

T.C.
MUNZUR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



MUNZUR
ÜNİVERSİTESİ
2008

**DİYARBAKIR İLİNDE FARKLI BÖLGELERDEN TOPLANAN
BİTKİLERDEKİ ANTİOKSİDAN PARAMETRELER KULLANILARAK HAVA
KİRLİLİĞİNİN İZLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Eşref GEZER

Anabilim Dalı: Çevre Mühendisliği

DANIŞMAN
Doç. Dr. Nuran CIKCIKOĞLU YILDIRIM

TUNCELİ – 2018

T.C.
MUNZUR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DİYARBAKIR İLİNDE FARKLI BÖLGELERDEN TOPLANAN
BİTKİLERDEKİ ANTİOKSİDAN PARAMETRELER KULLANILARAK HAVA
KİRLİLİĞİNİN İZLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Eşref GEZER

(11881019)

Anabilim Dalı: Çevre Mühendisliği

DANIŞMAN

Doç. Dr. Nuran ÇIKCIKOĞLU YILDIRIM

TUNCELİ – 2018

T.C.
MUNZUR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DİYARBAKIR İLİNDE FARKLI BÖLGELERDEN TOPLANAN
BİTKİLERDEKİ ANTİOKSİDAN PARAMETRELER KULLANILARAK HAVA
KİRLİLİĞİNİN İZLENMESİ**

**Eşref GEZER
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

Bu tez 19/03/2018 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından **oybirliği/oyçokluğu** ile kabul edilmiştir.

İmza:.....

Doç. Dr. Nuran
CIKCIKOĞLU YILDIRIM
(Munzur Üniversitesi)

DANIŞMAN

İmza:.....

Dr. Öğr. Üyesi E. Işıl
ARSLAN TOPAL
(Fırat Üniversitesi)

ÜYE

İmza:.....

Dr. Öğr. Üyesi Mehtap
TANYOL
(Munzur Üniversitesi)

ÜYE

Bu tez, Enstitümüz Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı'nda hazırlanmıştır.

Doç. Dr. Numan YILDIRIM
Enstitü Müdürü
İmza ve Mühür

Bu çalışma, Munzur Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından desteklenmiştir.

Proje No: YLMUB017-06

NOT: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı “Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu”ndaki hükümlere tabidir.

Diyarbakır İlinde Farklı Bölgelerden Toplanan Bitkilerdeki Antioksidan Parametreler Kullanılarak Hava Kirliliğinin İzlenmesi

ÖZET

Hava kirliliği hem gelişmiş hem de gelişmekte olan şehirlerdeki en önemli çevresel kaygılardan biridir. Bu çalışmada, Diyarbakır ilinde farklı bölgelerden toplanan *Pinus nigra* bitkilerindeki antioksidan parametreler kullanılarak hava kirliliğinin izlenmesi amaçlanmıştır.

Bu amaçla *Pinus* sp. Ağustos ve Aralık aylarında Diyarbakır'ın merkezinde üç ayrı yerden (Eğil (kontrol), Koşuyolu (şehir merkezi) ve Organize Sanayi Bölgesi) yaprak örnekleri toplandı. *Pinus nigra* yaprağında enzimatik antioksidanlar süperoksit dismutaz (SOD), katalaz (CAT), glutatyon peroksidaz (GP_x), glutatyon S-transferaz (GST) ve malondialdehit (MDA) seviyeleri belirlendi. Biyokimyasal biyobelirteçler, ELISA metodu kullanılarak mikropılaka okuyucuda ölçüldü.

Ağustos ayında SOD enzim aktivitesini Eğil (kontrol) ile kıyasladığımızda Koşuyolu ve Organize Sanayi Bölgesinde azalmıştır, ancak aralık ayında kontrol ile kıyaslandığında diğer istasyonlarda artmıştır. CAT enzim aktivitesi kontrol ile kıyaslandığında Koşuyolu ve Organize Sanayi Bölgesinde azalmıştır. Ağustos ayında GP_x düzeyleri Eğil ile kıyaslandığında Organize Sanayi Bölgesinde artmıştır. GST enzim aktivitesinde her iki mevsimde istatistiksel olarak önemli bir değişiklik görülmemiştir. MDA düzeyleri Eğil ile kıyaslandığında genel anlamda diğer bölgelerde artış göstermiştir.

Diyarbakır ilinde hava kirliliğinin izlenmesinde *Pinus nigra* yapraklarında SOD, CAT, GP_x enzimleri ile MDA düzeylerindeki değişikliklerin yararlı birer biyobelirteç olarak kullanılabileceği ancak GST'nin biyobelirteç olarak kullanılmasının uygun olmadığı sonucuna varılmıştır. Ayrıca, *Pinus* sp. nin kirletilmiş alanlardaki çevresel hava kalitesini yansıtacak etkili bir biyoindikatör olduğu da kanıtlanmıştır. Biyokimyasal biyobelirteçlerin farklı sonuçları, bitkilerdeki hava kirliliğinin olumsuz etkilerinden sorumlu olası metabolik süreçlerin bir göstergesi olarak değerlendirilebilir ve bitkinin biyokimyasal tepkisi, Diyarbakır'da yetersiz kontrol edilen kentsel hava kirliliğinin çevresel sonuçlarını bir dereceye kadar ortaya koyabilmektedir.

Anahtar kelimeler: Hava kirliliği, Antioksidan Enzimler, *Pinus* sp, Diyarbakır

Observation of Air Pollution by Using Antioxidant Parameters in Plants Collected from Different Regions in Diyarbakir Province

ABSTRACT

Air pollution is one of the most significant environmental concerns in both developed and developing cities. In this study, it was aimed to monitor air pollution using antioxidant parameters in *Pinus nigra* plants collected from different regions in Diyarbakir province.

For this purpose, *Pinus* sp. Leaf samples of the species were collected from three different location (Eğil (control), Koşuyolu (city centre) and Industrial Area in the centre of Diyarbakir province in August and December. . Enzymatic antioxidants (superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT), glutathione peroxidase (GPx), glutathione S-transferase (GST) and malondialdehyde (MDA)) levels were determined in the leaf of the *Pinus nigra*. Biochemical biomarkers were measured in a microplate reader using the ELISA method.

In August, SOD enzyme activities were decreased in Koşuyolu and industrial areas When compared to control (control), but increased at other stations compared to the control at December. CAT enzyme activity is decreased in Koşuyolu and industrial areas when compared to control. In August GP_x levels increased in the organized industrial zone compared to Eğil. There was no statistically significant change in GST enzyme activity in both seasons. MDA levels generally increased in Koşuyolu and industrial area when compared to Eğil.

According to the results, biomonitoring air pollution in Diyarbakir province, changes in SOD, CAT, GP_x enzymes with MDA levels of *Pinus nigra* could be used as biomarkers but GST was not suitable as a biomarker. In addition, *Pinus* sp. has also proved to be an effective bioindicator that reflects the quality of the surrounding air in contaminated areas. The different results of biochemical biomarkers can be evaluated as an indication of possible metabolic processes responsible for the adverse effects of air pollution in plants and the biochemical response of the plant can reveal to some extent the environmental consequences of inadequately controlled urban air pollution in Diyarbakir.

Key words: Air pollution, Antioxidant enzymes, *Pinus* sp., Diyarbakir

TEŞEKKÜRLER

Bu çalışma, Munzur Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans tezi olarak hazırlanmıştır.

Bu çalışmayı destekleyen Munzur Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri birimine teşekkür ederim (YLMUB017-06).

Bu çalışmanın planlanması, hayata geçirilmesi, tezimin yazım ve deney aşamasında her an yanımda olan, bilgilerinden ve tecrübelerinden faydalandığım saygıdeğer danışmanım Sayın Doç. Dr. Nuran CIKCIKOĞLU YILDIRIM'a değerli katkılarından dolayı sonsuz teşekkür ederim.

Tez çalışmamın her aşamasında maddi, manevi desteklerini benden esirgemeyen Fen Bilimleri Enstitü Müdürü Sayın Doç. Dr. Numan YILDIRIM'a ve Mühendislik Fakültesi öğretim üyesi Sayın Yrd. Doç. Dr. Şule TATAR'a teşekkürlerimi borç bilirim.

Laboratuvar çalışmalarım sırasında bana yardımcı olan yüksek lisans öğrencileri Metin YAMAN ve Elif KARDAŞ'a teşekkür ederim.

Yüksek Lisans çalışmam süresince maddi, manevi desteğini esirgemeyen sevgili aileme ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.

EŞREF GEZER

TUNCELİ-2018

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖZET	I
ABSTRACT	II
TEŞEKKÜRLER	III
İÇİNDEKİLER	IV
ŞEKİLLER LİSTESİ	VI
TABLolar LİSTESİ	VII
KISALTMALAR	VIII
1. GİRİŞ	1
1.1. Hava Kirliliği	2
1.2. Hava Kirlleticileri	4
1.2.1. Birincil Kirlleticiler	4
1.2.2. İkincil Kirlleticiler	5
1.3. Kirlitici Gazlar	5
1.3.1. Kükürt Dioksit (SO ₂)	5
1.3.2. Karbondioksit (CO ₂)	6
1.3.3. Karbonmonoksit (CO)	6
1.3.4. Ozon (O ₃)	7
1.3.5. Partiküler Madde (PM)	7
1.3.6. Azot Oksitler (NO _x)	8
1.3.7. Hidrokarbonlar	8
1.4. Hava Kirliliğinin Etkileri	9
1.4.1. Hava Kirlleticilerinin Bitkilere Etkileri	9
1.4.2. Hava Kirliliğine Karşı Bitkilerin Geliştirdiği Savunma Mekanizması	12
1.4.2.1. Süperoksit Dismutaz (SOD)	14
1.4.2.2. Katalaz (CAT)	15
1.4.2.3. Glutasyon S-Transferaz (GST)	15
1.4.2.4. Glutasyon Peroksidaz (GPX)	18
1.4.2.5. Lipid Peroksidasyonunun Göstergesi Malondialdehid (MDA)	18
1.5. Hava Kirliliğinin İzlenmesinde Bitkilerin Kullanılması	18
1.5.1. Biyoizlemede Bitki Kullanılmasının Avantajları	19

1.5.2.	Biyomonitör Bitki: <i>Pinus nigra</i>	20
2.	MATERYAL VE METOD	23
2.1.	Bitki Örneklerinin Toplanması	23
2.2.	Bitki Örneklerinin Homojenizasyonu ve Santrifüjlenmesi	24
2.3.	Antioksidan Parametrelerin Belirlenmesi	25
2.3.1.	Süperoksit Dismutaz Enzim Aktivitesinin Belirlenmesi	25
2.3.2.	Katalaz Enzim Aktivitesinin Belirlenmesi	25
2.3.3.	Glutasyon Peroksidaz Enzim Aktivitesinin Belirlenmesi	25
2.3.4.	TBARS (Tiyobarbitürik Asit Reaktif Maddesi) Düzeylerinin Belirlenmesi	26
2.3.5.	Glutasyon S-Transferaz Enzim Aktivitesinin Belirlenmesi	26
3.	BULGULAR	27
3.1.	Enzimatik Antioksidanlar	28
3.1.1.	SOD Aktivitesi	28
3.1.2.	CAT Aktivitesi	29
3.1.3.	GPX Aktivitesi	30
3.1.4.	GST Aktivitesi	31
3.2.	MDA Düzeyleri	32
4.	TARTIŞMA	33
5.	SONUÇLAR	39
6.	ÖNERİLER	40
	KAYNAKÇA	41
	ÖZGEÇMİŞ	52

SEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1.1. Hava kirliliğine neden olan etmenler	4
Şekil 1.2. Reaktif oksijen türlerinin üretimi	11
Şekil 2.1. <i>Pinus nigra</i>	23
Şekil 2.2. Örnekleme yapılan istasyonlar	24
Şekil 3.1. Aralık ayında Diyarbakır yöresinde farklı istasyonlardan toplanan yaprak örneklerinde SOD enzim aktivitesindeki değişimler	28
Şekil 3.2. Ağustos ayında Diyarbakır yöresinde farklı istasyonlardan toplanan yaprak örneklerinde SOD enzim aktivitesindeki değişimler	28
Şekil 3.3. aralık ayında Diyarbakır yöresinde farklı istasyonlardan toplanan yaprak örneklerinde CAT enzim aktivitesindeki değişimler	29
Şekil 3.4. ağustos ayında Diyarbakır yöresinde farklı istasyonlardan toplanan yaprak örneklerinde CAT enzim aktivitesindeki değişimler	29
Şekil 3.5. aralık ayında Diyarbakır yöresinde farklı istasyonlardan toplanan yaprak örneklerinde GP _x enzim aktivitesindeki değişimler	30
Şekil 3.6. ağustos ayında Diyarbakır yöresinde farklı istasyonlardan toplanan yaprak örneklerinde GP _x enzim aktivitesindeki değişimler	30
Şekil 3.7. aralık ayında Diyarbakır yöresinde farklı istasyonlardan toplanan yaprak örneklerinde GST enzim aktivitesindeki değişimler	31
Şekil 3.8. ağustos ayında Diyarbakır yöresinde farklı istasyonlardan toplanan yaprak örneklerinde GST enzim aktivitesindeki değişimler	31
Şekil 3.9. aralık ayında Diyarbakır yöresinde farklı istasyonlardan toplanan yaprak örneklerinde MDA düzeyindeki değişimler	32
Şekil 3.10. ağustos ayında Diyarbakır yöresinde farklı istasyonlardan toplanan yaprak örneklerinde MDA düzeyindeki değişimler	32

TABLÖLER LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 1.1. Hava kirleticilerinin bitkilerde oluşturduğu zararlar	12
Tablo 1.2. Bitkilerde enzimatik olmayan ve enzimatik antioksidanların lokalizasyonları ve rolleri	17
Tablo 3.1. Diyarbakır yöresinde farklı istasyonlardan toplanan yaprak örneklerinde antioksidan parametrelerdeki yaz ayındaki değişimler	27
Tablo 3.2. Diyarbakır yöresinde farklı istasyonlardan toplanan yaprak örneklerinde antioksidan parametrelerdeki kış ayındaki değişimler	27

KISALTMALAR

AA	: Askorbik asit
AP_x	: Askorbat peroksidaz
ROS	: Reaktif oksijen türleri
SOD	: Süperoksit dismutaz
CAT	: Katalaz
CH₄	: Metan
C₂H₆	: Etan
C₃H₈	: Propan
C₆H₆	: Benzen
C₄H₁₀	: Bütan
C₆H₁₄	: Hekzan
CO	: Karbonmonoksit
CO₂	: Karbon dioksit
DHAR	: Dehidroaskorbat redüktaz
ELISA	: Enzyme linked immunosorbent assay
ETC	: Elektron transfer zinciri
Fe	: Demir
GPx	: Glutasyon peroksidaz
GSH	: Glutasyon
GSSG	: Okside glutasyon
GST	: Glutasyon-S-Transferaz
GR	: Glutasyon redüktaz
H₂SO₄	: Sülfürik asit
He	: Helyum
HF	: Hidrojen florür
H₂O₂	: Hidrojen peroksit
H₂S	: Hidrojen sülfür
H₂SO₃	: Sülfüröz asit
HSO₃	: Bisülfid

HNO₃	: Nitrik Asit
HCO₃	: Bikarbonat
VOC	: Uçucu organik bileşikler
PAH	: Polisiklik aromatik hidrokarbon
PCB	: Poliklörölübifeniller
POD	: Peroksidaz
PM	: Partikül madde
PSI	: Fotosistem I
PSII	: Fotosistem II
PUFA	: Doymamış yağ asidi
Mn	: Mangan
MDA	: Malondialdehit
MDHAR	: Monodehidro askorbat redüktaz
NADPH	: Nikotinamid adenin dinükleotit fosfat
N₂	: Azot
NO	: Azot monoksit
N₂O	: Azot protoksit
NO₂	: Azot dioksit
Ne	: Neon
NO_x	: Azot oksit
O₂	: Oksijen
O₂^{·-}	: Süperoksit radikali
O₃	: Ozon
•OH	: Hidroksil radikali
PAN	: Peroksiasetil nitrat
SO₂	: Kükürt dioksit
SO₃	: Sülfat
SH	: Sulfidril
SO₃	: Kükürt trioksit
TBA	: Tiyoarbütirik asit
µm	: Mikrometre
Xe	: Ksenon

1. GİRİŞ

Sanayileşme ve antropojenik faaliyetler nedeniyle hava kirliliği, günümüzde dünyanın karşı karşıya olduğu önemli bir çevre sorunu haline gelmiştir. Bütün dünyada, başta büyük şehirler olmak üzere hava kirliliği düzeyleri düzenli olarak izlenmesine rağmen, hala bu sorunun üstesinden gelinememektedir. Kirlilik özellikle sanayi kuruluşlarından, ısınmadan ve motorlu trafikten kaynaklanmaktadır. Diyarbakır ili son zamanlarda hızlı bir şekilde göç almakta ve ilde sanayileşme oldukça hızlı ilerlemektedir. Artan sanayi kuruluşları beraberinde nüfusun artışı da getirmekte bu da çeşitli çevresel problemleri tetiklemektedir. Bu nedenle Diyarbakır ilindeki hava kirliliği birçok boyutlarıyla incelenmeye değer durumdadır (Bayram ve ark., 2006).

