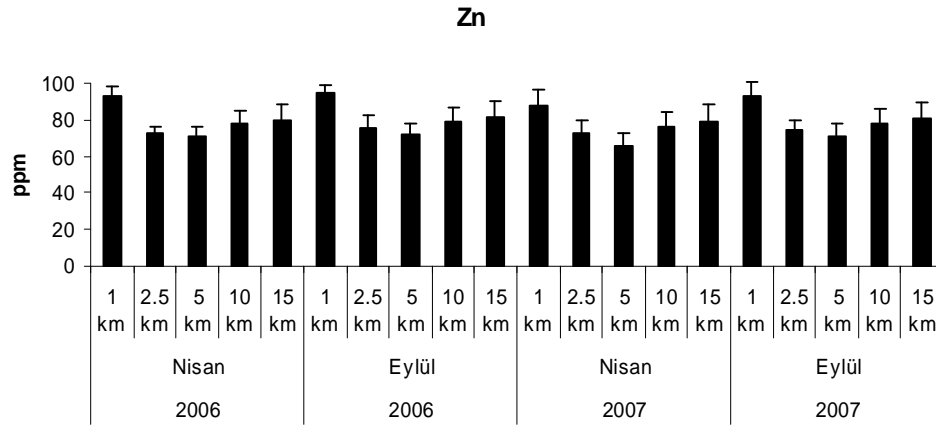
Şekil 4.2.Termik santral kaynaklı kirletici gazların örnek alınan bitki topraklarındaki Ca konsantrasyonu üzerine etkileri

Topraklardaki Mg konsantrasyonunun 2006 yılında 2007 yılına göre ve Eylül ayında Nisan ayına göre, istatistiksel olarak olmasa da daha yüksek olduğu saptanmıştır. Mesafeler göze alındığında, Mg konsantrasyonunun 10 km mesafede istatistiksel olarak daha az olduğu saptanmıştır. Elde edilen analiz sonuçları yönlerine göre değerlendirildiğinde, en yüksek Mg konsantrasyonu doğudan alınan topraklarda, en düşük Mg konsantrasyonu ise batıdan alınan topraklarda saptanmıştır. Ancak yönlerine göre oluşan farklılıklar istatistiksel olarak önemli değildir. Tüm dönemler ve mesafeler göze alındığında, Mg'nin bitki topraklarındaki değerlerinin 400-900 ppm arasında değiştiği görülmektedir. Sugözü Termik Santrali'nden kaynaklanan kirletici gazların doğu yönünde, bitki topraklarındaki Mg konsantrasyonu üzerine etkileri Şekil 4.3.'te gösterilmiştir. Ayrıca Sugözü Termik Santrali'nden kaynaklanan kirletici gazların örnek alınan bitki topraklarındaki Mg konsantrasyonu üzerine genel etkileri Ek 3'te gösterilmiştir.



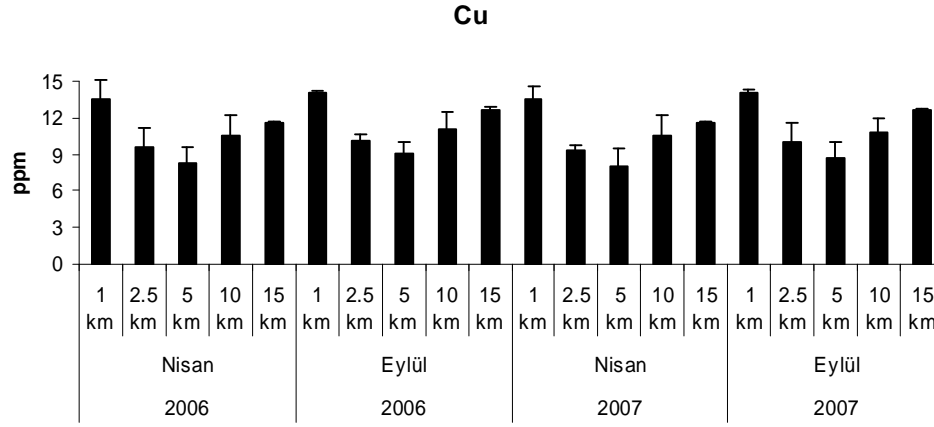
Şekil 4.3. Termik santral kaynaklı kirletici gazların örnek alınan bitki topraklarındaki Mg konsantrasyonu üzerine etkileri

Topraklardaki Zn konsantrasyonunun 2006 yılında 2007 yılına göre ve Eylül ayında Nisan ayına göre daha yüksek olduğu saptanmıştır. Ancak yıllar ve aylar arasında oluşan farklılıklar istatistiksel olarak önemli değildir. Tüm mesafeler göze alındığında, Zn konsantrasyonunun 5 km mesafede istatistiksel olarak daha az olduğu saptanmıştır. Elde edilen veriler yönler göre değerlendirildiğinde, en yüksek Zn konsantrasyonu kuzeyden alınan topraklarda, en düşük Zn konsantrasyonu ise batıdan alınan topraklarda saptanmıştır. Tüm dönemler ve mesafeler göze alındığında, analizi yapılan elementlerinden Zn'nin bitki topraklarındaki değerleri 70-100 ppm arasında değişmektedir. Sugözü Termik Santrali'nden kaynaklanan kirletici gazların doğu yönünde, bitki topraklarındaki Zn konsantrasyonu üzerine etkileri Şekil 4.4.'te gösterilmiştir. Ayrıca Sugözü Termik Santrali'nden kaynaklanan kirletici gazların örnek alınan bitki topraklarındaki Zn konsantrasyonu üzerine genel etkileri Ek 4'te gösterilmiştir.



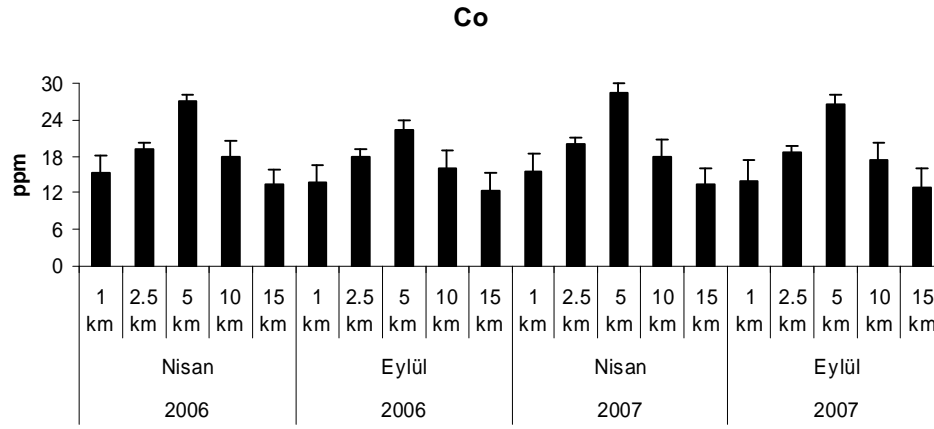
Şekil 4.4.Termik santral kaynaklı kirletici gazların örnek alınan bitki topraklarındaki Zn konsantrasyonu üzerine etkileri

Örnek alınan bitki topraklarındaki Cu konsantrasyonunda yıllara ve aylara göre oluşan farklılıklar istatistiksel olarak önemli değildir. Tüm mesafeler göze alındığında, Cu konsantrasyonunun 5 km mesafede istatistiksel olarak daha az olduğu saptanmıştır. Örnek alınan yönler dikkate alındığında, en yüksek Cu konsantrasyonu kuzeyden alınan topraklarda, en düşük Cu konsantrasyonu ise batıdan alınan topraklarda saptanmıştır. Elde edilen tüm veriler değerlendirildiğinde, Cu'nun bitki topraklarındaki değerlerinin 7-15 ppm arasında değiştiği görülmektedir. Sugözü Termik Santrali'nden kaynaklanan kirletici gazların doğu yönünde, bitki topraklarındaki Cu konsantrasyonu üzerine etkileri Şekil 4.5.'te gösterilmiştir. Ayrıca Sugözü Termik Santrali'nden kaynaklanan kirletici gazların örnek alınan bitki topraklarındaki Cu konsantrasyonu üzerine genel etkileri Ek 5'te gösterilmiştir.



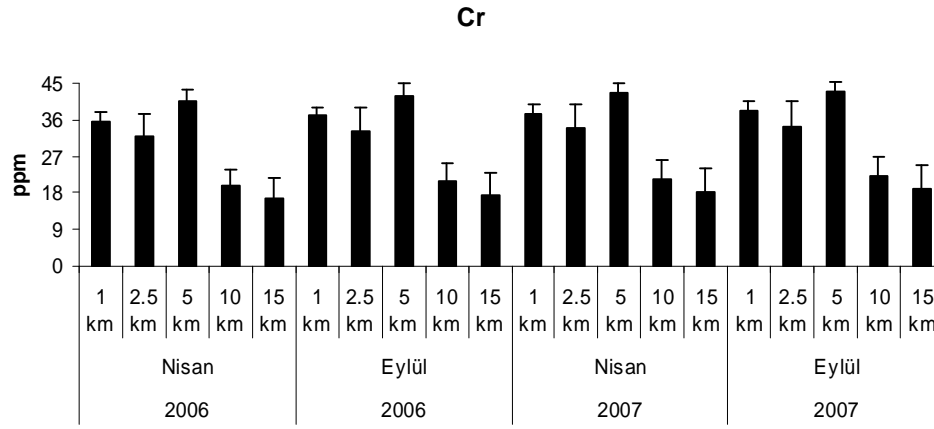
Şekil 4.5. Termik santral kaynaklı kirletici gazların örnek alınan bitki topraklarındaki Cu konsantrasyonu üzerine etkileri

Topraklardaki Co konsantrasyonunun 2007 yılında 2006 yılına göre ve Nisan ayında Eylül ayına göre daha yüksek olduğu saptanmıştır. Ancak yıllar ve aylar arasında oluşan farklılıklar istatistiksel olarak önemli değildir. Elde edilen veriler mesafelere göre değerlendirildiğinde, Co konsantrasyonunun 5 km mesafede istatistiksel olarak daha fazla olduğu saptanmıştır. Örnek alınan yönler dikkate alındığında, en yüksek Co konsantrasyonu kuzeydoğudan alınan topraklarda, en düşük Co konsantrasyonu ise batıdan alınan topraklarda saptanmıştır. Tüm dönemler ve mesafeler göze alındığında, Co'nun bitki topraklarındaki değerleri 10-30 ppm arasında değişmektedir. Sugözü Termik Santrali'nden kaynaklanan kirletici gazların doğu yönünde, bitki topraklarındaki Co konsantrasyonu üzerine etkileri Şekil 4.6.'da gösterilmiştir. Ayrıca Sugözü Termik Santrali'nden kaynaklanan kirletici gazların örnek alınan bitki topraklarındaki Co konsantrasyonu üzerine genel etkileri Ek 6'da gösterilmiştir.



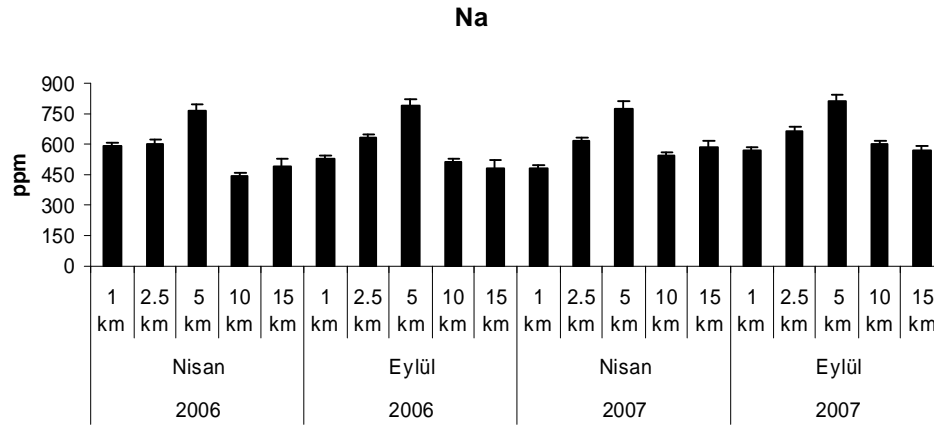
Şekil 4.6. Termik santral kaynaklı kirletici gazların örnek alınan bitki topraklarındaki Co konsantrasyonu üzerine etkileri

Örnek alınan bitki topraklarındaki Cr konsantrasyonunda yıllara ve aylara göre oluşan farklılıklar istatistiksel olarak önemli değildir. Tüm mesafeler göze alındığında, topraklardaki Cr konsantrasyonunun 10-15 km mesafede istatistiksel olarak daha az olduğu saptanmıştır. Örnek alınan yönler dikkate alındığında, en yüksek Cr konsantrasyonu kuzeyden alınan topraklarda, en düşük Cr konsantrasyonu ise batıdan alınan topraklarda saptanmıştır. Tüm dönemler ve mesafeler göze alındığında, analizi yapılan elementlerinden Cr'nin bitki topraklarındaki değerlerinin 20-50 ppm arasında değiştiği görülmektedir. Sugözü Termik Santrali'nden kaynaklanan kirletici gazların doğu yönünde, bitki topraklarındaki Cr konsantrasyonu üzerine etkileri Şekil 4.7.'de gösterilmiştir. Ayrıca Sugözü Termik Santrali'nden kaynaklanan kirletici gazların örnek alınan bitki topraklarındaki Cr konsantrasyonu üzerine genel etkileri Ek 7'de gösterilmiştir.



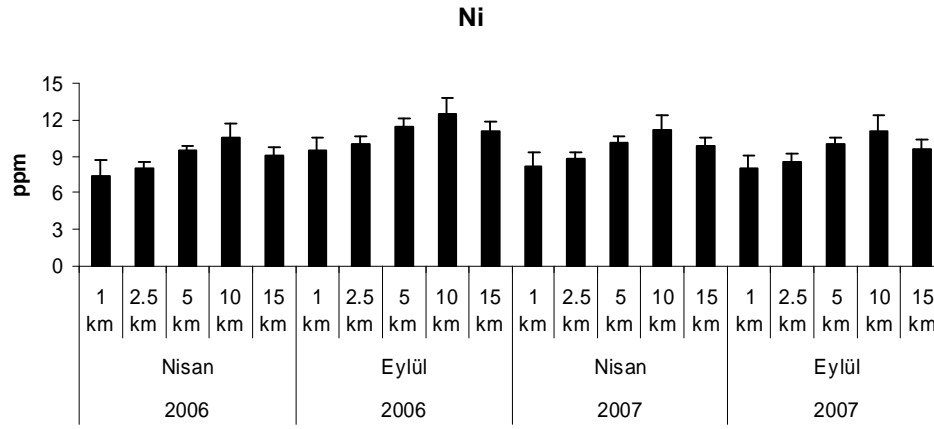
Şekil 4.7. Termik santral kaynaklı kirletici gazların örnek alınan bitki topraklarındaki Cr konsantrasyonu üzerine etkileri

Bitki topraklarındaki Na konsantrasyonunun istatistiksel olarak olmasa da, 2007 yılında 2006 yılına göre ve Nisan ayında Eylül ayına göre daha yüksek olduğu saptanmıştır. Mesafeler göze alındığında, topraklardaki Na konsantrasyonunun 5 km mesafede istatistiksel olarak daha fazla olduğu saptanmıştır. Yönler dikkate alındığında, en yüksek Na konsantrasyonu kuzeydoğudan alınan topraklarda, en düşük Na konsantrasyonu ise batıdan alınan topraklarda saptanmıştır. Elde edilen tüm veriler değerlendirildiğinde, analizi yapılan elementlerinden Na'nın bitki topraklarındaki değerleri 300-900 ppm arasında değişmektedir. Sugözü Termik Santrali'nden kaynaklanan kirletici gazların doğu yönünde, bitki topraklarındaki Na konsantrasyonu üzerine etkileri Şekil 4.8.'de gösterilmiştir. Ayrıca Sugözü Termik Santrali'nden kaynaklanan kirletici gazların örnek alınan bitki topraklarındaki Na konsantrasyonu üzerine genel etkileri Ek 8'de gösterilmiştir.



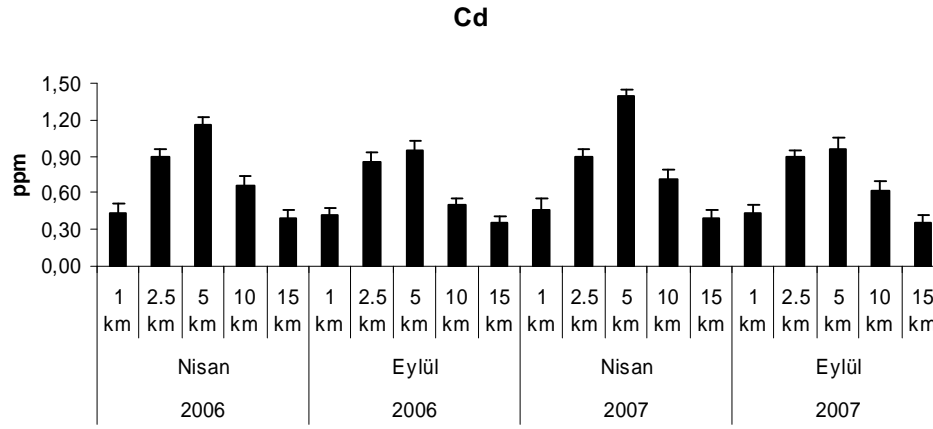
Şekil 4.8. Termik santral kaynaklı kirletici gazların örnek alınan bitki topraklarındaki Na konsantrasyonu üzerine etkileri

Topraklardaki Ni konsantrasyonunda yıllara ve aylara göre oluşan farklılıklar istatistiksel olarak önemli değildir. Tüm mesafeler göze alındığında, Ni konsantrasyonunun 10 km’de en yüksek, 1 km’de ise en düşük olduğu saptanmıştır. Örnek alınan yönler dikkate alındığında, istatistiksel olarak olmasa da en yüksek Ni konsantrasyonu kuzeydoğudan alınan topraklarda, en düşük Ni konsantrasyonu ise batıdan alınan topraklarda saptanmıştır. Tüm dönemler ve mesafeler göze alındığında, Ni’nin bitki topraklarındaki değerlerinin 5-15 ppm arasında değiştiği görülmektedir. Sugözü Termik Santrali’nden kaynaklanan kirletici gazların doğu yönünde, bitki topraklarındaki Ni konsantrasyonu üzerine etkileri Şekil 4.9.’da gösterilmiştir. Ayrıca Sugözü Termik Santrali’nden kaynaklanan kirletici gazların örnek alınan bitki topraklarındaki Ni konsantrasyonu üzerine genel etkileri Ek 9’da gösterilmiştir.



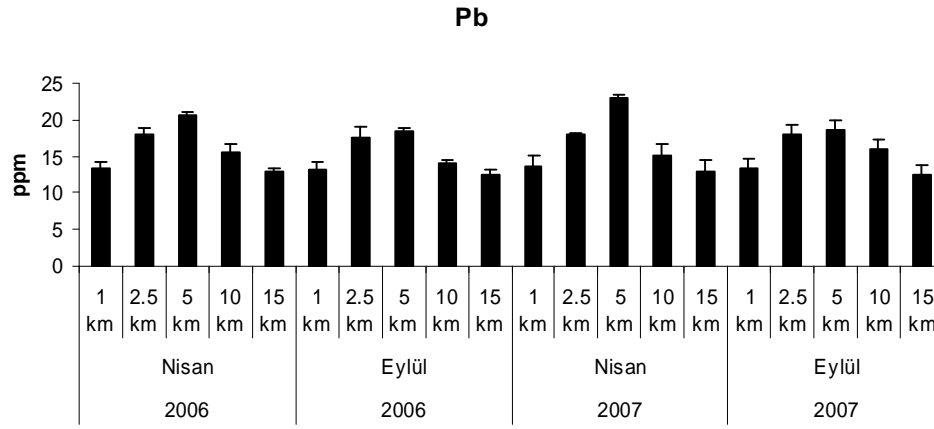
Şekil 4.9. Termik santral kaynaklı kirletici gazların örnek alınan bitki topraklarındaki Ni konsantrasyonu üzerine etkileri

Topraklardaki Cd konsantrasyonunun 2007 yılında 2006 yılına göre ve Nisan ayında Eylül ayına göre daha yüksek olduğu saptanmıştır. Ancak yıllara ve aylara göre oluşan farklılıklar istatistiksel olarak önemli değildir. Tüm mesafeler göze alındığında, Cd konsantrasyonunun 2.5-5 km’de en yüksek, 15 km’de ise en düşük olduğu saptanmıştır. Örnek alınan yönler dikkate alındığında, en yüksek Cd konsantrasyonu kuzeydoğudan alınan topraklarda, en düşük Cd konsantrasyonu ise batıdan alınan topraklarda saptanmıştır. Tüm dönemler ve mesafeler göze alındığında, analizi yapılan elementlerinden Cd’nin bitki topraklarındaki değerleri 0.2-2 ppm arasında değişmektedir. Sugözü Termik Santrali’nden kaynaklanan kirletici gazların doğu yönünde, bitki topraklarındaki Cd konsantrasyonu üzerine etkileri Şekil 4.10.’da gösterilmiştir. Ayrıca Sugözü Termik Santrali’nden kaynaklanan kirletici gazların örnek alınan bitki topraklarındaki Cd konsantrasyonu üzerine genel etkileri Ek 10’da gösterilmiştir.



Şekil 4.10. Termik santral kaynaklı kirletici gazların örnek alınan bitki topraklarındaki Cd konsantrasyonu üzerine etkileri

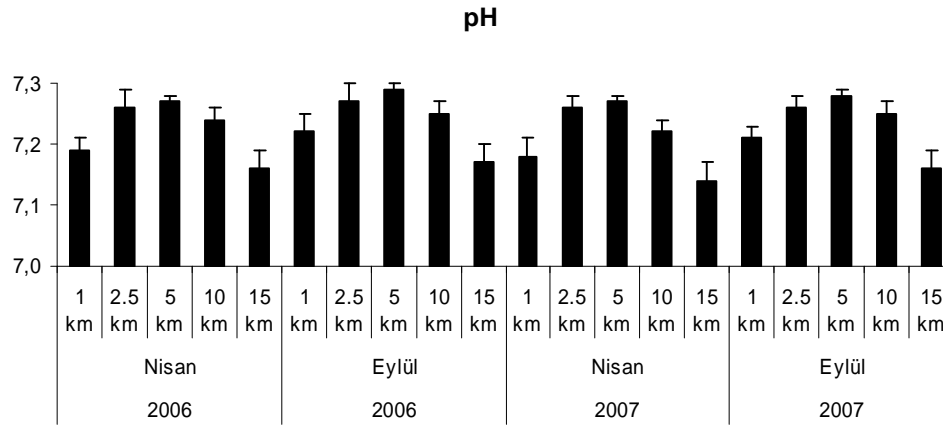
Topraklardaki Pb konsantrasyonunun 2007 yılında 2006 yılına göre ve Nisan ayında Eylül ayına göre daha yüksek olduğu saptanmıştır. Ancak yıllar ve aylar arasında oluşan farklılıklar istatistiksel olarak önemli değildir. Tüm mesafeler göze alındığında, topraklardaki Pb konsantrasyonunun 2.5-5 km’de en yüksek, 15 km’de ise en düşük olduğu saptanmıştır. Örnek alınan yönler dikkate alındığında, en yüksek Pb konsantrasyonu kuzeydoğudan alınan topraklarda, en düşük Pb konsantrasyonu ise batıdan alınan topraklarda saptanmıştır. Elde edilen tüm veriler göze alındığında, Pb’nin bitki topraklarındaki değerlerinin 10-30 ppm arasında değiştiği görülmektedir. Sugözü Termik Santrali’nden kaynaklanan kirletici gazların doğu yönünde, bitki topraklarındaki Pb konsantrasyonu üzerine etkileri Şekil 4.11.’de gösterilmiştir. Ayrıca Sugözü Termik Santrali’nden kaynaklanan kirletici gazların örnek alınan bitki topraklarındaki Pb konsantrasyonu üzerine genel etkileri Ek 11’de gösterilmiştir.



Şekil 4.11. Termik santral kaynaklı kirletici gazların örnek alınan bitki topraklarındaki Pb konsantrasyonu üzerine etkileri

#### 4.1.3. Toprak pH'sının Sonuçları

Toprak pH'sının istatistiksel olarak olmasa da, 2006 yılında 2007 yılına göre ve Eylül ayında Nisan ayına göre daha yüksek olduğu saptanmıştır. Tüm mesafeler göze alındığında, pH'nın 5 km'de en yüksek, 15 km'de ise en düşük olduğu görülmektedir. Yönler bakımından pH'nın istatistiksel olarak önemli bir fark göstermediği saptanmıştır. Elde edilen tüm veriler göze alındığında, pH'nın bitki topraklarındaki değerleri 7.1-7.4 arasında değişmektedir. Sugözü Termik Santrali'nden kaynaklanan kirletici gazların doğu yönünde, bitki topraklarındaki pH üzerine etkileri Şekil 4.12.'de gösterilmiştir. Ayrıca Sugözü Termik Santrali'nden kaynaklanan kirletici gazların örnek alınan bitki topraklarındaki pH üzerine genel etkileri Ek 12'de gösterilmiştir.

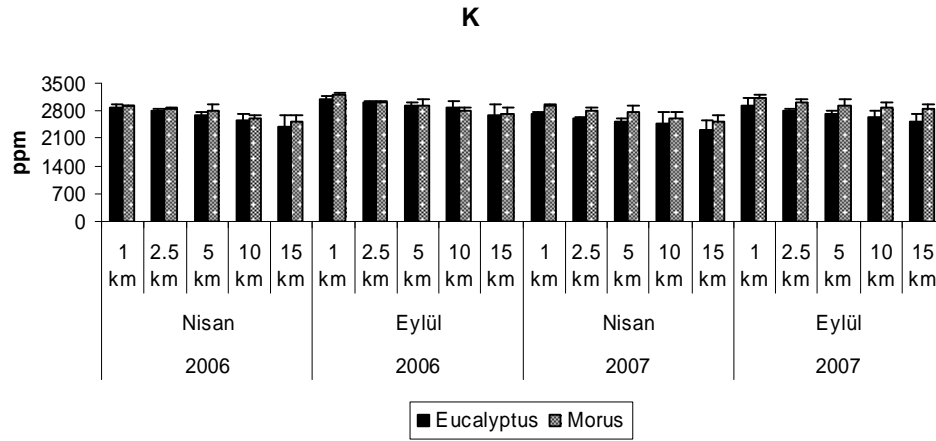


Şekil 4.12. Termik santral kaynaklı kirletici gazların örnek alınan bitki topraklarındaki pH üzerine etkileri

#### 4.1.4. Yaprakta Mineral Element Sonuçları

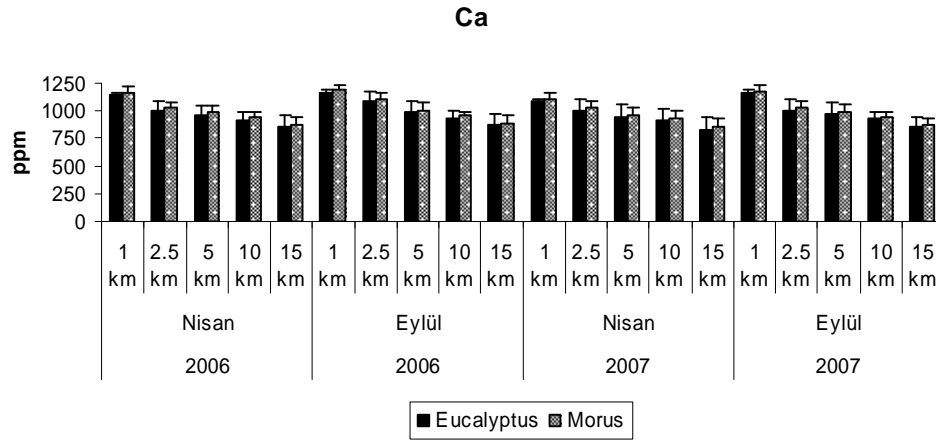
Örnek alınan bitki yapraklarıyla yapılan analizlerde K, Ca, Mg, Fe, Zn, Cu, Co, Cr, Na, Ni, Cd ve Pb konsantrasyonları ölçülmüştür.

Örnek alınan bitki yapraklarındaki K konsantrasyonunun 2006 yılında 2007 yılına göre ve Eylül ayında Nisan ayına göre daha yüksek olduğu saptanmıştır. Ancak yıllar ve aylar arasında oluşan farklılıklar istatistiksel olarak önemli değildir. Tüm mesafeler göze alındığında, K konsantrasyonunun 15 km'de en az, 1 km'de ise en fazla olduğu saptanmıştır. Örnek alınan yönler dikkate alındığında, en yüksek K konsantrasyonu kuzeydoğudan alınan yapraklarda, en düşük K konsantrasyonu ise batıdan alınan yapraklarda saptanmıştır. *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. ve *Morus alba* L. türlerinden alınan yaprak örneklerinde K konsantrasyonu bakımından istatistiksel olarak önemli bir fark yoktur ve K'nın yapraklardaki değerlerinin 2300-3300 ppm arasında değiştiği görülmektedir. Sugözü Termik Santrali'nden kaynaklanan kirletici gazların doğu yönünde, bitki yapraklarındaki K konsantrasyonu üzerine etkileri Şekil 4.13.'de gösterilmiştir. Ayrıca Sugözü Termik Santrali'nden kaynaklanan kirletici gazların örnek alınan bitki yapraklarındaki K konsantrasyonu üzerine genel etkileri Ek 13'de gösterilmiştir.



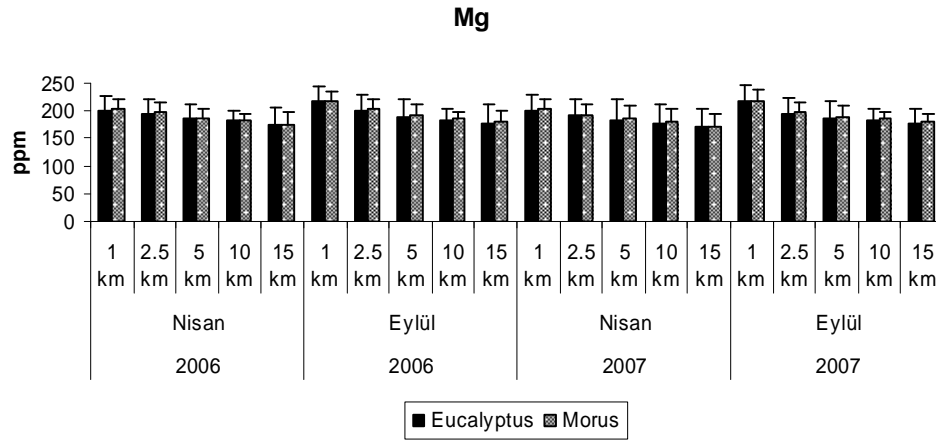
Şekil 4.13. Termik santral kaynaklı kirletici gazların örnek alınan bitki türlerinin yapraklarındaki K konsantrasyonu üzerine etkileri

Bitki yapraklarındaki Ca konsantrasyonunun 2006 yılında 2007 yılına göre ve Eylül ayında Nisan ayına göre daha yüksek olduğu saptanmıştır. Ancak yıllara ve aylara göre oluşan farklılıklar istatistiksel olarak önemli değildir. Tüm mesafeler göze alındığında, yapraklardaki Ca konsantrasyonunun 1 km’de en yüksek, 15 km’de ise en düşük olduğu saptanmıştır. Örnek alınan yönler dikkate alındığında, en yüksek Ca konsantrasyonu kuzeydoğudan alınan yapraklarda, en düşük Ca konsantrasyonu ise batıdan alınan yapraklarda saptanmıştır. *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. ve *Morus alba* L. türlerinden alınan yaprak örneklerinde Ca konsantrasyonu bakımından istatistiksel olarak önemli bir fark yoktur ve Ca’nın yapraklardaki değerleri 800-1400 ppm arasında değişmektedir. Sugözü Termik Santrali’nden kaynaklanan kirletici gazların doğu yönünde, bitki yapraklarındaki Ca konsantrasyonu üzerine etkileri Şekil 4.14.’te gösterilmiştir. Ayrıca Sugözü Termik Santrali’nden kaynaklanan kirletici gazların örnek alınan bitki yapraklarındaki Ca konsantrasyonu üzerine genel etkileri Ek 14’te gösterilmiştir.



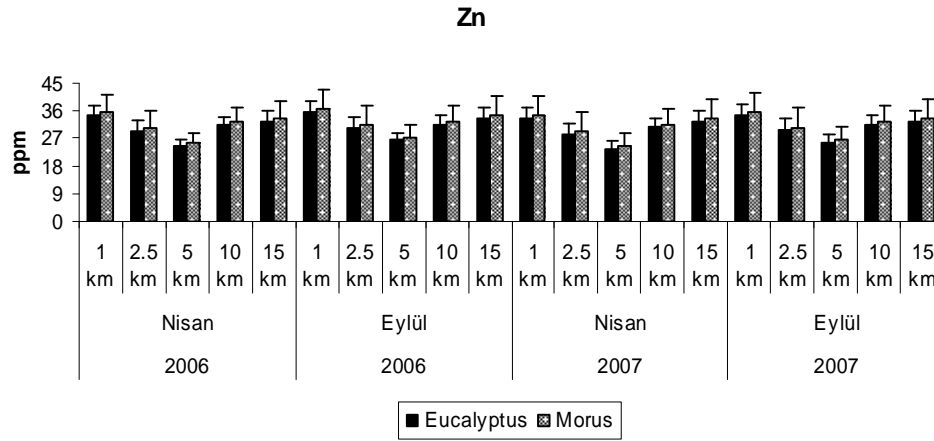
Şekil 4.14. Termik santral kaynaklı kirletici gazların örnek alınan bitki türlerinin yapraklarındaki Ca konsantrasyonu üzerine etkileri

Yapraklardaki Mg konsantrasyonunun istatistiksel olarak olmasa da, 2006 yılında 2007 yılına göre ve Eylül ayında Nisan ayına göre daha yüksek olduğu saptanmıştır. Tüm mesafeler göze alındığında, Mg konsantrasyonunun 1 km'de en yüksek, 15 km'de ise en düşük olduğu saptanmıştır. Elde edilen veriler yönlere göre değerlendirildiğinde, en yüksek Mg konsantrasyonunun kuzeydoğudan alınan yapraklarda, en düşük Mg konsantrasyonunun ise batıdan alınan yapraklarda olduğu görülmektedir. *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. ve *Morus alba* L. türlerinden alınan yaprak örneklerinde Mg konsantrasyonu bakımından istatistiksel olarak önemli bir fark yoktur ve Mg'nin yapraklardaki değerleri 170-250 ppm arasında değişmektedir. Sugözü Termik Santrali'nden kaynaklanan kirletici gazların doğu yönünde, bitki yapraklarındaki Mg konsantrasyonu üzerine etkileri Şekil 4.15.'te gösterilmiştir. Ayrıca Sugözü Termik Santrali'nden kaynaklanan kirletici gazların örnek alınan bitki yapraklarındaki Mg konsantrasyonu üzerine genel etkileri Ek 15'te gösterilmiştir.



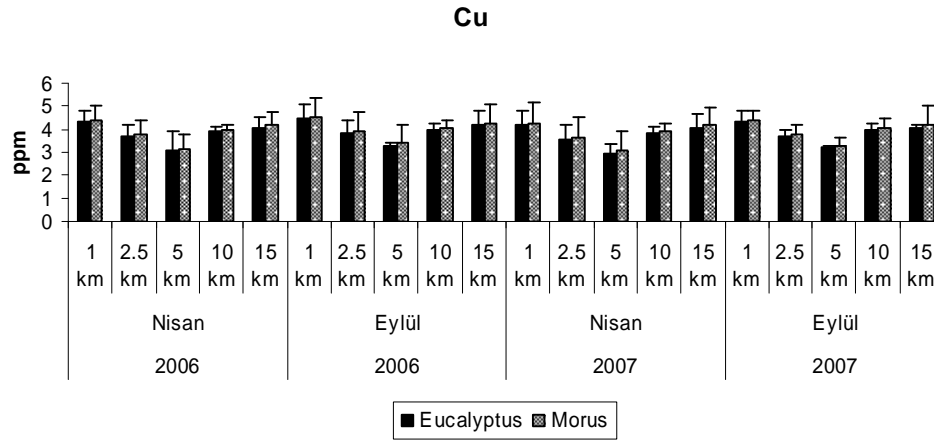
Şekil 4.15. Termik santral kaynaklı kirletici gazların örnek alınan bitki türlerinin yapraklarındaki Mg konsantrasyonu üzerine etkileri

Yapraklardaki Zn konsantrasyonunda yıllara ve aylara göre oluşan farklılıklar istatistiksel olarak önemli değildir. Elde edilen veriler mesafelere göre değerlendirildiğinde, Zn konsantrasyonunun 1 km'de en yüksek, 5 km'de ise en düşük olduğu görülmektedir. Örnek alınan yönler dikkate alındığında, en yüksek Zn konsantrasyonu kuzeyden alınan yapraklarda, en düşük Zn konsantrasyonu ise batıdan alınan yapraklarda saptanmıştır. *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. ve *Morus alba* L. türlerinden alınan yaprak örneklerinde Zn konsantrasyonu bakımından istatistiksel olarak önemli bir fark yoktur ve Zn'nin yapraklardaki değerleri 20-50 ppm arasında değişmektedir. Sugözü Termik Santrali'nden kaynaklanan kirletici gazların doğu yönünde, bitki yapraklarındaki Zn konsantrasyonu üzerine etkileri Şekil 4.16.'da gösterilmiştir. Ayrıca Sugözü Termik Santrali'nden kaynaklanan kirletici gazların örnek alınan bitki yapraklarındaki Zn konsantrasyonu üzerine genel etkileri Ek 16'da gösterilmiştir.



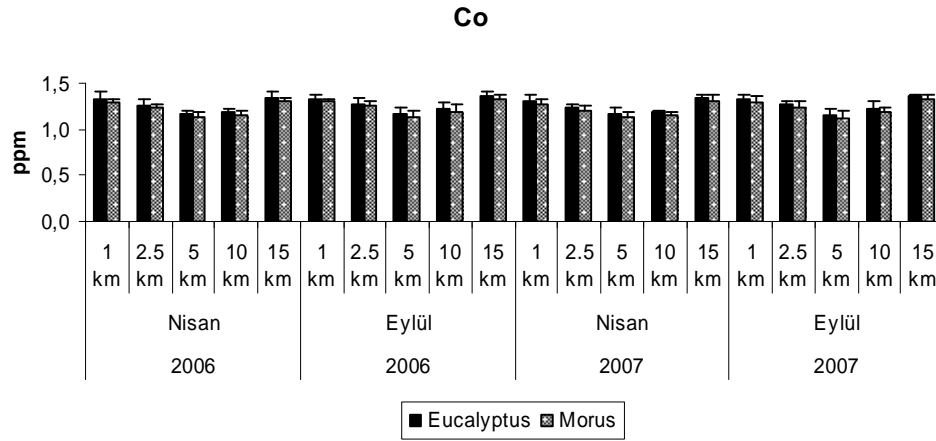
Şekil 4.16. Termik santral kaynaklı kirletici gazların örnek alınan bitki türlerinin yapraklarındaki Zn konsantrasyonu üzerine etkileri

Yapraklardaki Cu konsantrasyonunun 2006 yılında 2007 yılına göre ve Eylül ayında Nisan ayına göre daha yüksek olduğu saptanmıştır. Ancak yıllara ve aylara göre oluşan farklılıklar istatistiksel olarak önemli değildir. Tüm mesafeler göze alındığında, yapraklardaki Cu konsantrasyonunun 1 km’de en yüksek, 5 km’de ise en düşük olduğu saptanmıştır. Elde edilen veriler yönlere göre değerlendirildiğinde, en yüksek Cu konsantrasyonu kuzeyden alınan yapraklarda, en düşük Cu konsantrasyonu ise batıdan alınan yapraklarda saptanmıştır. *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. ve *Morus alba* L. türlerinden alınan yaprak örneklerinde Cu konsantrasyonu bakımından istatistiksel olarak önemli bir fark yoktur ve Cu’nun yapraklardaki değerleri 1-6 ppm arasında değişmektedir. Sugözü Termik Santrali’nden kaynaklanan kirletici gazların doğu yönünde, bitki yapraklarındaki Cu konsantrasyonu üzerine etkileri Şekil 4.17.’de gösterilmiştir. Ayrıca Sugözü Termik Santrali’nden kaynaklanan kirletici gazların örnek alınan bitki yapraklarındaki Cu konsantrasyonu üzerine genel etkileri Ek 17’de gösterilmiştir.



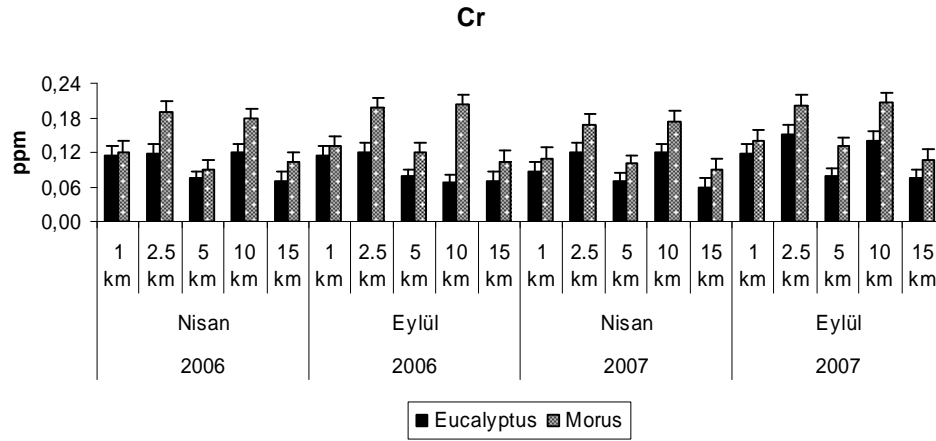
Şekil 4.17. Termik santral kaynaklı kirletici gazların örnek alınan bitki türlerinin yapraklarındaki Cu konsantrasyonu üzerine etkileri

Örnek alınan bitki yapraklarındaki Co konsantrasyonunun istatistiksel olarak olmasa da, 2006 yılında 2007 yılına göre ve Eylül ayında Nisan ayına göre daha yüksek olduğu saptanmıştır. Tüm mesafeler göze alındığında, Co konsantrasyonunun 15 km’de en yüksek, 5 km’de ise en düşük olduğu görülmektedir. Örnek alınan yönler dikkate alındığında, en yüksek Co konsantrasyonu kuzeydoğudan alınan yapraklarda, en düşük Co konsantrasyonu ise batıdan alınan yapraklarda saptanmıştır. *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. ve *Morus alba* L. türlerinden alınan yaprak örneklerinde Co konsantrasyonu bakımından istatistiksel olarak önemli bir fark yoktur ve Co’nun yapraklardaki değerleri 1-2 ppm arasında değişmektedir. Sugözü Termik Santrali’nden kaynaklanan kirletici gazların doğu yönünde, bitki yapraklarındaki Co konsantrasyonu üzerine etkileri Şekil 4.18.’de gösterilmiştir. Ayrıca Sugözü Termik Santrali’nden kaynaklanan kirletici gazların örnek alınan bitki yapraklarındaki Co konsantrasyonu üzerine genel etkileri Ek 18’de gösterilmiştir.



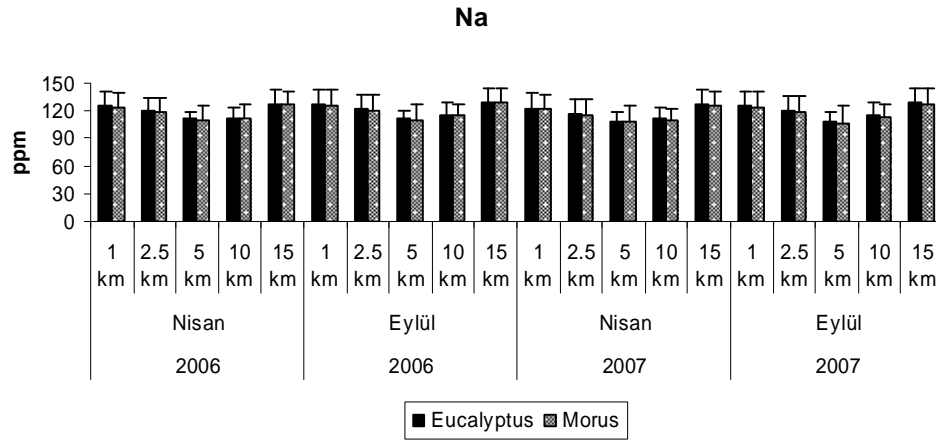
Şekil 4.18. Termik santral kaynaklı kirletici gazların örnek alınan bitki türlerinin yapraklarındaki Co konsantrasyonu üzerine etkileri

İstatistiksel olarak olmasa da bitki yapraklarındaki Cr konsantrasyonunun 2006 yılında 2007 yılına göre ve Eylül ayında Nisan ayına göre daha yüksek olduğu saptanmıştır. Tüm mesafeler göze alındığında, yapraklardaki Cr konsantrasyonunun 2.5-10 km'de en yüksek, 5 km'de ise en düşük olduğu saptanmıştır. Örnek alınan yönler dikkate alındığında, en yüksek Cr konsantrasyonu kuzeydoğudan alınan yapraklarda, en düşük Cr konsantrasyonu ise batıdan alınan yapraklarda saptanmıştır. *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. ve *Morus alba* L. türlerinden alınan yaprak örneklerinde Cr konsantrasyonu bakımından istatistiksel olarak fark vardır. Elde edilen tüm veriler değerlendirildiğinde, Cr'nin *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. yapraklarındaki değerleri 0.03-0.15 ppm arasında ve *Morus alba* L. yapraklarındaki değerleri ise 0.05-0.25 ppm arasında değişmektedir. Sugözü Termik Santrali'nden kaynaklanan kirletici gazların doğu yönünde, bitki yapraklarındaki Cr konsantrasyonu üzerine etkileri Şekil 4.19.'da gösterilmiştir. Ayrıca Sugözü Termik Santrali'nden kaynaklanan kirletici gazların örnek alınan bitki yapraklarındaki Cr konsantrasyonu üzerine genel etkileri Ek 19'da gösterilmiştir.



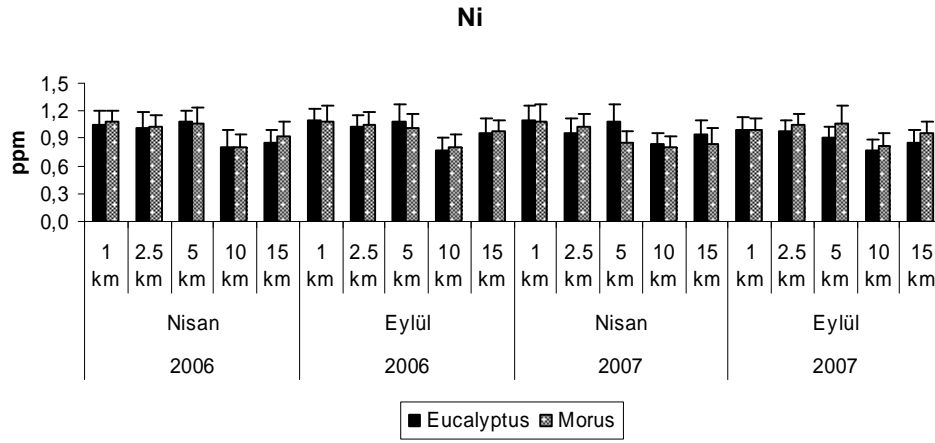
Şekil 4.19. Termik santral kaynaklı kirletici gazların örnek alınan bitki türlerinin yapraklarındaki Cr konsantrasyonu üzerine etkileri

Bitki yapraklarında Na konsantrasyonu bakımından yıllara ve aylara göre oluşan farklılıklar istatistiksel olarak önemli değildir. Tüm mesafeler göze alındığında, Na konsantrasyonunun 15 km’de en yüksek, 5 km’de ise en düşük olduğu saptanmıştır. Örnek alınan yönler dikkate alındığında, en yüksek Na konsantrasyonu kuzeydoğudan alınan yapraklarda, en düşük Na konsantrasyonu ise batıdan alınan yapraklarda görülmektedir. *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. ve *Morus alba* L. türlerinden alınan yaprak örneklerinde Na konsantrasyonu bakımından istatistiksel olarak önemli bir fark yoktur ve Na’nın yapraklardaki değerleri 100-150 ppm arasında değişmektedir. Sugözü Termik Santrali’nden kaynaklanan kirletici gazların doğu yönünde, bitki yapraklarındaki Na konsantrasyonu üzerine etkileri Şekil 4.20.’de gösterilmiştir. Ayrıca Sugözü Termik Santrali’nden kaynaklanan kirletici gazların örnek alınan bitki yapraklarındaki Na konsantrasyonu üzerine genel etkileri Ek 20’de gösterilmiştir.



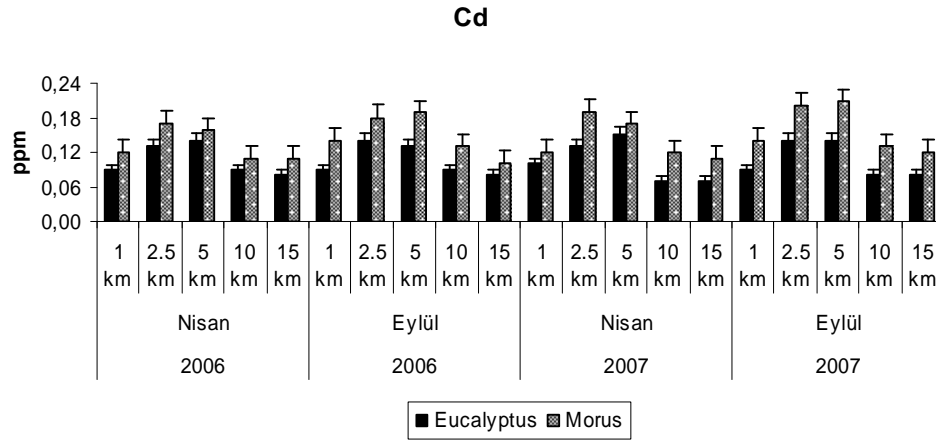
Şekil 4.20. Termik santral kaynaklı kirletici gazların örnek alınan bitki türlerinin yapraklarındaki Na konsantrasyonu üzerine etkileri

Bitki yapraklarında Ni konsantrasyonu bakımından yıllara ve aylara göre oluşan farklılıklar istatistiksel olarak önemli değildir. Tüm mesafeler göze alındığında, Ni konsantrasyonunun 1 km’de en yüksek, 10 km’de ise en düşük olduğu saptanmıştır. Örnek alınan yönler dikkate alındığında, en yüksek Ni konsantrasyonu kuzeydoğudan alınan yapraklarda, en düşük Ni konsantrasyonu ise batıdan alınan yapraklarda saptanmıştır. *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. ve *Morus alba* L. türlerinden alınan yaprak örneklerinde Ni konsantrasyonu bakımından istatistiksel olarak önemli bir fark yoktur ve Ni’nin yapraklardaki değerleri 0.5-1.5 ppm arasında değişmektedir. Sugözü Termik Santrali’nden kaynaklanan kirletici gazların doğu yönünde, bitki yapraklarındaki Ni konsantrasyonu üzerine etkileri Şekil 4.21.’de gösterilmiştir. Ayrıca Sugözü Termik Santrali’nden kaynaklanan kirletici gazların örnek alınan bitki yapraklarındaki Ni konsantrasyonu üzerine genel etkileri Ek 21’de gösterilmiştir.



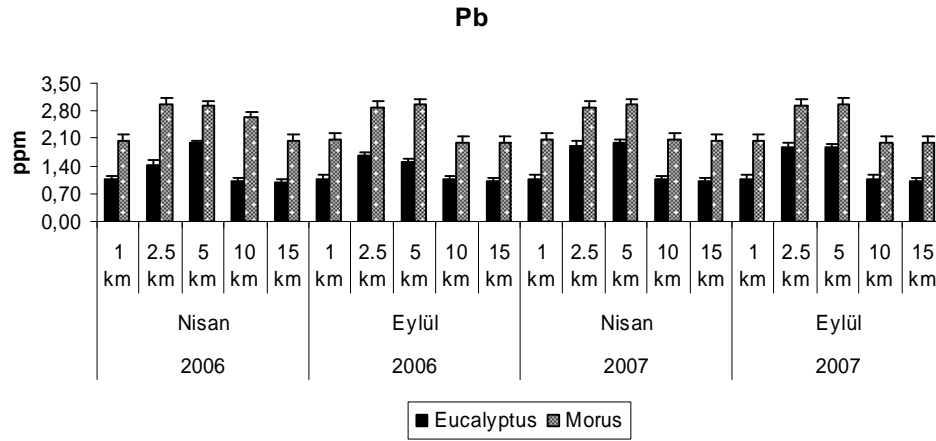
Şekil 4.21. Termik santral kaynaklı kirletici gazların örnek alınan bitki türlerinin yapraklarındaki Ni konsantrasyonu üzerine etkileri

Örnek alınan bitki yapraklarındaki Cd konsantrasyonunun 2006 yılında 2007 yılına göre ve Eylül ayında Nisan ayına göre daha yüksek olduğu saptanmıştır. Ancak yıllar ve aylar bakımından oluşan farklılıklar istatistiksel olarak önemli değildir. Tüm mesafeler göze alındığında, Cd konsantrasyonunun 2.5 km'de en yüksek, 15 km'de ise en düşük olduğu saptanmıştır. Örnek alınan yönler dikkate alındığında, en yüksek Cd konsantrasyonu kuzeydoğudan alınan yapraklarda, en düşük Cd konsantrasyonu ise batıdan alınan yapraklarda saptanmıştır. *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. ve *Morus alba* L. türlerinden alınan yaprak örneklerinde Cd konsantrasyonu bakımından istatistiksel olarak fark vardır. Elde edilen tüm veriler göze alındığında, Cd'nin *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. yapraklarındaki değerleri 0.05-0.25 ppm arasında ve *Morus alba* L. yapraklarındaki değerleri ise 0.08-0.30 ppm arasında değişmektedir. Sugözü Termik Santrali'nden kaynaklanan kirletici gazların doğu yönünde, bitki yapraklarındaki Cd konsantrasyonu üzerine etkileri Şekil 4.22.'de gösterilmiştir. Ayrıca Sugözü Termik Santrali'nden kaynaklanan kirletici gazların örnek alınan bitki yapraklarındaki Cd konsantrasyonu üzerine genel etkileri Ek 22'de gösterilmiştir.



Şekil 4.22. Termik santral kaynaklı kirletici gazların örnek alınan bitki türlerinin yapraklarındaki Cd konsantrasyonu üzerine etkileri

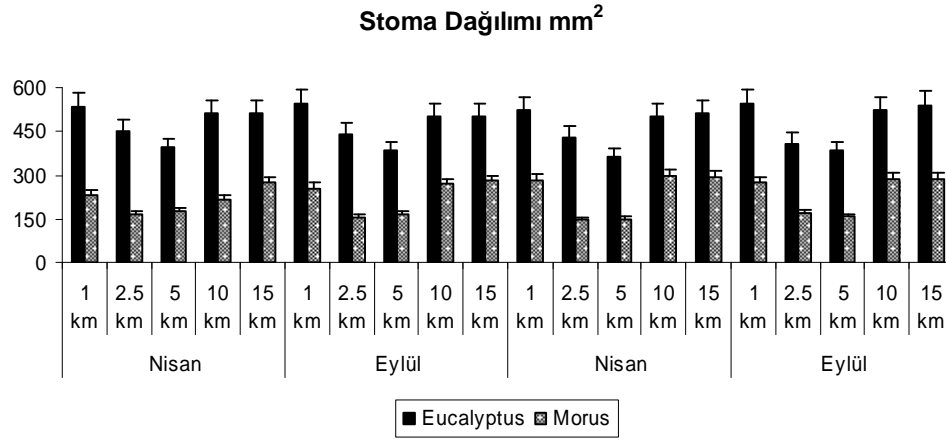
Örnek alınan bitki yapraklarındaki Pb konsantrasyonunun 2006 yılında 2007 yılına göre ve Eylül ayında Nisan ayına göre daha yüksek olduğu saptanmıştır. Ancak yıllara ve aylara göre oluşan farklılıklar istatistiksel olarak önemli değildir. Tüm mesafeler göze alındığında, yapraklardaki Pb konsantrasyonunun 2.5 km'de en yüksek, 15 km'de ise en düşük olduğu saptanmıştır. Örnek alınan yönler dikkate alındığında, en yüksek Pb konsantrasyonu kuzeydoğudan alınan yapraklarda, en düşük Pb konsantrasyonu ise batıdan alınan yapraklarda saptanmıştır. *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. ve *Morus alba* L. türlerinden alınan yaprak örneklerinde Pb konsantrasyonu bakımından istatistiksel olarak fark vardır. Elde edilen tüm veriler göze alındığında, Pb'nin *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. yapraklarındaki değerleri 0.8-2.5 ppm, *Morus alba* L. yapraklarındaki değerleri ise 2-4 ppm arasında değişmektedir. Sugözü Termik Santrali'nden kaynaklanan kirletici gazların doğu yönünde, bitki yapraklarındaki Pb konsantrasyonu üzerine etkileri Şekil 4.23.'te gösterilmiştir. Ayrıca Sugözü Termik Santrali'nden kaynaklanan kirletici gazların örnek alınan bitki yapraklarındaki Pb konsantrasyonu üzerine genel etkileri Ek 23'te gösterilmiştir.



Şekil 4.23. Termik santral kaynaklı kirletici gazların örnek alınan bitki türlerinin yapraklarındaki Pb konsantrasyonu üzerine etkileri

#### 4.1.5. Stoma Dağılımı Sonuçları

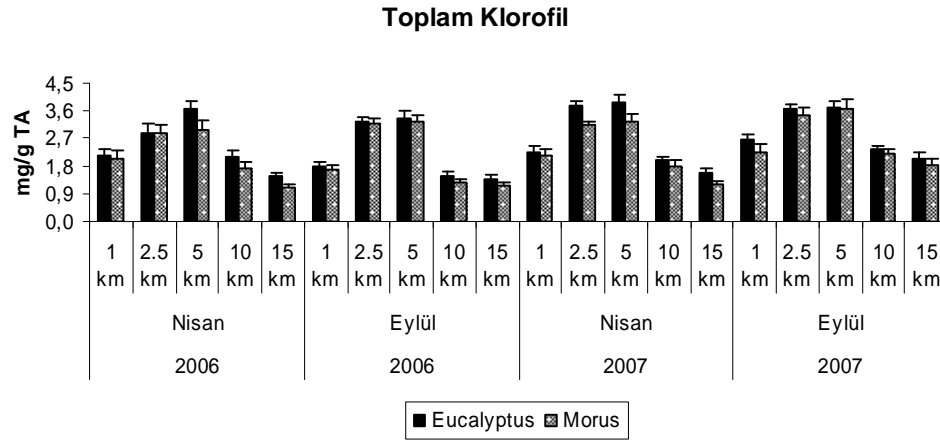
Yapraklardaki stoma sayısının istatistiksel olarak olmasa da, 2006 yılında 2007 yılına göre ve Nisan ayında Eylül ayına göre daha yüksek olduğu saptanmıştır. Tüm mesafeler göze alındığında, stoma sayısının 2.5-5 km’de en düşük, 15 km’de ise en yüksek olduğu saptanmıştır. Örnek alınan yönler dikkate alındığında, en yüksek stoma sayısı batıdan alınan yapraklarda, en düşük stoma sayısı ise doğudan alınan yapraklarda saptanmıştır. *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. ve *Morus alba* L. türlerinden alınan yaprak örneklerinde stoma sayısı bakımından istatistiksel olarak fark vardır. Tüm dönemler ve mesafeler göze alındığında, yapraklarda mm<sup>2</sup>’deki stoma sayısı *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh.’de 300-600, *Morus alba* L. ‘de ise 150-350 arasında değişmektedir. Sugözü Termik Santrali’nden kaynaklanan kirletici gazların doğu yönünde, bitki yapraklarındaki stoma dağılımı üzerine etkileri Şekil 4.24.’te gösterilmiştir. Ayrıca Sugözü Termik Santrali’nden kaynaklanan kirletici gazların örnek alınan bitki yapraklarındaki stoma dağılımı üzerine genel etkileri Ek 24’te gösterilmiştir.