Önemli kirletici gazlar SO_2 , NO_x , CO, asılı partiküller ve bunun dışında hidrokarbonlar, kurşun, çinko, kadmiyum, krom gibi ağır metaller, flor ve florlu atık gazlar, klor ve klorlu bileşikler, uçucu organik bileşikler, poli aromatik hidrokarbonlar, dioksin–furanlar, radyoaktif maddeler vb. şeklinde sıralanabilir. Bu gazların birçoğu önem kazanmaktadır ve çoğunun fitotoksitesitesi ve tarımsal bitkiler ile orman ağaçları üzerindeki olumsuz etkileri kirleticinin dozu ve türlerine bağlı olarak iyi belgelenmiştir (Ormrod ve ark., 1986; Darrall ve ark., 1989). Ancak, güvenilir ve sürdürülebilir bir hava kirliliği izlemeye ve kontrol metodlarına her zaman ihtiyaç vardır. Bitkileri kullanarak hava kirliliğini biyolojik olarak izlemek geleneksel fiziko-kimyasal yöntemlerle karşılaştırıldığında maliyeti uygun, sürdürülebilir ve çevre dostu olduğu için son zamanlarda ilgi konusu olmuştur. Bazı bitki türleri belirli hava kirleticilerine yüksek oranda duyarlıdır ve spesifik hasar belirtileri göstererek kirletici etkilere spesifik tepkiler gösterir. Bu türler, hava kirleticilerinin varlığını veya yokluğunu tespit etmek ve izlemek için kullanılabilir. Atmosferik saflık indeksi, hava kirliliği tolerans indeksi ve matematiksel modeller gibi çeşitli yöntemlerin hava kirliliğinin izlenmesinde bitkilerin rollerinin çalışılması önerilmiştir (Badamasi, 2017).

Hava, bu gezegenin önemli ve yaşamsal bir bileşenidir ve bileşimindeki ufak bir değişiklik bu gezegendeki farklı organizmaların büyümesi, gelişimi ve hayatta kalmasına olumsuz etkilere neden olabilir. Hava kirliliği atmosferde pek çok zararlı maddelerin izin verilen değerlerin üzerinde bulunmasına işaret eder, bu da hava kalitesinin bozulmasının yanı sıra doğrudan yada dolaylı olarak insan sağlığını ve ekolojik çevreyi kötü etkiler (Chou, 2014). Spesifik hava kirleticilerine maruz kalmayı takiben yapraklarda

karakteristiksel bir hasar gösteren ve hava kirliliğinin çok düşük konsantrasyonlarına bile duyarlı olan pekçok bitki bilinmektedir. Bu nedenle bu bitkiler verilen bir bölgede hava kirliliğinin varlığını belirlemek için kullanılabilir (Ram ve ark., 2015). Son yıllarda hava kalitesini belirlemek için bitkilerin kullanımına büyük önem verilmektedir. Biyomonitor canlı organizmaların veya onların değişen çevre koşullarına verdikleri cevabın sistematik olarak kullanılması olarak tanımlanır. Biyolojik izleme aktif veya pasif olabilmektedir. Pasif yöntem ilgi alanımızdaki bitkilerin doğal büyümelerini gözlemlemek, aktif yöntem ise bitkinin kirlleticilerin varlığını gösteren bilinen bir cevabını kullanmaktır. Biyomonitor dört kavramı içermektedir: Biyobelirteçlerin kullanımını, biyoindikasyon, biyoentegrasyon ve biyoakümülyasyon. Biyolojik yöntemler hem hava kirliliğine maruziyet sonrası meydana gelen risklerin doğrudan değerlendirilmesini sağlar hem de fiziksel, kimyasal ve analitik değerlendirmeye erişilemeyecek bilgilere ulaşmamızı sağlar (Joshi ve ark., 2009).

Bitkilerin hava kirleticilerine cevap olarak serbest radikal oluşturduğu bilinen bir biyokimyasal olaydır. Bitkiler bu serbest radikalleri ortadan kaldırmak ve minimum hasar oluşması için artan antioksidan enzim seviyeleri ve aktiviteleri yoluyla cevap oluştururlar (Srivasta, 1999). SO_2 , CO_2 ve NO_x gibi hava kirleticilerine maruz kalındığında serbest oksijen radikalleri (süperoksit radikali ($O_2^{\cdot-}$), hidrojen peroksit (H_2O_2) ve oldukça reaktif hidroksil radikali ($\cdot OH$) oluşmaktadır. $\cdot OH$ radikali; biyomoleküllerin oksidasyonuna neden olarak, DNA değişiklikleri, lipid peroksidasyonu ve enzim aktivitelerinin değişimi ile sonuçlanacak şekilde bitkiye zarar vermektedir. $O_2^{\cdot-}$ ve H_2O_2 birleşiklerine karşı süperoksit dismutaz (SOD), peroksidaz (POD) ve katalaz (CAT) gibi enzimler öncelikli savunma sistemi oluşturmaktadır. Bunun yanı sıra askorbik asit, glutatyon ve β -karoten gibi enzimatik olmayan antioksidanlar da bulunmaktadır (Lee, 2000; Richardson ve ark., 1989). Antioksidan parametrelerdeki değişimler ile yükselen lipid peroksidasyon seviyeleri hava kirliliği sonucu oluşan oksidatif stresin birer biyobelirteçi olarak kullanılabilir (Richardson ve ark., 1989).

1.1. Hava Kirliliği

Hava kirliliği, en önemli çevre sorunlarından biridir. Günümüzde uluslararası bir sorun olarak karşımıza çıkmakta olup, canlıların sağlığı üzerinde oldukça önemli olumsuz etkileri olduğu gözlenmiştir. Hava kirliliğinin küresel iklim değişiklikleri, ozon tabakasında incelme, ormansızlaşma, kuraklık, asit yağmurları, su ve toprak kirliliği,

biyolojik çeşitliliğin azalması gibi küresel çevre sorunlarına neden olduğu bilinmektedir (Kırımhan, 2006).

Hava, O₂, N, CO₂ gibi gazlardan, su buharından ve toz, polen, tüy gibi partiküllerden oluşur. Havada % 20,9 oranında O₂, % 78,8 N, % 0,9 Ar ve % 0,03 oranında CO₂ bulunur. Daha düşük oranlarda da Ne, He, CH₄, H, Xe, O₃ gibi diğer gazlar bulunur (Kardeşoğlu ve ark., 2011).

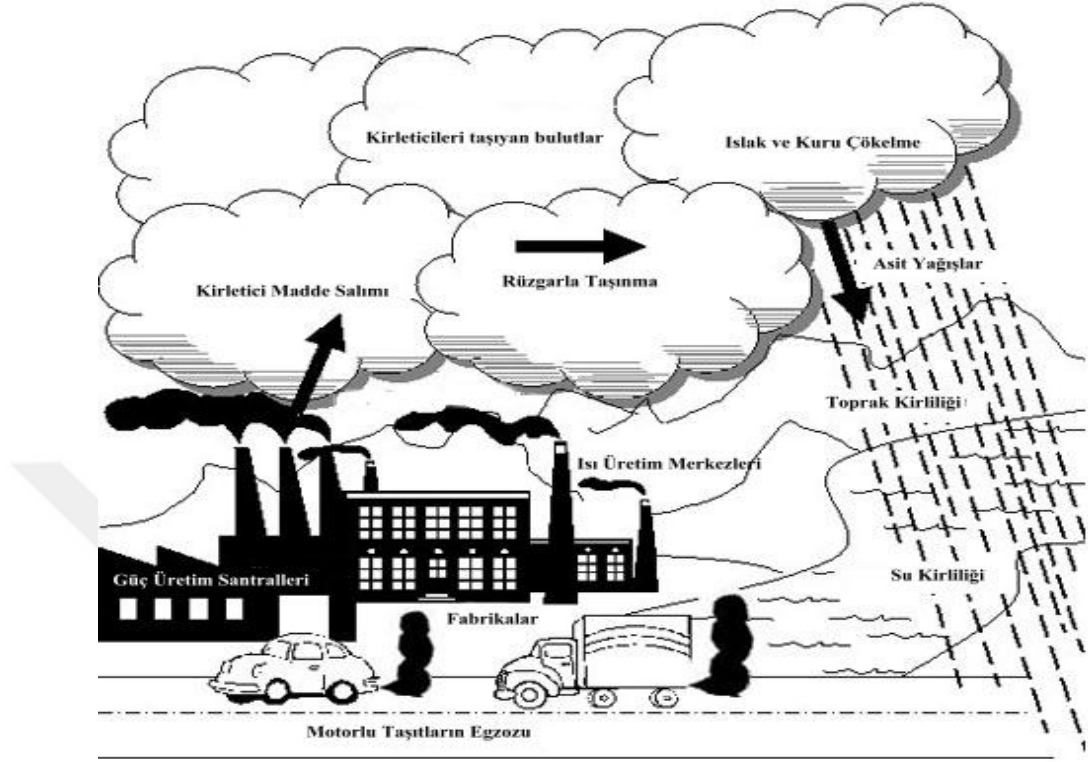
Havada bulunan gazlar 3 grupta incelenmektedir;

1. Miktarları değişmeyen çoğunlukla havada devamlı bulunan gazlar (N₂, O₂ ve diğer asal gazlar)
2. Devamlı havada bulunup, miktarları azalıp çoğalan gazlar (CO₂, su buharı, O₃)
3. Her zaman havada bulunmayan kirletici gazlar (Polat, 2016).

Hava kirliliği, bir veya birden fazla maddenin, canlı sağlığını, doğal ve insan eliyle yapılmış cansız varlıkların yapısını etkileyecek düzeyde atmosferde doğal olarak var olan konsatrasyondan daha fazla miktarda bulunması sonucu oluşan bir hava koşuludur (Güneş, 2008).

Hava kirleticilerinin pek çoğu doğal olaylar neticesinde atmosfere verilmektedir. Örneğin; çiçek tozu zerrelere, mantar sporları, tuz spreyleri, orman yangını dumanları ve volkanik olaylarda ortaya çıkan ince tozlardır. Ayrıca hava kirliliği antropojenik kaynaklı da olabilmektedir. Örneğin; yakıt kalitesi, endüstriyel gelişmişlik ve nüfus yoğunluğu gibi. Ülkemizde özellikle fosil yakıtların kullanım oranının yüksek olması ve ısınma kaynaklı kükürt içeriği yüksek, düşük kaliteli kömür kullanımı en önemli hava kirliliği kaynağıdır. Doğal gaz kullanımı son zamanlarda artmış olmakla birlikte esas enerji kaynağımız kömür ve petroldür. Özensiz yakma tesislerinde oldukça çok miktarda eksik yanma ürünleri meydana gelir ve bunlar bacalardan dışarı verilir. Artan nüfusla birlikte kentsel yaşamın gerektirdiği bir zorunluluk olarak araç kullanımı artmakta ve buna paralel olarak da araçların egzoz gazlarına bağlı olan hava kirliliği ön plana çıkmaktadır. İlerleyen dönemlerde, kurşunsuz benzine geçiş, buharlaşma noktası düşük olmayan yakıtlar kullanmak, motor tasarımı az yakıtla fazla yol yapmaya uygun tasarruflu araçlara izin vermek, doğal gaz ve sıvılaştırılmış petrol gazları ve daha da iyisi elektrik ile çalışan toplu taşıma araçlarına geçmek gibi önlemlerle bu sorunun üstesinden gelinebileceği düşünülmektedir. Endüstrinin gelişmesiyle birlikte sanayi kuruluşlarının sayısı artmakta ve bu kuruluşlarda baca filtrelerinin kullanılmaması, söz konusu kuruluşların yer seçiminde dikkat edilmemesi, toplam ticari enerjinin yaklaşık %90'ında fosil yakıt kullanması gibi

nedenlerle dış çevreye oldukça önemli miktarda kirletici gaz bırakılmaktadır (Bayram ve Dikensoy, 2006).



Şekil 1.1. Hava kirliliğine neden olan etmenler (Kırımhan, 2006)

1.2. Hava Kirleticileri

Hava kalitesi, solunan havanın ne kadar temiz ve kirli olduğunu gösteren bir ölçüttür. Bilim dünyası böyle bir tanım içerisinde, havanın doğal yapısını belirli gazların birleşimi olarak algılamakta ve onun haricindeki herşeyi kirletici adı altında incelemektedir (Kocaman, 2010).

Hava kirleticilerini kaynaklarına göre birincil ve ikincil kirleticiler olarak sınıflandırmak mümkündür.

1.2.1. Birincil Kirleticiler

Birincil kirleticiler, kükürtdioksit (SO_2), hidrojen sülfür (H_2S), azot monoksit (NO), azot dioksit (NO_2), karbon monoksit (CO), karbon dioksit (CO_2), hidrojen florür (HF), partiküller vb. gibi doğrudan bir kaynak tarafından atmosfere yayılan kirleticilerdir.

a- Doğal kaynaklar: Deniz yosunlarının ortama verdiği gazlar, çöl tozları, doğadaki biyolojik değişimler sırasında açığa çıkan karbon oksitler, metan, vb.'dir. Yanardağ volkan faaliyetleri, orman yangınları ile bitki örtüsü ve doğanın tahrip edilmesi.

b- Antropojenik kaynaklar: İnsan faaliyetleri sonucu oluşan kaynaklardır. Bunlara ısınma amacıyla konutlarda yakıt kullanımı, sanayi faaliyetleri sonucu oluşan kirlilik ve trafikten kaynaklı kirlilikler örnek olarak verilebilir (Müezzinoğlu, 1987).

1.2.2. İkincil Kirleticiler

İkincil kirleticiler; doğrudan bir kaynaktan atmosfere atılmış kirleticiler olmayıp, atmosferik dinamiklerin de etkisiyle sonradan oluşan kirleticilerdir. Bu yolla oluşan en bilinen ikincil kirleticisi ozondur. Kükürt trioksit (SO_3), sülfürik asit (H_2SO_4), aldehytler, ketonlar, asitler, endüstriyel duman vb. ikincil kirleticilere örnek verilebilir (Mangır, 2014).

1.3. Kirleticiler Gazlar

1.3.1. Kükürt Dioksit (SO_2)

Hava kirlenmesine neden olan kükürt bileşiklerinin en önemlisi kükürt dioksittir. Genel olarak hava kirleticilerinin %18'ini teşkil eder. Bununla birlikte kükürt dioksit atmosferdeki kükürt bileşiklerinden sadece bir tanesidir. Kükürtlü bileşikler organik maddelerin tabi olarak ayrışması sonucu, volkanlardan ve sanayiden kaynaklanmaktadır. Demir dışındaki metallerin yanması ve kükürtlü yakıtların yanması da kükürt dioksit gazının global konsantrasyonunu arttırmaktadır.

SO_2 ısınma amacıyla kömür kullanımının yaygın olduğu illerde çok yüksek olarak bulunur. Son yıllarda doğal gaz ve daha kaliteli yakıtların kullanımının artmasıyla birlikte SO_2 'nin atmosferik oranında azalma görülmeye başlanmıştır. SO_2 'nin yüksek konsantrasyonlarda bulunduğu bölgeler endüstriyel alanlar ve araç trafiğinin çok olduğu alanlar olarak tespit edilmiştir (Sağlık Bakanlığı, 2010).

SO_2 'nin yüksek miktarlarına kısa süreli maruziyet bitki yapraklarında yanıklara neden olurken, uzun süreli düşük miktarlardaki maruziyet ise klorofilin parçalanmasına ve sarı-beyaz lekelerin oluşmasına neden olur (Müezzinoğlu, 2009).

1.3.2. Karbondioksit (CO₂)

Karbondioksit veya CO₂, iki oksijen atomu ve bir karbon atomu içeren ve doğal olarak oluşan bir moleküldür. Dünya üzerindeki günlük koşullarda karbondioksit, etrafımızda yaygın olarak bulunan bir gazdır. Renksiz ve kokusuz olan CO₂, doğal olarak atmosferde bulunur ve karbon döngüsünün önemli bir parçasıdır. Tüm insanlar nefes alırken karbondioksit yayarlar ve bitkiler büyümek için fotosentez denilen bir süreç boyunca onu absorbe ederler. Atmosfere dönük karbondioksit seviyeleri sanayi devriminden bu yana artmıştır. Birincil sebepler ormansızlaşma ve kömür gibi fosil yakıtların yakılmasıdır. Karbondioksit seviyeleri arttıkça, hava kirliliği üzerindeki etkileri de artar. Karbondioksit, atmosferik gazların yüzde 1'inden azını oluşturmaktadır. Karbondioksit, sera etkisindeki rolüyle hava kirliliğine katkıda bulunur. Hava kirliliği üzerindeki bir başka çevresel etkisi iklim değişikliğidir. Ulusal Okyanus ve Atmosfer İdaresi tarafından yapılan araştırmalara göre, dünyanın yüzey sıcaklığı son 100 yılda artmıştır. Bilim adamları karbondioksit kirliliğinin bu artışın birincil sorumlusu olduğunu söylemektedir. Karbondioksit, asit yağmuru olarak bilinen çevresel etkiye katkıda bulunur. Fosil yakıtı yakan enerji tesislerinden salınan emisyonlar havadaki nemle birleşir ve sonuç olarak asit içeriği yüksek olan yağmurlar oluşur. Bu asit yağmurları, ağaçların ve diğer bitki yaşamlarının fiziksel hasarına neden olur (Mitscherlich, 1995).

1.3.3. Karbonmonoksit (CO)

Karbonmonoksit, yanma reaksiyonu sonucunda oksijenin ortamdaki tüm karbonu tam olarak oksitlemeye yetememesi sonucu ortaya çıkan bir eksik yanma ürünüdür (Bernstein, 2008; Maters, 1991). Trafikteki araçların özellikle de benzin motorlu araçların rölanti konumunda çalışması durumunda eksoz gazı içerisinde CO maksimum miktara ulaşır. İyi pülverize olmamış kömürlerle çalışan veya iyi enjekte edilmeyen sıvı yakıt yakan tesisler bol miktarda karbonmonoksit üretir. Ayrıca sigara dumanı da önemli bir kaynaktır (İnceceik, 1994; Müezzinoğlu, 2009).