Şekil 4.24. Termik santral kaynaklı kirletici gazların örnek alınan bitki türlerinin yapraklarındaki stoma dağılımı üzerine etkileri

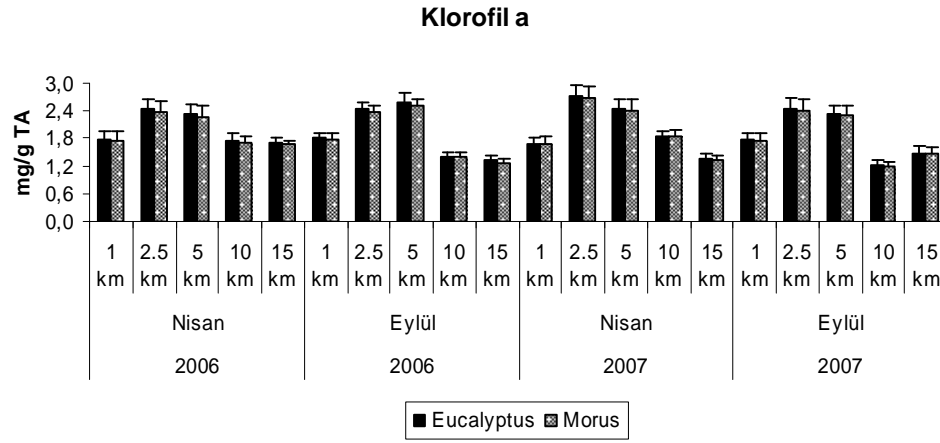
#### 4.1.6. Klorofil Konsantrasyonu Sonuçları

Örnek alınan bitki yapraklarındaki toplam klorofil konsantrasyonunun 2007 yılında 2006 yılına göre ve Nisan ayında Eylül ayına göre daha yüksek olduğu saptanmıştır. Tüm mesafeler göze alındığında, toplam klorofil konsantrasyonunun 2.5-5 km'de en yüksek, 15 km'de ise en düşük olduğu saptanmıştır. Örnek alınan yönler dikkate alındığında, toplam klorofil konsantrasyonunun doğudan alınan yapraklarda en yüksek, batıdan alınan yapraklarda ise en düşük olduğu saptanmıştır. *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. ve *Morus alba* L. türlerinden alınan yaprak örneklerinde toplam klorofil konsantrasyonu bakımından istatistiksel olarak önemli bir fark yoktur. Tüm dönemler ve mesafeler göze alındığında, toplam klorofilin *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. yapraklarındaki değerleri 1.30-4.50 g/mg TA, *Morus alba* L. yapraklarındaki değerleri ise 1.20-4.00 g/mg TA arasında değişmektedir. Sugözü Termik Santrali'nden kaynaklanan kirletici gazların doğu yönünde, bitki yapraklarındaki toplam klorofil konsantrasyonu üzerine etkileri Şekil 4.25.'te gösterilmiştir. Ayrıca Sugözü Termik Santrali'nden kaynaklanan kirletici gazların örnek alınan bitki yapraklarındaki toplam klorofil konsantrasyonu üzerine genel etkileri Ek 25'te gösterilmiştir.



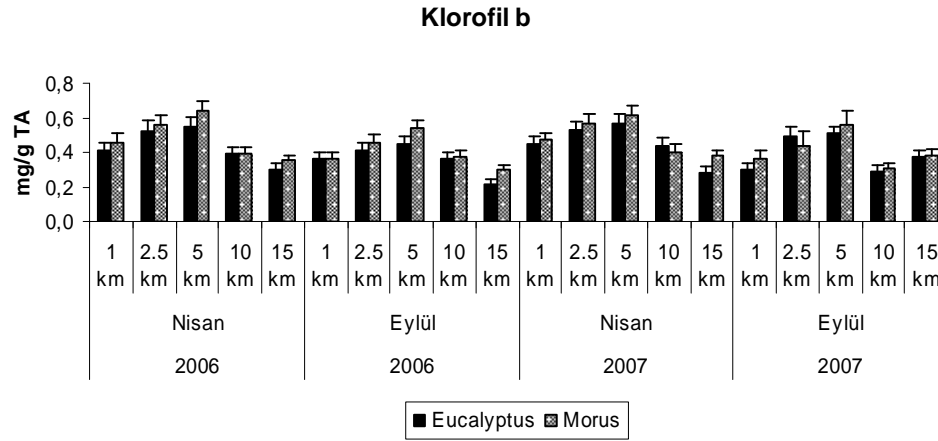
Şekil 4.25. Termik santral kaynaklı kirletici gazların örnek alınan bitki türlerinin yapraklarındaki toplam klorofil konsantrasyonu üzerine etkileri

Bitki yapraklarındaki K<sub>la</sub> konsantrasyonunun 2007 yılında 2006 yılına göre ve Nisan ayında Eylül ayına göre daha yüksek olduğu saptanmıştır. Tüm mesafeler göze alındığında, K<sub>la</sub> konsantrasyonunun 2.5 km'de en yüksek, 15 km'de ise en düşük olduğu saptanmıştır. Örnek alınan yönler dikkate alındığında, en yüksek K<sub>la</sub> konsantrasyonu doğudan alınan yapraklarda, en düşük K<sub>la</sub> konsantrasyonu ise batıdan alınan yapraklarda saptanmıştır. *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. ve *Morus alba* L. türlerinden alınan yaprak örneklerinde K<sub>la</sub> konsantrasyonu bakımından istatistiksel olarak fark yoktur. Tüm dönemler ve mesafeler göze alındığında, K<sub>la</sub>'nın *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. yapraklarındaki değerleri 1.30-3.00 g/mg TA, *Morus alba* L. yapraklarındaki değerleri ise 1.20-2.90 g/mg TA arasında değişmektedir. Sugözü Termik Santrali'nden kaynaklanan kirletici gazların doğu yönünde, bitki yapraklarındaki K<sub>la</sub> konsantrasyonu üzerine etkileri Şekil 4.26.'da gösterilmiştir. Ayrıca Sugözü Termik Santrali'nden kaynaklanan kirletici gazların örnek alınan bitki yapraklarındaki K<sub>la</sub> konsantrasyonu üzerine genel etkileri Ek 26'da gösterilmiştir.



Şekil 4.26. Termik santral kaynaklı kirletici gazların örnek alınan bitki türlerinin yapraklarındaki klorofil a konsantrasyonu üzerine etkileri

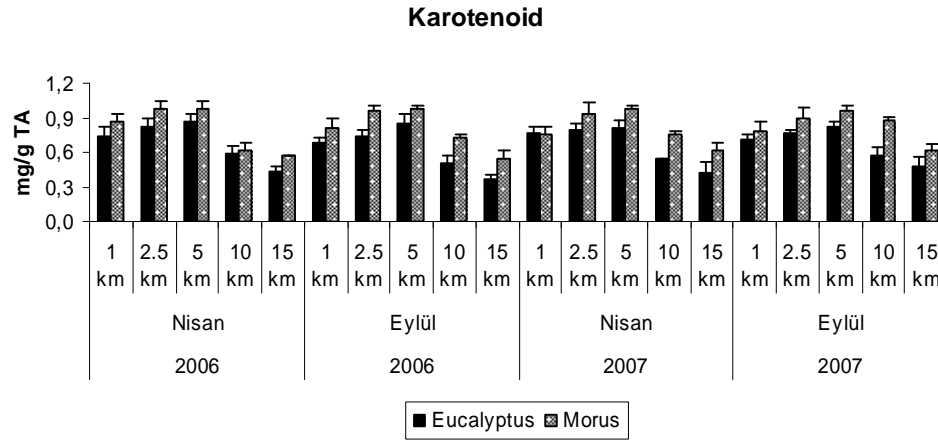
Örnek alınan bitki yapraklarındaki Klb konsantrasyonunun 2007 yılında 2006 yılına göre ve Nisan ayında Eylül ayına göre daha yüksek olduğu saptanmıştır. Ancak yıllar ve aylar bakımından oluşan farklılıklar istatistiksel olarak önemli değildir. Tüm mesafeler göze alındığında, yapraklardaki Klb konsantrasyonunun 2.5-5 km'de en yüksek, 15 km'de ise en düşük olduğu saptanmıştır. Örnek alınan yönler dikkate alındığında, en yüksek Klb konsantrasyonu doğudan alınan yapraklarda, en düşük Klb konsantrasyonu ise batıdan alınan yapraklarda saptanmıştır. *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. ve *Morus alba* L. türlerinden alınan yaprak örneklerinde Klb konsantrasyonu bakımından istatistiksel olarak önemli bir fark yoktur. Tüm dönemler ve mesafeler göze alındığında, Klb'nin *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. yapraklarındaki değerleri 0.2-0.8 g/mg TA, *Morus alba* L. yapraklarındaki değerleri ise 0.3-0.9g/mg TA arasında değişmektedir. Sugözü Termik Santrali'nden kaynaklanan kirletici gazların doğu yönünde, bitki yapraklarındaki Klb konsantrasyonu üzerine etkileri Şekil 4.27.'de gösterilmiştir. Ayrıca Sugözü Termik Santrali'nden kaynaklanan kirletici gazların örnek alınan bitki yapraklarındaki Klb konsantrasyonu üzerine genel etkileri Ek 27'de gösterilmiştir.



Şekil 4.27. Termik santral kaynaklı kirletici gazların örnek alınan bitki türlerinin yapraklarındaki klorofil b konsantrasyonu üzerine etkileri

#### 4.1.7. Karotenoid Konsantrasyonu Sonuçları

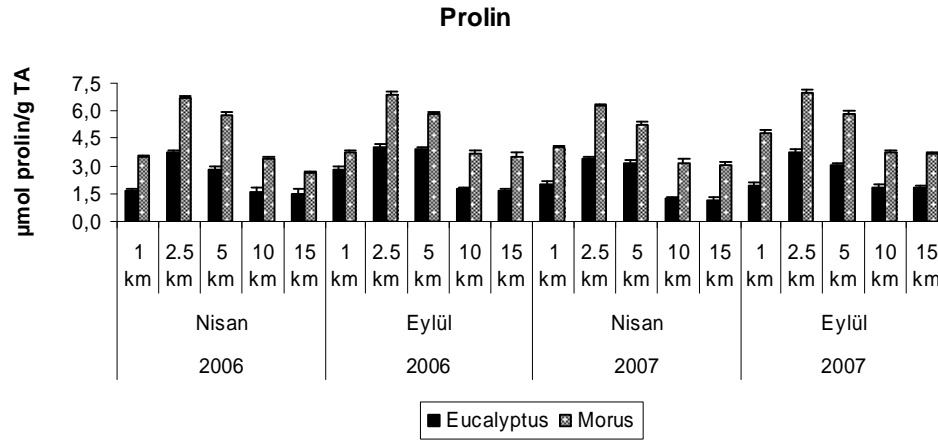
Yapraklardaki karotenoid konsantrasyonunda yıllara ve aylara göre oluşan farklılıklar istatistiksel olarak önemli değildir. Tüm mesafeler göze alındığında karotenoid konsantrasyonunun 2.5-5 km'de en yüksek, 15 km'de ise en düşük olduğu saptanmıştır. Örnek alınan yönler değerlendirildiğinde, en yüksek karotenoid konsantrasyonu doğudan alınan yapraklarda, en düşük karotenoid konsantrasyonu ise batıdan alınan yapraklarda görülmektedir. Tüm dönemler ve mesafeler göze alındığında, karotenoidin *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. yapraklarındaki değerleri 0.3-1.0 g/mg TA, *Morus alba* L. yapraklarındaki değerleri ise 0.4-1.1 g/mg TA arasında değişmektedir. Sugözü Termik Santrali'nden kaynaklanan kirletici gazların doğu yönünde, bitki yapraklarındaki karotenoid konsantrasyonu üzerine etkileri Şekil 4.28.'de gösterilmiştir. Ayrıca Sugözü Termik Santrali'nden kaynaklanan kirletici gazların örnek alınan bitki yapraklarındaki karotenoid konsantrasyonu üzerine genel etkileri Ek 28'de gösterilmiştir.



Şekil 4.28. Termik santral kaynaklı kirletici gazların örnek alınan bitki türlerinin yapraklarındaki karotenoid konsantrasyonu üzerine etkileri

#### 4.1.8. Prolin Konsantrasyonu Sonuçları

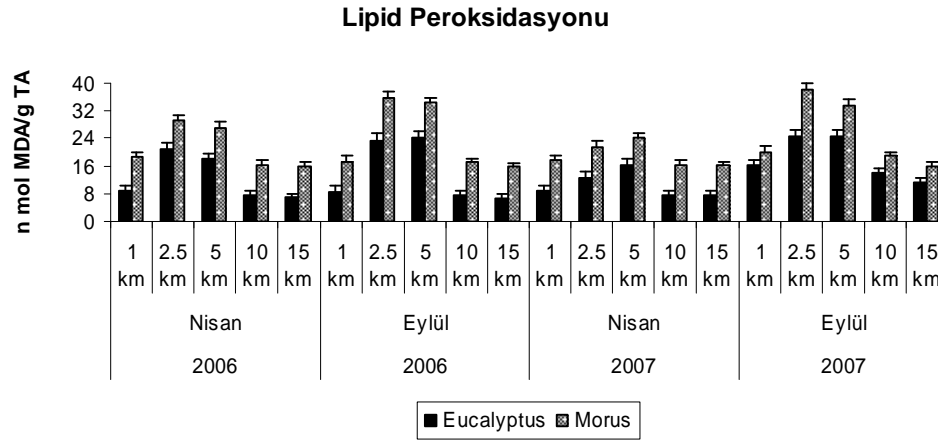
Örnek alınan bitki yapraklarındaki prolin konsantrasyonu 2007 yılında 2006 yılına göre ve Eylül ayında Nisan ayına göre istatistiksel olarak önemli ölçüde artmıştır. Tüm mesafeler göze alındığında, yapraklardaki prolin konsantrasyonunun 2.5 km'de en yüksek, 15 km'de ise en düşük olduğu saptanmıştır. Örnek alınan yönler dikkate alındığında, en yüksek prolin konsantrasyonu doğudan alınan yapraklarda, en düşük prolin konsantrasyonu ise batıdan alınan yapraklarda saptanmıştır. *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. ve *Morus alba* L. türlerinden alınan yaprak örneklerinde prolin konsantrasyonu bakımından istatistiksel olarak önemli farklılıklar vardır. Tüm dönemler ve mesafeler göze alındığında, prolinin *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. yapraklarındaki değerleri 2.0-3.5  $\mu\text{mol}$  prolin/g TA, *Morus alba* L. yapraklarındaki değerleri ise 4.0-7.5  $\mu\text{mol}$  prolin/g TA arasında değişmektedir. Sugözü Termik Santrali'nden kaynaklanan kirletici gazların doğu yönünde, bitki yapraklarındaki prolin konsantrasyonu üzerine etkileri Şekil 4.29.'da gösterilmiştir. Ayrıca Sugözü Termik Santrali'nden kaynaklanan kirletici gazların örnek alınan bitki yapraklarındaki prolin konsantrasyonu üzerine genel etkileri Ek 29'da gösterilmiştir.



Şekil 4.29. Termik santral kaynaklı kirletici gazların örnek alınan bitki türlerinin yapraklarındaki prolin konsantrasyonu üzerine etkileri

#### 4.1.9. Lipid Peroksidasyonu Sonuçları

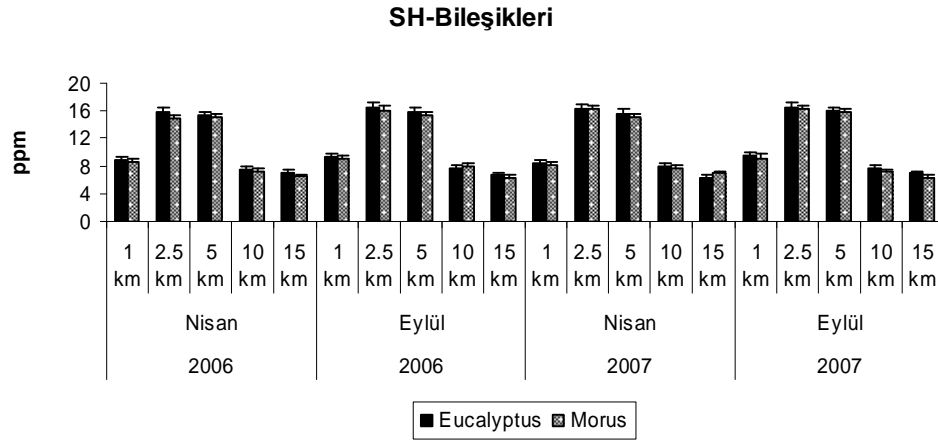
Örnek alınan bitki yapraklarındaki lipid peroksidasyonu 2007 yılında 2006 yılına göre istatistiksel olarak olmasa da artmıştır. Eylül ayında yapraklardaki lipid peroksidasyonu Nisan ayına göre istatistiksel olarak önemli ölçüde artmıştır. Tüm mesafeler göze alındığında yapraklardaki lipid peroksidasyonunun 2.5 km’de en yüksek, 15 km’de ise en düşük olduğu saptanmıştır. Örnek alınan yönler dikkate alındığında, en yüksek lipid peroksidasyonu doğudan alınan yapraklarda, en düşük lipid peroksidasyonu ise batıdan alınan yapraklarda saptanmıştır. *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. ve *Morus alba* L. türlerinden alınan yaprak örneklerinde lipid peroksidasyonu bakımından istatistiksel olarak önemli farklılıklar vardır. Elde edilen tüm veriler değerlendirildiğinde, lipid peroksidasyonunun *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. yapraklarındaki değerleri 5-25 nmol MDA/g TA ve *Morus alba* L. yapraklarındaki değerleri ise 15-40 nmol MDA/g TA arasında değişmektedir. Sugözü Termik Santrali’nden kaynaklanan kirletici gazların doğu yönünde, bitki yapraklarındaki lipid peroksidasyonu üzerine etkileri Şekil 4.30.’da gösterilmiştir. Ayrıca Sugözü Termik Santrali’nden kaynaklanan kirletici gazların örnek alınan bitki yapraklarındaki lipid peroksidasyonu üzerine genel etkileri Ek 30’da gösterilmiştir.



Şekil 4.30. Termik santral kaynaklı kirletici gazların örnek alınan bitki türlerinin yapraklarındaki lipid peroksidasyonu üzerine etkileri

#### 4.1.10. SH-Grupları Konsantrasyonu Sonuçları

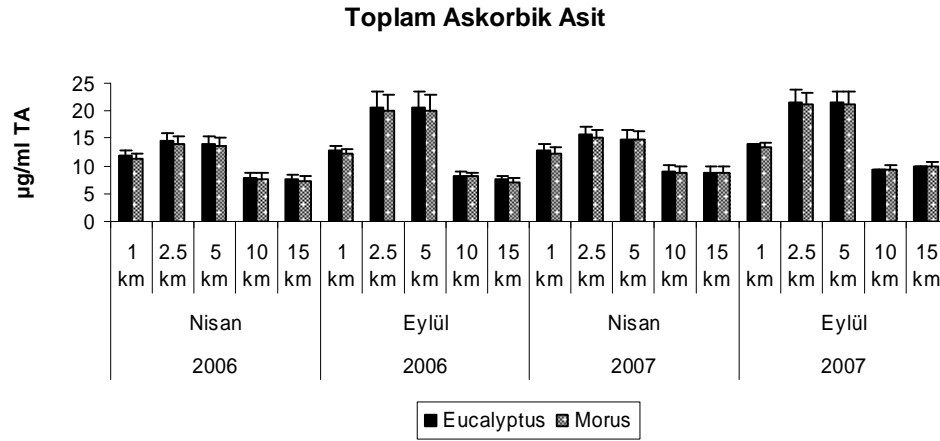
Örnek alınan bitki yapraklarındaki SH-bileşikleri konsantrasyonunda yıllara ve aylara göre oluşan farklılıklar istatistiksel olarak önemli değildir. Tüm mesafeler göze alındığında, SH-bileşiklerinin 2.5 km'de en yüksek, 15 km'de ise en düşük olduğu saptanmıştır. Örnek alınan yönler dikkate alındığında, en yüksek SH-bileşikleri konsantrasyonu doğudan alınan yapraklarda, en düşük SH-bileşikleri konsantrasyonu ise batıdan alınan yapraklarda saptanmıştır. *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. ve *Morus alba* L. türlerinden alınan yaprak örneklerinde SH-bileşikleri konsantrasyonu bakımından istatistiksel olarak önemli bir fark yoktur ve SH-bileşikleri konsantrasyonunun yapraklardaki değerleri 5-20 ppm arasında değişmektedir. Sugözü Termik Santrali'nden kaynaklanan kirletici gazların doğu yönünde, bitki yapraklarındaki SH-bileşikleri konsantrasyonu üzerine etkileri Şekil 4.31.'de gösterilmiştir. Ayrıca Sugözü Termik Santrali'nden kaynaklanan kirletici gazların örnek alınan bitki yapraklarındaki SH-bileşikleri konsantrasyonu üzerine genel etkileri Ek 31'de gösterilmiştir.



Şekil 4.31. Termik santral kaynaklı kirletici gazların örnek alınan bitki türlerinin yapraklarındaki SH-bileşikleri konsantrasyonu üzerine etkileri

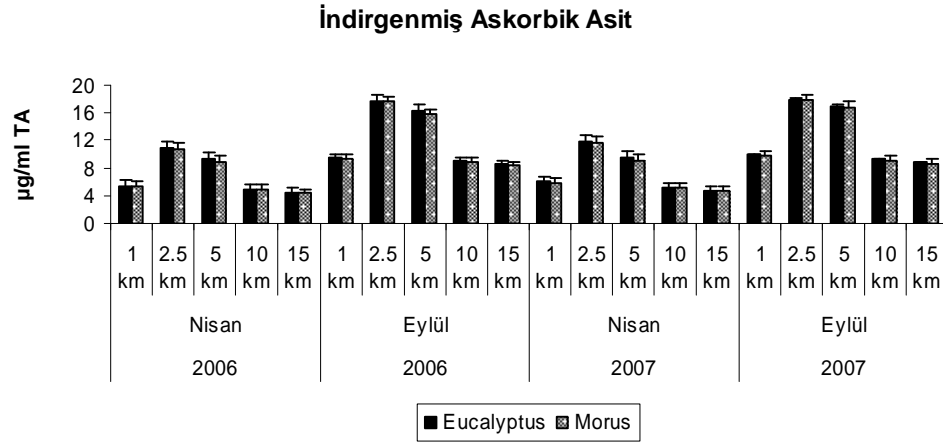
#### 4.1.11. Askorbik Asit Konsantrasyonu Sonuçları

Örnek alınan bitki yapraklarındaki toplam askorbik asit konsantrasyonu 2007 yılında 2006 yılına göre ve Eylül ayında Nisan ayına göre istatistiksel olarak önemli ölçüde artmıştır. Tüm mesafeler göze alındığında, toplam askorbik asit konsantrasyonunun 2.5 km’de en yüksek, 15 km’de ise en düşük olduğu saptanmıştır. Örnek alınan yönler değerlendirildiğinde, en yüksek toplam askorbik asit konsantrasyonu doğudan alınan yapraklarda, en düşük toplam askorbik asit konsantrasyonu ise batıdan alınan yapraklarda görülmektedir. *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. ve *Morus alba* L. türlerinden alınan yaprak örneklerinde toplam askorbik asit konsantrasyonu bakımından istatistiksel olarak önemli bir fark yoktur ve toplam askorbik asit konsantrasyonunun yapraklardaki değerleri 5-25 µg/l TA arasında değişmektedir. Sugözü Termik Santrali’nden kaynaklanan kirletici gazların doğu yönünde, bitki yapraklarındaki toplam askorbik asit konsantrasyonu üzerine etkileri Şekil 4.32.’de gösterilmiştir. Ayrıca Sugözü Termik Santrali’nden kaynaklanan kirletici gazların örnek alınan bitki yapraklarındaki toplam askorbik asit konsantrasyonu üzerine genel etkileri Ek 32’de gösterilmiştir.



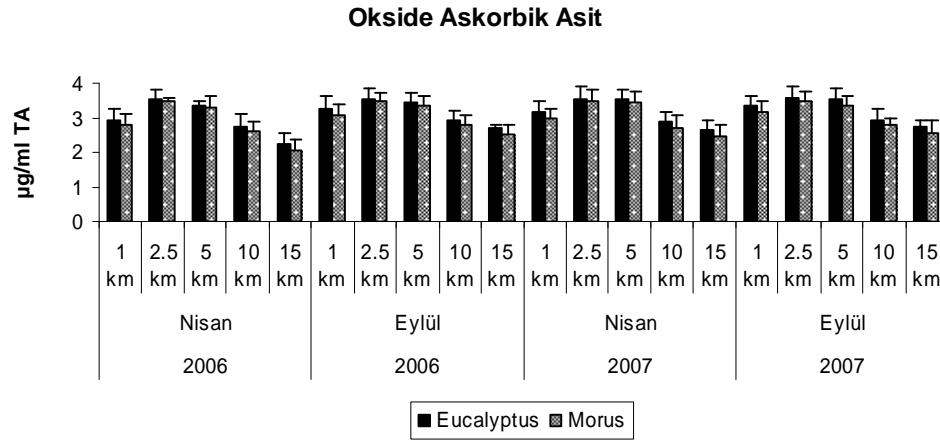
Şekil 4.32. Termik santral kaynaklı kirletici gazların örnek alınan bitki türlerinin yapraklarındaki toplam askorbik asit konsantrasyonu üzerine etkileri

Bitki yapraklarındaki indirgenmiş askorbik asit konsantrasyonu 2007 yılında 2006 yılına göre ve Eylül ayında Nisan ayına göre istatistiksel olarak önemli ölçüde artmıştır. Tüm mesafeler göze alındığında yapraklardaki indirgenmiş askorbik asit konsantrasyonunun 2.5 km’de en yüksek, 15 km’de ise en düşük olduğu saptanmıştır. Elde edilen veriler yönlere göre değerlendirildiğinde, en yüksek indirgenmiş askorbik asit konsantrasyonu doğudan alınan yapraklarda, en düşük indirgenmiş askorbik asit konsantrasyonu ise batıdan alınan yapraklarda görülmektedir. *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. ve *Morus alba* L. türlerinden alınan yaprak örneklerinde indirgenmiş askorbik asit konsantrasyonu bakımından istatistiksel olarak önemli bir fark yoktur ve indirgenmiş askorbik asit konsantrasyonunun yapraklardaki değerleri 4-20 µg/l TA arasında değişmektedir. Sugözü Termik Santrali’nden kaynaklanan kirletici gazların doğu yönünde, bitki yapraklarındaki indirgenmiş askorbik asit konsantrasyonu üzerine etkileri Şekil 4.33.’te gösterilmiştir. Ayrıca Sugözü Termik Santrali’nden kaynaklanan kirletici gazların örnek alınan bitki yapraklarındaki indirgenmiş askorbik asit konsantrasyonu üzerine genel etkileri Ek 33’te gösterilmiştir.



Şekil 4.33. Termik santral kaynaklı kirletici gazların örnek alınan bitki türlerinin yapraklarındaki indirgenmiş askorbik asit konsantrasyonu üzerine etkileri

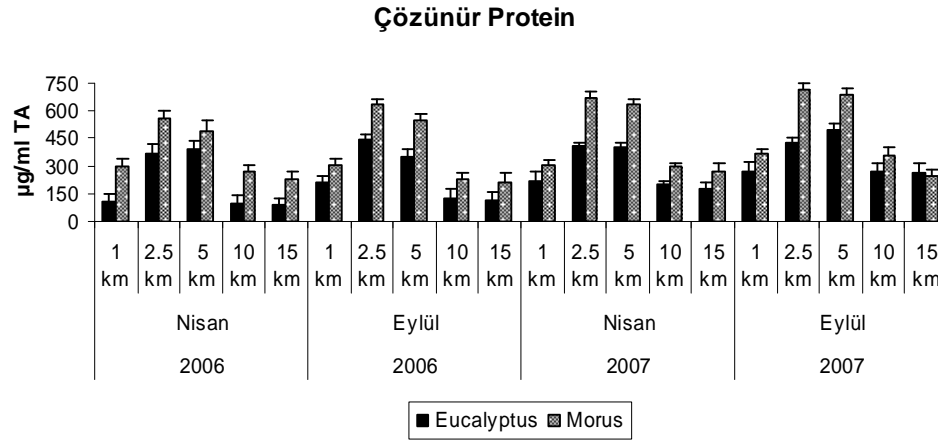
Örnek alınan bitki yapraklarındaki okside askorbik asit konsantrasyonunda yıllara ve aylara göre oluşan farklılıklar istatistiksel olarak önemli değildir. Tüm mesafeler göze alındığında, yapraklardaki okside askorbik asit konsantrasyonunun 2.5 km'de en yüksek, 15 km'de ise en düşük olduğu saptanmıştır. Ancak mesafelere göre oluşan farklılıklar istatistiksel olarak önemli değildir. Örnek alınan yönler dikkate alındığında, en yüksek okside askorbik asit konsantrasyonu doğudan alınan yapraklarda, en düşük okside askorbik asit konsantrasyonu ise batıdan alınan yapraklarda saptanmıştır. Yönler göre farklılıklar da istatistiksel olarak önemli değildir. *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. ve *Morus alba* L. türlerinden alınan yaprak örneklerinde okside askorbik asit konsantrasyonu bakımından istatistiksel olarak önemli bir fark yoktur ve okside askorbik asit konsantrasyonunun yapraklardaki değerleri 2-4 µg/l TA arasında değişmektedir. Sugözü Termik Santrali'nden kaynaklanan kirletici gazların doğu yönünde, bitki yapraklarındaki okside askorbik asit konsantrasyonu üzerine etkileri Şekil 4.34.'te gösterilmiştir. Ayrıca Sugözü Termik Santrali'nden kaynaklanan kirletici gazların örnek alınan bitki yapraklarındaki okside askorbik asit konsantrasyonu üzerine genel etkileri Ek 34'te gösterilmiştir.



Şekil 4.34. Termik santral kaynaklı kirletici gazların örnek alınan bitki türlerinin yapraklarındaki okside askorbik asit konsantrasyonu üzerine etkileri

#### 4.1.12. Çözünür Protein Konsantrasyonunun Belirlenmesi

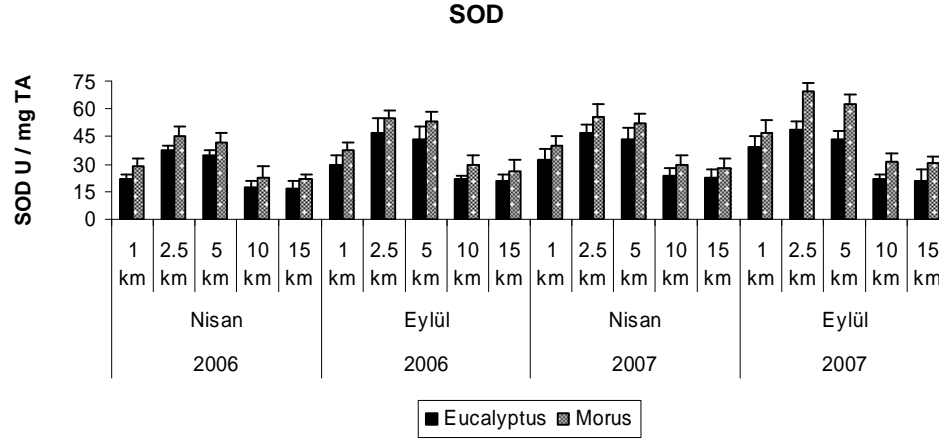
Örnek alınan bitki yapraklarındaki çözünür protein konsantrasyonu 2007 yılında 2006 yılına göre ve Eylül ayında Nisan ayına göre istatistiksel olarak önemli ölçüde artmıştır. Tüm mesafeler göze alındığında, çözünür protein konsantrasyonunun 2.5 km'de en yüksek, 15 km'de ise en düşük olduğu saptanmıştır. Örnek alınan yönler dikkate alındığında, en yüksek çözünür protein konsantrasyonu doğudan alınan yapraklarda, en düşük çözünür protein konsantrasyonu ise batıdan alınan yapraklarda saptanmıştır. *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. ve *Morus alba* L. türlerinden alınan yaprak örneklerinde çözünür protein konsantrasyonu bakımından istatistiksel olarak önemli farklılıklar vardır. Elde edilen tüm veriler değerlendirildiğinde, çözünür protein konsantrasyonunun *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. yapraklarındaki değerleri 80-500 µg/ml TA ve *Morus alba* L. yapraklarındaki değerleri ise 200-750 µg/ml TA arasında değişmektedir. Sugözü Termik Santrali'nden kaynaklanan kirletici gazların doğu yönünde, bitki yapraklarındaki çözünür protein konsantrasyonu üzerine etkileri Şekil 4.35.'te gösterilmiştir. Ayrıca Sugözü Termik Santrali'nden kaynaklanan kirletici gazların örnek alınan bitki yapraklarındaki çözünür protein konsantrasyonu üzerine genel etkileri Ek 35'te gösterilmiştir.



Şekil 4.35. Termik santral kaynaklı kirletici gazların örnek alınan bitki türlerinin yapraklarındaki çözünür protein konsantrasyonu üzerine etkileri

#### 4.1.13. Antioksidan Enzim Sonuçları

Örnek alınan bitki yapraklarındaki SOD konsantrasyonu 2007 yılında 2006 yılına göre ve Eylül ayında Nisan ayına göre istatistiksel olarak önemli ölçüde artmıştır. Tüm mesafeler göze alındığında, yapraklardaki SOD konsantrasyonunun 2.5 km'de en yüksek, 15 km'de ise en düşük olduğu saptanmıştır. Örnek alınan yönler dikkate alındığında, en yüksek SOD konsantrasyonu doğudan alınan yapraklarda, en düşük SOD konsantrasyonu ise batıdan alınan yapraklarda saptanmıştır. *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. ve *Morus alba* L. türlerinden alınan yaprak örneklerinde SOD konsantrasyonu bakımından istatistiksel olarak önemli farklılıklar vardır. Tüm dönemler ve mesafeler göze alındığında, SOD konsantrasyonunun *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. yapraklarındaki değerleri 10-50 SOD U/mg TA ve *Morus alba* L. yapraklarındaki değerleri ise 20-75 SOD U/mg TA arasında değişmektedir. Sugözü Termik Santrali'nden kaynaklanan kirletici gazların doğu yönünde, bitki yapraklarındaki SOD konsantrasyonu üzerine etkileri Şekil 4.36.'da gösterilmiştir. Ayrıca Sugözü Termik Santrali'nden kaynaklanan kirletici gazların örnek alınan bitki yapraklarındaki SOD konsantrasyonu üzerine genel etkileri Ek 36'da gösterilmiştir.



Şekil 4.36. Termik santral kaynaklı kirletici gazların örnek alınan bitki türlerinin yapraklarındaki SOD konsantrasyonu üzerine etkileri

## 4.2. Tartışma

### *Toprak ve Yaprakların Mineral Analizleri*

Örnek alınan tüm ay ve mesafeler değerlendirildiğinde, K ve Ca gibi besin maddelerinin, 10-15 km mesafesindeki topraklarda istatistiksel olarak daha düşük konsantrasyonlarda olduğu saptanmıştır. Ayrıca K ve Ca'un örnek alınan bitki yapraklarındaki konsantrasyonları da toprakla korelasyon gösterecek şekilde 10-15 km mesafede istatistiksel olarak daha azdır. Bu besin elementlerinin 10-15 km mesafeden örnek alınan bitki yapraklarında bitki topraklarıyla korelasyon gösterecek şekilde daha düşük konsantrasyonlarda bulunması, bitkilerde bu mineral elementlerin eksikliğine bağlı olarak stresin oluşması beklentisini yaratmaktadır. Bu durum yapılan birçok çalışmada saptanmıştır (Schützendübel ve Polle, 2002; Rivetta ve ark., 1997; Hongfa ve ark., 2000). SO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> emisyonlarının yüksek olduğu topraklarda yetişen bitkilerde K, Ca ve Mg gibi besin elementlerinin eksikliğine bağlı olarak yapraklarda stres oluştuğu (Pukacka ve Pukacki, 2000) ve bitkide oluşan strese bağlı olarak askorbik asit gibi antioksidanların, SOD gibi antioksidatif enzimlerin arttığı, bitkide hasar belirtisi olarak lipid peroksidasyonunun oluştuğu belirtilmektedir (Cakmak, 1994). Ancak

elde edilen verilerin tamamı değerlendirildiğinde, 10-15 km mesafede bitkide bu mineral elementlerinin eksikliğine bağlı olarak stres oluştuğunu gösteren bir veriye rastlanmamış, aksine 10-15 km mesafede askorbik asit, SOD ve lipid peroksidasyonunun azaldığı saptanmıştır.

Analizi yapılan makro elementlerden Mg'nin de, örnek alınan tüm ay ve mesafeler göze alındığında, her iki türden alınan yapraklarındaki konsantrasyon değişimlerinin bitki alanlarından alınan topraklarla korelasyon gösterdiği, 10-15 km mesafede istatistiksel olarak önemli ölçüde azaldığı saptanmıştır. Örnek alınan tüm ay ve mesafeler göze alındığında, 10-15 km mesafedeki kirletici gaz konsantrasyonlarının ve bitki topraklarındaki Mg konsantrasyonlarının düşük olması, 10-15 km mesafede toplam klorofil miktarındaki azalmanın bu durumdan kaynaklanabileceğini düşündürmektedir. Çünkü bu tez çalışmasında elde edilen veriler, SO<sub>2</sub>'nin örnek alınan bitki türlerinin yapraklarında toplam klorofilin artmasına neden olduğunu göstermektedir. Ayrıca Mg, klorofil molekülünün halkasal yapısına girmekte ve klorofil sentezinde çok önemli bir rol üstlenmektedir. Bu nedenle Mg yokluğunda yapraklardaki klorofil miktarı azalmaktadır (Rissler ve ark., 2002; Rissler ve ark., 2002). 10-15 km mesafede örnek alınan her iki bitki türünün yapraklarında oluşan bu durum kısmen de olsa yapraklardaki toplam klorofil miktarını etkilemiş ve azalmasına yol açmış olabilir ancak bu durumun yapraklarda analizi yapılan diğer stres parametreleriyle uygunluk göstermediğini belirtmek gerekir. Çünkü 10-15 km mesafede, prolin, SOD, askorbik asit, Sh-bileşikleri gibi stres durumunda savunma mekanizmasında rol alan antioksidanlar ve stres durumunda oluşan hasar belirtisi olan lipid peroksidasyonu azalmıştır.

Analizi yapılan elementlerden Zn ve Cu'nun, örnek alınan tüm aylarda özellikle 2.5-5 km mesafesindeki topraklarda diğer mesafelerdeki topraklara göre istatistiksel olarak daha düşük konsantrasyonlarda olduğu, diğer mesafeler arasında ise istatistiksel olarak önemli bir fark olmadığı saptanmıştır. Bu durum örnek alınan bitki yapraklarıyla da uygunluk göstermektedir. Cu ve Zn redoks aktif metal olma özelliklerinden dolayı, Fenton reaksiyonu ile SOD enzimi oluşumunu arttırmakta ve yüksek bitkilerde Cu/Zn-SOD enziminin yapısına girmektedir. Bu mineral elementlerin yetersizliği durumunda bitkide SOD enzimi

oluşumunun azalacağı düşünülse de (Schützendübel ve Polle, 2002; Akman ve ark., 2001) bu durum gerçekleşmemiş, SOD konsantrasyonu, örnek alınan tüm ay ve mesafeler göze alındığında, her iki türden alınan yapraklarda 2.5-5 km mesafede istatistiksel olarak önemli ölçüde artmıştır.

Na ve Co'nun, örnek alınan tüm aylarda özellikle 5 km'deki topraklarda istatistiksel olarak daha yüksek olduğu saptanmıştır. Ancak her iki bitki türünün yapraklarında da örnek alınan tüm ay ve mesafeler göze alındığında, analizi yapılan elementlerden Na ve Co'nun 5 km mesafede istatistiksel olarak önemli ölçüde azaldığı görülmektedir. Örnek alınan tüm ay ve mesafeler göze alındığında, her iki türün yapraklarındaki Na ve Co konsantrasyonlarındaki değişimlerin örnek alınan bitki topraklarıyla pozitif korelasyon göstermediği saptanmıştır. Toprak ve yaprak örneklerinden elde edilen veriler değerlendirildiğinde, Na ve Co iyonlarının alınımını engelleyecek herhangi bir veriye (pH ve diğer metaller bakımından) rastlanmamıştır.

Analizi yapılan elementlerden Cr'nin, örnek alınan tüm aylarda özellikle 10-15 km mesafesindeki topraklarda diğer mesafelerdeki topraklara göre istatistiksel olarak daha düşük konsantrasyonlarda olduğu, diğer mesafeler arasında ise istatistiksel olarak önemli bir farkın olmadığı saptanmıştır. Her iki bitkinin yapraklarındaki Cr'nin, örnek alınan tüm ay ve mesafeler göze alındığında, herhangi bir aya, yöne veya mesafeye göre bir değişim göstermediği, konsantrasyonlardaki değişimlerin ay, yön ve mesafeden bağımsız olarak gerçekleştiği saptanmıştır. Ayrıca her iki türün yaprak örneklerindeki Cr'nin örnek alınan bitki topraklarıyla korelasyon göstermediği de saptanmıştır.

Ni'nin, örnek alınan tüm aylarda 10 km mesafesindeki topraklarda istatistiksel olarak daha yüksek olduğu saptanmıştır. Ancak her iki bitkinin yapraklarında da örnek alınan tüm ay ve mesafeler göze alındığında, analizi yapılan elementlerden Ni'nin 10 km mesafede istatistiksel olarak önemli ölçüde azaldığı görülmektedir. Örnek alınan tüm ay ve mesafeler göze alındığında, her iki türün yapraklarındaki Ni konsantrasyonlarındaki değişimlerin örnek alınan bitki topraklarıyla pozitif korelasyon göstermediği saptanmıştır. Toprak ve yaprak örneklerinden elde edilen veriler değerlendirildiğinde, Ni alınımını engelleyecek herhangi bir veriye (pH ve diğer metaller bakımından) rastlanmamıştır.

Analizi yapılan elementlerden Pb ve Cd'nin örnek alınan tüm aylarda özellikle 2.5-5 km mesafesindeki topraklarda diğer mesafelerdeki topraklara göre istatistiksel olarak daha yüksek olduğu, diğer dönemler arasında ise istatistiksel olarak önemli bir farkın olmadığı saptanmıştır. Bu durum örnek alınan bitki yapraklarıyla da korelasyon göstermektedir. Pb ve Cd'nin örnek alınan tüm ay ve mesafeler göze alındığında, her iki türden alınan yapraklarda, 2.5-5 km'de arttığı saptanmıştır. Bu ağır metallerin, 2.5-5 km mesafeden örnek alınan bitki yapraklarında bitki topraklarıyla korelasyon gösterecek şekilde daha yüksek konsantrasyonlarda bulunması, bitkilerde bu ağır metallerin toksisitesine bağlı olarak stresin oluşması beklentisini yaratmaktadır. SO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> emisyonlarının yoğun olduğu yerlerde bu metallerin toprak kontaminasyonuna neden olduğu ve bitkilerin yapraklarında birikerek strese yol açtığı, bunun sonucunda prolin, SOD, askorbik asit, Sh-bileşikleri gibi savunma mekanizmasında rol alan antioksidanların ve lipid peroksidasyonunun arttığı saptanmıştır (Miller ve Mcfee, 1983; Pukacka ve Pukacki, 2000). Örnek alınan bitki yapraklarında 2.5-5 km mesafede stres belirtilerinin ortaya çıktığı açıktır. Ancak bu durumun toprakta oluşması muhtemel bir ağır metal kirliliğinden kaynaklandığını ileri sürmek için elde edilen veriler daha ayrıntılı değerlendirilmelidir. Öncelikle toprakta Pb veya Cd kontaminasyonu oluşmaması için belirlenen sınır değerleri ele almak gerekir. Sınır değerler; pH'sı 5-6 olan topraklarda Pb için 50 ppm, Cd için 1 ppm dir. Bu değerler pH>6 olduğunda ise Pb için 300 ppm, Cd için 3 ppm'e çıkmaktadır (Özkul, 2008; Kloke, 1981). Bu çalışmada elde edilen tüm veriler göze alındığında, Pb'nin bitki topraklarındaki değerleri 10-30 ppm arasında değişmektedir, örneğin en yoğun olduğu kuzeydoğu yönünde ortalaması 21.76 ppm'dir, yine en yoğun olduğu 5 km mesafede ortalaması 24.80 ppm'dir. Cd'nin ise bitki topraklarındaki değerleri 0.2-2 ppm arasında değişmektedir, örneğin en yoğun olduğu kuzeydoğu yönünde ortalaması 1.28 ppm'dir, yine en yoğun olduğu 5 km mesafede ortalaması 1.38 ppm'dir. Çalışma alanındaki toprakların pH'sı ise 7.2-7.3 arasında değişmektedir. Sonuç olarak 2.5-5 km'de oluşan stres belirtilerinin tamamen Pb ve Cd den kaynaklandığını söylemek mümkün değildir. Pb ve Cd'nin bitki için bilinen hiçbir yararının olmadığı ve eser miktarlarda bile bitkiler için toksik olduğunu kabul etsek bile (Balsberg Pahlsson, 1989), örnek

alınan bitki yapraklarında saptanan Pb ve Cd konsantrasyonları daha önce yapılan çalışmalarda belirtilen konsantrasyonlardan daha düşüktür (Alloway, 1995; Jackson ve Alloway, 1991; Bergmann, 1992). Örneğin Bergmann (1992), normal koşullarda bitki türüne bağlı olarak kuru maddede yaklaşık olarak 2-7 ppm arasında Pb bulunmasının bitkilerde stres belirtilerini ortaya çıkarmadığını belirtmektedir. Bu çalışmada elde edilen verilere göre, Pb'nin bitki yapraklarında en yoğun olduğu kuzeydoğu yönünde ortalaması 1.59 ppm'dir, yine en yoğun olduğu 5 km mesafede ortalaması 1.38 ppm'dir. Ayrıca Alloway (1995), normal koşullarda bitki türüne göre kuru maddede yaklaşık olarak 0.1-1 ppm arasında Cd bulunmasının bitkilerde stres belirtilerini ortaya çıkarmadığını belirtmektedir. Bu çalışmada elde edilen verilere göre, Cd'nin bitki yapraklarında en yoğun olduğu kuzeydoğu yönünde ortalaması 0.18 ppm'dir, yine en yoğun olduğu 2.5 km mesafede ortalaması 0.18 ppm'dir. Ancak, Pb ve Cd'nin fazla olduğu 2.5-5 km mesafeden alınan topraklarla korelasyon gösterecek şekilde arttığı ve bitki yapraklarında stres belirtilerinin ortaya çıktığı da açıktır. Bu nedenle bitki yapraklarında gözlenen stres belirtilerinin toprakta oluşması muhtemel bir ağır metal kirliliğinden kaynaklanmadığını söylemekte doğru değildir.

#### *Stoma Dağılımı Analizleri*

Örnek alınan tüm ay ve mesafeler göze alındığında, her iki türden alınan yapraklardaki stoma yoğunluğu 2.5-5 km mesafede istatistiksel olarak önemli ölçüde azalmıştır. Yapılan çalışmalarda, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> ve CO<sub>2</sub> gibi kirletici gaz emisyonunun yüksek olduğu ortamlarda, savunma mekanizması olarak bitki yapraklarında stoma yoğunluğunun azaldığı belirtilmektedir (Deniz ve Düzenli, 2006; Robinson ve Mansfield, 1998; Yunus ve ark., 1982; Mejnartowicz ve Lukasiak, 1985). Örnek alınan tüm dönem ve mesafeler dikkate alındığında, Sugözü Termik Santrali'ne 2.5-5 km mesafede kirletici gazların daha yoğun olması ve aynı mesafelerde örnek alınan her iki türün yapraklarında stoma yoğunluğunun istatistiksel olarak önemli ölçüde azalması, stoma yoğunluğunda gözlenen azalmanın kirletici gaz konsantrasyonundan kaynaklandığını düşündürmektedir.

### ***Klorofil Analizleri***

Örnek alınan tüm ay ve mesafeler göze alındığında, her iki bitki türünün yapraklarında toplam klorofil, Kla ve Klb konsantrasyonu, 2.5-5 km mesafede istatistiksel olarak önemli ölçüde artmıştır. Ancak örnek alınan tüm ay ve mesafeler göze alındığında, her iki türden alınan yapraklardaki Kla/Klb oranı 2.5-5 km mesafede önemli ölçüde azalmıştır. 2.5-5 km mesafeden alınan yapraklarda hem Kla hem de Klb artmasına rağmen Kla/Klb oranı azalmıştır. Kla/Klb oranı 1, 2.5, 5, 10 ve 15 km'de sırasıyla 3.52, 3.10, 2.78, 3.77 ve 4.28'dir. Kla/Klb oranındaki azalmanın, Kla'da görülen artışa göre Klb'deki artışın daha fazla olmasından kaynaklandığı açıktır. Bu durum SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> ve CO<sub>2</sub> gibi kirletici gaz emisyonunun yüksek olduğu ortamlarda yetişen bitkilerin yapraklarında Klb'nin Kla'dan daha çok etkilendiğini ve belki de Klb'nin strese karşı savunma mekanizmasında bir indikatör gibi görev yaptığını düşündürmektedir. Yapılan çalışmaların çoğu, kirletici gaz emisyonunun yüksek olduğu ortamlarda yetişen bitkilerde strese bağlı olarak yapraklardaki klorofil konsantrasyonunun azaldığını belirtmektedir (Alonso ve ark., 2001; Kong ve ark., 1999; Lin ve Wang, 2002; Schwanz ve Polle, 2001; Singh ve ark., 1985; Gielen ve ark., 2000; Penuelasa ve ark., 1995; Hongfa ve ark., 2000; Kong ve ark., 1999; Agrawal ve Agrawal, 1989). Bununla birlikte, kirletici gaz emisyonunun yüksek olduğu ortamlarda yetişen bitkilerde yapraklardaki klorofilin bu durumdan etkilenmediğini ve değişmeden kaldığını (Hodges ve ark., 2000; Eamus ve ark., 1995) veya arttığını (Fulford ve Murray, 1990) gösteren çalışmalarda yapılmıştır. Bazı çalışmalarda ise, kirletici gaz emisyonunun yüksek olduğu ortamlarda yetişen bitkilerin yapraklarında Kla/Klb oranının azaldığı belirtilmektedir (Hongfa ve ark., 2000; Chettria ve ark., 1998; Deniz ve Düzenli, 2006).

### ***Karotenoid Analizleri***

Karotenoidin, örnek alınan tüm ay ve mesafeler göze alındığında, her iki türden alınan yapraklarda konsantrasyon değişimlerinin paralellik gösterdiği, 2.5-5 km mesafede istatistiksel olarak önemli ölçüde arttığı saptanmıştır. Yapılan

çalışmalarda, kirletici gaz emisyonunun yüksek olduğu ortamlarda bitki yapraklarında karotenoid konsantrasyonunun arttığı belirtilmektedir (Burton ve Ingold, 1984; Gielen ve ark., 200; Yanyun ve ark., 1991). SO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> gibi kirletici gazlar ksantofil döngüsünü aktive etmekte ve karotenoid konsantrasyonunun artmasına yol açmaktadır (Singh ve ark., 1985). Karotenoidler, fotosistemleri şu dört yoldan biri ile koruduğundan antioksidan görevi görmektedir; lipid peroksidasyonu ürünleri ile reaksiyona girerek reaksiyon zincirini sonlandırmakta (Burton ve Ingold, 1984; Young, 1991), singlet oksijeni yok ederek (Mathis ve Kleo, 1973), triplet klorofili yok etmekte ya da eksitasyon enerji fazlasını ksantofil döngüsüyle yok etmektedir. Bu tez çalışmasında elde edilen veriler de, SO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> gibi kirletici gazların emisyonunun yüksek olduğu 2.5-5 km mesafeden örnek alınan her iki türün yapraklarında karotenoid konsantrasyonunun arttığını göstermektedir.

### *Prolin Analizleri*

Prolinin, örnek alınan tüm ay ve mesafeler göze alındığında, her iki türden alınan yapraklarda konsantrasyon değişimlerinin paralellik gösterdiği, 2.5-5 km mesafede istatistiksel olarak önemli ölçüde arttığı saptanmıştır. Yapılan çalışmalarda, kirletici gaz emisyonunun yüksek olduğu ortamlarda bitki yapraklarında antioksidatif savunma mekanizmasının bir elemanı olarak prolin miktarının arttığı belirtilmektedir (Lichtenthaler ve Buschmann, 1984; Bohnert ve Sheveleva, 1998). Kirletici gaz emisyonunun yüksek olduğu ortamlarda, nitrojen gibi sınırlı kaynakların bitkide yeniden dağılımı sağlanmaktadır. Bu da fotosentetik olarak aktif olan yapraklardan aktif olarak genişleyen yapraklara doğru nitrojen hareketini sağlayarak yapılmaktadır (Gielen ve ark., 200). Böylece N içerikli bir aminoasit olan prolin de stres koşullarında artarak, serbest oksijen radikallerinin detoksifikasyonuna katılmaktadır. Bu tez çalışmasında elde edilen veriler de, Sugözü Termik Santrali'ne 2.5-5 km mesafede SO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> gibi kirletici gaz emisyonunun yüksek olduğunu ve buradan alınan her iki türün yapraklarında prolin konsantrasyonunun arttığını göstermektedir.

### *Lipid Peroksidasyonu Analizleri*

Lipid peroksidasyonunun, örnek alınan tüm ay ve mesafeler göze alındığında, her iki türden alınan yapraklarda konsantrasyon değişimlerinin paralellik gösterdiği, 2.5-5 km mesafede istatistiksel olarak önemli ölçüde arttığı saptanmıştır. Yapılan çalışmalarda, kirletici gaz emisyonunun yüksek olduğu ortamlarda bitki yapraklarında oluşan stresin bir belirtisi olarak lipid peroksidasyonunun arttığı belirtilmektedir (Shimazaki ve ark., 1980; Peiser ve ark., 1982). Bilindiği gibi lipid, hücre ve organelleri çevreleyen membranın önemli bir bileşenidir. Membran lipidlerinin oksidatif olarak bozulmasına lipid peroksidasyonu denmektedir. Lipid peroksidasyonu hücre membranındaki doymamış yağ asitlerinin serbest radikallerle etkileşerek bozulması ve lipid hidroperoksitlerin oluşmasıdır. Kirletici gaz emisyonunun yüksek olması, serbest radikal oluşumu arttırarak ya da hücrenin peroksidasyon reaksiyonlarına karşı savunma kapasitesini azaltarak lipid peroksidasyonunu arttırmaktadır (Rich ve Tomlinson, 1974). Bu tez çalışmasında elde edilen veriler de, Sugözü Termik Santrali'ne 2.5-5 km mesafede SO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> gibi kirletici gaz emisyonunun yüksek olduğunu ve buradan alınan her iki türün yapraklarında lipid peroksidasyonunun arttığını göstermektedir.

### *SH-Bileşikleri Analizleri*

SH-bileşiklerinin, örnek alınan tüm ay ve mesafeler göze alındığında, her iki türden alınan yapraklarda konsantrasyon değişimlerinin paralellik gösterdiği, 2.5-5 km mesafede istatistiksel olarak önemli ölçüde arttığı saptanmıştır. Yapılan çalışmalarda, kirletici gaz emisyonunun yüksek olduğu ortamlarda bitki yapraklarında antioksidatif savunma mekanizmasının bir elemanı olarak SH-bileşikleri konsantrasyonunun arttığı belirtilmektedir (Deniz ve Düzenli 2006; Asada, 1992; Smith ve ark., 1985; Foyer, 1993). SO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> gibi kirletici gaz emisyonunun yüksek olduğu ortamlarda, membranların yapısını stabilize eden ve membran proteinlerinin yapısal bütünlüğü için büyük önemi olan SH-bileşiklerinin önemi daha da artmaktadır. SH-bileşikleri, birçok yolla antioksidan

olarak görev yapmaktadır; singlet oksijen, süperoksit ve hidroksil radikalleriyle doğrudan reaksiyona girerek serbest radikalleri etkisiz hale getirmektedir. Açıl peroksitleri hareket ettirmek suretiyle, lipid peroksidasyonu reaksiyonlarını düzenleyerek membran yapısını stabilize etmektedir, yani lipid peroksidasyonunu engellemektedir (Price ve ark., 1990). Ayrıca askorbik asit döngüsüne katılarak askorbik asidin DHA'dan rejenerasyonunu sağlamaktadır (Loewus, 1988). Singlet oksijen ve hidroksil radikaliyle reaksiyona girerek enzimlerin SH gruplarının okside olmasını önlemektedir (Rennenberg, 1982). Bu nedenle, SO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> gibi kirletici gaz emisyonunun yüksek olduğu ortamlarda yetişen bitkilerin yapraklarında daha yüksek konsantrasyonlarda SH-bileşikleri bulunmaktadır. Bu tez çalışmasında elde edilen veriler de, Sugözü Termik Santrali'ne 2.5-5 km mesafede SO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> gibi kirletici gaz emisyonunun yüksek olduğunu ve buradan alınan her iki türün yapraklarında SH-bileşikleri konsantrasyonunun arttığını göstermektedir.

#### *Askorbik Asit Analizleri*

Toplam askorbik asidin, örnek alınan tüm ay ve mesafeler göze alındığında, her iki türden alınan yapraklarda konsantrasyon değişimlerinin paralellik gösterdiği, 2.5-5 km mesafede istatistiksel olarak önemli ölçüde arttığı ve indirgenmiş askorbik asit konsantrasyonunun da toplam askorbik asit konsantrasyonuna paralel olarak arttığı saptanmıştır. SO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> gibi kirletici gazlar bitkide serbest radikallerin oluşmasına yol açmakta, bu radikallerin çoğu için indirgeyici olan askorbik asit, kloroplastlardaki askorbat-glutasyon döngüsü ile, oluşan oksidatif stresin neden olacağı zararı azaltmaktadır (Foyer ve Halliwell, 1976). Askorbat; ya doğrudan serbest oksijen radikallerini, enzim katalizitleri olsun ya da olmasın etkisiz hale getirmekte veya dolaylı olarak tokoferol döngüsüyle indirgemektedir. Singlet oksijen ile reaksiyona girerek önemli makromolekülleri oksidatif hasara karşı korumaktadır. Askorbik asit ayrıca diğer bir antioksidan olan E vitamininin (tokoferol) de indirgenmiş durumda kalmasını sağlamaktadır (Foyer, 1993; Asada, 1992). Ayrıca örnek alınan tüm ay ve mesafeler göze alındığında, her iki türden alınan yapraklardaki İnd AsA/Oks AsA

oranı 2.5-5 km mesafede istatistiksel olarak önemli ölçüde artmıştır. İnd AsA/Oks AsA oranı 1, 2.5, 5, 10 ve 15 km'de sırasıyla 2.39, 3.95, 3.63, 2.34 ve 2.05'tir. SO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> gibi kirletici gaz emisyonunun yüksek olduğu ortamlarda İnd AsA/Oks AsA oranının arttığı daha önce yapılan çalışmalarda da belirtilmiştir (Lin ve Wang, 2002; Deniz ve Düzenli, 2006). Elde edilen verilerin tümü değerlendirildiğinde, İnd AsA/Oks AsA oranının artması indirgenmiş askorbik asidin artmasından ve okside askorbik asidin fazla değişmeden kalmasından kaynaklanmıştır. Kirletici gaz emisyonunun fazla olduğu ortamlarda askorbik asidin arttığı daha önce yapılan çalışmalarda belirtilmiştir (Agrawal ve ark., 2003; Agrawal ve Deepak, 2003; Chen ve ark., 1990; Keller ve Schwanger, 1977). Bitki de stres durumunda oluşan serbest radikallerden süperoksit, kendiliğinden olan bir dizmutasyonla ya da SOD enzimi aracılığıyla hidrojen perokside dönüşmektedir (Asada, 1992). Oluşan hidrojen peroksit ise askorbat ya da askorbat peroksidaz enzimi aracılığıyla etkisiz hale getirilmektedir. Böylece askorbik asidin indirgenmiş formları olan MDHA ve DHA oluşmaktadır. MDHA, NADH bağımlı MDHA redüktaz, DHA ise GSH'a bağımlı DHA redüktaz tarafından tekrar indirgenmiş askorbik aside dönüştürülmektedir. Bu yolla muhtemelen fenton reaksiyonuna katılacak olan hidrojen peroksidin detoksifikasyonu sağlanmaktadır. Yani askorbik asit antioksidan olarak görev yaptığında yükseltgenerek okside askorbik aside dönüşmektedir. Sonuçta, stres sırasında toplam olarak askorbik asidin artması bununla birlikte indirgenmiş ve okside formlarının da artması gayet mantıklı görülmektedir. Tüm dönemler ve mesafeler dikkate alındığında, SO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> gibi kirletici gazların emisyonunun yüksek olduğu 2.5-5 km mesafede örnek alınan her iki türün yapraklarında toplam ve indirgenmiş askorbik asit konsantrasyonu artmış, okside askorbik asit neredeyse değişmeden kalmıştır. Bu çalışmada elde edilen veriler, okside askorbik asidin toplam askorbik aside paralel olarak artmamasının fizyolojik nedenlerini tam olarak açıklamak için yeterli değildir. Bununla birlikte, kirletici gazların daha yoğun olduğu ortamlarda bitki yapraklarında oluşan strese karşı, antioksidatif savunma mekanizmasının bir elamanı olarak askorbik asidin daha etkin işlev görebilmesi için, bitki DHA redüktaz veya MDHA redüktaz gibi enzimlerin aktivitelerini arttırarak okside

askorbik asidi daha etkin (hızlı) bir şekilde indirgeyerek rejenerasyonunu sağlamış olabilir.