1.3.4. Ozon (O₃)

Geçmiş çağlarda yaşayanlar ozonu kokusu sayesinde tanıyorlardı. Elektrik deşarjları sırasında meydana gelen karakteristik kokuya yunanca koku anlamına gelen “ozon” adını verdiler. Ozon gazı sıvı ve saf haldeyken çok güzel bir mavi renge sahiptir. Ozon yükseltgen bir gaz olup, bu nedenle iyi bir dezenfektandır. Bu nedenle arıtma tesislerinde klor yerine kullanılmaktadır. Bu bakterisid özelliklerini bilen ve kirli havalı bina içlerinde ve maden galerilerinde bulunmadığını gören eski nesiller, ozonun varlığını sağlıklı bağdaştırmışlardı. yeryüzünde mevsimlere göre ozon seviyelerinde değişimin olduğu, özellikle kış aylarında maksimum değerlere ulaşıldığı görülmüştür (Müezzinoğlu, 2009; Uysal ve Schapira, 2003).

1.3.5. Partiküler Madde (PM)

Havadaki parçacık kirliliği "partikül madde" olarak adlandırılır ve çok küçük katı ve sıvı parçacıkların ve damlacıkların karışımıdır. Parçacıklar çok çeşitli madde boyutlarında görünür. Parçacıkların boyutu doğrudan sağlık problemlerine neden olma potansiyelleriyle bağlantılıdır. Çapı 10 mikrometreden küçük parçacıklar en büyük problemi oluşturur, çünkü akciğerleri ve kalbi etkileyebilir ve ciddi sağlık sorunlarına neden olabilirler. Büyük partiküller daha az endişe kaynağıdır, ancak gözleri, burun ve boğazı tahriş edebilirler.

Çapı 2,5 mikrometreden küçük parçacık maddelere "ince parçacıklar" denir (PM_{2.5}). Yüzlerce farklı kimyasaldan oluşabilirler. İnce parçacıkların kaynakları, yanma, motorlu taşıtlar, enerji santralleri, konutlarda odun yakma, orman yangınları, tarımsal yanma ve bazı endüstriyel proseslerdir. Rüzgâr, kaynağından yüzlerce mil uzaktan ince parçacıklar taşıyabilir. PM_{2.5} daha zehirli ağır metaller ve tehlikeli organik kirleticiler içerir ve doğrudan akciğerlere gidebilir. Çevredeki bakteri ve virüslere daha kolay bağlanır, böylece parçacıklar ekoloji ve insan sağlığı üzerinde daha büyük etkiye sahiptir (URL-1, 2007).

1.3.6. Azot Oksitler (NO_x)

Renksiz ve kokusuz NO ile şiddetli zehir özelliği taşıyan koyu kahve/kırmızı renkli NO₂ ancak kirlenme dışında doğal olarak şimşek ve yıldırım olayları sonucunda ve havadaki azot ve oksijenin birleşmesi neticesinde ortaya çıkmaktadır (Müezzinoğlu, 2009).

Yakma tesislerindeki kirletici emisyonlar, partiküler haldeki kirleticiler olup, azot oksitler de bunlara dâhildir. Yanma sonucu oluşan NO ve NO₂ gibi gazları kapsamaktadır (Bresse, 2005).

Azot oksitler yüksek sıcaklıkta atmosferdeki azotun termal olarak bağlanması neticesinde ortaya çıkar. Normal olarak her yakma tesisinin işletilmesi sırasında sürekli olarak azotdioksit (NO₂) dönüşen azotmonoksit (NO) meydana gelir. Azot atomları oksijen atomları ile birleşerek sekiz türlü oksijen atomu yapabilir. N₂O (diazotmonoksit), NO (azotmonoksit) konsantrasyonları atmosferde farkedilebilir oranlarda bulunabilir ancak NO ve NO₂ kirlenme meydana getirir (Karpuzcu, 1996).

N₂O gazının atmosferik kalıcılığının yüzyıldan fazla olduğu düşünülmektedir (Denhez, 2007).

NO_x'ler organik çürümeler nedeniyle doğal olarak meydana gelebilmektedir.

NO₂'nin izin verilen değerlerin çok üstünde bulunması insan sağlığı üzerinde oldukça olumsuz etkiler bırakabilmektedir (İncecik, 1994).

Dünya üzerine salınmakta olan 150 milyon ton NO_x'in yaklaşık yarısını antropojenik kaynaklar, yarısını ise orman yangınları, yıldırım ve topraktaki mikrobiyolojik prosesler gibi doğal kaynaklar oluşturmaktadır (İncecik, 1994).

1.3.7. Hidrokarbonlar

Hidrokarbon molekülleri hidrojen ve karbon atomlarından oluşur. Çoğu yakıt türünde hidrokarbon bulunur. Hidrokarbonlar enerji depolarlar. Kömür, yağ ve doğal gazın hepsinde hidrokarbonlar vardır. Hidrokarbonlu yakıt yaktığımızda karbondioksit (CO₂) gazı üretiriz. Karbondioksit havaya salınır. Bazen yanma sonucu da karbon monoksit (CO) yayar. Bazı hidrokarbonlar hava kirliliğine neden olur. Bazıları uçucu organik bileşikler (VOC) olarak adlandırılan kimyasalların bir parçasıdır. VOC'ler, sis içindeki kimyasal maddelerden bazılarıdır.

Hidrokarbonlardan bazıları: metan (CH_4), bütan (C_4H_{10}), propan (C_3H_8), benzen (C_6H_6), etan (C_2H_6) ve hekzan (C_6H_{14})'dır (İncecik, 1994).

1.4. Hava Kirliliğinin Etkileri

Çeşitli hava kirleticileri, insan sağlığı ve çevre üzerinde zararlı etkiler yapmaktadır. Bu kirleticilerin temel olarak alan ısıtmasından, elektrik üretiminden veya motorlu araç trafiğinden kaynaklanan yanma ürünleri olduğu bilinmektedir. Bu kaynaklardan gelen kirleticiler yalnızca bu kaynakların hemen yakınında sorun teşkil etmez, aynı zamanda uzun mesafeleri de aşarlar. Hava kirliliği, bitkilerde ve hayvanlarda biyoçeşitliliği ve ürün verimini etkileyen zararlara neden olmakla birlikte, vegetasyon ve ekosisteme de etkileri olduğu görülmektedir. Ozon tabakasının incilmesi, global iklim değişiklikleri, asit yağmurları, ötrifikasyon gibi pekçok çevresel etkileri vardır (Kırımhan, 2006).

1.4.1. Hava Kirleticilerinin Bitkilere Etkileri

Çeşitli sanayi kuruluşlarından, trafikten ve ısınmadan kaynaklanan atmosferik kirleticiler bitkiler, hayvanlar ve insanlar olmak üzere yeryüzündeki tüm canlılara zarar vermektedirler. Söz konusu kirleticilerin bitkilere verdiği zarar kirleticilerin türü, konsantrasyonu, bitkinin türü ve ışık, sıcaklık gibi çeşitli faktörlere bağlı olarak değişiklik göstermektedir (Elkoca, 2002). Bütün bitkiler için geçerli olmamakla birlikte kirleticiler arasında en çok zararlı olandan en az zararlı olana doğru bir sıralama yaparsak $\text{HF} > \text{SO}_2 > \text{O}_3 > \text{PAN} > \text{NO}$ diyebiliriz (Nuhoğlu, 1993).

Partikül maddeler yaprak gözeneklerini tıkamakta, ayrıca ışığı engelleyerek fotosentezi olumsuz etkilemektedir (Elkoca, 2003). Yaprak dokularının harap olması, yaprakların sararması, büyümenin yavaşlaması hava kirliliğinin sebep olduğu diğer etkilerdir (Pandey ve Agrawal, 1994). Hava kirliliği, bitki fizyolojisi veya biyokimyasal aşamalar üzerinde etkili olduğu gibi, büyüme veya verimde önemli kayıplara ve besin kalitesinde değişikliklere neden olabilir (Elkoca, 2003).

SO_2 ve NO_x kirletici gazları atmosferde su buharı ile reaksiyona girdiğinde asitler üretilir. Sonuç, bitkilere ciddi hasarlar veren asit yağmuru olarak adlandırılır. Asit yağmuru, toprakları ve suları asitleştirerek bitkileri öldürür. Birçok endüstriyel proses ve otomobil motorları tarafından kükürt dioksit ve azot oksit gibi çok miktarda kirletici madde

üretir. Asitli yağmur genellikle doğrudan ağaçları öldürmez. Bunun yerine, yapraklara zarar vererek ağaçları zayıflatmak, onlara sunulan besin maddelerini sınırlandırmak veya onları topraktan yavaş yavaş salınan toksik maddelerle zehirlemek olasılığı daha yüksektir (Eraslan, 1988; Serez ve Ata, 1988; Yıldırım ve ark., 1991; Nuhoğlu, 1993).

Bitkiler ayrıca, pigment yıkımı, zar hasarı, antioksidan metabolitlerin üretimi ve antioksidan enzim aktivitelerinde değişiklik gibi fizyolojik parametrelerdeki değişiklikler yoluyla belirli bir bölgedeki kirlilik yükünü gösterebilirler (Ram, 2015).

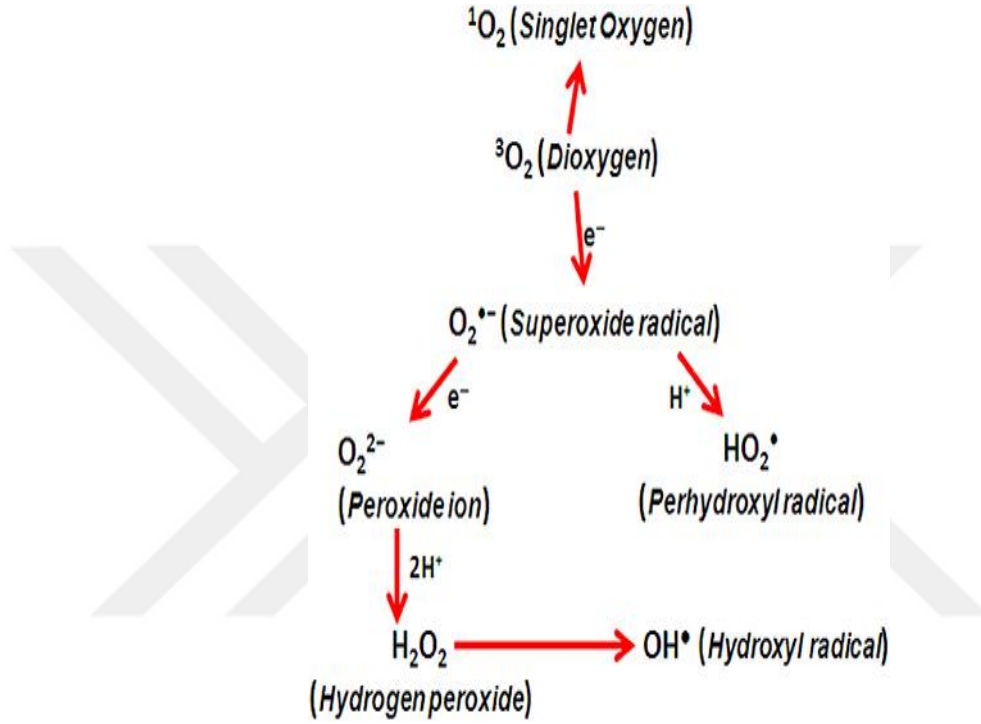
Hava kirleticileri reaktif oksijen türlerinin üretimine yol açarak, hücresel ve moleküler seviyede hasara neden olurlar (Apel and Hearth, 2004). Bitkiler oksidatif stres altında yaşamlarını devam ettirebilmek, stresle başa çıkabilmek için ROS'ların kontrolünü ve detoksifikasyonunu sağlayan çeşitli enzimatik ve enzimatik olmayan antioksidantlara sahiptir (Heath, 2008).

Bitkilerdeki ROS üretimi çoğunlukla kloroplast, mitokondri ve peroksizomlarda lokalizedir. Ayrıca, endoplazmik retikulum, hücre zarı, hücre duvarı ve apoplasta da bulunmaktadır. ROS, çeşitli önemli fizyolojik olaylarda rol oynarken aynı zamanda, tuzluluk, kuraklık, soğuk, ağır metaller, UV radyasyonu vb. gibi çeşitli çevresel stres koşulları altında oksidatif hasarlara da neden olmaktadır. ROS'ların neden olduğu hücresel zararlar, pigment hücreleri, proteinler, lipidler, karbonhidratlar ve DNA gibi biyomoleküllerin parçalanması şeklinde ortaya çıkar ve sonuç olarak bitkinin hücresel ölümü ile sonlanır (Breusegem ve ark., 2006).

Oksijen, dış kabuğunda ayrı orbitallerde iki eşleşmemiş elektrona sahiptir. Bu elektronik yapı, oksijeni özellikle radikal oluşumuna duyarlı hale getirir. Moleküler oksijenin ardışık indirgenmesi bir grup reaktif oksijen türlerinin (süperoksit anyonu, hidrojen peroksit ve hidroksil radikali) oluşumuna neden olmaktadır (Şekil 1.2) (Flora ve ark., 2007; Halliwell, 1998). Süperoksit radikali moleküler oksijenin bir elektron alarak indirgenmesi yolu ile oluşmaktadır. Hidrojen peroksit (H_2O_2), süperoksidin çevresindeki moleküllerden bir elektron alması veya moleküler oksijenin çevresindeki moleküllerden iki elektron alması sonucu oluşan peroksitin iki proton (H^+) ile birleşmesi sonucu meydana gelir. Biyolojik sistemlerde süperoksitin dismutasyonu ile hidrojen peroksit oluşmaktadır. Hidrojen peroksit Fe^{+3} gibi metallerin varlığında "Haber-Weiss" veya "Fenton" reaksiyonu yoluyla hidroksil radikaline dönüşmektedir (Halliwell ve Gutteridge, 1998).

Dünyada yaşam sürdürmek için güneşten gelen ışık enerjisini biyokimyasal enerjiye dönüştürmek çok önemlidir. Bunun için ödenmek zorunda olunan bedel, oksidatif

hasar riskiyle karşı karşıya kalmaktır. Farklı ROS tipleri, yani O_2 (singlet oksijen), H_2O_2 (hidrojen peroksit), $O_2^{\cdot -}$ (süperoksit radikali) ve istenmeyen yan ürün olarak üretilen OH (hidroksil radikali) olarak adlandırılan farklı tip reaktif oksijen radikalleri nedeniyle oksidatif hasar riskiyle yüzleşmektir. Bunlar, bitkiler tarafından tüketilen toplam O_2 'nin yalnızca % 1-2'sinden üretilmektedir (Bhattacharjee, 2005).



Şekil 1.2. Reaktif oksijen türlerinin üretimi

Tablo 1.1. Hava kirleticilerinin bitkilerde oluşturduğu zararlar (Nuhoğlu, 1996)

Köklerde	Gövde ve Dallarda	Yapraklarda
• Kök ağırlığında azalma • Köklerin besin maddesi alımının engellenmesi, • Köklerde çürüme, • Kök/gövde oranında değişme	• Çap artımının ve yıllık halka gelişiminin engellenmesi, • Boy uzamasının engellenmesi, • Hacim artışının engellenmesi, • Besin maddesi iletim dengesinin bozulması	• Stomalardan gaz alış-veriş dengesinin bozulması, • Nekrotik ve klorotik zararlar, • Fotosentezin azalması, • Klorofil ve kloroplast yapısının bozulması, • Transprasyon dengesinin bozulması, • Hücre içi basıncın değişmesi, • Hücre içi besin maddesi dengesinin bozulması • Enzimlerin inhibisyonu, • Enzim konsantrasyonunun değiştirilmesi (azalma-artma), • Sitoplazmik materyalin ve klorofil yoğunluğunun azalması, • Pigment sistemlerinde bozulma, • Yapraklarda kısmen veya tamamen kuruma

1.4.2. Hava Kirliliğine Karşı Bitkilerin Geliştirdiği Savunma Mekanizması

Bitkiler çeşitli stresörlerle karşı karşıya kaldıklarında ROS üretirler ve yaşamlarını tehdit eden bu unsurlara karşı mücadele etmek için antioksidan savunma sistemine sahiptirler (Smirnoff ve ark., 2005).

Bitkilerde, ROS'ların toksik etkilerinden korunmak için enzimatik ve enzimatik olmayan bileşenlerden oluşan etkili bir antioksidant savunma sistemi bulunmaktadır. Antioksidan sistemin enzimatik bileşenleri arasında süperoksit dismutaz (SOD), askorbat peroksidaz (AP_x), monodehidro askorbat redüktaz (MDHAR), dehidroaskorbat redüktaz

(DHAR), glutatyon redüktaz (GR), katalaz (CAT) ve peroksidaz grubundan olan diğer enzimler sayılabilir. Enzimatik olmayan bileşenler ise askorbik asit, glutatyon, α -tokoferol ve karotenoidlerdir (Tablo 1.2) (Smirnoff ve ark., 2005).

ROS bitkilerde kloroplastlar, mitokondri, plazma membranları, peroksizomlar, apoplast, endoplazmik retikulum ve hücre duvarlarındaki çeşitli noktalarda, stres altındaki hücrelerde üretilmektedir. ROS, kloroplastların, mitokondrinin ve plazma zarlarının elektron taşıma aktivitelerinden kaçınılmaz olarak elektronların O_2 'ye sızmasıyla veya farklı hücresel bölmelerde lokalize edilmiş çeşitli metabolik yollarının bir yan ürünü olarak oluşur.