### ***Çözünür Protein Analizleri***

Çözünür proteinin, örnek alınan tüm ay ve mesafeler göze alındığında, her iki türden alınan yapraklarda konsantrasyon değişimlerinin paralellik gösterdiği, 2.5-5 km mesafede istatistiksel olarak önemli ölçüde arttığı saptanmıştır. Yapılan çalışmalarda, kirletici gaz emisyonunun yüksek olduğu ortamlarda bitki yapraklarında çözünür protein konsantrasyonunun arttığı belirtilmektedir (Shimazaki ve ark., 1980; Peiser ve ark., 1982; Zhou ve Abaraha, 2007; Pierre ve Queiroz, 1988). Strese maruz kalan bitkilerde çözünür protein konsantrasyonunun artması bitkide oluşan stresin biyolojik bir göstergesi olarak kullanılmaktadır. Sonuçta stres durumunda oluşan serbest oksijen radikalleri membran proteinlerine zarar vermekte ve çözünür protein artmaktadır (Aspinall ve Paleg, 1981). Bu tez çalışmasında elde edilen veriler de, Sugözü Termik Santrali'ne 2.5-5 km mesafede SO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> gibi kirletici gaz emisyonunun yüksek olduğunu ve buradan alınan her iki türün yapraklarında çözünür protein konsantrasyonunun arttığını göstermektedir.

### ***Antioksidan Enzim Analizleri***

SOD konsantrasyonunun, örnek alınan tüm ay ve mesafeler göze alındığında, her iki türden alınan yapraklarda konsantrasyon değişimlerinin paralellik gösterdiği, 2.5-5 km mesafede istatistiksel olarak önemli ölçüde arttığı saptanmıştır. Yapılan çalışmalarda, kirletici gaz emisyonunun yüksek olduğu ortamlarda bitki yapraklarında antioksidatif savunma mekanizmasının bir elemanı olarak SOD konsantrasyonunun arttığı belirtilmektedir (Shimazaki ve ark., 1980; Alanso ve ark., 2001; Tanaka ve Sugahara, 1980; Hodges ve Forney, 2000; Richardson ve ark., 1989; Schwanz ve Polle, 2001; Yu ve Rengel, 1999; Mc Cord ve Fridovich, 1969). SO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> gibi kirletici gazlar bitkide serbest radikallerin oluşmasına yol açmaktadır. SOD, stres sırasında oluşan serbest radikallerden

süperoksitin, hidrojen peroksit ve oksijene dismutasyonunu katalizlemektedir. Böylece SOD, süperoksit konsantrasyonlarının düşük ve sabit miktarlarda kalmasını sağlamaktadır. Sonuçta bu enzimin aktivitesi hidroksil radikalının oluşumunu sağlayan Haber-Weiss reaksiyonunun iki unsurunun oranlarını belirlemektedir (Bowler ve ark., 1992). Hücre içi kısımların oksidatif strese maruz kalma derecesine göre SOD izozimlerinin her biri bağımsız olarak regüle edilmektedir. Fakat moleküler düzeyde bunun nasıl olduğu tam olarak bilinmemektedir. Her bir organeldeki oksidatif hasar bölgesinden çekirdeğe difüze olan lipid peroksidasyonu ürünlerinin spesifik SOD genlerinin transkripsiyonunu arttıracığı ileri sürülmektedir (Bowler ve ark, 1992; Pinhero ve ark., 1997). Bu tez çalışmasında elde edilen veriler de, Sugözü Termik Santrali'ne 2.5-5 km mesafede SO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> gibi kirletici gaz emisyonunun yüksek olduğunu ve buradan alınan her iki türün yapraklarında SOD konsantrasyonunun arttığını göstermektedir.

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Örnek alınan tüm ay ve mesafeler değerlendirildiğinde, K ve Ca gibi besin maddelerinin, 10-15 km mesafesindeki topraklarda istatistiksel olarak daha düşük konsantrasyonlarda olduğu saptanmıştır. Ayrıca K ve Ca'un örnek alınan bitki yapraklarındaki konsantrasyonları da toprakla korelasyon gösterecek şekilde 10-15 km mesafede istatistiksel olarak daha azdır. Bu besin elementlerinin 10-15 km mesafeden örnek alınan bitki yapraklarında bitki topraklarıyla korelasyon gösterecek şekilde daha düşük konsantrasyonlarda bulunması, bitkilerde bu mineral elementlerin eksikliğine bağlı olarak stresin oluşması beklentisini yaratmaktadır. Bu durum yapılan birçok çalışmada saptanmıştır (Schützendübel ve Polle, 2002; Rivetta ve ark., 1997; Hongfa ve ark., 2000). SO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> emisyonlarının yüksek olduğu topraklarda yetişen bitkilerde K, Ca ve Mg gibi besin elementlerinin eksikliğine bağlı olarak yapraklarda stres oluştuğu (Pukacka ve Pukacki, 2000), bitkide stres oluşması sonucunda askorbik asit gibi antioksidanların, SOD gibi enzimlerin arttığı ve bitkide hasar belirtisi olarak lipid peroksidasyonunun oluştuğu belirtilmektedir (Cakmak, 1994). Ancak elde edilen verilerin tamamı değerlendirildiğinde, 10-15 km mesafede bitkide bu mineral elementlerinin eksikliğine bağlı olarak stres oluştuğunu gösteren bir veriye rastlanmamış, aksine 10-15 km mesafede askorbik asit, SOD ve lipid peroksidasyonunu azalmıştır. Sonuç olarak; santralin bacalarından salınan kirletici gazların 15 km yarıçapındaki örneklik alan içerisinde, örnek alınan bitki topraklarında K ve Ca beslenmesi açısından olumsuz bir durum oluşturmadığını, yapraklarda oluşan stres parametrelerinin topraktaki K veya Ca eksikliğinden-fazlalığından kaynaklanmadığını söyleyebiliriz.

Analizi yapılan makro elementlerden Mg'nin de, örnek alınan tüm ay ve mesafeler göze alındığında, her iki türden alınan yapraklarındaki konsantrasyon değişimlerinin bitki alanlarından alınan topraklarla korelasyon gösterdiği, 10-15 km mesafede istatistiksel olarak önemli ölçüde azaldığı saptanmıştır. Örnek alınan tüm ay ve mesafeler göze alındığında, 10-15 km mesafedeki kirletici gaz konsantrasyonlarının ve bitki topraklarındaki Mg konsantrasyonlarının düşük olması, 10-15 km mesafede toplam klorofil miktarındaki azalmanın bu durumdan

kaynaklanabileceğini düşündürmektedir. Çünkü bu tez çalışmasında elde edilen verilere göre, SO<sub>2</sub>'nin örnek alınan bitki türlerinin yapraklarında toplam klorofilin artmasına neden olduğu saptanmıştır. Ayrıca Mg, klorofil molekülünün halkasal yapısına girmekte ve klorofil sentezinde çok önemli bir rol üstlenmektedir. Bu nedenle Mg yokluğunda yapraklardaki klorofil miktarı azalmaktadır (Rissler ve ark., 2002). 10-15 km mesafede örnek alınan her iki bitki türünün yapraklarında oluşan bu durum kısmen de olsa yapraklardaki toplam klorofil miktarını etkilemiş ve azalmasına yol açmış olabilir ancak bu durumun yapraklarda analizi yapılan diğer stres parametreleriyle uygunluk göstermediğini belirtmek gerekir. Çünkü 10 ve 15 km mesafede, prolin, SOD, askorbik asit, SH-bileşikler gibi stres durumunda savunma mekanizmasında rol alan antioksidanlar ve stres durumunda oluşan hasar belirtisi olan lipid peroksidasyonu azalmıştır. Sonuç olarak bu tez çalışmasında elde edilen veriler; SO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> gibi kirlenici gaz emisyonunun bitkide oluşturacağı stres hasarını azaltmak açısından Mg'un önemli olabileceğini göstermektedir. Ancak bu konuda daha spesifik çalışmaların yapılması gerekmektedir. Bu çalışma bitki türlerinin kendi doğal ortamlarında yapıldığı için, çok farklı ksenobiyotik stres faktörlerinin bitkiyi etkilemesi söz konusudur. Oysaki belirli ppm'deki kirlenici gaz emisyonlarının sağlanacağı ortamlarda, değişik bitki türlerini Mg'un artan konsantrasyonlarında yetiştirerek bitkide oluşacak stres parametrelerini analiz etmek suretiyle yapılacak bir çalışma bu duruma daha net bir açıklama getirebilir.

Analizi yapılan elementlerden Zn ve Cu'nun, örnek alınan tüm aylarda özellikle 2.5-5 km mesafesindeki topraklarda diğer mesafelerdeki topraklara göre istatistiksel olarak daha düşük konsantrasyonlarda olduğu, diğer mesafeler arasında ise istatistiksel olarak önemli bir fark olmadığı saptanmıştır. Bu durum örnek alınan bitki yapraklarıyla da uygunluk göstermektedir. Cu ve Zn redoks aktif metal olma özelliklerinden dolayı, Fenton reaksiyonu ile SOD enzimi oluşumunu arttırmakta ve yüksek bitkilerde Cu/Zn-SOD enziminin yapısına girmektedir. Bu mineral elementlerin yetersizliği durumunda bitkide SOD enzimi oluşumunun azalacağı düşünülse de (Schützendübel ve Polle, 2002; Akman ve ark., 2001) bu durum gerçekleşmemiş, SOD konsantrasyonu, örnek alınan tüm ay ve mesafeler göze alındığında, her iki türden alınan yapraklarda 2.5-5 km

mesafede istatistiksel olarak önemli ölçüde artmıştır. Sonuç olarak; santralin bacalarından salınan kirletici gazların 15 km yarıçapındaki örneklik alan içerisinde, örnek alınan bitki topraklarında Zn ve Cu beslenmesi açısından olumsuz bir durum oluşturmadığını, yapraklarda oluşan stres parametrelerinin topraktaki Zn veya Cu eksikliğinden-fazlalığından kaynaklanmadığını söyleyebiliriz.

Na ve Co'nun, örnek alınan tüm aylarda özellikle 5 km mesafesindeki topraklarda istatistiksel olarak daha yüksek olduğu saptanmıştır. Ancak her iki bitkinin yapraklarında da örnek alınan tüm ay ve mesafeler göze alındığında, analizi yapılan elementlerden Na ve Co'nun 5 km mesafede istatistiksel olarak önemli ölçüde azaldığı görülmektedir. Örnek alınan tüm ay ve mesafeler göze alındığında, her iki türün yapraklarındaki Na ve Co konsantrasyonlarındaki değişimlerin örnek alınan bitki topraklarıyla pozitif korelasyon göstermediği saptanmıştır. Toprak ve yaprak örneklerinden elde edilen veriler değerlendirildiğinde, Na ve Co iyonlarının alınımını engelleyecek herhangi bir veriye (pH ve diğer metaller bakımından) rastlanmamıştır. Sugözü Termik Santrali'nin bacalarından çıkan kirletici gazların örnek alınan bitki topraklarında Na ve Co beslenmesi açısından olumsuz bir durum oluşturmadığını, yapraklarda oluşan stres parametrelerinin Na veya Co eksikliğinden-fazlalığından etkilenmediğini söyleyebiliriz.

Analizi yapılan elementlerden Cr'nin, örnek alınan tüm aylarda özellikle 10-15 km mesafesindeki topraklarda diğer mesafelerdeki topraklara göre istatistiksel olarak daha düşük konsantrasyonlarda olduğu, diğer mesafeler arasında ise istatistiksel olarak önemli bir fark olmadığı saptanmıştır. Her iki bitkinin yapraklarındaki Cr'nin, örnek alınan tüm ay ve mesafeler göze alındığında, herhangi bir aya, yöne veya mesafeye göre bir değişim göstermediği, konsantrasyonlardaki değişimlerin ay, yön ve mesafeden bağımsız olarak gerçekleştiği saptanmıştır. Ayrıca her iki türün yaprak örneklerindeki Cr'nin örnek alınan bitki topraklarıyla korelasyon göstermediği de saptanmıştır. Sugözü Termik Santrali'nin bacalarından çıkan kirletici gazların örnek alınan bitki topraklarında Cr beslenmesi açısından olumsuz bir durum oluşturmadığını,

yapraklarda oluşan stres parametrelerinin Cr eksikliğinden-fazlalığından etkilenmediğini söyleyebiliriz.

Ni'nin, örnek alınan tüm aylarda 10 km mesafesindeki topraklarda istatistiksel olarak daha yüksek olduğu saptanmıştır. Ancak her iki bitkinin yapraklarında da örnek alınan tüm ay ve mesafeler göze alındığında, analizi yapılan elementlerden Ni'nin 10 km mesafede istatistiksel olarak önemli ölçüde azaldığı görülmektedir. Örnek alınan tüm ay ve mesafeler göze alındığında, her iki türün yapraklarındaki Ni konsantrasyonlarındaki değişimlerin örnek alınan bitki topraklarıyla pozitif korelasyon göstermediği saptanmıştır. Toprak ve yaprak örneklerinden elde edilen veriler değerlendirildiğinde, Ni alınımını engelleyecek herhangi bir veriye (pH ve diğer metaller bakımından) rastlanmamıştır. Sugözü Termik Santrali'nin bacalarından çıkan kirletici gazların örnek alınan bitki topraklarında Ni beslenmesi açısından olumsuz bir durum oluşturmadığını, yapraklarda oluşan stres parametrelerinin Ni eksikliğinden-fazlalığından etkilenmediğini söyleyebiliriz.

Analizi yapılan elementlerden Pb ve Cd'nin örnek alınan tüm aylarda özellikle 2.5-5 km mesafesindeki topraklarda diğer mesafelerdeki topraklara göre istatistiksel olarak daha yüksek konsantrasyonlarda olduğu, diğer dönemler arasında ise istatistiksel olarak önemli bir farkın olmadığı saptanmıştır. Bu durum örnek alınan bitki yapraklarıyla da korelasyon göstermektedir. Bu ağır metallerin, 2.5-5 km mesafeden örnek alınan bitki yapraklarında bitki topraklarıyla korelasyon gösterecek şekilde daha yüksek konsantrasyonlarda bulunması, bitkilerde bu ağır metallerin toksisitesine bağlı olarak stresin oluşması beklentisini yaratmaktadır. SO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> emisyonlarının yoğun olduğu yerlerde bu metallerin toprak kontaminasyonuna neden olduğu ve bitkilerin yapraklarında birikerek strese yol açtığı, bunun sonucunda prolin, SOD, askorbik asit, SH-bileşikleri gibi savunma mekanizmasında rol alan antioksidanların ve lipid peroksidasyonunun arttığı saptanmıştır (Miller ve Mcfee, 1983; Pukacka ve Pukacki, 2000). Örnek alınan bitki yapraklarında 2.5-5 km mesafede stres belirtilerinin ortaya çıktığı açıktır. Ancak bu durumun toprakta oluşması muhtemel bir ağır metal kirliliğinden kaynaklandığını ileri sürmek için elde edilen veriler daha ayrıntılı değerlendirilmelidir. Öncelikle toprakta Pb veya Cd kontaminasyonu oluşmaması

için belirlenen sınır değerleri ele almak gerekir. Sınır değerler; pH'sı 5-6 olan topraklarda Pb için 50 ppm, Cd için 1 ppm dir. Bu değerler pH>6 olduğunda ise Pb için 300 ppm'e, Cd için 3 ppm'e çıkmaktadır (Özkul, 2008; Kloke, 1981). Bu çalışmada elde edilen tüm veriler göze alındığında, Pb'nin bitki topraklarındaki değerleri 10-30 ppm arasında değişmektedir, örneğin en yoğun olduğu kuzeydoğu yönünde ortalaması 21.76 ppm'dir, yine en yoğun olduğu 5 km mesafede ortalaması 24.80 ppm'dir. Cd'nin ise bitki topraklarındaki değerleri 0.2-2 ppm arasında değişmektedir, örneğin en yoğun olduğu kuzeydoğu yönünde ortalaması 1.28 ppm'dir, yine en yoğun olduğu 5 km mesafede ortalaması 1.38 ppm'dir. Çalışma alanındaki toprakların pH'sı ise 7.2-7.3 arasında değişmektedir. Sonuç olarak 2.5-5 km'de oluşan stres belirtilerinin tamamen Pb ve Cd den kaynaklandığını söylemek mümkün değildir. Pb ve Cd'nin bitki için bilinen hiçbir yararının olmadığı ve eser miktarlarda bile bitkiler için toksik olduğunu kabul etsek bile (Balsberg Pahlsson, 1989), örnek alınan bitki yapraklarında saptanan konsantrasyonları daha önce yapılan çalışmalarda belirtilen konsantrasyonlardan daha düşüktür (Alloway, 1995; Jackson ve Alloway, 1991; Bergmann, 1992). Örneğin Bergmann (1992), normal koşullarda bitki türüne bağlı olarak kuru maddede yaklaşık olarak 2-7 ppm arasında Pb bulunmasının bitkilerde stres belirtilerini ortaya çıkarmadığını belirtmektedir. Bu çalışmada elde edilen verilere göre, Pb'nin bitki yapraklarında en yoğun olduğu kuzeydoğu yönünde ortalaması 1.59 ppm'dir, yine en yoğun olduğu 5 km mesafede ortalaması 1.38 ppm'dir. Ayrıca Alloway (1995), normal koşullarda bitki türüne göre kuru maddede yaklaşık olarak 0.1-1 ppm arasında Cd bulunmasının bitkilerde stres belirtilerini ortaya çıkarmadığını belirtmektedir. Bu çalışmada elde edilen verilere göre, Cd'nin bitki yapraklarında en yoğun olduğu kuzeydoğu yönünde ortalaması 0.18 ppm'dir, yine en yoğun olduğu 2.5 km mesafede ortalaması 0.18 ppm'dir. Ancak, Pb ve Cd'nin fazla olduğu 2.5-5 km mesafeden alınan topraklarla korelasyon gösterecek şekilde bitki yapraklarında arttığı ve stres belirtilerinin ortaya çıktığı da açıktır. Bu nedenle bitki yapraklarında gözlenen stres belirtilerinin toprakta oluşması muhtemel bir ağır metal kirliliğinden kaynaklanmadığını söylemekte doğru değildir. Sonuç olarak; santralin bacalarından salınan kirletici gazların 15 km yarıçapındaki örneklik alan içerisinde, örnek alınan bitki topraklarında Pb ve

Cd beslenmesi açısından olumsuz bir durum oluşturabileceği, yapraklarda oluşan stres parametrelerinin topraktaki Pb ve Cd fazlalığından kaynaklanabileceğini söyleyebiliriz.

Örnek alınan tüm ay ve mesafeler göze alındığında, her iki türden alınan yapraklardaki stoma yoğunluğu 2.5-5 km mesafede istatistiksel olarak önemli ölçüde azalmıştır. Yapılan çalışmalarda, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> ve CO<sub>2</sub> gibi kirletici gaz emisyonunun yüksek olduğu ortamlarda, savunma mekanizması olarak bitki yapraklarında stoma yoğunluğunun azaldığı belirtilmektedir (Deniz ve Düzenli, 2006; Robinson ve Mansfield, 1998; Yunus ve ark., 1982; Mejnartowicz ve Lukasiak, 1985). Sonuç olarak elde edilen tüm verileri değerlendirdiğimizde; Sugözü Termik Santrali'ne 2.5-5 km mesafede kirletici gazların daha yoğun olması ve aynı mesafelerde örnek alınan her iki türün yapraklarında stoma yoğunluğunun istatistiksel olarak önemli ölçüde azalması, stoma yoğunluğunda gözlenen azalmanın kirletici gaz konsantrasyonundan kaynaklandığını söyleyebiliriz.

Örnek alınan tüm ay ve mesafeler göze alındığında, her iki bitki türünün yapraklarında toplam klorofil, K<sub>la</sub> ve K<sub>lb</sub> konsantrasyonu, 2.5-5 km mesafede istatistiksel olarak önemli ölçüde artmıştır. Ancak örnek alınan tüm ay ve mesafeler göze alındığında, her iki türden alınan yapraklardaki K<sub>la</sub>/K<sub>lb</sub> oranı 2.5-5 km mesafede önemli ölçüde azalmıştır. 2.5-5 km mesafeden alınan yapraklarda hem K<sub>la</sub> hem de K<sub>lb</sub> artmasına rağmen K<sub>la</sub>/K<sub>lb</sub> oranı azalmıştır. K<sub>la</sub>/K<sub>lb</sub> oranı 1, 2.5, 5, 10 ve 15 km'de sırasıyla 3.52, 3.10, 2.78, 3.77 ve 4.28'dir. K<sub>la</sub>/K<sub>lb</sub> oranındaki azalmanın, K<sub>la</sub>'da görülen artışa göre K<sub>lb</sub>'deki artışın daha fazla olmasından kaynaklandığı açıktır. Bu durum SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> ve CO<sub>2</sub> gibi kirletici gaz emisyonunun yüksek olduğu ortamlarda yetişen bitkilerin yapraklarında K<sub>lb</sub>'nin K<sub>la</sub>'dan daha çok etkilendiğini ve belki de K<sub>lb</sub>'nin strese karşı savunma mekanizmasında bir indikatör gibi görev yaptığını düşündürmektedir. Yapılan çalışmaların çoğu, kirletici gaz emisyonunun yüksek olduğu ortamlarda yetişen bitkilerde strese bağlı olarak yapraklardaki klorofil konsantrasyonunun azaldığını belirtmektedir (Alonso ve ark., 2001; Kong ve ark., 1999; Lin ve Wang, 2002; Schwanz ve Polle, 2001; Singh ve ark., 1985; Gielen ve ark., 2000; Penuelasa ve ark., 1995; Hongfa ve ark., 2000; Kong ve ark., 1999; Agrawal ve Agrawal,

1989). Bununla birlikte, kirletici gaz emisyonunun yüksek olduğu ortamlarda yetişen bitkilerde yapraklardaki klorofilin bu durumdan etkilenmediğini ve değişmeden kaldığını (Hodges ve ark., 2000; Eamus ve ark., 1995) veya arttığını (Fulford ve Murray, 1990) gösteren çalışmalarda yapılmıştır. Bazı çalışmalarda ise, kirletici gaz emisyonunun yüksek olduğu ortamlarda yetişen bitkilerin yapraklarında K<sub>la</sub>/K<sub>lb</sub> oranının azaldığı belirtilmektedir (Hongfa ve ark., 2000; Chettria ve ark., 1998; Deniz ve Düzenli, 2006). Sonuç olarak elde edilen tüm verileri değerlendirdiğimizde; Sugözü Termik Santrali'ne 2.5-5 km mesafede kirletici gazların daha yoğun olması ve aynı mesafelerde örnek alınan her iki türün yapraklarında klorofil konsantrasyonunun istatistiksel olarak önemli ölçüde artması, klorofil konsantrasyonunda gözlenen artışın kirletici gaz konsantrasyonundan kaynaklandığını söyleyebiliriz. Ayrıca kirletici gaz emisyonunun K<sub>lb</sub>'ye olan etkisinin K<sub>la</sub>'ya olan etkisinden daha fazla olduğunu da söyleyebiliriz.

Karotenoidin, örnek alınan tüm ay ve mesafeler göze alındığında, her iki türden alınan yapraklarda konsantrasyon değişimlerinin paralellik gösterdiği, 2.5-5 km mesafede istatistiksel olarak önemli ölçüde arttığı saptanmıştır. Yapılan çalışmalarda, kirletici gaz emisyonunun yüksek olduğu ortamlarda bitki yapraklarında karotenoid konsantrasyonunun arttığı belirtilmektedir (Burton ve Ingold, 1984; Gielen ve ark., 200; Yanyun ve ark., 1991). SO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> gibi kirletici gazlar ksantofil döngüsünü aktive etmekte ve karotenoid konsantrasyonunun artmasına yol açmaktadır (Singh ve ark., 1985). Bu tez çalışmasında elde edilen veriler de, SO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> gibi kirletici gazların emisyonunun yüksek olduğu 2.5-5 km mesafeden örnek alınan her iki türün yapraklarında karotenoid konsantrasyonunun arttığını göstermektedir.

Prolinin, örnek alınan tüm ay ve mesafeler göze alındığında, her iki türden alınan yapraklarda konsantrasyon değişimlerinin paralellik gösterdiği, 2.5-5 km mesafede istatistiksel olarak önemli ölçüde arttığı saptanmıştır. Yapılan çalışmalarda, kirletici gaz emisyonunun yüksek olduğu ortamlarda bitki yapraklarında antioksidatif savunma mekanizmasının bir elemanı olarak prolin miktarının arttığı belirtilmektedir (Lichtenthaler ve Buschmann, 1984; Bohnert ve Sheveleva, 1998). Bu tez çalışmasında elde edilen veriler de, Sugözü Termik

Santrali'ne 2.5-5 km mesafede SO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> gibi kirletici gaz emisyonunun yüksek olduğunu ve buradan alınan her iki türün yapraklarında prolin konsantrasyonunun arttığını göstermektedir.

Lipid peroksidasyonunun, örnek alınan tüm ay ve mesafeler göze alındığında, her iki türden alınan yapraklarda konsantrasyon değişimlerinin paralellik gösterdiği, 2.5-5 km mesafede istatistiksel olarak önemli ölçüde arttığı saptanmıştır. Yapılan çalışmalarda, kirletici gaz emisyonunun yüksek olduğu ortamlarda bitki yapraklarında oluşan stresin bir belirtisi olarak lipid peroksidasyonunun arttığı belirtilmektedir (Shimazaki ve ark., 1980; Peiser ve ark., 1982). Bu tez çalışmasında elde edilen veriler de, Sugözü Termik Santrali'ne 2.5-5 km mesafede SO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> gibi kirletici gaz emisyonunun yüksek olduğunu ve buradan alınan her iki türün yapraklarında lipid peroksidasyonunun arttığını göstermektedir.

SH-bileşiklerinin, örnek alınan tüm ay ve mesafeler göze alındığında, her iki türden alınan yapraklarda konsantrasyon değişimlerinin paralellik gösterdiği, 2.5-5 km mesafede istatistiksel olarak önemli ölçüde arttığı saptanmıştır. Yapılan çalışmalarda, kirletici gaz emisyonunun yüksek olduğu ortamlarda bitki yapraklarında antioksidatif savunma mekanizmasının bir elemanı olarak SH-bileşikleri konsantrasyonunun arttığı belirtilmektedir (Deniz ve Düzenli 2006; Asada, 1992; Smith ve ark., 1985; Foyer, 1993). Bu tez çalışmasında elde edilen veriler de, Sugözü Termik Santrali'ne 2.5-5 km mesafede SO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> gibi kirletici gaz emisyonunun yüksek olduğunu ve buradan alınan her iki türün yapraklarında SH-bileşikleri konsantrasyonunun arttığını göstermektedir.