Kloroplastlarda, çeşitli şekillerde ve çeşitli yerlerden ROS üretilir. PSI (Fotosistem I) ve PSII (Fotosistem II)'deki ETC (elektron transfer zinciri)'ler kloroplastlarda ROS'un ana kaynağıdır. Bu kaynaklardan ROS üretimi; kuraklık, tuz ve sıcaklık stresleri, yüksek ışık stresi gibi CO_2 fiksasyonunu sınırlayan koşullarda bitkilerde arttırılır. Stres koşullarından kaynaklanan ETC'nin aşırı yüklenmesi durumunda, azaltılmış NADP kaynağı nedeniyle, ferredoxinden O_2 'ye elektron sızıntısı meydana gelir ve bu da süperoksit radikalini oluşturur (Foyer ve ark., 1994; Asada ve ark., 1977). ROS seviyesinin üst sınırına ulaşıldığı zaman hem hücresel hem de organel membranlarda gelişmiş lipid peroksidasyonu oluşur ve bu da normal hücresel fonksiyonları etkiler. Lipid peroksidasyonu, proteinler ve DNA'ya tepki verebilen ve proteinlere zarar verebilen lipid türevi radikaller üretmesi yoluyla oksidatif stresi arttırır. Stresli koşullar altında hücre membranlarına ROS aracılı hasarın göstergesi olarak lipid peroksidasyonu seviyesi yaygın olarak kullanılmaktadır. Çevresel stres altında büyüyen bitkilerde lipidlerin artmış peroksidasyonu (bozunumu) rapor edilmiştir.

ROS, DNA hasarının önemli bir kaynağıdır. ROS, nükleer, mitokondriyal ve kloroplastik DNA'ya oksidatif hasar verebilir. DNA, hücrenin genetik materyalidir ve DNA'ya verilen herhangi bir hasar, kodlanmış proteinlerin bozulmasına veya kodlanmış proteinlerin tamamen inaktivasyonuna neden olabilecek değişikliklerle sonuçlanabilir. DNA'ya oksidatif saldırı, deoksiriboz oksidasyonu, iplikçik kırılması, nükleotidlerin çıkarılması, nükleotidlerin organik bazlarındaki modifikasyon çeşitleri ve DNA-protein çapraz bağlamalarına neden olur. Ayrıca, bir iplikçikte bulunan nükleotidlerdeki değişiklikler, diğer iplikçikte bulunan nükleotidlerle uyumsuzluklara neden olabilir ve bu da daha sonraki mutasyonları verir. Tuzluluk ve metal toksisitesi gibi çeşitli çevresel

streslere maruz kalan bitkilerde artmış DNA bozunması gözlenmiştir (Foyer ve ark., 1994; Polle, 1996).

Kuraklık, tuzluluk, metal toksisitesi ve UV-B radyasyonu gibi çevresel stresörler ve patojenler saldırısı, hücrel homeostazın bozulması nedeniyle bitkilerde ROS üretiminin artmasına neden olur (Foyer, 1994).

1.4.2.1. Süperoksit Dismutaz (SOD)

Süperoksit dismutaz (SOD) önceleri bir bakır depo proteini olarak bilinmekteydi. Ancak SOD'un günümüzde süperoksit radikalının moleküler oksijen ve hidrojen perokside parçalanmasını sağlayan reaksiyonu katalizleyen bir enzim olduğu anlaşılmıştır.

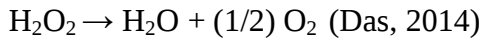


SOD'un katalizlediği yukarıda gösterilen reaksiyona göre $O_2^{\cdot -}$ konsantrasyonlarının stabil kalması mümkün olmaktadır. SOD'un bütün aerobik organizmalarda ve hücrede süperoksidin fazla miktarda üretildiği kloroplast, mitokondri ve sitosol gibi birçok kısımda bulunduğu için oksidatif strese karşı savunma mekanizmasında merkezi bir rolü olduğu düşünülmektedir (Bowler ve ark., 1992). Ayrıca SOD'un nükleus, peroksizom gibi hücre dışı formlarına da rastlanmıştır. SOD enziminin Cu/Zn-SOD (yüksek bitkilerin kloroplastlarında ve sitosolde), Mn-SOD (mitokondrilerde), Fe-SOD izozimleri (yüksek bitkilerde bulunmaz) olmak üzere üç farklı hali bulunmaktadır (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 çeşitli stres faktörlerine bağlı olarak artmaktadır. Çeşitli ksenobiyotiklere maruz kalındığında mekanizması tam olarak bilinmemekle birlikte SOD izozimlerinin herbirinin bağımsız olarak gen düzeyinde düzenlendiği ve bunu muhtemelen oksidatif stres sonucu oluşan lipid peroksidasyon ürünlerinin neden olduğu düşünülmektedir (Bowler ve ark., 1992).

1.4.2.2. Katalaz (CAT)

Antioksidan enzimler arasında katalaz (CAT, 1.11.1.6) keşfedilen ve karakterize edilen ilk enzimdir. İki molekül H_2O_2 'nin su ve oksijene dönüşümünü katalizleyen, her yerde bulunan tetramerik heme içeren bir enzimdir. H_2O_2 için yüksek özgünlüğe sahiptir, ancak organik peroksitlere karşı zayıf aktivite gösterir. (Mc Kersie ve Lehsem, 1994; Sharma ve ark., 2012).



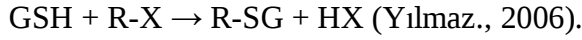
CAT aerobik ökaryotlarda bulunan ve moleküler ağırlığı 220.000 dalton olan tetramer bir enzimdir (Redinbaugh ve ark., 1988; Scandalias, 1990). Bitkilerde çeşitli stresörlere karşı yanıt olarak CAT geninin indüklendiği görülmüştür. Çevresel stresler, yoğunluğa, süresine ve stres türüne bağlı olarak CAT aktivitesinin artırılmasına veya tükenmesine neden olur. Genel olarak, protein döngüsü oranını düşüren stresler de CAT aktivitesini düşürür (Willekens ve ark., 1995).

1.4.2.3. Glutasyon S-Transferaz (GST)

Hücre içerisinde GST'lerin en popüler rolü glutasyon (GSH) ile konjuge ederek nükleofilik ksenobiyotikleri detoksifiye etmektir. GSH, aktif oksijen türlerine karşı geliştirilen koruma mekanizması içerisinde önemli bir moleküldür. Çözünür glutasyon S-konjugeleri pek çok metabolik detoksifikasyon işlemlerine ve oksidatif baskıya karşı devreye giren mekanizmalara katılan ve bitkilerin ikincil metabolizmaları dahilinde sayılan Faz-II enzimlerini içeren kofullarda bulunurlar. Bu sitozolik savunma sistemi, normal metabolizma sürecinde açığa çıkan elektrofilleri, GSH molekülünü ya kosubstrat ya da koenzim olarak kullanmak yoluyla bağlar (Murray ve ark., 1993; Zubay ve ark., 1983; Boyer ve ark., 1984).

Glutasyon S-transferazlar Faz II detoksifikasyon mekanizmasının bir parçasıdır. Bu hücre içi proteinler çoğu aerobik ökaryotlarda ve prokaryotlarda bulunur ve glutasyonun tiol grubu ile hidrofobik ve toksik substrat içindeki bir elektrofilik kısım arasındaki S-konjugasyonunu katalize ederek, hücreleri kimyasal kaynaklı toksisite ve strese karşı korurlar.

Glutasyon S transferazın katalizlediği genel reaksiyon aşağıda gösterilmiştir:



GST'lerin işlevleri üç ana başlık altında birleştirilebilir:

1- Ksenobiyotiklerle gözlemlenenlere benzer doğal ürünler ile konjugasyon reaksiyonlarını katalize eder.

2- Hücre bölmeleri arasındaki fitokimyasallar için bağlayıcı ve taşıyıcı proteinler olarak işlev görürler. GST enzimleri transmembran taşınımında işlev görür. Birçok ikincil metabolit, onları üreten hücrelere bile, fitotoksiktir. Sonuç olarak, uygun hücresel lokalizasyonu, genellikle kofulu hedeflemek çok önemlidir. Glutasyonasyondan sonra, ksenobiyotik konjugatlar, bir seri bilinen kükürt içeren metabolitlere daha da metabolize edilmeden önce kofula hızlı bir şekilde aktarılır (Edwards ve ark., 2000).

3- Son olarak, alternatif GSH'ye bağlı biyotransformasyon reaksiyonlarını katalize ederler. Çoğu zaman, dokuları hidroksil radikalleriyle başlatılan oksidatif hasarlardan korumakla yükümlüdürler. GST, GSH gruplarını endojen olarak üretilen elektrofiller ile birleştirir ve onları detoksifiye ederler (Edward ve ark., 2000).

Hücre içi ortamın en önemli antioksidan molekülü olan glutasyonun indirgenmiş formu olan GSH'ın bitkilerde sitozol, endoplazmik retikulum, vakuol, mitokondri, kloroplast, peroksizom gibi neredeyse bütün hücre kısımlarında bulundukları bilinmektedir. Ksenobiyotiklerin zehirsizleştirilmesi, aminoasitlerin transportu, proteinlerdeki sülfidril gruplarının indirgenmiş halde tutulması gibi pek çok görevin yanı sıra hücre farklılaşması, hücre ölümü, patojen direnci, büyüme ve gelişme ile ilgili enzimatik düzenlemelerde de rol oynadığı görülmüştür (Jimenez ve ark., 1998; Rausch ve ark., 1995; Khan ve ark., 2008).

GSH, suda kolayca çözünebilen, organizmanın tüm hücrelerinde bulunan glutamilsistein-glisinden oluşan bir tripeptittir. H_2O_2 , disülfidler, askorbat ve serbest radikalleri indirgeyerek, hücreleri oksidatif hasara karşı korur (Rennenberg, 1982). Glutasyon abiyotik ve biyotik streslere karşı yanıtta, glutasyon-askorbat döngüsünde ve bitkilerde protein tiyol-disülfid indirgenmesinin düzenlenmesinde rol oynamaktadır (Klapheck, 1988). Glutasyon en çok kloroplast ve sitosolde bulunmaktadır (Mc Kersie ve Lehsem, 1994). GSH, ROS türleriyle reaksiyona girerek onları zararsız hale getirir ve bu yolla da serbest radikallerin neden olduğu lipid peroksidasyonuna engel olmaktadır. GSH, membran

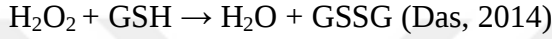
yapısını açıl peroksitleri hareket ettirmek suretiyle, lipid peroksidasyonu reaksiyonlarını düzenleyerek stabilize etmektedir (Price ve ark., 1990). Ayrıca askorbik asit döngüsüne katılarak askorbik asidin DHA'dan rejenerasyonunu sağlamaktadır (Loewus, 1988). Glutasyon aynı zaman da serbest radikallerle reaksiyona girerek enzimlerin SH gruplarının oksidasyonunu engeller (Rennenberg, 1982).

Tablo 1.2. Bitkilerde enzimatik olmayan ve enzimatik antioksidanların lokalizasyonları ve rolleri (Büyük ve ark., 2010)

Enzimatik Olmayan Antioksidanlar	Rolü	Hücrel Lokasyonu
Askorbik Asit	Direk olarak O_2^{*-} , OH^* ve H_2O_2 'yu temizler	Kloroplast, apoplast, vakuol, sitozo
Tokoferoller	Lipit peroksidasyonunu kırar. Lipit peroksitlerini O_2^{*-} ve OH^* 'i temizler.	Bitkilerin tüm kısımlarında bulunur. Kloroplast membranlarında tokoferol yoğun olarak bulunur.
Karotenoidler	Peroksi radikalleri ile O_2^{*-} ve OH^* 'i temizler.	Sitozol, vakuol
Glutasyon	Redoks döngüsünün bir substratı olarak, OH^* ile O_2 'nin direk temizlenmesinde yararlıdır.	Sitozol, endoplazmik retikulum, vakuol, mitokondri
Fenolik Bileşikler	Antioksidan özelliklerini iyi birer hidrojen veya elektron vericisi olmaları, zincir kırıcı özellikleri ve geçiş metalleri ile şelat oluşturmaları ile gösterirler.	Sitozol, vakuol
Süperoksit Dismutaz (SOD)	O_2^{*-} 'i H_2O_2 'ye dönüştürür	Kloroplast, sitozol, mitokondri, peroksizom
Askorbat Peroksidaz (AP_X)	H_2O_2 'yi H_2O 'ya çevirir.	Kloroplast, sitozol, mitokondri, peroksizom
Katalaz (CAT)	H_2O_2 'yi H_2O 'ya çevirir	Peroksizom
Glutasyon Peroksidaz (GP_X)	H_2O_2 'yi ve lipit peroksitlerini etkisizleştirir	Kloroplast, sitozol, mitokondri, endoplazmik retikulum

1.4.2.4. Glutasyon Peroksidaz (GP_x)

Glutasyon peroksidaz (GPX), fenolik bileşikler ya da askorbat gibi substratların oksidasyonu ile H₂O₂'yi parçalamaktadır (Millar Leon., 2002) tarafından Arabidopsis bitkisinin sitozolünde, kloroplastında, mitokondrisinde, endoplazmik retikulumunda tanımlanmış yedi proteinden oluşan AtGPX1-AtGPX7 olarak adlandırılan bir GP_x ailesi belirlenmiştir (Beauchamp ve ark., 1971; Fridovich, 1986; Dixit, 2001). Biber, bezelye ve domates başta olmak üzere pek çok bitkide stres koşulları altında GP_x'in koruyucu bir rolü olduğu bulunmuştur (Dixit, 2001; Leisinger ve ark., 2001).



1.4.2.5. Lipid Peroksidasyonunun Göstergesi Malondialdehid (MDA)

Bitkilerde lipid peroksidasyonunun ürünü olan malondialdehit (MDA) miktarının belirlenmesi, oksidatif zararın en basit göstergesi olarak kullanılmaktadır (Hodges ve ark., 1998). MDA, lipidlerin oksidatif modifikasyonunun nihai ürünlerinden biridir ve akışkanlık, iyon taşınımı, enzim aktivitesinin kaybı ve protein çapraz bağlanma gibi zararın asıl özelliklerinde değişikliklere yol açar (Sharma vd., 2012). Membran fosfolipidlerinden çoklu doymamış yağlı asit (PUFA) bileşenleri, özellikle ROS aktivitesine duyarlıdır. Temelde, lipid peroksidasyon süreci başlatma, çoğaltma ve sonlandırma olmak üzere üç farklı aşamadan oluşur (Smirnoff, 1995). Lipid peroksidasyonunun başlangıç evresi, yağ asidi radikali oluşturulmasıyla başlar. Hidroksil radikaller veya süperoksitler PUFA metilen gruplarıyla reaksiyona girebilir ve sonuç olarak hidroperoksitler, lipid peroksi kökleri ve konjuge dienler oluşur. Peroksi radikalleri oldukça reaktif olup, zincir reaksiyonun devamından sorumludur. Lipid hidroperoksitlerin ayrışması, kolayca aldehitleri (malondialdehit, krotonaldehit ve akrolein), lipid alkoksil kökleri alkanlar, lipid epoksitler ve alkoller üretebilir (Stadtman, 1986).

1.5. Hava Kirliliğinin İzlenmesinde Bitkilerin Kullanılması

Organizmalar çevrelerinde bulunan çeşitli kirleticilere karşı duyarlılık gösterip bu kirleticilere karşı farklı biyokimyasal cevaplar verebilirler. Günümüzde pek çok araştırmacı

da bitkilerin verdikleri bu cevapları kullanmak suretiyle kirlilik seviyeleri hakkında yorum yapabilmektedir.

Bir ekosistemde, küçük çevresel değişimlere özellikle duyarlı olması itibariyle, çevre koşulları konusunda bilgi sağlayan ve çevresel tehlikelerle ilgili erken uyarılarda bulunan türlere biyoindikatör tür denilir. Bu organizmadaki çeşitli değişimlere bakılarak kirleticinin menşei ile kirleticinin o ortamda bulunma yoğunluğu gibi konularda yorum yapılabilir. Dolayısıyla, biyoindikatör bitkiler kullanılarak ortamdaki hava kalitesi ile ilgili bilgi sağlanılabilir. Ancak ortam koşullarındaki farklı değişkenlerin standart hale getirilmesi gerekmektedir. Örneğin; bir kirleticide hangi düzeylerde ne kadar süreyle maruz kalındığının ve kirleticide maruz kalınan türün miktarının bilinmesi gerekir. Böylece hava kalitesi hakkında nicel bilgi elde edilir (Martin ve Coughtrey, 1982; Markert, 1993; Nimis ve Purvis, 2002). Biyoindikatörler zamana göre değişikliklerin belirlenmesinde kullanılan nitel bilgi de sağlayan “biyomonitörler” olarak da tanımlanırlar.

Biyomonitör terimi organizmada meydana gelen biyokimyasal değişiklikleri, hücre morfolojilerinde ve histolojilerindeki değişimleri, popülasyon dinamiklerinde meydana gelen değişikleri kullanarak çevre kalitesinin değerlendirilmesi olarak tanımlanır (Markert, 1997).