Toplam askorbik asidin, örnek alınan tüm ay ve mesafeler göze alındığında, her iki türden alınan yapraklarda konsantrasyon değişimlerinin paralellik gösterdiği, 2.5-5 km mesafede istatistiksel olarak önemli ölçüde arttığı ve indirgenmiş askorbik asit konsantrasyonunun da toplam askorbik asit konsantrasyonuna paralel olarak arttığı saptanmıştır. SO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> gibi kirletici gazlar bitkide serbest radikallerin oluşmasına yol açmakta, bu radikallerin çoğu için indirgeyici olan askorbik asit, kloroplastlardaki askorbat-glutatyon döngüsü ile oluşan oksidatif stresin neden olacağı zararı azaltmaktadır (Foyer ve Halliwell, 1976). Askorbat; ya doğrudan serbest oksijen radikallerini, enzim katalizitleri

olsun ya da olmasın etkisiz hale getirmekte veya dolaylı olarak tokoferol döngüsüyle indirgemektedir. Singlet oksijen ile reaksiyona girerek önemli makromolekülleri oksidatif hasara karşı korumaktadır. Askorbik asit ayrıca diğer bir antioksidan olan E vitamininin (tokoferol) de indirgenmiş durumda kalmasını sağlamaktadır (Foyer, 1993; Asada, 1992). Ayrıca örnek alınan tüm ay ve mesafeler göze alındığında, her iki türden alınan yapraklardaki İnd AsA/Oks AsA oranı 2.5-5 km mesafede istatistiksel olarak önemli ölçüde artmıştır. İnd AsA/Oks AsA oranı 1, 2.5, 5, 10 ve 15 km'de sırasıyla 2.39, 3.95, 3.63, 2.34 ve 2.05'tir. SO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> gibi kirletici gaz emisyonunun yüksek olduğu ortamlarda İnd AsA/Oks AsA oranının arttığı daha önce yapılan çalışmalarda da belirtilmiştir (Lin ve Wang, 2002; Deniz ve Düzenli, 2006). Elde edilen verilerin tümü değerlendirildiğinde, İnd AsA/Oks AsA oranının artması indirgenmiş askorbik asidin artmasından ve okside askorbik asidin fazla değişmeden kalmasından kaynaklanmıştır. Kirletici gaz emisyonunun fazla olduğu ortamlarda askorbik asidin arttığı daha önce yapılan çalışmalarda belirtilmiştir (Agrawal ve ark., 2003; Agrawal ve Deepak, 2003; Chen ve ark., 1990; Keller ve Schwanger, 1977). Bitki de stres durumunda oluşan serbest radikallerden süperoksit, kendiliğinden olan bir dizmutasyonla ya da SOD enzimi aracılığıyla hidrojen perokside dönüşmektedir (Asada, 1992). Oluşan hidrojen peroksit ise askorbat ya da askorbat peroksidaz enzimi aracılığıyla etkisiz hale getirilmektedir. Böylece askorbik asidin indirgenmiş formları olan MDHA ve DHA oluşmaktadır. MDHA, NADH bağımlı MDHA redüktaz, DHA ise GSH'a bağımlı DHA redüktaz tarafından tekrar indirgenmiş askorbik aside dönüştürülmektedir. Bu yolla muhtemelen fenton reaksiyonuna katılacak olan hidrojen peroksidin detoksifikasyonu sağlanmaktadır. Yani askorbik asit antioksidan olarak görev yaptığında yükseltgenerek okside askorbik aside dönüşmektedir. Sonuçta, stres sırasında toplam olarak askorbik asidin artması bununla birlikte indirgenmiş ve okside formlarının da artması gayet mantıklı görülmektedir. Tüm dönemler ve mesafeler dikkate alındığında, SO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> gibi kirletici gazların emisyonunun yüksek olduğu 2.5-5 km mesafede örnek alınan her iki türün yapraklarında toplam ve indirgenmiş askorbik asit konsantrasyonu artmış, okside askorbik asit neredeyse değişmeden kalmıştır. Bu çalışmada elde edilen veriler, okside askorbik asidin toplam askorbik aside paralel

olarak artmamasının fizyolojik nedenlerini tam olarak açıklamak için yeterli değildir. Bununla birlikte, kirletici gazların daha yoğun olduğu ortamlarda bitki yapraklarında oluşan strese karşı, antioksidatif savunma mekanizmasının bir elamanı olarak askorbik asidin daha etkin işlev görebilmesi için, bitki DHA redüktaz veya MDHA redüktaz gibi enzimlerin aktivitelerini arttırarak okside askorbik asidi daha etkin bir şekilde indirgeyerek rejenerasyonunu sağlamış olabilir. Elde edilen tüm verileri değerlendirdiğimizde; Sugözü Termik Santrali'ne 2.5-5 km mesafede kirletici gazların daha yoğun olması ve aynı mesafelerde örnek alınan her iki türün yapraklarında askorbik asit konsantrasyonunun istatistiksel olarak önemli ölçüde artması, askorbik asit konsantrasyonunda gözlenen artışın kirletici gaz konsantrasyonundan kaynaklandığını söyleyebiliriz. Ayrıca kirletici gaz emisyonunun İnd AsA'ya olan etkisinin Oks AsA'ya olan etkisinden daha fazla olduğunu da söyleyebiliriz.

Çözünür proteinin, örnek alınan tüm ay ve mesafeler göze alındığında, her iki türden alınan yapraklarda konsantrasyon değişimlerinin paralellik gösterdiği, 2.5-5 km mesafede istatistiksel olarak önemli ölçüde arttığı saptanmıştır. Yapılan çalışmalarda, kirletici gaz emisyonunun yüksek olduğu ortamlarda bitki yapraklarında çözünür proteinin arttığı belirtilmektedir (Shimazaki ve ark., 1980; Peiser ve ark., 1982; Zhou ve Abaraha, 2007; Pierre ve Queiroz, 1988). Strese maruz kalan bitkilerde çözünür protein konsantrasyonunun artması bitkide oluşan stresin biyolojik bir göstergesi olarak kullanılmaktadır. Bununla birlikte daha kesin sonuç vermesi açısından, stres durumunda prolin konsantrasyonunun artması stres tespiti için öncelikli olarak ele alınır. Sonuçta prolin enerji ve nitrojen kaynağı olarak strese karşı savunma mekanizmasında önemli rol oynar. Ayrıca hidroksil radikalini etkisiz hale getirmek suretiyle membrandaki protein yapılarını stabilize ederek denatürasyonunu önler (Aspinall ve Paleg, 1981). Bu tez çalışmasında elde edilen veriler, Sugözü Termik Santrali'ne 2.5-5 km mesafede SO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> gibi kirletici gaz emisyonunun yüksek olduğunu ve buradan alınan her iki türün yapraklarında prolin konsantrasyonunun artmasının çözünür protein konsantrasyonunun artmasını önleyemediği göstermektedir.

SOD konsantrasyonunun, örnek alınan tüm ay ve mesafeler göze alındığında, her iki türden alınan yapraklarda konsantrasyon değişimlerinin

paralellik gösterdiği, 2.5-5 km mesafede istatistiksel olarak önemli ölçüde arttığı saptanmıştır. Yapılan çalışmalarda, kirletici gaz emisyonunun yüksek olduğu ortamlarda bitki yapraklarında antioksidatif savunma mekanizmasının bir elemanı olarak SOD konsantrasyonunun arttığı belirtilmektedir (Shimazaki ve ark., 1980; Alanso ve ark., 2001; Tanaka ve Sugahara, 1980; Hodges ve Forney, 2000; Richardson ve ark., 1989; Schwanz ve Polle, 2001). Bu tez çalışmasında elde edilen veriler de, Sugözü Termik Santrali'ne 2.5-5 km mesafede SO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> gibi kirletici gaz emisyonunun yüksek olduğunu ve buradan alınan her iki türün yapraklarında SOD konsantrasyonunun arttığını göstermektedir.

SO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> gibi kirletici gaz emisyonunun bitkide oluşturacağı stresin boyutu; hava kirleticisinin yoğunluğu, bitkinin bu kirleticiye maruz kalma süresi, genetik yapısı ayrıca ışık, toprak, sıcaklık ve mineral besinler gibi birçok faktöre bağlı olarak değişmektedir (Lee, 2000; Hutchinson, 1984). Bitkilerin hava kirliliğine karşı toleransını birçok mekanizma etkilemektedir. Bu mekanizmalar bitkinin morfolojik ve anatomik özelliklerini; köklerin derinliği, bitkinin olgunluğu, stoma sayısı ve pozisyonu, yaprak dökücü veya her dem yeşil olması, tek yıllık ya da çok yıllık olması, yaprak kütikulasının kalınlığı ve büyüme formlarını kapsamaktadır (Taylor ve Pitelka, 1992; Tingey ve Anderson, 1991; Darrall, 1989). Buna karşın bitkiler stres faktörlerine karşı geliştirdikleri morfolojik ve fizyolojik adaptasyonlarla stresin zararlı etkisini azaltmaya çalışmaktadır. Bu tez çalışması sonucu elde edilen veriler; Sugözü Termik Santrali'nin bacalarından çıkan SO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> gibi kirletici gazların özellikle doğu yönünden alınan bitki türlerinin yapraklarında stres parametrelerinin oluşmasına neden olduğunu göstermektedir. Ayrıca stres zararları daha çok 2.5-5 km mesafede ortaya çıkmaktadır. Kirletici gazların etkisi maksimum emisyon mesafesinden daha uzak mesafelerde de hissedilmektedir. *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. ve *Morus alba* L. türlerinin her ikisinde de stres durumunda aynı savunma mekanizmaları devreye girmektedir. 2.5-5 km mesafede kirletici gaz emisyonunun artmasının bitki yapraklarında oluşturduğu stres sonucunda, antioksidatif savunma mekanizmasının öğelerinin devreye girmesiyle, örnek alınan her iki türün yapraklarında stoma yoğunluğu ve K<sub>la</sub>/K<sub>lb</sub> oranı azalmış, toplam klorofil, klorofil a, klorofil b, karotenoidler, prolin, Sh-bileşikleri,

askorbik asit, İnd AsA, Oks AsA, İnd AsA/Oks AsA oranı ve SOD artmıştır. Ayrıca stres hasarı sonucunda lipid peroksidasyonu ve çözümlü protein de artmıştır. Örnek alınan bitki türlerinden *Morus alba* L.'de prolin, çözümlü protein, SOD ve lipid peroksidasyonu gibi stres parametreleri *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh.'e göre daha fazla artış göstermiştir. Termik santral kaynaklı kirletici gazların örnek alınan bitki türlerine ait yaprak örnekleriyle analizi yapılan stres parametreleri üzerine etkileri Ek 39'da gösterilmiştir. Ek 39'da görüldüğü gibi *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh., *Morus alba* L.'ye göre strese karşı kısmen daha dirençlidir.

Termik santral kaynaklı hava kirleticilerinin yol açacağı zararların önlenmesi için, öncelikle hava kirleticilerinin kontrol altına alınması gerekmektedir. Ancak oluşması muhtemel kirliliğe karşı burada yapılan tarımsal faaliyetleri en aza indirmek yararlı olacaktır. Bu tarz bölgelerde her yıl düzenli olarak ürün zararları değerlendirilmeli, ekimi yapılan bitki türlerinin stres mekanizmaları araştırılmalı, strese karşı dayanıklı türler tespit edilmeli ve düzenli olarak toprak analizleri yapılmalıdır.

## KAYNAKLAR

- AGRAWAL M. and AGRAWAL S.B., 1989. Phytomonitoring of air pollution around thermal power plant. *Athmospheric Environment*, 23: 763-773.
- AGRAWAL M. and AGRAWAL S.B., 2000. Effects of Air Pollution on Plant Diversity. Shashi Bhusman Agrowall. *Environmental Pollution and Plant Responses*. CRC Press LLC. s. 137 – 152.
- AGRAWAL M., DEEPAK SS., 2003. Physiological and biochemical responses of two cultivars of wheat to elevated levels of CO<sub>2</sub> and SO<sub>2</sub>, singly and in combination. *Environmental Pollution*, 72: 198-197.
- AGRAWAL M., SINGH B., RAJPUT M., MARSHALL F., BELL, J N B., 2003. Effect of air pollution on periurban agriculture: a case study. *Environmental Pollution*, 126: 323-329.
- AKMAN Y., KÜÇÜKÖDÜK M., DÜZENLİ S., TUĞ G.N., 2001. Bitki fizyolojisi. Ankara: 764s.
- ALANSO, R., ELVIRA, S., CASTILLO, F.J. and GIMENO, B.S, 2001. Interactive effects of ozone and drought stress on pigments and activities antioxidative enzymes in *Pinus halepensis*. *Plant, Cell and Environment* , 24, 905-916.
- ALLOWAY B.J., 1995. Cadmium. In: Alloway B.J., eds, *Heavy metals in soils*. Soil Sci. Soc.Am. Blackie, London, 49: 122-152.
- ARNON, D.I.: 1949, 'Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*'. *Plant Physiology*, 24: 1-15.
- ASADA K., KISO K., 1973. Initiation of aerobic oxidation of sulfite by illuminated spinach chloroplast. *Eur. J. Biochem.*, 33: 253-257.
- ASADA K., TAKAHASHI M., TANAKA K., NAKANO Y., 1977. Formation of active oxygen and its fate in chloroplast. In: Hayaishi O., Asada K., eds, *Biochemical and medical aspect of active oxygen*. Scientific Societies Press, Tokyo: 45-63.
- ASADA, K., 1992. Ascorbate peroxidase - hydrogen peroxide-scavenging enzyme in plants. *Physiol. Plant.*, 85: 235-241.

- ASPINALL, D. and PALEG L.G., 1981. Proline Accumulation, Physiological Aspects. In: The Physiology and Biochemistry of Drought Resistance in Plants, Paleg, L.G. and D. Aspinall (Eds.). Academic Press, New York, pp: 206-240.
- ATIMTAY, A.T., 2003. A global outlook to the carbon dioxide emissions in the world and emission factors of the thermal power plants in Turkey. *Water, Air and Soil Pollution*, 3: 325-335.
- BABA, A., 2003. Geochemical Assessment of Environmental Effects of Ash from Yatağan Thermal Power Plant. *Water, Air and Soil Pollution*, 144: 3–18.
- BABA, A., KAYA A., 2004. Leaching characteristics of fly ash from thermal power plants of Soma and Tunçbilek, Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, 91: 171-181.
- BALSBERG PAHLSSON A., 1989. Toxicity of heavy metals (Zn, Cu, Cd, Pb) to vascular plants. *Water Air Soil Pollution*, 47: 287-319.
- BATES, L.S., WALDREN, R.P. ve TEARE, I.D., 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil*. 39, 205-207 .
- BEAUMONT, F., JOUVC, H.M., CAGNAN, J., GILLARD, J., PELMENT, J., 1990. Purification and properties of a catalase from potato tubers (*Solanum tuberosum*). *Plant Sci.*, 72:19-26.
- BERGMANN W., 1992. Nutritional Disorders of Plants: Development, Visual and Analytical Disagnosis. Gustav Fischer Verlag Jena, Stuttgart: 741.
- BERSIN, T., 1950. Die Phytochemie Des Schwefels. *Adv. Enzymol.*, 10: 223-323.
- BOHNERT, H.J and SHEVELEVA, E., 1998. Plant stress adaptations making metabolism move. *Current Opinion in Plant Biology*, 1: 267-277.
- BOLSINGER M., FLUCKIGERW., 1989. Ambient air pollution induced changes in amino acid pattern of phloem sap in host plants in relevance to applied infestation. *Environ. Pollut.*, 56: 209-216.
- BOWLER, C., VAN MONTAGUE, M., INZÉ, D., 1992. Superoxide dismutase and stress tolerance. *Ann Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.*, 43:83-116.

- BRADFORD M.M., 1976. A rapid and sensitive method for quantitation of microgram quantities protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Anal Biochem* 72: 248-254.
- BRADLEY, D.E., MINN, D.B., 1992. Singlet oxygen oxidation of foods. *Cat. Rev. Food Sci. Nutri.*, 31: 211-236.
- BREMNER, J.M., 1965. Total nitrogen, pp.1149-1178. In: C.A. Black (ed.) *Methods of Soil Analysis, Part 2, Agronomy No 9*. American Society of Agronomy, Madison WI.
- BROT, N. AND WEISSBACH, H., 1982. The biochemistry of methionine sulfoxide residues in proteins. *Trends Biochem. Sci.*, 7:137-139.
- BURTON, G.W., INGOLD, K.U., 1984.  $\beta$ -carotene: an unusual type of lipid antioxidant. *Science*. 224:569-573.
- BYTNEROWICZ A., GRULKE N.E., 1992. Physiological effects of air pollutants on western trees. *In: Olson R.K., Binkley D., Bohm M., eds, The response of western forests to air pollution*. Springer-Verlag, New York: 183-232.
- CAKMAK, I. and MARSCHNER, H., 1992. Magnesium deficiency and high light intensity enhance activities of superoxide dismutase, ascorbate peroxidase and glutathione reductase in bean leaves. *Plant Physiology*, 98: 1222-1227.
- CAKMAK, I., 1994. Activity of ascorbate-dependent  $H_2O_2$ -scavenging enzymes and leaf chlorosis are enhanced in magnesium and potassium deficient leaves, but not in phosphorus deficient leaves. *J. Expt. Bot.*, 45:1259-1266.
- CAKMAK, I., MARSCHNER, H., 1988. Enhanced superoxide radical production in roots of zinc-deficient plants. *J. Expt. Bot.*, 39:1449-1460.
- CHEN, G.X., ASADA, K., 1989. Ascorbate peroxidase in tea leaves - occurrence of 2 isozymes and the differences in their enzymatic and molecular properties. *Plant and Cell Physiology.*, 30:987-998.
- CHEN YM., LUCAS PW., WELLBURN AR., 1990. Relative relationship between foliar injury and change in antioxidants levels in red and Norway spruce exposed to acidic mists. *Environmental Pollution*, 69: 1-15.

- CHEATTRIA, M.K., COOKA, C.M., VARDAKAA, E., SANWIDISA, T., LANARASA, T., 1998. The effect of Cu, Zn and Pb on the chlorophyll content of the lichens *Cladonia convulata* and *Cladonia rangiformis*. *Environmental and Experimental Botany*, Volume 39, Issue 1, Pages 1-10.
- CHICHIRICCO, G., CERU, M.P., D'ALESSANDRO, A., ORATORE, A., AVIGLIANO, L., 1989. Immunohistochemical localisation of ascorbate oxidase in *Cucurbita pepo* medullosa. *Plant Sci.*, 64:61-66.
- CONSTANTINE, D.S., CONSTANTINA, I.C., GEORGE A.P., 2004. Enrichment of PAHs and heavy metals in soils in the vicinity of the lignitr-fired power plants of West Macedonia (Greece). *The Science of the Total Environment*, 2004: 135-146.
- COVELLO P.S., CHANG A., DUMBROFF E.B., THOMPSON J.E., 1989. Inhibition of PSII precedes thylakoid membrane lipid peroxidation in bisulfite-treated leaves of *Phaseolus vulgaris*. *Plant Physiol.*, 90: 1492-1497.
- CRAM, W.J., 1990. Uptake and transport of sulfate. *In: Renenberg H., Brunold C., DeKok L.J., Stulen I., eds, Sulfur nutrition and sulfur assimilation in higher plants. Fundamental, Environmental and Agriculture Aspects*, SPB Acad. Publ., The Hague: 3-11.
- CREISSEN, G., EDWARDS, E.A., MULLINEAUX, P., 1994. Glutathione reductase and ascorbate peroxidase. *In: Foyer C.H., Mullineaux P.M., eds, Causes of photooxidative stress and amelioration of defence systems in plants*. CRC Press, Boca Raton:343-364.
- CROOKE W.M., 1956. Effect of soil reaction on uptake of nickel from a serpentine soil. *Soil Sci.*, 81: 269-276.
- DARRALL, N.M., 1989. The effect of air pollutants on physiological processes in plants. *Plant Cell Environ.*, Volume 12, Issue 1, Pages 1-30.
- DAVIES, K.J.A., 1987. Protein damage and degradation by oxygen radicals. I General aspects. *J. Biol. Chem.*, 162:9895-9901.

- DE KOK L.J., 1990. Sulfur metabolism in plants exposed to atmospheric sulfur. *In*: Renenberg H., Brunold C., DeKok L.J., Stulen I., eds, Sulfur nutrition and sulfur assimilation in higher plants. Fundamental, Environmental and Agriculture Aspects, SPB Acad. Publ., The Hague: 111-130.
- DENİZ, M. and DUZENLİ S., 2006. The effect of refinery pollution on non-enzymatic foliar defense mechanisms in four evergreen plant species in Turkey. *Acta Physiol Plant.*, 29:71-79.
- DÜZENLİ, S., 1984. Bazı asma tür ve çeşitlerinin stoma yapıları ve asetil salisilik asitin stoma hareketlerine etkisi üzerinde araştırmalar (Doktora Tezi), Ank. Üniv. Zir. Fak., 79s.
- EAMUS D., DUFF G.A., BERRYMAN C.A., 1995. Photosynthetic responses to temperature, light flux-density, CO<sub>2</sub> concentration and vapour pressure deficit in *Eucalyptus tetrodonta* grown under CO<sub>2</sub> enrichment. *Environmental Pollution*, 90 (1): 41-49
- ELSTNER, E.F., 1991. Mechanisms of oxygen activation in different compartments of plant cells *In*: Active oxygen/oxidative stress and plant metabolism. Pell E.J. and Steffen K.L. (eds) American Soc. Plant Physiol. Rockville, M.D. pp. 13-25. *Environmental and Experimental Botany*, 30: 343-347.
- FALLER N.N., 1968. Der Schwefeldioxydgehalt der Luft als Komponente der Schwefelversorgung der Pflanze. Diss. zur Erlangung des Doktorgrades bei der Landw. Fakultät d. Justus-Liebig-Universität, Gießen.
- FALLER N.N., 1976. Simultaneous assimilation of sulfur and carbon dioxides by some plants. *Acta. Bot. Croat.*, 35: 87-95.
- FARR, S.B. AND KOGOMA, T., 1991. Oxidative stress responses in *Escherichia coli* and *Salmonella typhimurium*. *Microbiol. Rev.*, 55:561-585.
- FENTON, H.J.H., 1894. Oxidation of tartaric acid in the presence of iron. *J. Chem. Soc.*, 65:899.
- FENTON, H.J.H., 1899. Oxidation of certain organic acids in the presence of ferrous salts. *Proc. Chem. Soc.*, 25:224.
- FERGUSON, D.L. AND BURKE, J.J., 1992. A new method of measuring protein-methionine-S-oxide reductase activity. *Plant Physiol.*, 100:529-532.

- FOYER C.H., LELANDAIS M., KUNERT K.J., 1994. Photooxidative stress in plants. *Physiol. Plant.*, 92: 696-717.
- FOYER, C., 1993. Ascorbic acid. *In: Antioxidants in Higher Plants*. R.G. Alscher and J.L. Hess (eds) CRC Press, Boca Raton, pp.31-58.
- FOYER, C.H., HALLIWELL, B., 1976. The presence of glutathione and glutathione reductase in chloroplasts: a proposed role in ascorbic acid metabolism. *Planta.*, 133:21-25.
- FRANKEL, E.N., 1985. Chemistry of free radical and singlet oxidation of lipids. *Progress in Lipid Research*. 23: 197-221.
- FRIDOVICH, I., 1970. Quantitative aspects of the production of superoxide anion radical by milk xanthine oxidase. *J. Biol Chem.*, 245:4053-4057.
- FULFORD, G.B. AND MURRAY, F., 1990. Morphogenic changes in *Eucalyptus gomphocephala* exposed to SO<sub>2</sub>. GARDNER, P.R., FRIDOVICH, I., 1991. Superoxide sensitivity of *Escherichia coli* 6-phosphogluconate dehydratase. *J. Biol. Chem.*, 266:1478-1483.
- GEBICKI, J.M. AND BIELSKI, B.H.J., 1981. Comparison of the capacities of the perhydroxyl and superoxide radicals to initiate chain oxidation of linoleic acid. *J. Am. Chem. Soc.*, 103: 7020-7022.
- GIELEN, B., JACH, M.E. and CEULEMANS, R., 2000. Effects of season, needle age and elevated atmospheric CO<sub>2</sub> on chlorophyll fluorescence parameters and needle nitrogen concentration in (*Pinus sylvestris* L.). *Photosynthetica*, 38: 13-21.
- GRIMME H., BRAUNSCHWEIG L.C., 1974. Interaction of K concentration in the soil solution and soil water content on K diffusion. *Z. Pflanzenern. Bodenk.*, 137: 147-158.
- GROSS R.E., PUGNOP., DUGGER W.M., 1970. Observation on the mechanism of copper damage in *Chlorella*. *Plant Physiol.*, 46: 183-185.
- GROSS, G.G., 1980. The biochemistry of lignification. *Adv. Bot. Res.*, 8:25-63.

- GROSS, G.G., JANSE, C., ELSTNER, E.F., 1977. Involvement of malate, monophenols and superoxide radical in hydrogen peroxide formation by isolated cell walls from horseradish. (*Armoracia lapathifolia* Gilib.) *Planta*, 136:271-276.
- GUPTA, M.C. and GHASE, A.K.M., 1986. The effects of cool-smoke pollutants on the leaf epidermal architecture in *Solanum melongena* L. variety Pusa Purple Long. *Environmental Pollution*, 41: 4, 315-321.
- GÜNDÜZ, T., 1994. Çevre Sorunları, sayfa 39-41. Bilge Yayıncılık, Ankara.
- HABER F., WEISS J., 1934. The catalytic decomposition of hydrogen peroxide by iron salts. *Proc. Royal Soc. A.*, 147:332.
- HARRISON R.M., 1998. *Understanding Our Environment: An introduction to Environmental Chemistry and Pollution*. University of Birmingham.
- HARVEY, H.H., 1989, *Acidic Precipitation Volume 4., Aquatic Processes and Lake Acidification*”, Springer-Verlag New York Inc., 189-195.
- HEATH J., MANSFIELD, T.A., 2000. *Environmental Pollution and Plant Responses*. In S.B. Agrowall, M. Agrowall, eds, *CO<sub>2</sub> enrichment of the atmosphere and the water economy of plants* . CRC Press, Boca Raton, FL: 33-43.
- HERTWIG, B., STEB, P., FEIERABEND, J., 1992. Light dependence of catalase synthesis and degradation in leaves and the influence of interfering stress conditions. *Plant Physiol.*, 100:1547-1553.
- HESKETH, H.E., 1973. *Understanding and Controlling Air Pollution*, Ann Arbor Science Publisher, Ann Arbor, MI (1973).
- HILL, J.W. and PETRUCCI, R.H., 1996. *General Chemistry*, Pentice Hall. P.518.
- HODGES, D.M., DELONG, J.M., FORNEY, C.F. and PRANGE, R.K., 1999. Improving the thiobarbituric acid-reactive-substances assay for estimating lipid peroxidation in plant tissues containnig anthocyanin and other interfering compounds. *Planta*, 207: 604-611.
- HODGES D.M., FORNEY C.F., 2000. The effects on ethylene, depressed oxygene and elevated carbon dioxide on antioxidant profiles of senescing spinach leaves. *Journal of Experimental Botany*, 51: 645-655.

- HONGFA, C., 1990. Air pollution and its effects on plants in China. *Acta Ecol. Sin.*, 10:7.
- HONGFA, C., SHU, J., SHEN, Y., GAO, Y., GAO, J. and ZHANG, L., 2000. Effects of Sulfur Dioxide and Acid Deposition on Chinese Crops. S.B. Agrowall. *Environmental Pollution and Plant Responses*. CRC Press LLC. s. 295-305.
- HUTCHINSON, T.C., 1984. Adaptation of plants to atmospheric pollutants, pp 52-67. *Origins and Development of Adaptation*. Ciba Foundation Symposium 102, PITMAN, LONDON.
- IMLAY, J.A., LINN, S. 1986. DNA damage and oxygen radical toxicity. *Science*, 240:1302-1309.
- İNCECİK, S., 1994. Hava Kirliliği Kitabı, İ.T.Ü Gümüşsuyu Mat., İstanbul: 93.
- JACKSON A.P., ALLOWAY B.J., 1991. The transfer of cadmium from sewage sludge amended soils into the edible component of food crops. *Water Air and Soil Pollution*, 57: 873-881.
- JACKSON, M.L., 1964. *Soil Chemical Analysis*. Englewood Cliffs, New Jersey.
- JACOBSON L., OERTLI J.J., 1965. The relation between iron and chlorophyll contents in chloritic sunflower leaves. *Plant Physiol.*, 31: 199.
- JONES K.C., 1991. Contamination trends in soil and crops. *Environmental Pollution*, 69: 311-326.
- JORDAN M.J., 1975. Effects of zinc smelter emissions and fire on a chestnut-oak woodland. *Ecology*, 56: 78-91.
- KAÇAR B., KATKAT A.V., 1998. Bitki Besleme. Uludağ Üniversitesi Güçlendirme Vakfı, Yayın no:127, Özsan Matbaası, Bursa: 595.
- KAJI M., YONEYAMA T., TOSTUKA T., IWAKI H., 1980. Absorption of atmospheric transfer of the nitrogen through the plants. Studies on the effects of air pollutants on plants and mechanism of phytotoxicity. *Res. Rep. Nat. Inst. Environ. Stud. Japan*, 11:51-58.
- KELLER T., SCHWANGER H., 1977. Air pollution and ascorbic acid. *European Journal of Forest pathology*, 7: 338-350.

- KESKİN, M. and MERT A., 2001. Türkiye’de Enerji ve Çevre Konusunda Yapılan Hataların Bir Laboratuvarı: Yatağan-Yeniköy-Gökova Termik Santralleri. 15-17 Kasım 2001 tarihlerinde İstanbul’da gerçekleştirilen II. Çevre ve Enerji Kongresinde bildiri olarak sunulmuştur.
- KLAPHECK, S., 1988. Homoglutathione: isolation, quantification and occurrence in legumes. *Physiol. Plant*, 74:727-732.
- KLOKE A., 1981. Sollen Richtwerte für tolerierbare Schwermetallgehalte in landwirtschaftlich/gärtnerisch genutzten Boden auch für Forstboden gelten? *Mitteil. Forstl. Bundesversuchsanstalt Wien*, 137: 241-248.
- KONG, F.X., HU, W., CHAO, S.Y., SANG, W.L., WANG, L.S., 1999. Physiological responses of the lichen *Xanthoparmelia mexicana* to oxidative stress of SO<sub>2</sub>. *Environmental and Experimental Botany*, Volume 42, Issue 3, Pages 201-209.
- KOPTSIK, G.N., KOPTSIK, S.V. and AAMLID, D., 2001. Pine Needle Chemistry Near a Large Point SO<sub>2</sub> Source in Northern Fennoscandia. *Water, Air, and Soil Pollution*, 130 (1-4): 929-934.
- KUBO A., SAJI H., TANAKA K., KONDO N., 1995. Expression of arabidopsis cytosolic ascorbate peroxidase gene in response to ozone or sulfur dioxide. *Plant Molecular Biology*, 29 (3): 479-489.
- LAHDESMÄKI P., PAKONEN T., SAARI E., LAINE K., NAVAS P., 1990. Environmental factors affecting basic nitrogen fractions in tissues of the bilberry. *Naccinium myrtillus. Holarct. Ecol.*, 13: 19-30.
- LEE, E.H., 2000. Early Detection Mechanisms of Tolerance and Amelioration of Ozone Stress in Crop Plants. S. B. Agrowall. *Environmental Pollution and Plant Responses*. CRC Press LLC. s. 45–81.
- LEWITT, J., 1980. Responses of Plants to Environmental Stresses, Volume 2, Second Edition, Academic Press, New York: 1-606, 508
- LICHTENTHALER, H.K. and WELLBURN, A.R., 1983. Determinations of total carotenoids and chlorophyll a and b of leaf extracts in different solvents. *Biochem. Soc. Transac.*, 11: 591-592.