Günümüzde biyomonitöring yolu ile ölçülebilir, ucuz ve güvenilir sonuçlar elde edilebilmesinden dolayı bu tarz çalışmalara olan ilgi artmıştır. Özellikle büyük şehirlerde hava kirliliği ölçüm cihazları hava kirliliğinin yoğun olduğu bölgelerde kurulmuştur. Kirliliğinin daha az olduğu bölgelerde ise; biyomonitör bitkilerdeki biyokimyasal değişimlerin kullanılması alternatif bir çözüm olarak düşünülebilir. Böylece hava kirliliğinin periyodik takibi biyomonitör bitkilerdeki biyolojik değişimler kullanılarak biyolojik yoldan yapılır (Çobanoğlu, 2015).

1.5.1. Biyoizlemede Bitki Kullanılmasının Avantajları

- Biyolojik izleme özellikle sofistike ve yüksek bakım ekipmanı kullanmadan geniş alanlardaki uzun vadeli izleme için diğer yöntemlerden daha ucuzdur.
- İndikatör bitkiler, mevcut hava kirliliğinin canlılar üzerindeki etkilerini incelemek için doğrudan bir yöntem sağlar.
- Hava kirleticileri ve hava koşulları da dahil olmak üzere tüm çevresel faktörlerin bütünleşmiş etkilerinin bir ölçüsü sağlarlar.

- Biyolojik veriler, çevresel etkiyi ve insanlar dahil diğer organizmalar üzerindeki potansiyel etkiyi tahmin etmek için kullanılabilir.
- Örneklem kolaylığı ve gerekli herhangi bir pahalı teknik ekipman bulunmaması.
- Her ikisi de aynı yerde ölçülen hava kirleticilerinin konsantrasyonları ile bitki üzerindeki etkileri arasındaki ilişkileri incelemek mümkündür.
- Doğal ve kültür bitkilerinde pekçok hava kirleticilerinin ortamda bulunma yoğunluğuna göre, mevsimlere bağlı olarak etkilerini gözlemek mümkündür.
- Bitkilerde büyük ölçüde biriken kirleticilerin analiz edilmesi de mümkündür (Joshi ve ark., 2009; Petrova ve ark., 2011).

1.5.2. Biyomonitör Bitki: *Pinus nigra*

Pinus L. (Çam) cinsi genellikle her dem yeşil ağaçlardan oluşmakla birlikte, nadiren çalılardan oluşabilmektedir. Dalların gövdeden çıkışı yataydır, yaşlandıkça dalların dizilişi ve taçın yapısı düzensizleşir. Kısa ve uzun sürgünlere sahiptir. Fidecik halinde iken oluşan ilk yapraklar, gövdede tek tek dizilmiş halde bulunur. En fazla 4 yıl yaşayabilen bu yapraklardan sonra, uzun sürgünler üzerindeki pulsu yapıların koltuğunda bulunan oldukça küçük kısa sürgünlerden 2-3 veya 5 tane iğne yaprak meydana geldiği görülmüştür. Yörenin iklim özelliklerine göre yaprakların boyu farklılık gösterir. Sıcak iklim bölgelerinde yayılış gösteren *Pinus* türlerinin yaprakları uzun, soğuk iklim bölgelerinde yetişen *Pinus* türlerinin yaprakları kısa boyludur (Seçmen ve ark., 2000).

Genç sürgünlerin dip taraflarında bulunan erkek kozalakların olgunlaşması ilkbahar sonu ile yaz başlarındadır. Dişi kozalaklar ise genç sürgünlerin uçlara yakın kısımlarındadır. Bu kozalaklar genellikle oval olup, sarmal olarak dizilmiş pulların alt yüzeyinde 2 tane atrop tohum taslağına sahiptir. Dişi kozalakların olgunlaşabilmesi için 2-3 yıl zamana ihtiyaç vardır (Seçmen ve ark., 2000).

Örtü pulu çok küçük olması nedeniyle kısa sürede ortadan kalkar. Bu nedenle *Pinus*'un kozalakları sadece tohum pulu taşır (Akman ve Güney, 2006). Tozlaşma ilkbaharda olur ve döllenmenin gerçekleşmesi için bir yıl geçmesi gerekir. Tohumlar 4-5 çenekli olup, kolayca tohumdan ayrılan büyük bir kanat taşırlar. Fıstık çamı gibi büyük çamların tohumları ise körelmiş kanatlara sahiptir (Seçmen ve ark., 2000).

Pinus türleri genellikle güçlü bir kök sistemine sahip olup, bu türlerin ekolojik hoşgörüsü oldukça geniştir. Gymnospermilerin en büyük cinsi olan çamlar, kuzey

yarıküreden tropiklere kadar yayılış gösterir. Günümüzde 80 türü bulunan çamların, ülkemizde 5 türü yayılış göstermektedir. Bu türler şunlardır:

1- *Pinus brutia*

2- *P. halepensis*

3- *P. nigra*

4- *P. pinea*

5- *P. sylvestris* (Seçmen ve ark., 2000).

Karaçamın sistematigi, yayılışı, dış morfolojik özellikleri ile anatomik ve kimyasal özellikleri aşağıda belirtilmiştir.

Karaçam, pekçok araştırmacı tarafından çalışılmış bir tür olup son yapılan çalışmalara göre sistematigi incelendiğinde; beş alt türe sahip olduğu görülmektedir (Alptekin, 1986; Yaltırık, 1988; Anşin, 1994; Anşin ve Özkan, 1997).

a. *Pinus nigra* Arnold. Subsp. *nigra*: Avusturya karaçamı, (Syn: *Pinus nigra* Arnold var. *austriaca* (Hoess.) Badaux.),

b. *Pinus nigra* Arnold. Subsp. *larico* (Poiret) Maire: Korsika karaçamı, (Syn: *Pinus nigra* Arnold var. *corsicana* Suring),

c. *Pinus nigra* Arnold. Subsp. *dalmatica* (Vis.) Franco: Dalmaçya karaçamı,

d. *Pinus nigra* Arnold. Subsp. *salzmannii* (Dunal) Franco: Pirene karaçamı, (Syn: *Pinus nigra* Arnold var. *cabennensis*),

e. *Pinus nigra* Arnold. Subsp. *pallasiana* (Lamb.) Holmboe: Anadolu karaçamı, (Syn: *Pinus nigra* Arnold var. *caramanica*, *Pinus nigra* Arnold var. *pallasiana* Schneid).

İğne yapraklı ağaç türleri içinde yayılış olarak kızılçamdan sonra ikinci sırada yer alan karaçamın yayılış alanları Trakya, Kuzey, Batı, Güney ve Orta Anadolu'dur. Karadenizin batı kısımlarında özellikle göknar ve meşeler ile karışık meşçereler yapar. Anadolu'da step içlerine en fazla giren tür karaçamdır. En kıymetli meşçerelerini, Kütahya-Tavşanlı, Dursunbey-Alaçam, Adana-Pos, Kastamonu-Boyabat-Elekdağ, Çorum-Kargı, Tosya ve Karabük-Yenice'de oluşturmaktadır. Ayrıca karaçam Anadoluda geniş bir varyasyona sahip bulunmaktadır. Sıcak ve kuru iklimlerde yetişmesine karşın, kış soğuklarına da büyük ölçüde dayanan bir türdür (Yaltırık, 1988; Anşin ve Özkan, 1997).

Karaçam, boylu birinci sınıf orman ağaçlarındanır. Yaşlı gövdesi derin çatlaklı olup, kalın ve esmer kabukları bulunmaktadır. Bol reçineli olan tomurcuklar büyük, silindirik ve uçları da sivridir; tomurcuk pullarının kenarları kirpiklidir. 4-18 cm uzunluğundaki iğne yapraklar koyu yeşil renkte ve serttir. Sürgün uçlarında bulunan

yapraklar ise tomurcuğa doğru yönelmiş olduğundan “çanak” görünümünde bir boşluk meydana getirmektedir. İğne yaprakların kenarları ince dişli olup uç kısımları sertleşmiştir ve iğne gibi batıcıdır (Yaltırık ve Efe, 2000). Erkek çiçekler soluk sarı renkte olmasına karşın, dişi kozalaklar parlak saman sarısı renktedir.

Yumurtamsı-konik şeklindeki kozalakları sarıçam kozalaklarının aksine simetrik ve yok denecek kadar kısa saplıdır. Kalkan çıkık ve göbek koyu renklidir. Kozalağın uç kısmındaki karpellerin çoğunun göbeğinde iğne gibi ufak bir dikenimsi çıkıntı bulunmakla birlikte, kozalak boyu 3,5–10 (-12) cm arasında değişmektedir (Karadağ, 1999).



2. MATERİYAL VE METOD

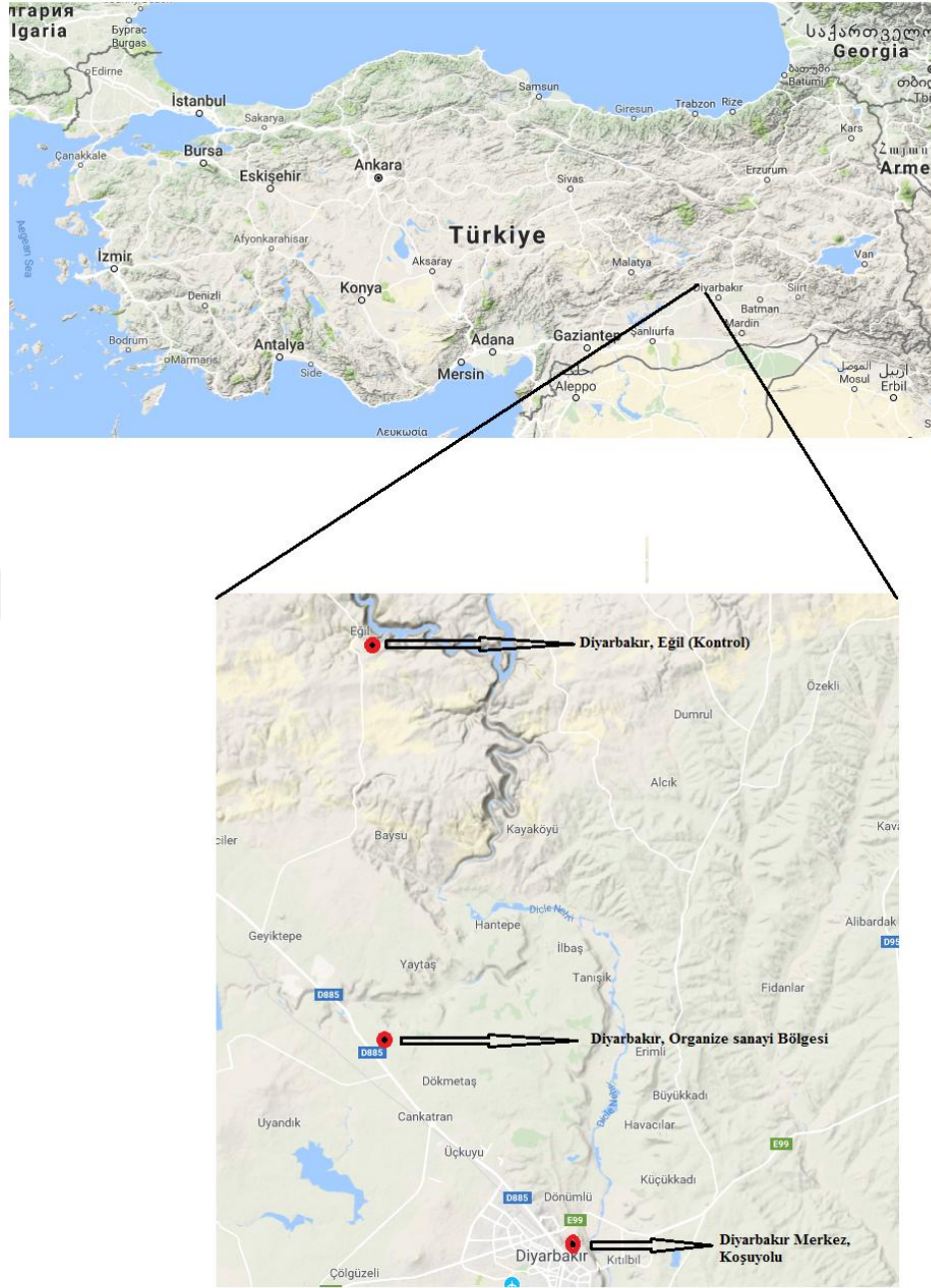
2.1. Bitki Örneklerinin Toplanması

Analizlerde kullanılan bitki materyali (*Pinus nigra*) 2017 yılı ağustos ayı (yaz) ve 2018 yılı aralık ayı (kış) olmak üzere 2 farklı dönemde ve Diyarbakır yöresinde üç farklı istasyondan (Eğil, Organize ve Koşuyolu) alınmış olup istasyonlar Şekil 2.2.'de gösterilmiştir. Eğil bölgesi mesire alanı olarak kullanıldığından dolayı referans olarak değerlendirilmiştir. Koşuyolu ise şehir merkezinde trafiğin yoğun olduğu bir bölge olarak bilinmektedir. Organize sanayi bölgesinde ise çeşitli kirleticilerin havaya yoğun bir şekilde verildiği bir bölge olduğundan dolayı seçilmiştir.



Şekil 2.1. *Pinus Nigra*





Şekil 2.2. Örnekleme yapılan istasyonlar

2.2. Bitki Örneklerinin Homojenizasyonu ve Santrifüjlenmesi

Toplanan bitkilerin yaprakları dallarından ayrılarak, yapraklar makas aracılığı ile küçük parçalara ayrılıp toz haline getirilmiştir. 1 g taze yaprak 0.1 mM Na-EDTA içeren 50 mM (pH = 7.6)'lık 10 ml fosfor tamponu ile homogenize edilmiştir. Homogenize edilen 15000 g örnekler, 4 °C'de, 15 dakika santrifüj edilmiştir (Deniz, 2010).

2.3. Antioksidan Parametrelerin Belirlenmesi

Çalışmamızda biyokimyasal yanıtın belirlenmesi için, süperoksit dismutaz (SOD), katalaz (CAT), glutatyon peroksidaz (GPx), glutatyon S-transferaz (GST) aktiviteleri ve malondialdehit (MDA) seviyeleri belirlenmiştir.

Çalışmada kullanılan SOD, CAT, GP_x, GST, ve MDA ELISA kitleri CAYMAN firmasından satın alınmıştır. Katalog numaraları: (CAT: 707002, SOD: 706002, GP_x: 703102, GST: 703302, MDA: 10009055).

2.3.1. Süperoksit Dismutaz Enzim Aktivitesinin Belirlenmesi

Kit içeriğinin belirlediği bu yöntem, ksantin oksidaz ve hipoksantin tarafından üretilen süperoksit radikallerinin belirlenmesi için tetrazolium tuzunu kullanır. Bir ünite SOD, süperoksit radikalının %50'sinin dismutasyonunu gösteren enzim miktarı olarak tanımlamaktadır. Bu yöntem üç tip SOD'un aktivitesini de belirlemektedir (Cu/Zn, Mn, Fe –SOD). Ölçüm 440-450 nm'de gerçekleşmektedir.

2.3.2. Katalaz Enzim Aktivitesinin Belirlenmesi

Kullandığımız kit, enzim aktivitesinin belirlenmesi için CAT'ın peroksidatik fonksiyonunu kullanır. Yöntem, enzimin optimal bir H₂O₂ konsantrasyonunun varlığında metanol ile reaksiyona girmesine dayanır. Üretilen formaldehit, 4-amino-3-hidrazino-5-merkapto-1,2,4-triazol (Purpald) ile kromojen olarak spektrofotometrik olarak 540 nm'de kolorimetrik olarak ölçülür. 1,2 Purpald, özellikle aldehitlerle bisiklik bir heterosikl oluşturur; oksidasyon değişimine bağlı olarak renksizden mor renge doğru bir değişim gözlenir.

2.3.3. Glutatyon Peroksidaz Enzim Aktivitesinin Belirlenmesi

Kullanılan kit, GP_x aktivitesini glutatyon redüktaz (GR) ile birleşmiş reaksiyon ile dolaylı olarak ölçer. GP_x tarafından bir organik hidroperoksidin indirgemesi sonucunda üretilen okside glutatyon (GSSG), GR ve NADPH ile indirgenmiş durumuna geri dönüştürülür. NADPH'nin NADP⁺'ya oksidasyonu, 340 nm absorbansda bir azalmayı

tetikler. A340'daki düşüş oranı, numunedeki GPx etkinliği ile doğru orantılı olarak hesaplanır.

2.3.4. TBARS (Tiyobarbitürik Asit Reaktif Maddesi) Düzeylerinin Belirlenmesi

Lipid peroksidasyonu, bitkilerde hücrel hasarın iyi bilinen bir mekanizması olup, hücrelerdeki ve dokulardaki oksidatif stresin bir göstergesi olarak kullanılır. Poli doymamış yağ asitlerinden türetilen lipid peroksitler dengesizdir ve malondialdehit (MDA) gibi reaktif karbonil bileşiklerini içeren kompleks bir dizi bileşik oluşturmak üzere ayrışırlar. MDA, tiobarbitürik asit ile kontrollü bir reaksiyon vasıtasıyla nicelleştirilebilir ve 'Tiobarbitürik Asit Reaktif Maddeleri' (TBARS) üretir. Cayman firmasının TBARS kiti yüksek sıcaklık (90-100°C) ve asidik koşullar altında MDA ve TBA reaksiyonu sonucu oluşan MDA-TBA adüktünün 530-540 nm'de kolorimetrik olarak ölçülmesi esasına dayanır.