- LICHTENTHALER, H.K., BUSCHMANN C., 1984. Das Waldsterben aus botanischer Sicht-Verlauf, Ursachen und Maßnahmen. G. Braun GmbH., Karlsruhe.
- LIN, J., JACH, M.E. and CEULEMANS, R. 2001. Stomatal density and needle anatomy of Scots pine (*Pinus sylvestris*) are affected by elevated CO<sub>2</sub>. *New Phytologist* 150: 665-674.
- LIN, J.S. and WANG, G.X., 2002. Doubled CO<sub>2</sub> could improve the drought tolerance better in sensitive cultivars than in tolerant cultivars in spring wheat. *Plant Science*, Volume 163, Issue 3, Pages 627-637.
- LINDQVIST, Y., BRANDEN, C.L., MATHEWS, F.S., LEDERER, F., 1991. Spinach glycolate oxidase and yeast flavocytochrome b<sub>2</sub> are structurally homologous and evolutionarily related enzymes with distinctly different function and flavin mononucleotide binding. *J. Biol. Chem.*, 266:3198-3207.
- LOEWUS, F.A., 1988. Ascorbic acid and its metabolic products. *In: The Biochemistry of Plants*, Vol. 14. Preiss, J. (ed) Academic Press, New York: 85-107.
- LOSCHEN, G., AZZI, A. and FLOHEßP, L., 1973. Mitochondrial H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> formation: Relationship with energy conversion. *FEBS Lett*, 33:84-88.
- LOSCHEN, G., AZZI, A., RICHTER, C., FLOHEßP, L., 1974. Superoxide radicals as precursors of mitochondrial hydrogen peroxide. *FEBS Lett*, 42:68-72.
- LOUB, W., 1975. Umweltverschmutzung und umweltschutz in naturwissenschaftlicher sicht. Verlag Franz Deuticke, Wien, 647.
- MADAMANCHI, N.R., ALSCHER, R.G., 1990. Alterations in antioxidant metabolism and associated enzymes in pea (*Pisum sativum*) exposed to sulfur dioxide. *Plant Physiology*, Volume 93, Issue 1.
- MASSAL G.I., SHVETS M.M., KONDRASHOR V.V., 1988. Amino acid metabolism in conifers in industrial pollution and eutomological invasion. *Ekologiya (USSR)*, 10: 71-74.
- MATHIS, P. AND KLEO, J., 1973. The triplet state of β-carotene and of analog polyenes of different length. *Photochem. Photobiol.*, 18:343-346.

- MCCORD, J.M. and FRIDOVICH I., 1969. Superoxide dismutase. *J. Biol. Chem.*, 244: 6049-6055.
- MCKERSIE D. B., LESHEM Y.Y., 1994. Stress and stress coping in cultivated plants. Kluwer Academic Publishers, The Netherlands: 1-180.
- MEJNARTOWICZ, L.E. and LUKASIAK, H., 1985. Level of sugars in Scots pine trees of different sensitivity to fluoride and sulphur dioxide. *European Journal of Forest Pathology*, 15: 4, 193-198.
- MENGEL, K., ÖZBEK, H., KAYA, Z. ve TAMCI, M., 1984. Bitkinin Beslenmesi ve Metabolizması. Ankara Üniversitesi Basımevi, Ankara, 590s.
- MILLERW.P., MCFEE W.W., 1983. Distribution of cadmium, zinc, copper and lead in soils of industrial northwestern Indiana. *J. Environ. Qual.*, 12 (1): 29-33.
- NICHAUS W.J.Jr., 1978. A proposed role of superoxide anion as a biological nucleophile in the deesterification of phospholipid. *Biorg. Chem.*, 7: 77-84.
- NICHOLAS D.J.D., 1961. Minor mineral nutrients. *Ann. Rev. Plant Physiol.*, 12: 63-90.
- ORTAŞ, İ., 2002. 27 Nisan 2002. Tarihinde TMMOB Maden Mühendisleri Odası Adana Şubesi Tarafında Düzenlenen Termik Santraller, Enerji ve Çevre Konulu Panelde Ziraat Mühendisler Odasının Görüşleri Olarak Doç. Dr. İbrahim ORTAŞ'ın yaptığı konuşma metni.
- ÖZKUL, C., 2008. İzmit (Kocaeli) civarında endüstrileşmenin toprak ağır metal derişimine etkisi. *Uygulamalı Yerbilimleri*, 2:1-9
- PEISER G.D., LIZADA M.C.C., YANG S.F., 1982. Sulfite-induced lipid peroxidation in chloroplast as determined by ethane production. *Plant Physiol.*, 70: 994-998.
- PENUELASA, J., FILELLAA, I., ELVIRAB, S., INCLANB, R., 1995. Reflectance assessment of summer ozone fumigated Mediterranean whipe pine seedlings. *Environmental and Experimental Botany*, Volume 35, Issue 3, Pages 299-307.
- PIERRE M., QUEIROZ O., 1988. Air pollution by SO<sub>2</sub> amplifies the effects of water stress on enzymes and total soluble proteins of spruce needles. *Physiologia Plantarum* 73 (3):412-417.

- PINHERO, R.G., RAO, M.V., PALIYATH, G., MURR, D.P. and FLETCHER, A., 1997. Changes in activities of antioxidant enzymes and their relationship to genetic and pachlobutrazal-induced chilling tolerance of maize seedlings. *Plant Physiol.*, 114: 695-704.
- POLLE A., 1996. Mehler reaction: friend of foe in photosynthesis? *Botanica Acta*, 109: 84-89.
- POLLE, A., CHAKRABARTI, K., SCHURMANN, W., RENNENBERG, H., 1990. Composition and properties of hydrogen peroxide decomposing systems in extracellular and total extracts from needles of Norway spruce (*Picea abies* L., karst). *Plant Physiol.*, 94:312-319.
- PRICE, A., LUCAS, P.W., LEA, P.J., 1990. Age dependent damage and glutathione metabolism in ozone fumigated barley: a leaf section approach. *J. Exptl. Bot.*, 41:1309-1317.
- PUKACKA S., PUKACKI P.M., 2000. Seasonal changes in antioxidant level of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) needles exposed to industrial pollution. II. Enzymatic scavengers activities. Volume 22, NO:4.
- RANIERI, A., CASTAGNA A., LORENZINI G., SOLDATINI G.F., 1997. Changes in thylakoid protein patterns and antioxidant levels in two wheat cultivars with different sensitivity to sulfur dioxide. *Environmental and Experimental Botany*, 37: 125-135
- RAUTIO, P., HUTTUNEN, S. and LAMPPU, J. 1998. Element Concentrations in Scots Pine Needles on Radical Transects Across a Subarctic Area. *Water, Air, and Soil Pollution*, 102 (3-4): 389-405.
- REDINBAUGH, M.G., WADSWORTH, G.J., SCANDALIAS, J.G. 1988. Characterization of catalase transcripts and their differential expression in maize. *Biochim. Biophys. Acta.*, 951:104-116.
- REICH, P.B., 1987. Quantifying plant response to ozone: a unifying theory, *Tree Physiology*, 3: 63.
- RENNENBERG H., 1984. The fate of excess sulfur in higher plants. *Annu. Rev. Plant Physiol.*, 35: 121-153.

- RENNENBERG, H. 1982. Glutathione metabolism and possible biological roles in higher plants. *Phytochem.*, 21:2771-2781.
- RICH, P.R., BONNER, W.D. Jr., 1978. The sites of superoxide anion generation in higher plant mitochondria. *Arch. Biochem. Biophys.*, 188:206-213.
- RICH, S., and TOMLINSON, H., 1974. Mechanisms of Ozone Injury to Plants, M. DUGGER, *Air Pollution Effects on Plant Growth*, s. 76-82.
- RICHARDSON, C.J., DI GLULIO, R.T. and TANDY, N.E., 1989. Free Radical Mediated Processes As Markers of Air pollution Stress In Trees. School of Forestry and Environmental Studies, Duke University. The National Academies Press, pp 251–260.
- RISSLER H. M., COLLAKOVA E., DELLAPENNA D., WHELAN J. and POGSON B. J., 2002. Chlorophyll Biosynthesis. Expression of a Second *Chl I* Gene of Magnesium Chelatase in Arabidopsis Supports Only Limited Chlorophyll Synthesis. *Plant Physiol*, 128: 770-779.
- RIVETTA A., NEGRINI N., COCUCCI M., 1997. Involvement of Ca<sup>2+</sup>-calmodulin in Cd<sup>2+</sup> toxicity during the early phases of radish. *Environment*, 20: 600-608.
- ROBINSON, M., MANSFIELD, T., 1998. Disturbances in stomatal behavior caused by air pollutants. *Journal of Experimental Botany*, Vol.49, 461-469.
- SAGLIO, P., 1969. Nutrition en fer de la vigne. L d'induction d'une chlorose ferrique par l'action combinee du bicarbonate et de l'orthophosphate sur deux varietes: L'une sensible et l'autre resistente. *Ann Physiol*, 11(1):27-35.
- SANDMANN G., GONZALES H.G., 1989. Peroxidative processes induced in bean leaves by fumigation with sulphur dioxide. *Environ. Pollut.*, 56: 145-154.
- SANITA DI TOPPI L., GREMIGNI P., PAWLIK-SKOWRONSKA B., PRASAD M.N.V., COBBETT C.S., 2003. Response to heavy metals in plants: A molecular approach. In: Sanita Di Toppi L., Pawlik-Skowronska B., eds, *Abiotic stresses in plants*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands: 133-156.
- SARI, A., 2003. Yumurtalık Termik Santralı ve Gerçekler. *TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası (EMO) Dergisi* sayı: 414.

- SCANDALIAS J.G., 1993. Oxygen stress and superoxide dismutase. *Plant Physiol.*, 101:7-12.
- SCANDALIAS, J.G. 1990. Response of plant antioxidant defense genes to environmental stress. *Adv. Genet.*, 28:1-41.
- SCHLICHTING, E., and BLUME, H.P., 1966. *Bodenkundliches Practicum*. Verlag Paul Porey, pp. 98-99.
- SCHULZ, H., HARTLING, S., 2001. Biochemical parameters as biomarkers for the early recognition of environmental pollution on Scots pine trees. II. The antioxidative metabolites ascorbic acid, glutathione, alpha-tocopherol and the enzymes superoxide dismutase and glutathione reductase. *Journal of Biosciences*. 56 (9-10): 767- 780.
- SCHÜTZENDÜBEL A., POLLE A., 2002. Plant responses to abiotic stresses: heavy metal-induced oxidative stress and protection by mycorrhization. *Journal of Experimental Botany*, 53: 1351-1365.
- SCHWANZ, P. and POLLE, A., 2001. Growth under elevated CO<sub>2</sub> ameliorates defenses against photo-oxidative stress in poplar (*populus alba* x *tremula*) . *Environmental and Experimental Botany*, Volume 45, Issue 1, Pages 43-53.
- SHIMAZAKI K., SAKAKI T., KONDON., SUGAHARA K., 1980. Active oxygen participation in chlorophyll destruction and lipid peroxidation in SO<sub>2</sub>-fumigated leaves of spinach. *Plant Cell Physiol.*, 21: 1193- 1204.
- SINGH, S.N., YUNUS, M., SRIVASTAVA, K., KULSHRESHTHA, K., AHMAD, K.J., 1985. Response of *Calendula officinalis* L. to longterm fumigation with SO<sub>2</sub>. *Environmental Pollution*, 39:1, 17-25.
- SMITH, I.K., KENDALL, A.C., KEYS, A.J., TURNER, J.C., LEA, P.J., 1985. The regulation of the biosynthesis of glutathione in leaves of barley (*Hordeum vulgare* L.). *Plant Sci.*, 41:11-17.
- STADTMAN, E.R., 1986. Oxidation of proteins by mixed-function oxidation systems: implication in protein turnover, aging and neutrophil function. *Trends Biochem. Sci.*, 11:11-12.

- TANAKA K., KONDON., SUGAHARA K., 1982. Accumulation of hydrogen peroxide in chloroplasts of SO<sub>2</sub>-fumigated spinach leaves. *Plant Cell Physiol.*, 23: 999-1007.
- TANAKA K., SUGAHARA K., 1980. Role of superoxide dismutase in defence against SO<sub>2</sub> toxicity and an increase in superoxide dismutase activity with SO<sub>2</sub> fumigation. *Plant Cell Physiol.*, 21: 601-611.
- TAUSZ, M., STABENTHEINER, E., WONISCH, A., and GRILL, D., 1998. Classification of biochemical response patterns for the assessment of environmental stress to Norway spruce. *Environ. Sci. and Pollut. Res.*, 1, 96-100.
- TAYLOR, G.E. and PITELKA, L.F., 1992. Genetic diversity of plant populations and the role of air pollution, in *Air Pollution Effects on Biodiversity*, Barker, J.R., and Tingey, D.T., Eds., Van Nostrand Reinhold, New York, 1992, 111.
- THOENE B., SCHREDER P., PAPEN H., EGGER A., RENNENBERG H., 1991. Absorption of atmospheric NO<sub>2</sub> by spruce (*Picea abies* L. Karst.) trees. I. NO<sub>2</sub> influx and its correlation with nitrate reduction. *New Phytol.*, 117: 575-585.
- TINGEY, D.T., and ANDERSON, C.P., 1991. The physiological basis of differential plant sensitivity to changes in atmospheric quality, in *Ecological Genetics and Air Pollution*, T aylor, G.E., Pitelka, L.F, and Clegg, M.T., Eds., Springer- Verlag, New York, 1991, 209.
- TOROS, H., 2000. İstanbul'da Asit Yağışları Kaynakları ve Etkileri. Doktora tezi. İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- TRIPATHI A., TRIPATHI D.S., PRAKASH V., 1999. Phytomonitoring and NO<sub>x</sub> pollution around silver refineries. *Environment International*, 25: 403-410.
- TURRENS, J.F., FREEMAN, B.A., CRAPO, J.D., 1982. Hyperoxia increases H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> release by lung mitochondria and microsomes. *Arch. Biochem. Biophys.*, 217:411-421.
- VAN DIJK H.F.G., ROELOFS, J.G.M., 1988. Effects of excessive ammonium deposition on the nutritional status and condition of pine needles. *Physiol. Plant.*, 73:494-501.

- VIANELLO, A., MACRI, F., 1991. Generation of superoxide anion and hydrogen peroxide at surface of plant cells. *J. Bioenerg. Biomemb.*, 23:409-423.
- WAINWRIGHT S.J., WOOLHOUSE H.W., 1977. Some physiological aspects of copper and zinc tolerance in *Agrostis tenuis* Sibth.: cell elongation and membrane damage. *J. Exp. Bot.*, 28: 1029-1036.
- WANG, Z., PAN, Q. and QUEBEDEAUX, B., 1998. Carbon partitioning in to sorbitol, sucrose and starch in source and sink apple leaves as affected by elevated CO<sub>2</sub>. *Environmental and Experimental Botany*, Volume 41, Issue 1, Pages 39-46.
- WEAST R.C., 1984. *CRC Handbook of chemistry and physics*, 64th edn. Boca Raton, CRC Press.
- WELLBURN A.R., 1990. Why are atmospheric oxides of nitrogen usually phytotoxic and not alternative fertilizers? *New Phytol.*, 115: 395-429.
- WILDNER G.F., HENKEL J., 1979. The effect of divalent metal ion on the activity of Mg<sup>2+</sup>-depleted ribulose-1,5-biphosphate oxygenase. *Planta*, 146: 223-228.
- WILLEKENS H., VAC CAMP V., VAN MONTAGU M., INZE D., LANGEBARTELS C., SANDERMANN H.J. Jr., 1995. Ozone, sulphur dioxide and ultraviolet B have similar effects on mRNA accumulation of antioxidant genes in *Nicotiana plumbaginifolia* L. *Plant Physiol.*, 106: 1007-1014.
- WILSON, D.O., MCDONALD, M.B. JR., 1986. The lipid peroxidation model of seed aging. *Seed Sci. Tech.*, 14:269-300.
- WINSTON, G.W., CEDERBAUM, A.I., 1983. Oxyradical production by purified components of the liver microsomal mixed-function oxidase system I: Oxidation of hydroxyl radical scavenging agents. *J. Biol Chem.*, 258:1508-1513.
- YOUNG, A.J., 1991. The photoprotective role of carotenoids in higher plants. *Physiol. Plant.* 83: 702-708.

- YANYUN, L., JIANMIN, S., and YINGXIN, G., 1991. Effects of simulated acid rain and SO<sub>2</sub> on growth and yield of vegetables. *Acta Sci. Circumstantiae*, 11: 327.
- YU, Q. and RENGEL Z., 1999. Drought and salinity differentially influence activities of superoxide dismutase in narrow-leaved lupins. *Plant Science*, 142: 1-11.
- YUNUS, M., KULSHRENSHA, K., DWIVEDI, A.K. and AHMAD, K.J., 1982. Leaf surface traits of *Ipomoea fistulosa* Mart. ex Choisy as indicators of air pollution. *New Botanist*, 9: 39-45.
- ZELITCH, I., 1973. Plant productivity and the control of photorespiration. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 70: 579-584.
- ZHOU S. AND ABARAHA A., 2007. Response to heat stress in warm season and cool season turf grass cultivars. *Scientific Research and Essay*, 2 (4): 95-100.

## **ÖZGEÇMİŞ**

20/03/1977 yılında Antakya'da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Antakya'da tamamladı. 1995 yılında başladığı Çukurova Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü'nden 1999 yılında mezun oldu, aynı yıl yüksek lisansa başladı ve 2003 yılında eğitimini tamamladı. Aynı yıl aynı bölümde doktora çalışmasına başladı. Evli ve iki çocuk babası. 16/10/2000 yılında sınıf öğretmeni olarak atandı, Antakya Güzelburç İlköğretim Okulu'nda çalışmaya devam etmekte.

## EKLER

**EK 1.** Termik santral kaynaklı kirletici gazların örnek alınan bitki topraklarındaki K konsantrasyonu üzerine genel etkileri

K (ppm)

Yıllar	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
2006	200	3011,75	362,55
2007	200	2964,65	310,50

Aylar	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
Nisan	200	3034,25	415,75
Eylül	200	3092,15	408,50

Yönler	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
Doğu	80	3202,10	347,35
Kuzey-doğu	80	3170,75	467,20
Kuzey	80	3119,70	449,60
Kuzey-batı	80	3104,25	454,35
Batı	80	3103,25	464,35

Mesafeler	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
1 km	80	2754,90	95,80
2.5 km	80	2819,25	79,81
5 km	80	2745,55	92,98
10 km	80	2094,50 **	72,48
15 km	80	2131,75 **	70,06

Çizelgelerdeki istatistiksel analiz sonuçlarının önem derecesi  $P < 0.05$ 'de \*,  $P < 0.01$ 'de ise \*\* olarak belirtilmiştir. İstatistiksel olarak önemli olmayanlar ise herhangi bir sembole belirtilmemiştir.

**EK 2.** Termik santral kaynaklı kirletici gazların örnek alınan bitki topraklarındaki Ca konsantrasyonu üzerine genel etkileri

Ca (ppm)

Yıllar	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
2006	200	3450,74	163,09
2007	200	3330,27	159,74

Aylar	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
Nisan	200	3225,80	158,25
Eylül	200	3554,16	160,44

Yönler	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
Doğu	80	3627,54	166,60
Kuzey-doğu	80	3585,50	247,19
Kuzey	80	3478,98	165,90
Kuzey-batı	80	3319,33	224,41
Batı	80	3310,17	152,28

Mesafeler	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
1 km	80	4410,20	192,15
2.5 km	80	4905,55	132,64
5 km	80	3686,05	150,18
10 km	80	2722,70 **	138,20
15 km	80	2905,84 **	175,22

Çizelgelerdeki istatistiksel analiz sonuçlarının önem derecesi  $P < 0.05$ 'de \*,  $P < 0.01$ 'de ise \*\* olarak belirtilmiştir. İstatistiksel olarak önemli olmayanlar ise herhangi bir sembolle belirtilmemiştir.

**EK 3.** Termik santral kaynaklı kirletici gazların örnek alınan bitki topraklarındaki Mg konsantrasyonu üzerine genel etkileri

Mg (ppm)

Yıllar	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
2006	200	637,82	48,04
2007	200	607,65	46,37

Aylar	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
Nisan	200	604,45	46,60
Eylül	200	631,02	47,22

Yönler	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
Doğu	80	639,84	48,21
Kuzey-doğu	80	634,23	53,09
Kuzey	80	626,97	49,46
Kuzey-batı	80	614,13	53,70
Batı	80	610,50	33,64

Mesafeler	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
1 km	80	758,88	60,09
2.5 km	80	850,90	45,31
5 km	80	644,64	52,57
10 km	80	504,25 **	47,64
15 km	80	526,07 **	33,10

Çizelgelerdeki istatistiksel analiz sonuçlarının önem derecesi  $P < 0.05$ 'de \*,  $P < 0.01$ 'de ise \*\* olarak belirtilmiştir. İstatistiksel olarak önemli olmayanlar ise herhangi bir sembole belirtilmemiştir.

**EK 4.** Termik santral kaynaklı kirletici gazların örnek alınan bitki topraklarındaki Zn konsantrasyonu üzerine genel etkileri

**Zn (ppm)**

Yıllar	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
2006	200	86,24	18,91
2007	200	82,14	19,60

Aylar	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
Nisan	200	82,59	17,01
Eylül	200	85,80	18,63

Yönler	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
Doğu	80	83,85	17,71
Kuzey-doğu	80	84,22	16,50
Kuzey	80	86,55	15,25
Kuzey-batı	80	85,84	13,12
Batı	80	82,51	11,58

Mesafeler	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
1 km	80	92,93	18,80
2.5 km	80	80,51 *	11,63
5 km	80	73,41 **	10,53
10 km	80	82,32	17,06
15 km	80	89,81	14,74

Çizelgelerdeki istatistiksel analiz sonuçlarının önem derecesi  $P < 0.05$ 'de \*,  $P < 0.01$ 'de ise \*\* olarak belirtilmiştir. İstatistiksel olarak önemli olmayanlar ise herhangi bir sembole belirtilmemiştir.

**EK 5.** Termik santral kaynaklı kirlenici gazların örnek alınan bitki topraklarındaki Cu konsantrasyonu üzerine genel etkileri

**Cu (ppm)**

Yıllar	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
2006	200	12,81	2,49
2007	200	11,62	2,41

Aylar	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
Nisan	200	12,10	2,62
Eylül	200	12,33	2,33

Yönler	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
Doğu	80	12,18	1,88
Kuzey-doğu	80	12,65	2,67
Kuzey	80	13,03	1,98
Kuzey-batı	80	12,94	2,15
Batı	80	11,27	2,55

Mesafeler	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
1 km	80	14,14	3,16
2.5 km	80	11,06 *	1,63
5 km	80	10,28 **	2,53
10 km	80	12,73	2,47
15 km	80	13,23	1,66

Çizelgelerdeki istatistiksel analiz sonuçlarının önem derecesi  $P < 0.05$ 'de \*,  $P < 0.01$ 'de ise \*\* olarak belirtilmiştir. İstatistiksel olarak önemli olmayanlar ise herhangi bir sembolle belirtilmemiştir.

**EK 6.** Termik santral kaynaklı kirletici gazların örnek alınan bitki topraklarındaki Co konsantrasyonu üzerine genel etkileri

Co (ppm)

Yıllar	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
2006	200	17,48	4,27
2007	200	20,32	4,75

Aylar	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
Nisan	200	19,92	5,02
Eylül	200	17,83	4,21

Yönler	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
Doğu	80	19,82	2,92
Kuzey-doğu	80	23,70 *	3,70
Kuzey	80	21,81 *	3,12
Kuzey-batı	80	20,32	4,84
Batı	80	17,74	4,93

Mesafeler	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
1 km	80	17,42	2,94
2.5 km	80	24,84 **	4,41
5 km	80	27,86 **	3,42
10 km	80	17,42	4,10
15 km	80	15,00	5,57

Çizelgelerdeki istatistiksel analiz sonuçlarının önem derecesi  $P < 0.05$ 'de \*,  $P < 0.01$ 'de ise \*\* olarak belirtilmiştir. İstatistiksel olarak önemli olmayanlar ise herhangi bir sembolle belirtilmemiştir.

**EK 7.** Termik santral kaynaklı kirletici gazların örnek alınan bitki topraklarındaki Cr konsantrasyonu üzerine genel etkileri

Cr (ppm)

Yıllar	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
2006	200	30,45	7,88
2007	200	31,94	7,86

Aylar	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
Nisan	200	30,73	7,91
Eylül	200	31,67	7,88

Yönler	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
Doğu	80	29,29	9,43
Kuzey-doğu	80	35,94 *	5,26
Kuzey	80	36,36 *	2,83
Kuzey-batı	80	27,23	7,91
Batı	80	26,19	5,98

Mesafeler	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
1 km	80	34,80	7,14
2,5 km	80	31,91	3,17
5 km	80	33,06	6,30
10 km	80	28,59 *	10,03
15 km	80	27,65 *	8,54

Çizelgelerdeki istatistiksel analiz sonuçlarının önem derecesi  $P < 0.05$ 'de \*,  $P < 0.01$ 'de ise \*\* olarak belirtilmiştir. İstatistiksel olarak önemli olmayanlar ise herhangi bir sembolle belirtilmemiştir.

**EK 8.** Termik santral kaynaklı kirlenici gazların örnek alınan bitki topraklarındaki Na konsantrasyonu üzerine genel etkileri

Na (ppm)

Yıllar	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
2006	200	551,51	21,72
2007	200	572,50	22,65

Aylar	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
Nisan	200	573,77	22,66
Eylül	200	552,24	20,68

Yönler	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
Doğu	80	511,47	71,92
Kuzey-doğu	80	613,15 *	44,12
Kuzey	80	571,59	27,77
Kuzey-batı	80	560,32	19,74
Batı	80	503,98	20,54

Mesafeler	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
1 km	80	465,38	64,20
2.5 km	80	717,43 **	72,21
5 km	80	768,75 **	90,50
10 km	80	554,75	48,34
15 km	80	409,44	65,24

Çizelgelerdeki istatistiksel analiz sonuçlarının önem derecesi  $P < 0.05$ 'de \*,  $P < 0.01$ 'de ise \*\* olarak belirtilmiştir. İstatistiksel olarak önemli olmayanlar ise herhangi bir sembolle belirtilmemiştir.

**EK 9.** Termik santral kaynaklı kirletici gazların örnek alınan bitki topraklarındaki Ni konsantrasyonu üzerine genel etkileri

Ni (ppm)

Yıllar	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
2006	200	9,56	4,52
2007	200	9,23	4,40

Aylar	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
Nisan	200	9,24	4,42
Eylül	200	9,55	4,46

Yönler	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
Doğu	80	9,73	1,31
Kuzey-doğu	80	10,68	6,85
Kuzey	80	9,91	4,61
Kuzey-batı	80	8,54	2,89
Batı	80	8,16	4,22

Mesafeler	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
1 km	80	7,22	5,32
2.5 km	80	7,39	3,67
5 km	80	9,90	4,15
10 km	80	13,59 **	3,83
15 km	80	7,90	1,53

Çizelgelerdeki istatistiksel analiz sonuçlarının önem derecesi  $P < 0.05$ 'de \*,  $P < 0.01$ 'de ise \*\* olarak belirtilmiştir. İstatistiksel olarak önemli olmayanlar ise herhangi bir sembole belirtilmemiştir.

**EK 10.** Termik santral kaynaklı kirlenici gazların örnek alınan bitki topraklarındaki Cd konsantrasyonu üzerine genel etkileri

**Cd (ppm)**

Yıllar	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
2006	200	0,94	0,04
2007	200	1,03	0,04

Aylar	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
Nisan	200	1,04	0,05
Eylül	200	0,93	0,04

Yönler	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
Doğu	80	0,13 **	0,03
Kuzey-doğu	80	1,28 **	0,04
Kuzey	80	1,13 **	0,03
Kuzey-batı	80	0,71	0,04
Batı	80	0,68	0,04

Mesafeler	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
1 km	80	0,80	0,02
2,5 km	80	1,18 **	0,04
5 km	80	1,38 **	0,05
10 km	80	0,84	0,04
15 km	80	0,75	0,05

Çizelgelerdeki istatistiksel analiz sonuçlarının önem derecesi  $P < 0.05$ 'de \*,  $P < 0.01$ 'de ise \*\* olarak belirtilmiştir. İstatistiksel olarak önemli olmayanlar ise herhangi bir sembole belirtilmemiştir.

**EK 11.** Termik santral kaynaklı kirlenici gazların örnek alınan bitki topraklarındaki Pb konsantrasyonu üzerine genel etkileri

**Pb (ppm)**

Yıllar	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
2006	200	18,42	4,20
2007	200	19,36	4,78

Aylar	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
Nisan	200	19,92	5,01
Eylül	200	17,85	4,20

Yönler	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
Doğu	80	20,69 **	2,96
Kuzey-doğu	80	21,76 **	3,79
Kuzey	80	20,30 **	3,11
Kuzey-batı	80	15,88	4,82
Batı	80	15,24	4,95

Mesafeler	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
1 km	80	16,02	2,65
2.5 km	80	22,78 **	3,97
5 km	80	24,80 **	4,88
10 km	80	16,40	3,72
15 km	80	15,45	4,66

Çizelgelerdeki istatistiksel analiz sonuçlarının önem derecesi  $P < 0.05$ 'de \*,  $P < 0.01$ 'de ise \*\* olarak belirtilmiştir. İstatistiksel olarak önemli olmayanlar ise herhangi bir sembole belirtilmemiştir.

**EK 12.** Termik santral kaynaklı kirlenici gazların örnek alınan bitki topraklarındaki pH üzerine genel etkileri

**pH**

Yıllar	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
2006	200	7,26	0,18
2007	200	7,24	0,19

Aylar	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
Nisan	200	7,16	0,17
Eylül	200	7,33	0,17

Yönler	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
Doğu	80	7,22	0,18
Kuzey-doğu	80	7,30	0,15
Kuzey	80	7,23	0,19
Kuzey-batı	80	7,23	0,22
Batı	80	7,24	0,19

Mesafeler	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
1 km	80	7,22	0,16
2,5 km	80	7,28	0,19
5 km	80	7,29	0,11
10 km	80	7,24	0,19
15 km	80	7,20	0,20

Çizelgelerdeki istatistiksel analiz sonuçlarının önem derecesi  $P < 0.05$ 'de \*,  $P < 0.01$ 'de ise \*\* olarak belirtilmiştir. İstatistiksel olarak önemli olmayanlar ise herhangi bir sembole belirtilmemiştir.