2.3.5. Glutasyon S-Transferaz Enzim Aktivitesinin Belirlenmesi

Glutasyon S-transferaz enzim aktivitesi (Cayman Chemical Company) Cayman marka Glutathion S-Transferase Assay Kit (Catalog No: 703302) ile 340 nm'de mikroparka okuyucuda ölçülmüştür. Yapılan ölçümler sonucunda kit içeriğinde bulunan protokole göre standart grafik çizilmiştir. Enzim aktivitesi standart grafik kullanılarak nmol/dk/ml olarak hesaplanmıştır. Yöntemin esası, redükte glutasyon ile 1-chloro-2,4-dinitrobenzenin (CDNB) konjugasyonunun ölçümü yoluyla toplam GST aktivitesini ölçmektedir. Konjugasyon 340 nm'de bir artışa neden olur. Bu artış örnekteki GST aktivitesinin oransal artışı anlamına gelir.

3. BULGULAR

Analizlerde kullanılacak bitki materyali (*Pinus nigra*) 2017 yılı ağustos ayı (yaz) ve 2018 yılı aralık ayı (kış) ayı olmak üzere 2 farklı dönemde ve Diyarbakır yöresinde üç farklı istasyondan (Eğil, Organize ve Koşuyolu) alınan bitki örneklerinde Süperoksit Dismutaz (SOD), Katalaz (KAT), Glutasyon Peroksidaz (GPx) Glutasyon S-Transferaz (GST) aktiviteleri ve Malondialdehit (MDA) seviyeleri belirlenmiş olup elde edilen sonuçlar Tablo 3.1. ve 3.2' de gösterilmiştir.

Tablo 3.1. Diyarbakır yöresinde farklı istasyonlardan toplanan yaprak örneklerinde antioksidan parametrelerdeki yaz ayındaki değişimler

Antioksidan Parametreler	Eğil	Koşuyolu	Organize Sanayi
SOD (U/ml)	1,36±0,62 ^a	0,55±0,21 ^b	0,02±0,01 ^b
CAT(nmol/dk/ml)	1,66±0,49 ^a	0,74±0,16 ^a	0,88±0,01 ^a
GP _x (nmol/dk/ml)	76,91±33,19 ^b	76,28±33,66 ^b	152,83±0,74 ^a
GST(nmol/dk/ml)	30,51±13,40 ^a	31,32±16,90 ^a	41,78±2,02 ^a
MDA (µm)	1,54±0,55 ^a	1,15±0,38 ^a	2,05±0,52 ^a

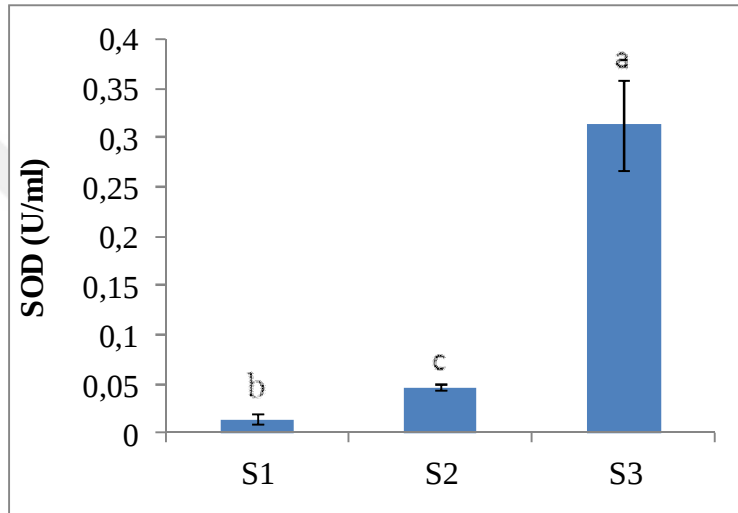
Tablo 3.2. Diyarbakır yöresinde farklı istasyonlardan toplanan yaprak örneklerinde antioksidan parametrelerdeki kış ayındaki değişimler

Antioksidan Parametreler	Eğil	Koşuyolu	Organize Sanayi
SOD (U/ml)	0,0140±0,0047 ^b	0,047±0,0021 ^c	0,313±0,046 ^a
CAT(nmol/dk/ml)	1,45±0,47 ^a	0,77±0,09 ^a	1,20±0,57 ^a
GP _x (nmol/dk/ml)	148,14±0,42 ^a	146,87±1,52 ^a	147,72±0,73 ^a
GST(nmol/dk/ml)	86,08±0,57 ^a	90,39±4,34 ^a	93,04±4,1 ^a
MDA (µm)	277,67±2,057 ^c	393,41±13,36 ^b	591,16±47,28 ^a

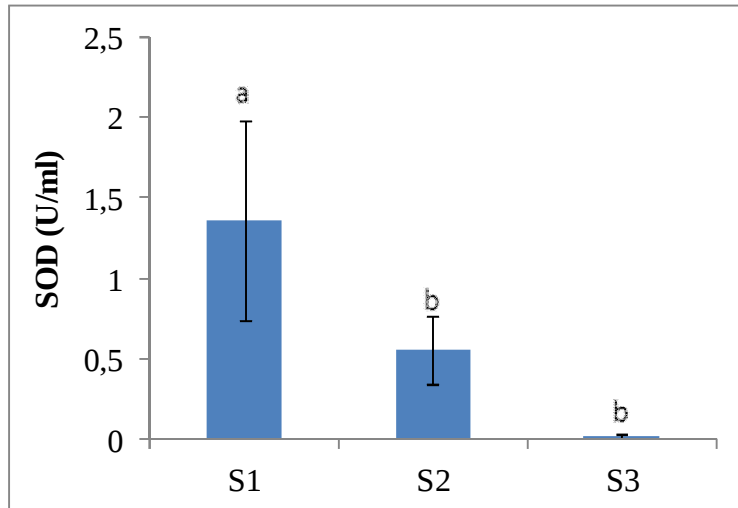
3.1. Enzimatik Antioksidanlar

3.1.1. SOD Aktivitesi

Ağustos ayında SOD enzim aktivitesi eğil (kontrol) ile kıyasladığımızda Koşuyolu ve Organize sanayi bölgelerinde azalmıştır ($p>0.05$) ancak aralık ayında kontrol ile kıyaslandığında diğer istasyonlarda artmıştır ($p<0.05$).



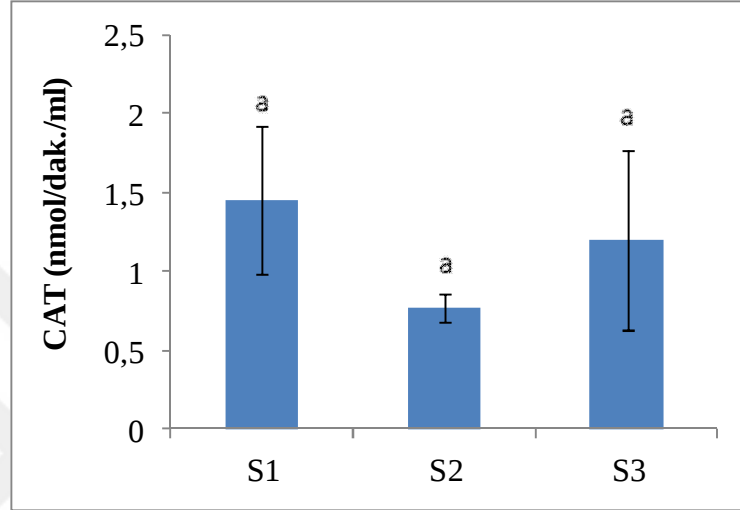
Şekil 3.1. Aralık ayında Diyarbakır yöresinde farklı istasyonlardan toplanan yaprak örneklerinde SOD enzim aktivitesindeki değişimler



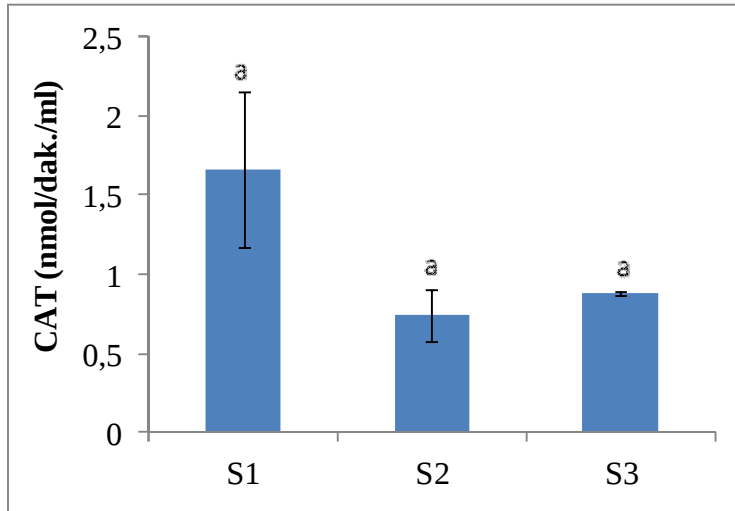
Şekil 3.2. Ağustos ayında diyarbakır yöresinde farklı istasyonlardan toplanan yaprak örneklerinde SOD enzim aktivitesindeki değişimler

3.1.2. CAT Aktivitesi

Ağustos ayında CAT enzim aktivitesi kontrol ile kıyaslandığında Koşuyolu ve organize sanayi bölgelerinde azalmış olup, bu azalış istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır ($p>0.05$). Aralık ayında ise; kontrol ile kıyaslandığında yine CAT enzim aktivitesi istatistiksel olarak anlamlı düzeyde azalış göstermiştir ($p<0.05$).



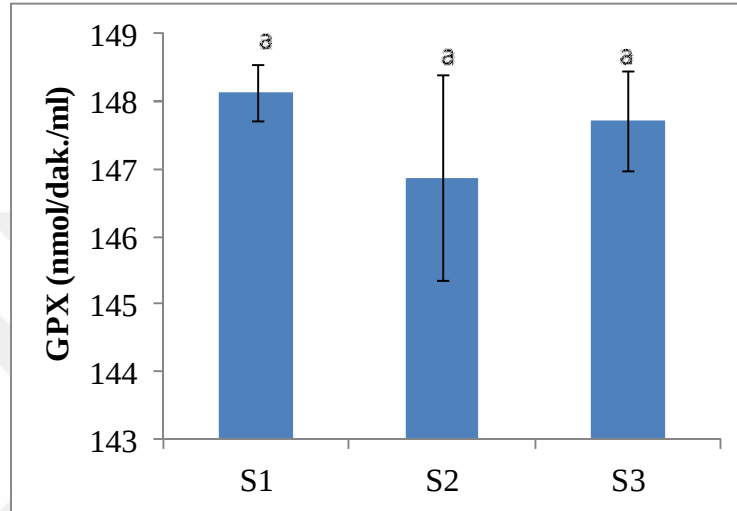
Şekil 3.3. Aralık ayında Diyarbakır yöresinde farklı istasyonlardan toplanan yaprak örneklerinde CAT enzim aktivitesindeki değişimler



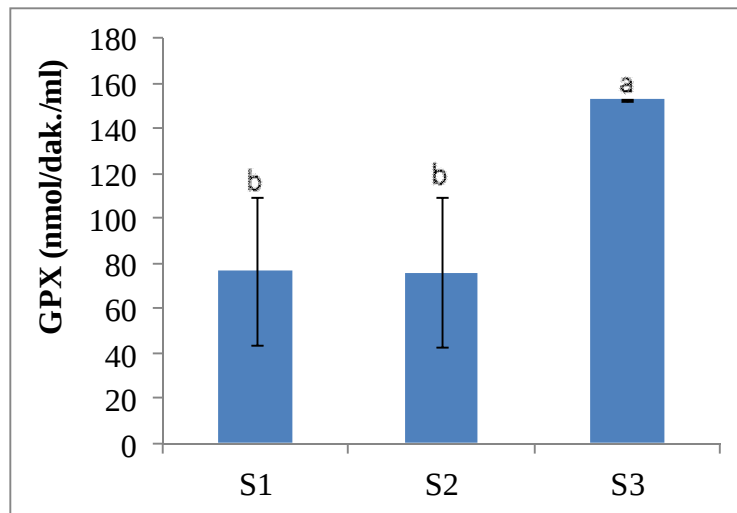
Şekil 3.4. Ağustos ayında Diyarbakır yöresinde farklı istasyonlardan toplanan yaprak örneklerinde CAT enzim aktivitesindeki değişimler

3.1.3. GP_x Aktivitesi

Ağustos ayında GP_x düzeyleri Eğil ile kıyaslandığında Koşuyolu bölgesinde önemli bir değişiklik göstermeyip ($p>0.05$), organize sanayi bölgesinde artmıştır ($p<0.05$). Aralık ayında ise kontrol ile kıyaslandığında Koşuyolu ve Organize sanayi bölgesinde önemli bir değişiklik görülmemiştir ($p>0.05$).



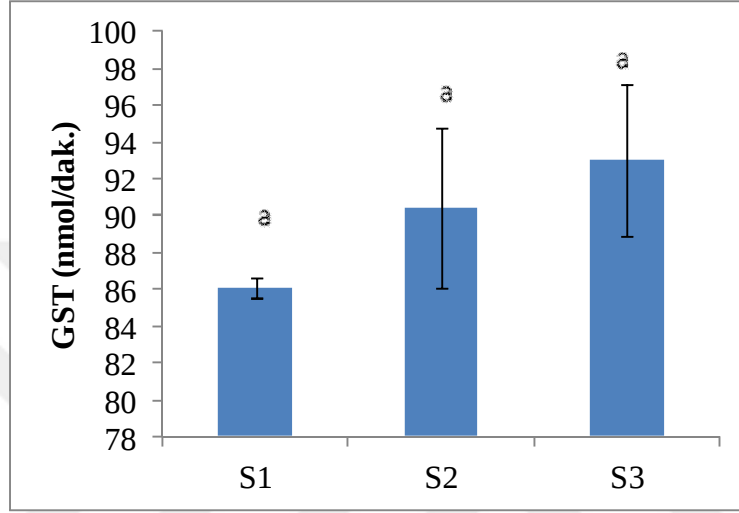
Şekil 3.5. Aralık ayında Diyarbakır yöresinde farklı istasyonlardan toplanan yaprak örneklerinde GP_x enzim aktivitesindeki değişimler



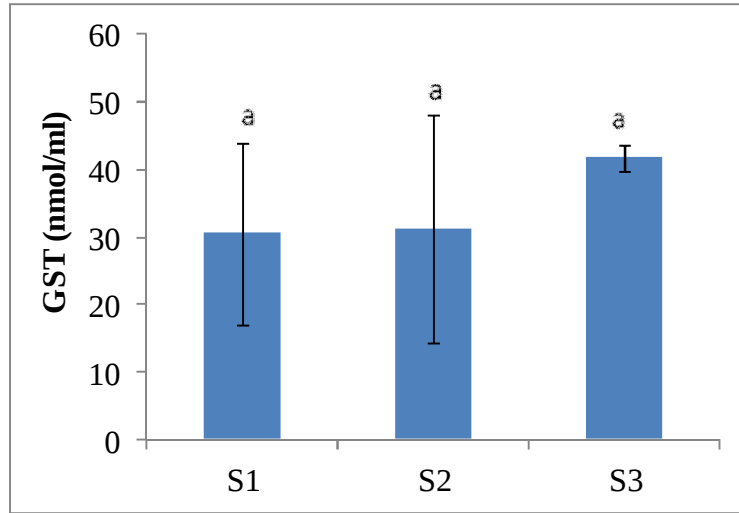
Şekil 3.6. Ağustos ayında Diyarbakır yöresinde farklı istasyonlardan toplanan yaprak örneklerinde GP_x enzim aktivitesindeki değişimler

3.1.4. GST Aktivitesi

GST enzim aktivitesi hem yaz hem de kış aylarında kontrol ile kıyaslandığında Koşuyolu ve Organize sanayi bölgesinde artış göstermiş olup, bu artışlar istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır ($p>0.05$).



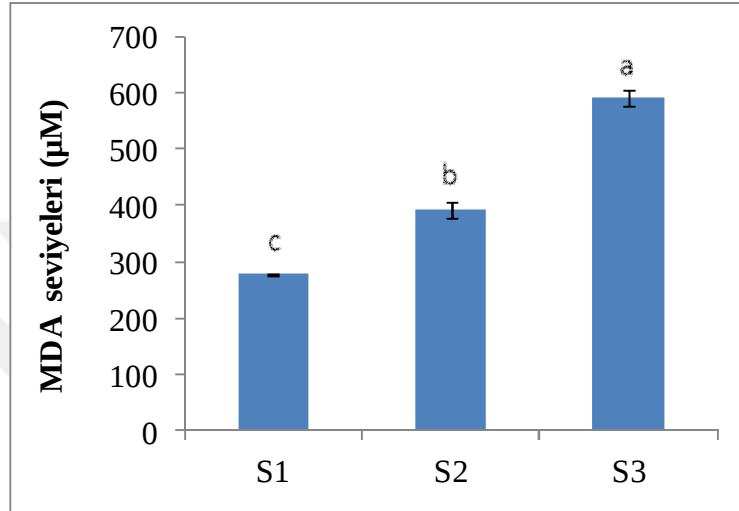
Şekil 3.7. Aralık ayında Diyarbakır yöresinde farklı istasyonlardan toplanan yaprak örneklerinde GST enzim aktivitesindeki değişimler



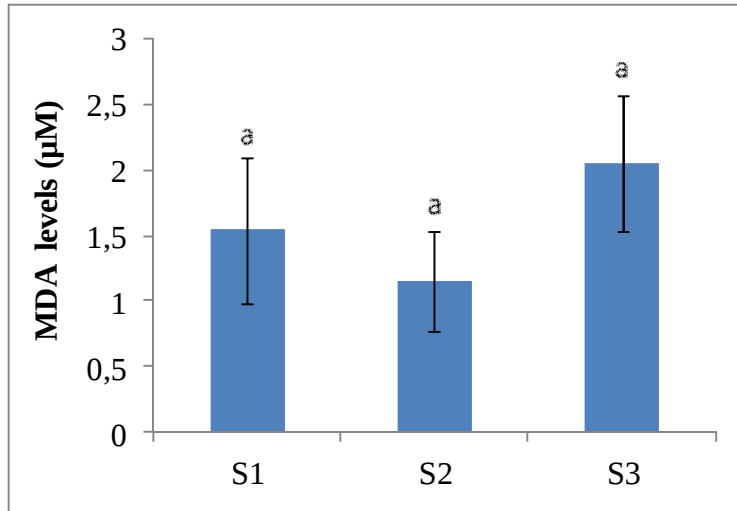
Şekil 3.8. Ağustos ayında Diyarbakır yöresinde farklı istasyonlardan toplanan yaprak örneklerinde GST enzim aktivitesindeki değişimler

3.2. MDA Düzeyleri

MDA düzeyleri Eğıl ile kıyaslandığında ağustos ayında Koşuyolunda azalmış ($p>0.05$) ancak Organize Sanayi bölgesinde artmıştır ($p>0.05$). Aralık ayında ise; Eğıl ile kıyaslandığında Koşuyolu'nda da Organize Sanayi Bölgesi'nde de anlamlı artışlar görülmüştür ($p<0.05$).



Şekil 3.9. Aralık ayında Diyarbakır yöresinde farklı istasyonlardan toplanan yaprak örneklerinde MDA düzeyindeki değişimler



Şekil 3.10. Ağustos ayında Diyarbakır yöresinde farklı istasyonlardan toplanan yaprak örneklerinde MDA düzeyindeki değişimler

4. TARTIŞMA

Kentsel hava kirliliği gelişmekte olan ülkelerde ve gelişmiş ülkelerde bir problem teşkil etmektedir. Özellikle nüfusun artışının yaşandığı büyük illerde artan nüfusa paralel olarak artan sanayi kuruluşları ve araç kullanımı hava kalitesinin bozulmasına en önemli nedenlerdir. Nüfusun artışıyla birlikte antropojenik faktörler devreye girmekte ve hava, su ve toprak kalitesinin değişimine neden olmaktadır. Kirlilik düzeylerinin belirli bir oranın üzerinde olması insanoğlunu zora sokmakta ve çeşitli önlemlerin alınması gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Bu durum da araştırmacıları çevre kirleticileri, etkileri ve alınması gereken önlemler konusuna yönlendirmiştir. Ülkemizde de iller bazında yapılan araştırmalar sonucunda hava kirliliği oranının yurt genelinde oldukça ciddi boyutlarda olduğu görülmüştür. Diyarbakır ili de hızlı göç alması ve sanayileşmesi nedeniyle bu iller arasındadır. Diyarbakır ilinde doğalgaz kullanımının artmasına rağmen halen kış aylarında hava kirliliği ciddi bir problem olarak göze çarpmaktadır (Bayram vd., 2006).

Havanın doğal bileşenlerinin yüzde oranlarının değişmesi sonucu hava kirliliği oluşmakta ve havanın doğal yapısına yabancı maddelerin girmesi sonucu çeşitli canlılar bundan zarar görebilmektedir (Vardar, 2011).

Kirleticilere karşı bioindikatör tür olarak adlandırdığımız organizmalar duyarlı olup, bu organizmalarda atmosferik kirleticilerin etkileriyle oluşan biyokimyasal değişimler kullanılarak dolaylı olarak bir bölgenin kirlilik seviyeleri hakkında kalitatif bilgi sağlamak mümkün olabilmektedir (Nash et al., 1989).

Belirli organizmalar, kirlenmiş alanlarda bulunan diğer organizmalara göre bazı kirleticilere karşı daha duyarlı, daha toleranslı ya da kirleticili faktörü biriktirebilme gibi özelliklere sahip olabilirler. Organizmaların bu özellikleri onların içinde bulundukları ortamın kirlilik seviyesi hakkında kalitatif bilgi sağlamak amacıyla kullanılır. Bu anlamda organizmalar birer “gösterge” (indikator) ya da “görüntüleyici” (monitor) olarak değerlendirilirler (Nash et al., 1989).

Hava kirleticileri, stoma yoluyla bitki dokularına girebilir ve reaktif oksijen türleriindeki (ROS) artış; DNA, proteinler ve lipidlere ciddi hasarlara neden olabilir (Hipelli et al., 1996; Shannigrahi et al., 2004). Bitki hücreleri, bitkilerin bu hastalıklara karşı korunması için birkaç antioksidan savunma mekanizmasına sahiptir. Bu koruyucu mekanizmalar hem enzimatik (örn. süperoksit dismutaz, katalaz, peroksidaz ve askorbat

peroksidaz, glutatyon redüktaz) ve enzimatik olmayan metabolitleri (örn., tokoferol, karotenoidler, glutatyon ve askorbat'ı içerir) içerir (Kangasjarvi vd., 1994; Pell vd., 1997).

SO₂ ve NO_x gibi çeşitli atmosferik kirleticilere karşı bitkilerin verdiği yanıt bitkinin türüne, kirleticiye maruziyet süresine, kirleticinin konsantrasyonu ve mevsimsel faktörlere göre değişiklik göstermektedir (Lee, 2000; Hutchinson, 1984). Bitkilerin çeşitli kirleticilere göre dayanıklılığı da bitkinin morfolojik, anatomik yapısına, genetik yapısına göre değişmektedir (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 çalışmada; yaz ve kış mevsimlerinde trafik ve sanayi kaynaklı hava kirliliğine maruz kalan bölgelerdeki çam (*Pinus nigra*) bitkisinin yaprağında antioksidan parametrelerdeki değişiklikler araştırılmıştır. Çam (*Pinus nigra*) bitkisi kışın yaprak dökmeyen bitkilerden olduğu için seçilmiştir.

SOD aktivitelerindeki artışın tekli veya kombine kirletici olarak SO₂, NO₂ ve O₃'e maruz kalan bitkilerde toleransı artırdığı görülmüştür; SOD ve CAT enzim sisteminin, hücrel yaralanma olasılığını azaltmada birbirine bağlı birincil koruma görevi gördüğü gösterilmiştir (Castillo vd., 1987; Rao vd., 1990). SO₂ ve NO_x emisyonlarının yüksek olduğu topraklarda yetişen bitkilerde strese bağlı olarak SOD enzim aktivitesi ve MDA düzeylerinin arttığı (Pukacka ve Pukacki, 2000; Cakmak, 1994). Chauhan vd. (2010) SOD ile bitkilerde oksiradikallerin aracılık ettiği hücrel hasardaki azalma tarafından bildirilmiştir. 100 m'lik Kirli alanda içindeki 5 bitki türünde süperoksit dismutaz aktivitesi yüksek, diğer türlerde ise düşük bulunmuştur (Mitiu vd., 2009). Kirli maddelere maruz kalma sonucu Snap fasulyesi (Lee vd., 1982), Çam ve Ladin (Singh vd., 2007) ve Şeker pancarı (Dixon vd., 1995) Süperoksit dismutaz aktivitesinin arttığı bulunmuştur. Bununla birlikte, bazı çalışmalarda kirli bölgelerdeki yabani bitki türlerinin antioksidan enzim aktivitelerinde meydana gelen değişiklikleri incelemiş ve bitkilerde SOD aktivitesinde bir değişiklik olmadığını bildirmiştir (Mutiu vd., 2009; Nast vd., 1993). Patykowski ve Kołodziejek, (2016) Atmosferik bir kirletici olan Azot Dioksit'in neden olduğu strese yanıt olarak Avrupa Ökse Otundaki Antioksidan Enzim Aktivitelerindeki Değişiklikleri araştırmışlardır. Azot dioksit ile enzim aktiviteleri arasında bir korelasyon olduğu, Sonbaharda SOD aktivitesinde belirgin bir artış olduğu ve ilkbaharın başlarında CAT aktivitesinde bir artışın olduğu bulunmuştur. Şehir merkezinde özellikle yüksek SOD aktivitesi saptanmış olup bu artışın oksidatif stresle ilişkili olduğu belirtilmiştir. Pukacka

and pukack., (2000)'de yaptıkları çalışmada endüstriyel kirliliğe maruz kalan *Pinus slyvestris*'da antioksidan enzim düzeylerindeki mevsimsel değişiklikleri araştırmışlardır ve kirli olan bölgelerde SOD enzim aktivitelerinin yüksek olduğu görülmüştür. Ayrıca askorbat peroksidaz aktivitesinde kirli bölgelerde kışın yüksek olduğu bulunmuştur. Elde ettikleri sonuçlara göre *Pinus slyvestris*'ın hava kirliliğine duyarlı olduğunu göstermiştir. Yapılan başka çalışmalarda da hava kirliliğinin yoğun olduğu yerlerde yaşayan bitkilerin kirliliğe cevaben SOD enzim aktivitesinin indüklendiği saptanmıştır (Shimazaki ve ark., 1980; Alanso ve ark., 2001; Tanaka ve Sugahara, 1980; Hodges ve Forney, 2000; Schwanz ve Polle, 2001). Yapılan bu çalışmada ise; Ağustos ayında SOD enzim aktivitesi eğil (kontrol) ile kıyasladığımızda Koşuyolu ve Organize sanayi bölgelerinde azalmıştır ($p>0.05$) ancak mevsimsel olarak daha kirli olduğunu düşündüğümüz aralık ayında kontrol ile kıyaslandığında diğer istasyonlarda artmıştır ($p<0.05$). Aratan kirlilik ile birlikte oksidatif stresin arttığı bununda SOD enzim aktivitesinde artışı tetiklediği düşünülmektedir.

Ghorbanli vd., (2007) hava kirliliğinin *Nerium oleander* ve *Robinia pseudo acacia*'daki antioksidan enzim aktivitelerinde neden olduğu değişiklikleri incelemişlerdir. Peroksidaz, katalaz ve askorbat peroksidaz düzeyleri araştırılmıştır. Kirli bmlgelerden toplanan bitkilerde daha yüksek CAT aktivitesinin olduğu saptanmıştır. Her iki bitkininde hava kalitesinin belirlenmesinde indikatör olarak kullanılabileceğini önermişlerdir. Achille vd., (2015) Abidjan şehrinde hava kirliliğine maruz kalan iki bitki türlerindeki antioksidan enzimlerinin aktivitesindeki değişiklikler belirlenmişlerdir. Endüstriyel bölgelerde ve caddelerde bitkilerde her iki bitkide de CAT enzim aktivitesi yüksek bulunmuştur. Daha az kirli bir bölgeden toplanan bitkilerde daha düşük bir askorbat peroksidaz aktivitesi bulunmuştur. Kavitha and Shailaja. (2016) Katalaz, polifenol oksidaz ve peroksidaz gibi detoksifikasyon enzimleri kirli alanlar ile daha az kirlilik içeren alanlarda havanın kalitesini, belirleyebilmek için değerlendirilmiştir. Kirliliğin enzim aktivitesini azalttığı bulunmuştur. Kirli alanlara maruz kalan bitkilerde CAT aktivitesinin arttığı rapor edilmiştir (Martinez-Dominguez vd., 2008; Vollenweider vd., 2003). Kirli bölgelerdeki yabancı bitki türlerinin antioksidan enzim aktivitelerinde meydana gelen değişikliklerle ilgili bir araştırma, 0-100 m örnekleme alanlarında yetişen bitkilerin 12 sinin 9'unda CAT aktivitesinin düşük olduğunu ortaya koyulmuştur (Mutiu vd., 2009). Bazı Ficus türlerinde Katalaz enziminin aktivitesi üzerine yapılan çalışmalar, düşük kirlilik alanlarında yetişenlerinkine kıyasla kirli alanda yetişen bitki yapraklarının Katalaz aktivitesinin daha

az olduğunu göstermiştir (Castillo et al., 1987). Yapılan çalışmalarla paralel olarak bizim çalışmamızda da Ağustos ayında CAT enzim aktivitesi kontrol ile kıyaslandığında Koşuyolu ve organize sanayi bölgelerinde azalmış olup, bu azalış istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır ($p>0.05$). Aralık ayında ise; kontrol ile kıyaslandığında yine CAT enzim aktivitesi azalmış olup tespit edilen bu azalmanın istatistiksel olarak önemli olduğu görülmüştür ($p<0.05$).

Peroksidaz enzimlerinin seviyesi evrensel olarak çevresel kirliliğin göstergesi bir parametresi olarak kabul edilmektedir (Kapoor., 2004). Seçilen bitki türlerinin biyokimyasal parametrelerinde hava kirleticilerinin etkisi üzerine yapılan araştırmalar, ticari ve yoğun trafik alanlarında konut yerlerine kıyasla POD aktivitesinde bir artış olduğunu ortaya koymuştur. Ozon hava kirleticisine maruz kalan *Populus* bitkilerinde peroksidaz enzimlerinin aktivitesi araştırılmış ve ozon maruziyetine bağlı olarak peroksidaz enzimlerinin daha yüksek aktivitesi rapor edilmiştir (Bernardi vd., 2004). Peroksidaz aktivitesindeki artış, bitki türleri ve kirleticilerin konsantrasyonuna göre değişir (Khan vd., 1982). dirençli bitkilerin yapraklarının yüksek peroksidaz aktivitesine sahip olabileceğini bildirmiştir. SO_2 'nin etkisine karşı önemli ölçüde dirençli ağaçların yaprakları yüksek bir peroksidasyon aktivitesine sahip olabilir (Khan vd., 1982). Bitkilerdeki peroksidaz aktivitesinin kirlatici maruziyetin duyarlı bir göstergesi olduğu gösterilmiştir (Li, 2003; Sarkar vd., 1986) ve hava kirliliğini değerlendirmek için bir belirteç olarak önerilmiştir (Puccinielli vd.,1998; Kammerbauer ve Dick ., 2000). Kirli bir alanda 0-100 m aralığında büyüyen 6 bitkinin Peroksidaz aktivitesi yüksek iken, 4 bitki kontrol ile karşılaştırıldığında düşüktür (Mutiu ve ark., 2009). Pucinelli vd., (1998) tarafından yapılan bir araştırmada kent çevresindeki ağaçların hava kirliliğinin belirleyici olarak kullanılabilirliği araştırılmış ve bitki türlerinin yapraklarında peroksidaz aktivitesindeki değişimler araştırılmıştır. Trafik yoğunluğunun çok olduğu kirlenmiş bölgelerde peroksidaz aktivitesi yüksek bulunmuş olup, hava kalitesini belirleyen haritalar düzenlenmesinde peroksidaz aktivitesinin kullanılabilineceği önerilmiştir (Pucinelli vd., 1998). Elloumi vd., (2017) florür hava kirliliğine biyokimyasal yanıtı araştırılmıştır. Fosfat gübre fabrikasından farklı mesafelerde ağaçların yaprakları ve köklerinde lipid peroksidasyonu, SOD, CAT ve GPx aktiviteleri değerlendirilmiştir. Değerlendirilen tüm parametreler kirlenmemiş alanlarla karşılaştırıldığında önemli değişiklikler gösterdi. Elde edilen sonuçlar, H_2O_2 , lipid peroksidasyonu, SOD, CAT ve GPx aktivitelerinin kirli bölgelerde kontrol ile karşılaştırıldığında yüksek oksidatif stres indeksleri gösterdiği

bulunmuştur. Yapılan çalışmada ise; Ağustos ayında GP_x düzeyleri Eğil ile kıyaslandığında Koşuyolu bölgesinde önemli bir değişiklik göstermeyip ($p>0.05$), organize sanayi bölgesinde artmıştır ($p<0.05$). Aralık ayında ise kontrol ile kıyaslandığında Koşuyolu ve Organize sanayi bölgesinde önemli bir değişiklik görülmemiştir ($p>0.05$).

Caregnato vd., (2010) *Phaseolus vulgaris* L. çeşitlerinde Ozon maruziyeti farklı oksidatif stres parametrelerini farklı şekilde etkilediğini bulmuşlardır. Ozon maruziyetinin non-enzimatik antioksidanların seviyelerini azalttığı ve lipid repoksidasyonun artmadığı gözlenmiştir. (Rich ve Tomlinson, 1974). Deniz., (2010) Termik Santrale yakın mesafeden toplanan bitki örneklerinin yapraklarında SOD Enzim aktivitesi ile MDA düzeylerinin yüksek bulunduğu bildirilmiştir. Çalışmamızda; MDA düzeyleri Eğil ile kıyaslandığında ağustos ayında Koşuyolunda azalmış ($p>0.05$) ancak Organize Sanayi bölgesinde artmıştır ($p>0.05$). Aralık ayında ise; Eğil ile kıyaslandığında Koşuyolu'nda da Organize Sanayi bölgesi'nde de anlamlı artışlar görülmüştür ($p<0.05$). MDA düzeylerinin yüksek olarak görüldüğü bölgelerde (Koşuyolu ve Eğil), muhtemelen hava kirliliğinin yüksek olduğu, kirliliğin ise; serbest radikal oluşumunu tetiklediğini ve antioksidan sistemin dengesini bozduğunu ve lipid peroksidasyonunu arttırdığını söyleyebiliriz (Caregnato vd., 2010).