**EK 13.** Termik santral kaynaklı kirletici gazların örnek alınan bitki yapraklarındaki K konsantrasyonu üzerine etkileri

**K (ppm)**

Yıllar	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
2006	400	2391,04	280,33
2007	400	2358,83	320,16

Aylar	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
Nisan	400	2290,44	480,30
Eylül	400	2486,46	476,23

Türler	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
Eucalyptus	400	2381,05	562,46
Morus	400	2395,86	471,66

Yönler	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
Doğu	160	2358,44	633,62
Kuzey-doğu	160	2549,21	422,33
Kuzey	160	2451,34	545,16
Kuzey-batı	160	2353,82	456,43
Batı	160	2339,32	461,17

Mesafeler	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
1 km	160	2615,85	476,69
2.5 km	160	2519,40	649,74
5 km	160	2423,56	496,49
10 km	160	2256,54 *	403,04
15 km	160	2126,86 *	457,09

Çizelgelerdeki istatistiksel analiz sonuçlarının önem derecesi  $P < 0.05$ 'de \*,  $P < 0.01$ 'de ise \*\* olarak belirtilmiştir. İstatistiksel olarak önemli olmayanlar ise herhangi bir sembolle belirtilmemiştir.

**EK 14.** Termik santral kaynaklı kirletici gazların örnek alınan bitki yapraklarındaki Ca konsantrasyonu üzerine etkileri

Ca (ppm)

Yıllar	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
2006	400	956,38	192,11
2007	400	954,29	222,03

Aylar	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
Nisan	400	996,17	192,11
Eylül	400	1014,50	191,66

Türler	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
Eucalyptus	400	952,39	224,96
Morus	400	958,28	188,64

Yönler	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
Doğu	160	939,32	253,42
Kuzey-doğu	160	961,72	168,90
Kuzey	160	940,49	218,03
Kuzey-batı	160	895,91	182,55
Batı	160	883,70	184,44

Mesafeler	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
1 km	160	1022,52	190,65
2.5 km	160	1010,70	259,87
5 km	160	987,73	198,57
10 km	160	889,40 **	161,18
15 km	160	867,45 **	182,81

Çizelgelerdeki istatistiksel analiz sonuçlarının önem derecesi  $P < 0.05$ 'de \*,  $P < 0.01$ 'de ise \*\* olarak belirtilmiştir. İstatistiksel olarak önemli olmayanlar ise herhangi bir sembole belirtilmemiştir.

**EK 15.** Termik santral kaynaklı kirletici gazların örnek alınan bitki yapraklarındaki Mg konsantrasyonu üzerine etkileri

Mg (ppm)

Yıllar	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
2006	400	191,28	38,42
2007	400	190,86	44,41

Aylar	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
Nisan	400	183,23	38,42
Eylül	400	188,91	38,33

Türler	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
Eucalyptus	400	190,48	44,99
Morus	400	191,66	37,73

Yönler	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
Doğu	160	187,87	50,68
Kuzey-doğu	160	203,46	33,78
Kuzey	160	198,10	43,61
Kuzey-batı	160	182,19	36,52
Batı	160	180,75	36,89

Mesafeler	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
1 km	160	204,52	38,13
2.5 km	160	202,15	51,98
5 km	160	195,26	39,71
10 km	160	177,88 **	32,24
15 km	160	175,55 **	36,56

Çizelgelerdeki istatistiksel analiz sonuçlarının önem derecesi  $P < 0.05$ 'de \*,  $P < 0.01$ 'de ise \*\* olarak belirtilmiştir. İstatistiksel olarak önemli olmayanlar ise herhangi bir sembole belirtilmemiştir.

**EK 16.** Termik santral kaynaklı kirletici gazların örnek alınan bitki yapraklarındaki Zn konsantrasyonu üzerine etkileri

**Zn (ppm)**

Yıllar	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
2006	400	31,95	2,40
2007	400	31,92	2,77

Aylar	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
Nisan	400	30,95	2,40
Eylül	400	32,92	2,39

Türler	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
Eucalyptus	400	31,90	2,81
Morus	400	31,97	2,35

Yönler	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
Doğu	160	31,71	3,16
Kuzey-doğu	160	32,79	2,11
Kuzey	160	32,99	2,72
Kuzey-batı	160	32,75	2,28
Batı	160	31,24	2,30

Mesafeler	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
1 km	160	34,73	2,38
2.5 km	160	29,57 *	3,24
5 km	160	29,11 *	2,48
10 km	160	32,78	2,01
15 km	160	34,49	2,28

Çizelgelerdeki istatistiksel analiz sonuçlarının önem derecesi  $P < 0.05$ 'de \*,  $P < 0.01$ 'de ise \*\* olarak belirtilmiştir. İstatistiksel olarak önemli olmayanlar ise herhangi bir sembole belirtilmemiştir.

**EK 17.** Termik santral kaynaklı kirletici gazların örnek alınan bitki yapraklarındaki Cu konsantrasyonu üzerine etkileri

**Cu (ppm)**

Yıllar	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
2006	400	3,99	1,66
2007	400	3,59	1,74

Aylar	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
Nisan	400	3,72	1,72
Eylül	400	3,89	1,66

Türler	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
Eucalyptus	400	3,70	1,54
Morus	400	3,88	1,59

Yönler	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
Doğu	160	3,28	1,65
Kuzey-doğu	160	3,79	1,44
Kuzey	160	4,98	1,54
Kuzey-batı	160	3,80	1,75
Batı	160	3,09	1,45

Mesafeler	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
1 km	160	4,53	1,32
2.5 km	160	3,46 *	1,88
5 km	160	3,06 **	1,86
10 km	160	3,99	1,88
15 km	160	4,40	1,39

Çizelgelerdeki istatistiksel analiz sonuçlarının önem derecesi  $P < 0.05$ 'de \*,  $P < 0.01$ 'de ise \*\* olarak belirtilmiştir. İstatistiksel olarak önemli olmayanlar ise herhangi bir sembole belirtilmemiştir.

**EK 18.** Termik santral kaynaklı kirletici gazların örnek alınan bitki yapraklarındaki Co konsantrasyonu üzerine etkileri

Co (ppm)

Yıllar	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
2006	400	1,27	0,17
2007	400	1,26	0,17

Aylar	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
Nisan	400	1,24	0,16
Eylül	400	1,30	0,17

Türler	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
Eucalyptus	400	1,28	0,16
Morus	400	1,26	0,18

Yönler	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
Doğu	160	1,25	0,22
Kuzey-doğu	160	1,38 *	0,09
Kuzey	160	1,25	0,19
Kuzey-batı	160	1,24	0,20
Batı	160	1,23	0,08

Mesafeler	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
1 km	160	1,31	0,16
2,5 km	160	1,27	0,19
5 km	160	1,16 *	0,12
10 km	160	1,26	0,12
15 km	160	1,35	0,14

Çizelgelerdeki istatistiksel analiz sonuçlarının önem derecesi  $P < 0.05$ 'de \*,  $P < 0.01$ 'de ise \*\* olarak belirtilmiştir. İstatistiksel olarak önemli olmayanlar ise herhangi bir sembole belirtilmemiştir.

**EK 19.** Termik santral kaynaklı kirletici gazların örnek alınan bitki yapraklarındaki Cr konsantrasyonu üzerine etkileri

Cr (ppm)

Yıllar	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
2006	400	0,12	0,05
2007	400	0,11	0,05

Aylar	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
Nisan	400	0,11	0,05
Eylül	400	0,13	0,05

Türler	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
Eucalyptus	400	0,09	0,05
Morus	400	0,14 *	0,05

Yönler	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
Doğu	160	0,10	0,05
Kuzey-doğu	160	0,15 **	0,04
Kuzey	160	0,13	0,05
Kuzey-batı	160	0,12	0,05
Batı	160	0,09	0,04

Mesafeler	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
1 km	160	0,11	0,04
2.5 km	160	0,14	0,06
5 km	160	0,10	0,06
10 km	160	0,14	0,06
15 km	160	0,11	0,04

Çizelgelerdeki istatistiksel analiz sonuçlarının önem derecesi  $P < 0.05$ 'de \*,  $P < 0.01$ 'de ise \*\* olarak belirtilmiştir. İstatistiksel olarak önemli olmayanlar ise herhangi bir sembole belirtilmemiştir.

**EK 20.** Termik santral kaynaklı kirletici gazların örnek alınan bitki yapraklarındaki Na konsantrasyonu üzerine etkileri

Na (ppm)

Yıllar	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
2006	400	107,57	21,59
2007	400	107,32	24,96

Aylar	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
Nisan	400	106,54	21,59
Eylül	400	108,35	21,54

Türler	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
Eucalyptus	400	107,21	25,29
Morus	400	107,68	21,20

Yönler	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
Doğu	160	105,65	28,49
Kuzey-doğu	160	114,40 *	18,98
Kuzey	160	110,78	24,51
Kuzey-batı	160	105,77	20,51
Batı	160	100,64	20,73

Mesafeler	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
1 km	160	113,18	21,43
2.5 km	160	104,34	29,21
5 km	160	100,04 *	22,32
10 km	160	104,00	18,12
15 km	160	115,67	20,55

Çizelgelerdeki istatistiksel analiz sonuçlarının önem derecesi  $P < 0.05$ 'de \*,  $P < 0.01$ 'de ise \*\* olarak belirtilmiştir. İstatistiksel olarak önemli olmayanlar ise herhangi bir sembole belirtilmemiştir.

**EK 21.** Termik santral kaynaklı kirletici gazların örnek alınan bitki yapraklarındaki Ni konsantrasyonu üzerine etkileri

Ni (ppm)

Yıllar	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
2006	400	0,92	0,05
2007	400	0,92	0,05

Aylar	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
Nisan	400	0,91	0,05
Eylül	400	0,92	0,05

Türler	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
Eucalyptus	400	0,83	0,04
Morus	400	0,87	0,06

Yönler	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
Doğu	160	0,95	0,04
Kuzey-doğu	160	1,19 *	0,05
Kuzey	160	1,01	0,06
Kuzey-batı	160	1,01	0,04
Batı	160	0,92	0,05

Mesafeler	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
1 km	160	0,96	0,05
2.5 km	160	0,94	0,06
5 km	160	0,82	0,05
10 km	160	0,79 *	0,06
15 km	160	0,90	0,04

Çizelgelerdeki istatistiksel analiz sonuçlarının önem derecesi  $P < 0.05$ 'de \*,  $P < 0.01$ 'de ise \*\* olarak belirtilmiştir. İstatistiksel olarak önemli olmayanlar ise herhangi bir sembole belirtilmemiştir.

**EK 22.** Termik santral kaynaklı kirletici gazların örnek alınan bitki yapraklarındaki Cd konsantrasyonu üzerine etkileri

**Cd (ppm)**

Yıllar	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
2006	400	0,14	0,06
2007	400	0,13	0,06

Aylar	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
Nisan	400	0,13	0,06
Eylül	400	0,15	0,06

Türler	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
Eucalyptus	400	0,11	0,05
Morus	400	0,16 *	0,05

Yönler	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
Doğu	160	0,15 *	0,06
Kuzey-doğu	160	0,18 **	0,05
Kuzey	160	0,14 *	0,05
Kuzey-batı	160	0,12	0,06
Batı	160	0,10	0,05

Mesafeler	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
1 km	160	0,12	0,04
2.5 km	160	0,18 **	0,06
5 km	160	0,16 *	0,06
10 km	160	0,12	0,06
15 km	160	0,10	0,05

Çizelgelerdeki istatistiksel analiz sonuçlarının önem derecesi  $P < 0.05$ 'de \*,  $P < 0.01$ 'de ise \*\* olarak belirtilmiştir. İstatistiksel olarak önemli olmayanlar ise herhangi bir sembole belirtilmemiştir.

**EK 23.** Termik santral kaynaklı kirletici gazların örnek alınan bitki yapraklarındaki Pb konsantrasyonu üzerine etkileri

**Pb (ppm)**

Yıllar	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
2006	400	1,33	0,55
2007	400	1,29	0,58

Aylar	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
Nisan	400	1,29	0,57
Eylül	400	1,33	0,55

Türler	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
Eucalyptus	400	1,03	0,51
Morus	400	1,49 *	0,53

Yönler	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
Doğu	160	1,39 *	0,55
Kuzey-doğu	160	1,59 **	0,48
Kuzey	160	1,32 *	0,51
Kuzey-batı	160	1,09	0,58
Batı	160	0,93	0,48

Mesafeler	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
1 km	160	1,22	0,44
2,5 km	160	1,42 **	0,62
5 km	160	1,38 **	0,62
10 km	160	1,14	0,62
15 km	160	1,13	0,46

Çizelgelerdeki istatistiksel analiz sonuçlarının önem derecesi  $P < 0.05$ 'de \*,  $P < 0.01$ 'de ise \*\* olarak belirtilmiştir. İstatistiksel olarak önemli olmayanlar ise herhangi bir sembole belirtilmemiştir.

**EK 24.** Termik santral kaynaklı kirletici gazların örnek alınan bitki yapraklarındaki stoma dağılımı üzerine etkileri

**Stoma Sayısı (mm<sup>2</sup>)**

Yıllar	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
2006	400	372,42	16,21
2007	400	364,10	17,28

Aylar	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
Nisan	400	370,42	16,61
Eylül	400	355,42	17,19

Türler	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
Eucalyptus	400	508,61 **	42,53
Morus	400	270,74	29,48

Yönler	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
Doğu	160	324,55 **	13,55
Kuzey-doğu	160	369,58	13,31
Kuzey	160	367,29	13,82
Kuzey-batı	160	380,69	12,33
Batı	160	396,67	14,57

Mesafeler	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
1 km	160	379,06	13,59
2.5 km	160	347,63 *	14,34
5 km	160	342,26 *	12,20
10 km	160	373,85	11,84
15 km	160	385,97	13,58

Çizelgelerdeki istatistiksel analiz sonuçlarının önem derecesi  $P < 0.05$ 'de \*,  $P < 0.01$ 'de ise \*\* olarak belirtilmiştir. İstatistiksel olarak önemli olmayanlar ise herhangi bir sembole belirtilmemiştir.

**EK 25.** Termik santral kaynaklı kirletici gazların örnek alınan bitki yapraklarındaki toplam klorofil konsantrasyonu üzerine etkileri

**Toplam Klorofil Konsantrasyonu (mg/g TA)**

Yıllar	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
2006	400	2,80	0,73
2007	400	3,05	0,64

Aylar	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
Nisan	400	3,0,1	0,61
Eylül	400	2,83	0,39

Türler	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
Eucalyptus	400	2,98	0,53
Morus	400	2,87	0,48

Yönler	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
Doğu	160	3,92 **	0,55
Kuzey-doğu	160	3,56 **	0,34
Kuzey	160	3,40 **	0,42
Kuzey-batı	160	1,96	0,33
Batı	160	1,77	0,57

Mesafeler	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
1 km	160	2,86	0,59
2.5 km	160	3,49 **	0,43
5 km	160	3,54 **	0,29
10 km	160	2,55	0,44
15 km	160	2,14	0,58

Çizelgelerdeki istatistiksel analiz sonuçlarının önem derecesi  $P < 0.05$ 'de \*,  $P < 0.01$ 'de ise \*\* olarak belirtilmiştir. İstatistiksel olarak önemli olmayanlar ise herhangi bir sembole belirtilmemiştir.

**EK 26.** Termik santral kaynaklı kirletici gazların örnek alınan bitki yapraklarındaki klorofil a konsantrasyonu üzerine etkileri

**Klorofil a Konsantrasyonu (mg/g TA)**

Yıllar	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
2006	400	2,12	0,19
2007	400	2,17	0,22

Aylar	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
Nisan	400	2,18	0,41
Eylül	400	2,11	0,19

Türler	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
Eucalyptus	400	2,17	0,43
Morus	400	2,11	0,38

Yönler	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
Doğu	160	2,42 **	0,45
Kuzey-doğu	160	2,32 *	0,41
Kuzey	160	2,23 *	0,52
Kuzey-batı	160	1,96	0,33
Batı	160	1,78	0,57

Mesafeler	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
1 km	160	2,15	0,49
2.5 km	160	2,36 **	0,34
5 km	160	2,28 *	0,40
10 km	160	2,00	0,54
15 km	160	1,93	0,58

Çizelgelerdeki istatistiksel analiz sonuçlarının önem derecesi  $P < 0.05$ 'de \*,  $P < 0.01$ 'de ise \*\* olarak belirtilmiştir. İstatistiksel olarak önemli olmayanlar ise herhangi bir sembole belirtilmemiştir.

**EK 27.** Termik santral kaynaklı kirletici gazların örnek alınan bitki yapraklarındaki klorofil b konsantrasyonu üzerine etkileri

**Klorofil b Konsantrasyonu (mg/g TA)**

Yıllar	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
2006	400	0,62	0,09
2007	400	0,64	0,11

Aylar	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
Nisan	400	0,67	0,06
Eylül	400	0,61	0,08

Türler	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
Eucalyptus	400	0,61	0,09
Morus	400	0,66	0,10

Yönler	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
Doğu	160	0,89 **	0,07
Kuzey-doğu	160	0,79 **	0,07
Kuzey	160	0,68 *	0,06
Kuzey-batı	160	0,42	0,03
Batı	160	0,38	0,03

Mesafeler	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
1 km	160	0,61	13,59
2.5 km	160	0,76 **	14,34
5 km	160	0,82 **	12,20
10 km	160	0,53	11,84
15 km	160	0,45	13,58

Çizelgelerdeki istatistiksel analiz sonuçlarının önem derecesi  $P < 0.05$ 'de \*,  $P < 0.01$ 'de ise \*\* olarak belirtilmiştir. İstatistiksel olarak önemli olmayanlar ise herhangi bir sembole belirtilmemiştir.

**EK 28.** Termik santral kaynaklı kirletici gazların örnek alınan bitki yapraklarındaki karotenoid konsantrasyonu üzerine etkileri

**Karotenoid Konsantrasyonu (mg/g TA)**

Yıllar	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
2006	400	0,76	0,05
2007	400	0,77	0,07

Aylar	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
Nisan	400	0,78	0,09
Eylül	400	0,76	0,09

Türler	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
Eucalyptus	400	0,74	0,06
Morus	400	0,80	0,07

Yönler	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
Doğu	160	0,86 *	0,10
Kuzey-doğu	160	0,83 *	0,08
Kuzey	160	0,81 *	0,06
Kuzey-batı	160	0,69	0,04
Batı	160	0,65	0,04

Mesafeler	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
1 km	160	0,76	0,04
2.5 km	160	0,83 *	0,07
5 km	160	0,86 *	0,07
10 km	160	0,71	0,05
15 km	160	0,69	0,04

Çizelgelerdeki istatistiksel analiz sonuçlarının önem derecesi  $P < 0.05$ 'de \*,  $P < 0.01$ 'de ise \*\* olarak belirtilmiştir. İstatistiksel olarak önemli olmayanlar ise herhangi bir sembole belirtilmemiştir.

**EK 29.** Termik santral kaynaklı kirletici gazların örnek alınan bitki yapraklarındaki prolin konsantrasyonu üzerine etkileri

**Prolin Konsantrasyonu** ( $\mu\text{mol}$  prolin /g TA)

Yıllar	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
2006	400	3,71	0,17
2007	400	4,62 *	0,15

Aylar	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
Nisan	400	3,47	0,17
Eylül	400	4,90 *	0,21

Türler	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
Eucalyptus	400	2,96	0,17
Morus	400	5,27 **	0,15

Yönler	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
Doğu	160	6,54 **	0,38
Kuzey-doğu	160	5,10 **	0,24
Kuzey	160	4,35 **	0,19
Kuzey-batı	160	2,44	0,09
Batı	160	2,41	0,09

Mesafeler	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
1 km	160	3,72 **	0,13
2.5 km	160	6,18 **	0,37
5 km	160	5,62 **	0,30
10 km	160	2,81	0,08
15 km	160	2,50	0,08

Çizelgelerdeki istatistiksel analiz sonuçlarının önem derecesi  $P < 0.05$ 'de \*,  $P < 0.01$ 'de ise \*\* olarak belirtilmiştir. İstatistiksel olarak önemli olmayanlar ise herhangi bir sembole belirtilmemiştir.

**EK 30.** Termik santral kaynaklı kirletici gazların örnek alınan bitki yapraklarındaki lipid peroksidasyonu üzerine etkileri

**Lipid Peroksidasyonu** (n mol MDA/g TA)

Yıllar	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
2006	400	10,11	0,27
2007	400	10,53	0,28

Aylar	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
Nisan	400	6,97	0,17
Eylül	400	13,67 **	0,28

Türler	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
Eucalyptus	400	7,51	0,29
Morus	400	13,13 **	0,26

Yönler	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
Doğu	160	14,40 **	0,58
Kuzey-doğu	160	12,28 **	0,42
Kuzey	160	11,35 **	0,34
Kuzey-batı	160	6,96	0,20
Batı	160	6,61	0,19

Mesafeler	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
1 km	160	9,37	0,31
2.5 km	160	13,32 **	0,58
5 km	160	13,21 **	0,47
10 km	160	8,28	0,27
15 km	160	7,39	0,22

Çizelgelerdeki istatistiksel analiz sonuçlarının önem derecesi  $P < 0.05$ 'de \*,  $P < 0.01$ 'de ise \*\* olarak belirtilmiştir. İstatistiksel olarak önemli olmayanlar ise herhangi bir sembole belirtilmemiştir.

**EK 31.** Termik santral kaynaklı kirletici gazların örnek alınan bitki yapraklarındaki SH-bileşikleri konsantrasyonu üzerine etkileri

**SH-Bileşikleri Konsantrasyonu (ppm)**

Yıllar	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
2006	400	10,08	0,29
2007	400	10,34	0,29

Aylar	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
Nisan	400	10,12	0,29
Eylül	400	10,30	0,28

Türler	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
Eucalyptus	400	10,48	0,30
Morus	400	9,94	0,27

Yönler	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
Doğu	160	15,64 **	0,51
Kuzey-doğu	160	13,35 **	0,36
Kuzey	160	11,69 **	0,34
Kuzey-batı	160	5,36	0,20
Batı	160	5,01	0,19

Mesafeler	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
1 km	160	9,72	0,41
2.5 km	160	14,65 **	0,64
5 km	160	13,06 **	0,50
10 km	160	7,58	0,37
15 km	160	6,03	0,25

Çizelgelerdeki istatistiksel analiz sonuçlarının önem derecesi  $P < 0.05$ 'de \*,  $P < 0.01$ 'de ise \*\* olarak belirtilmiştir. İstatistiksel olarak önemli olmayanlar ise herhangi bir sembole belirtilmemiştir.

**EK 32.** Termik santral kaynaklı kirletici gazların örnek alınan bitki yapraklarındaki toplam askorbik asit konsantrasyonu üzerine etkileri

**Toplam Askorbik Asit ( $\mu\text{g/ml TA}$ )**

Yıllar	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
2006	400	10,72	2,21
2007	400	13,01 *	1,96

Aylar	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
Nisan	400	10,96	3,13
Eylül	400	12,77 *	1,54

Türler	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
Eucalyptus	400	12,04	3,41
Morus	400	11,69	2,57

Yönler	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
Doğu	160	15,52 **	3,89
Kuzey-doğu	160	14,08 **	3,21
Kuzey	160	12,82 **	2,75
Kuzey-batı	160	8,64	1,20
Batı	160	8,24	1,19

Mesafeler	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
1 km	160	10,66	2,10
2.5 km	160	14,89 **	3,45
5 km	160	13,68 **	2,78
10 km	160	8,52	1,58
15 km	160	7,15	1,14

Çizelgelerdeki istatistiksel analiz sonuçlarının önem derecesi  $P < 0.05$ 'de \*,  $P < 0.01$ 'de ise \*\* olarak belirtilmiştir. İstatistiksel olarak önemli olmayanlar ise herhangi bir sembole belirtilmemiştir.

**EK 33.** Termik santral kaynaklı kirletici gazların örnek alınan bitki yapraklarındaki indirgenmiş askorbik asit konsantrasyonu üzerine etkileri

**İndirgenmiş Askorbik Asit (µg/ml TA)**

Yıllar	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
2006	400	8,04	2,15
2007	400	9,56 *	2,55

Aylar	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
Nisan	400	6,69	1,17
Eylül	400	10,91 **	2,56

Türler	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
Eucalyptus	400	8,86	2,14
Morus	400	8,61	1,98

Yönler	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
Doğu	160	11,30 **	2,74
Kuzey-doğu	160	10,43 **	2,12
Kuzey	160	9,63 **	1,85
Kuzey-batı	160	6,36	1,44
Batı	160	6,03	1,39

Mesafeler	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
1 km	160	7,86	1,11
2.5 km	160	13,74 **	2,54
5 km	160	12,42 **	2,13
10 km	160	7,52	1,45
15 km	160	6,40	1,05

Çizelgelerdeki istatistiksel analiz sonuçlarının önem derecesi  $P < 0.05$ 'de \*,  $P < 0.01$ 'de ise \*\* olarak belirtilmiştir. İstatistiksel olarak önemli olmayanlar ise herhangi bir sembole belirtilmemiştir.

**EK 34.** Termik santral kaynaklı kirletici gazların örnek alınan bitki yapraklarındaki okside askorbik asit konsantrasyonu üzerine etkileri

**Okside Askorbik Asit ( $\mu\text{g/ml TA}$ )**

Yıllar	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
2006	400	2,98	0,59
2007	400	3,23	0,47

Aylar	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
Nisan	400	2,95	0,24
Eylül	400	3,26	0,78

Türler	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
Eucalyptus	400	3,18	0,41
Morus	400	3,03	0,35

Yönler	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
Doğu	160	3,70	0,85
Kuzey-doğu	160	3,62	0,74
Kuzey	160	3,59	0,42
Kuzey-batı	160	3,45	0,39
Batı	160	3,42	0,41

Mesafeler	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
1 km	160	3,28	0,43
2,5 km	160	3,48	0,75
5 km	160	3,42	0,78
10 km	160	3,21	0,29
15 km	160	3,11	0,22

Çizelgelerdeki istatistiksel analiz sonuçlarının önem derecesi  $P < 0.05$ 'de \*,  $P < 0.01$ 'de ise \*\* olarak belirtilmiştir. İstatistiksel olarak önemli olmayanlar ise herhangi bir sembole belirtilmemiştir.

**EK 35.** Termik santral kaynaklı kirletici gazların örnek alınan bitki yapraklarındaki çözümlü protein konsantrasyonu üzerine etkileri

**Çözümlü Protein Konsantrasyonu ( $\mu\text{g/ml TA}$ )**

Yıllar	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
2006	400	341,51	42,15
2007	400	387,38 *	54,30

Aylar	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
Nisan	400	255,30	34,15
Eylül	400	463,59 *	69,42

Türler	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
Eucalyptus	400	296,63	36,05
Morus	400	432,26 **	32,67

Yönler	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
Doğu	160	610,19 **	68,22
Kuzey-doğu	160	505,89 **	64,52
Kuzey	160	409,43 **	60,12
Kuzey-batı	160	150,75	15,36
Batı	160	145,97	12,48

Mesafeler	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
1 km	160	326,58	45,42
2.5 km	160	556,29 **	66,34
5 km	160	482,98 **	58,73
10 km	160	293,71	15,45
15 km	160	162,67	17,14

Çizelgelerdeki istatistiksel analiz sonuçlarının önem derecesi  $P < 0.05$ 'de \*,  $P < 0.01$ 'de ise \*\* olarak belirtilmiştir. İstatistiksel olarak önemli olmayanlar ise herhangi bir sembole belirtilmemiştir.

**EK 36.** Termik santral kaynaklı kirletici gazların örnek alınan bitki yapraklarındaki süperoksit dizmutaz konsantrasyonu üzerine etkileri

**Süperoksit Dizmutaz (SOD U/mg TA)**

Yıllar	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
2006	400	30,18	4,41
2007	400	38,33 *	6,68

Aylar	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
Nisan	400	29,17	7,58
Eylül	400	39,34 *	4,78

Türler	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
Eucalyptus	400	29,71	7,23
Morus	400	38,79 *	7,21

Yönler	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
Doğu	160	44,37 **	8,82
Kuzey-doğu	160	41,25 **	8,42
Kuzey	160	38,99 **	8,51
Kuzey-batı	160	24,71	5,37
Batı	160	21,94	5,47

Mesafeler	Tekerrür sayısı	Ortalama	Standart sapma
1 km	160	34,82 *	7,57
2.5 km	160	41,29 **	9,97
5 km	160	39,68 **	8,34
10 km	160	28,64	6,93
15 km	160	26,83	6,06

Çizelgelerdeki istatistiksel analiz sonuçlarının önem derecesi  $P < 0.05$ 'de \*,  $P < 0.01$ 'de ise \*\* olarak belirtilmiştir. İstatistiksel olarak önemli olmayanlar ise herhangi bir sembole belirtilmemiştir.

**EK 37.** Termik santral kaynaklı kirletici gazların örnek alınan bitki türlerine ait yaprak örnekleriyle analizi yapılan stres parametreleri üzerine etkileri

Stres Parametreleri	<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	<i>Morus alba</i>
	Ortalama ± Standart sapma	
<b>Stoma sayısı</b> (mm <sup>2</sup> )	508,61 ± 42,53	270,74 ± 29,48 **
<b>Toplam Klorofil</b> (mg/g TA)	2,98 ± 0,53	2,87 ± 0,48
<b>Klorofil a</b> (mg/g TA)	2,17 ± 0,43	2,11 ± 0,38
<b>Klorofil b</b> (mg/g TA)	0,61 ± 0,09	0,66 ± 0,10
<b>Karotenoid</b> (mg/g TA)	0,74 ± 0,06	0,80 ± 0,07
<b>Prolin</b> (µ mol prolin/g TA)	2,96 ± 0,17	5,27 ± 0,15 **
<b>Lipid peroxidasyonu</b> (n mol MDA/g TA)	7,51 ± 0,29	13,13 ± 0,26 **
<b>SH-bileşikleri</b> (ppm)	10,48 ± 0,30	9,94 ± 0,27
<b>Toplam AsA</b> (µg/ml TA)	12,04 ± 3,41	11,69 ± 2,57
<b>İnd AsA</b> (µg/ml TA)	8,86 ± 2,14	8,61 ± 1,98
<b>Oks AsA</b> (µg/ml TA)	3,18 ± 0,41	3,03 ± 0,35
<b>Çözünür protein</b> (µg/ml TA)	296,63 ± 36,05	432,26 ± 32,67 **
<b>SOD</b> (SOD U/mg TA)	29,71 ± 7,23	38,79 ± 7,21 *

Çizelgelerdeki istatistiksel analiz sonuçlarının önem derecesi  $P < 0.05$ 'de \*,  $P < 0.01$ 'de ise \*\* olarak belirtilmiştir. İstatistiksel olarak önemli olmayanlar ise herhangi bir sembolle belirtilmemiştir.