Glutasyon, ksenobiyotiklerin detoksifikasyonunda rol oynayan, doğrudan beslenme değeri olmayan veya metabolizma açısından önemli olmayan, çok yüksek seviyelerde bitki işlevini olumsuz etkileyebilen bir bileşiktir. Ksenobiyotikler, glutasyon S-transferaz ile katalize edilen glutasyon ile konjugasyon reaksiyonlarında detoksifiye edilebilir; farklı ksenobiyotikler, enzimin farklı izoformlarını indükleyebilir (Schröder, 1998, 2001; Gullner and Kömives, 2001). Hasegawa-kurisu vd., (2008) yaptığı çalışmada bitki yapraklarındaki GST'nin hava kirliliğinin belirlenmesinde biomarker olarak kullanılıp kullanılamayacağını araştırmıştır. *Epipremunum aureum*'ı sigara dumanına maruz bırakıp sonrasında GST'lerinin arttığını tespit etmişlerdir. Schulz ve Hartling (2001) yaptıkları çalışmada kirlilik oranının yüksek olduğu bölgelerde yetişen *Pinus sylvestris* L.'nin yapraklarında glutasyon seviyelerinde azalma tespit etmişlerdir. Madamanchi ve Alscher (1990), SO₂·ye maruz kalan *Pisum sativum*'da antioksidan enzim aktivitelerindeki değişimleri araştırtmışlardır ve okside glutasyon seviyelerinde önemli bir değişiklik gözlenmediği görülmüştür. Miteva vd., 2018 bezelye ve buğday bitkilerinde atrazinin glutasyon seviyeleri, Glutasyon S-transferaz ve glutasyon redüktaz aktiviteleri üzerine etkisini araştırmışlardır. Artan Glutasyon S-transferaz aktivisi gözlemişlerdir. Yapılan bu

Çalışmada; GST enzim aktivitesi hem yaz hem de kış aylarında kontrol ile kıyaslandığında Koşuyolu ve Organize Sanayi Bölgesinde artış göstermiştir ($p>0.05$).



5. SONUÇLAR

Yapılan bu çalışmadan elde edilen sonuçlara göre; *Pinus nigra*'nın biyomonitör bitki olarak kullanılması uygun olduğu görülmüştür. Diyarbakır ilinde hava kirliliğinin izlenmesinde *Pinus nigra* yapraklarında SOD, KAT, GP_x enzimleri ile MDA düzeylerindeki değişikliklerin yararlı birer biyobelirteç olarak kullanılabileceği ancak GST'in ise biyobelirteç olarak kullanılması uygun olmadığı sonucuna varılmıştır. Elde edilen verilerin söz konusu ilin kirlilik haritalarının oluşturulmasında katkıda bulunabileceği önerilmektedir.

Yine elde edilen verilere göre mevsimsel değişikliklerin sözkonusu biyobelirteçlerin düzeylerinde önemli değişikliklere yol açtığı görülmüştür. Özellikle kirliliğin daha yoğun olduğu kış aylarında istatistiksel olarak önemli artış ve azalışlar tespit edilmiştir.

Kirletici gaz emisyonunun bitkide oluşturacağı stresin boyutu;

Hava kirleticisinin yoğunluğuna bağlı olup, değerlendirilen parametreler açısından bakıldığında istasyonlarımız arasında en yoğun kirliliğin organize sanayi bölgesi olduğu trafik yoğunluğunun çok olduğu bölge olan Koşuyolu istasyonumuzun ise organize sanayi bölgesine nazaran hava kirliliği açısından daha iyi bir durumda olduğunu söyleyebiliriz.

Yapılan bu çalışmada örnekleme direk doğadan olduğu için ve kirlecilerin hepsi bir arada bulunduğundan bitkilerin farklı kirleticilere karşı verdiği biyokimyasal yanıtlar tam olarak açıklığa kavuşturulamamıştır. İleride yapılacak olan çalışmalarda kirleticilerin ayrı ayrı etkilerinin belirlenmesi gerekmektedir. Ayrıca, bitkilerin hava kirliliğine karşı toleransını birçok mekanizmanın etkilediği bilinmekte olup ileride yapılacak olan çalışmalarda farklı değişkenler üzerinde durulması gerekliliği ortaya çıkmıştır.

6. ÖNERİLER

Kalorisi düşük, kalitesiz yakıt yakılması engellenmeli, fosil yakıtlarının yerine güneş enerjisi, rüzgar enerjisi ve jeotermal enerji tercih edilmelidir.

Sanayi tesisi yer seçiminin yerleşim alanları dışında ve hakim rüzgarlar dikkate alınarak yapılması, imar planlarında bu alanların çevresinde yapılaşmaların önlenmesi gerekmektedir. Sanayi kuruluşlarının temiz yakıt kullanması ve bacalarına filtre takılması gerekmektedir. Sanayi kuruluşlarını denetleyici kurumlar sürekli olarak denetlemesi gerekmektedir.

Araçların egzoz gazı emisyon ölçümlerinin periyodik olarak yapılması sağlanmalı, bununla birlikte; alternatif enerji kullanan motorlu taşıtlar geliştirilmeli ve özendirilmelidir. Çevre dostu araç kullanımının özendirilmesi ve yakıt kullanımda çevreci bir yaklaşımın özendirilmesi gerekmektedir. Toplu taşıma araçları yaygınlaştırılmalıdır.

Koşuyolu ve Organize sanayi bölgelerde hava kirliliğinin olumsuz etkilerinden bitkilerinde etkileneceği düşünülerek bu bölgelere yakın alanlarda tarım yapılmasının önüne geçilmelidir.

Hava kirleticileri ve insan faktörü göz önüne alarak çeşitli eğitim seminerleri düzenlenerek insanların bu konu da bilgilendirilmesi gerekmektedir.

KAYNAKÇA

- Achille, K.N., Maxime , A.D. Sadaïou Sabas, B.Y. Kouamé, D. B.,** 2015. Detoxifying Hydrogen Peroxide Enzymes Activity in Two Plant Species Exposed To Air Pollution in Abidjan City (Côte D'ivoire), *International journal of plant, animal and environmental science*, 5: 140-145.
- Alonso, 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.
- Alptekin Ü.,** 1986. Anadolu Karaçamı (Pinus nigra Arnold. ssp. pallasiana Lamb. Holmboe)'nın Coğrafik Varyasyonları, İ.Ü. Orman Fakültesi, Silvikültür Anabilim Dalı, Doktora Tezi (yayımlanmamış), İstanbul, 170 s.
- Anşın R. ve Özkan C.,** 1997. Tohumlu Bitkiler (Spermatophyta) Odunsu Taksonlar, K.T.Ü.Orman Fakültesi, Genel Yayın No: 167, Fakülte Yayın No: 19, Trabzon.
- Apel K. and Hirt. H.,** 2004. "Reactive Oxygen Species: Metabolism, Oxidative Stress, and Signal Transduction". *Annu. Review Plant Biol.* 55: 373-399.
- Asada, K.,** 1992. Ascorbate peroxidase - hydrogen peroxide-scavenging enzyme in plants. *Physiol. Plant.*, 85: 235-241.
- Badamasi, H.,** 2017. Biomonitoring of Air Pollution Using Plants, *MAYFEB Journal of Environmental Science*, 2: 27-39.
- Bayram, H. Dörtbudak, Zeynep, Fişekçi, F.E., Murat Kargın, Bülbül, B.,** 2006. "Hava Kirliliğinin İnsan Sağlığına Etkileri, Dünyada, Ülkemizde ve Bölgemizde Hava Kirliliği Sorunu" Paneli Ardından. *Dicle Tıp Dergisi*, 33: 105-112.
- Bayram H., Dikensoy Ö.,** 2006. Hava Kirliliği ve Solunum Sağlığına Etkileri. *Tüberküloz Toraks* 54, 80-89.
- Beauchamp C, Fridovich I.,** 1971. Superoxide dismutase: Improved assays and an assay Applicable to acrylamide gels. *Anal Biochem*, 44: 276-87.
- Bernardi, R., Nali, C., Ginestri, P. C., Pugliesi, I. C., Lorenzini, G., Durante, M.,** 2004. Antioxidant enzyme isoforms on gels in two poplar clones differing in sensitivity after exposure to ozone, *Biol. Plantarum*. 48(1): 41-48.
- Bernstein JA, Alexis N, Bacchus H., et al.** 2008. The health effects of nonindustrial indoor air pollution. *Journal of Allergy and Clinical Immunology* 121(3):585-91.

- Bhattacharjee, S.**, 2005. Reactive oxygen species and oxidative burst: roles in stress, senescence and signal. *Curr. Sci.* 89, 1113–1121.
- Boyer TD, Vessey D.A, Holcomb C, Soly N.** 1984. Studies of the relationship between the catalytic activity and binding of nonsubstrate ligands by GST. *Biochem J*; 217: 179-85.
- Bowler, C., Van Montague, M., Inzé, D.**, 1992. Superoxide dismutase and stress tolerance, *Ann Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.*, 43:83-116.
- Breyse PN, Buckley TJ, Williams D.**, et al. 2005. Indoor exposures to air pollutants and allergens in the homes of asthmatic children in inner-city Baltimore. *Environmental Research*, 98(2):167-76.
- Büyük, İ., Aydın S. S., Aras, S.** 2012. Bitkilerin stres koşullarına verdiği moleküler cevaplar. Molecular responses of plants to stress conditions, *Türk Hij Den Biyol Derg*: 69(2): 97–110.
- Caregnatoa, F. F., Clebschb, C.C., Rochaa, R.F., Feistauera, L.B.H., Oliveirac, P.L., Divan Juniorb A.D and Jose´ C.F. Moreira**, 2010. Ozone exposure differentially affects oxidative stress parameters in distinct *Phaseolus vulgaris* L. varieties, *Journal of Plant Interactions*, 5:111-115.
- Castillo, F. J., Miller, P. R. and Grein, H.**, 1987. Extracellular biochemical markers of photochemical air pollution damage to Norway spruce. *Experientia* 43: 111-220.
- Chou**, 2014. “Discussing issues related with detection of air pollutants. *Agric. Technol.*” 34: 206-224.
- Çakmak, I.**, 1994. Activity of ascorbate-dependent H₂O₂-scavenging enzymes and leaf chlorosis are enhanced in magnesium and potassium deficient leaves, but not in phosphorus deficient leaves. *J. Expt. Bot.*, 45:1259-1266.
- Çobanoğlu, G.**, 2015. The Use Of Lichens For Biomonitoring Of Atmospheric Pollution, *Sigma J Eng & Nat Sci*, 33: 591-613.
- Darrall, N.M.**, 1989. The effect of air pollutants on physiological processes in plants. *Plant Cell Environ.*, 12, 1-30.
- Denhez, F.**, 2007. Küresel Isınma Atlası, NTV Yayınları, İstanbul.
- Deniz, M.**, 2010. Termik Santral Kaynaklı Hava Kirliliğinin Bitkilerdeki Mineral Beslenme Ve Antioksidatif Savunma Mekanizmasına Etkisi, Biyoloji Anabilim Dalı, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Adana.

- Dixit, V., Pandey, V., Shyam, R.,** 2001. Differential oxidative responses to cadmium in roots and leaves of pea (*Pisum sativum* L cv. Azad). *J Exp Bot*, 52: 1101-9.
- Dixon, K., Roche, S., and Pate, J.,** 1995. The promotive effect of smoke derived from burnt native vegetation on seed germination of Western Australian plants. *Oecologia* 101: 185-192.
- Edwards, R., Dixon, D.P., and Walbot, V.,** 2000. Plant glutathione Stransferases: enzymes with multiple functions in sickness and in health, *Trends Plant Sci.* 5: 193-198.
- Elkoca, E., Kantar, F.,** 2001. Baklagillerde simbiyotik azot fiksasyonuna etki eden bazı faktörler. *Atatürk Üniv. Ziraat Fak. Derg.*, 32 : 197-205.
- Elkoca, E.,** 2003. Hava Kirliliği ve Bitkiler Üzerindeki Etkileri, *Atatürk Üniv. Ziraat Fak. Derg.* 34: 367-374.
- Eraslan, İ.,** 1988. Hava Kirliliğinin Kent ve Orman Ağaçlarına Etkisi ve Çevre Mevzuatımız. Çevre'88: Dördüncü Bilimsel ve Teknik Çevre Kongresi, 5-9 Haziran, İzmir.
- Flora, S.J.,** 2007. Role of free radicals and antioxidants in health and disease. *Cell Mol Biol.* 53: 1-2.
- Foyer, C.H., Lelandais, M., Kunert, K.J.,** 1994. Photooxidative Stres İn Plants. *Physiol. Plant.* 92: 696-717.
- Fridovich, I.,** 1986. Biological effect of superoxide radical. *Arch Biochem Biophys.* 247: 1-11.
- Ghorbanli, M., Bakand, Z., Bakand, S.,** 2007. Air pollution effects on the activity of antioxidant enzymes in Nerium oleander and Robinia pseudo acacia plants in Tehran, *Journal of Environmental Health Science & Engineering.* 4: 157-162.
- Gullner, G., Kömives, T.,** 2001. The role of glutathione, glutathione-related enzymes in plant-pathogen interactions. In: Grill D Tausz M, De Kok LJ (eds) Significance of Glutathione to Plant Adaptation to the Environment. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 207-239, ISBN 1-4020-0178-9.
- Halliwell, B., Gutteridge, J.M.C.,** 1998. Free radicals in biology and medicine. 2nd ed. Oxford: Clarendon Press, 188-96.
- Hasegawa-Kurisu, K., Hama, M., Hanaki, K.,** 2008. Use Of Gst Activity As Evaluation Tool For Air Pollution, *Environmental Engineering Research*, 45: 211-217.

- Heath, R.L.**, 2008. "Modification of the biochemical pathways of plants induced by ozone: What are the varied routes to change"? *Environ Pollu.* 155:453-463.
- Hippeli, S., Elstner, E.F.**, 1996. Mechanisms of oxygen activation during plant stress: biochemical effects of air pollutants. *Journal of Plant Physiology*; 148: 249–257.
- Hodges, D.M., DeLong, J.M., Forney, C.F., Prange, R.K.**, 1999. Improving the thiobarbituric acid-Reactive substances assay for estimating lipid peroxidation in plant tissues containing anthocyanin and other interfering compounds. *Planta.* 207: 604–11.
- Hodges, D.M., Forney, C.F.**, 2000. The Effects On Ethylene, Depressed Oxygen And Elevated Carbon Dioxide On Antioxidant Profiles Of Senescing Spinach Leaves. *Journal Of Experimental Botany.* 51: 645-655.
- Hutchinson, T.C.**, 1984. Adaptation of plants to atmospheric pollutants, pp 52-67. *Origins and Development of Adaptation.* Ciba Foundation Symposium 102, Pitman, London.
- İncecik, S.**, 1994. Hava Kirliliği, Teknik Üniversite Matbaası, , 26-41, İstanbul.
- Jimenez, A., Hernandez, J.A., Pastori, G., Del Rio, L.A., Sevilla, F.**, 1998. Role of the ascorbate-glutathione cycle of mitochondria and peroxisomes in the senescence of pea leaves. *Plant Physiol*, 118: 1327-35.
- Kammerbauer, J., Dick, T.**, 2000. Monitoring of urban traffic emission using some physiological indicators in *Ricinus communis* L. Plants. *Enviro. Cont. and Toxicol* 39: 161-166.
- Kangasjarvi, J., Talvinen, J., Utriainen, M., and Karjalainen, R.**, 1994. Plant defense systems induced by ozone. *Plant, Cell Environ.* 17: 783-794.
- Kapoor, C.S.**, 2014. Ficus Benghalensis L. tree as an efficient option for controlling air pollution. *Research in Health and Nutrition* 2: 1-11.
- Karadağ, M.**, Batı Karadeniz Bölgesinde Karaçam (*Pinus nigra* Arnold ssp. *pallasiana* Lamb. Holmboe) Doğal Gençleştirme Koşulları Üzerine Araştırmalar, TC Orman Bakanlığı Batı Akdeniz Ormancılık Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Yayını, Teknik Bülten, No:4, Bolu, 1999.
- Karpuzcu, M.**, 1996. Çevre Kirlenmesi ve Kontrolü, Kubbealtı, İstanbul.
- Kavitha, S., Shailaja, K.**, 2016. Effect of Air Pollutants on Enzyme Activity of Plants *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology* 5, 8.

- Kardeşoğlu, E., Yalçın, M., Işlak, Z.,** 2011. Hava kirliliği ve kardiyovasküler sistem. *TAF Preventive Medicine Bulletin* 10, 97-106.
- Khan, N.A., Singh, S.,** 2006. Abiotic Stress and Plant Responses. New Delhi, IK International.
- Kırımhan, S.,** 2008. Hava Kirliliği ve Kontrolü, ISBN 975-00284-1-4.
- Klapheck, S.,** 1988. Homoglutathione: İsolation, Quantification And Occurrence In Legumes. *Physiol. Plant*, 74: 727-732.
- 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.
- Lee, E.H., Bennett, J.H.,** 1982. Superoxide Dismutase: a possible protective enzyme against ozone injury in snap beans (*Phaseolus Vulgaris* L). *Plant Physiol.* 69: 1444-1449.
- Leisinger, U., Rüfenacht, K., Fischer, B., Pesaro, M., Spengler, A., Zehnder, A.J.B., et al.** 2001. The glutathione peroxidase homologous gene from *Chlamydomonas reinhardtii* is transcriptionally up-regulated by singlet oxygen. *Plant Mol Biol.* 46: 395-408.
- Leon, A.M., Palma, J.M., Corpas, F.J., Gomez, M., Romero Puertas, M.C., Chatterjee, D., et al.,** 2002. Antioxidant enzymes in cultivars of pepper plants with different sensitivity to cadmium. *Plant Physiol Biochem*, 40: 813-20.
- Li, M.H.,** 2003. Peroxidase and superoxide dismutase activities in fig leaves in respons to ambient air pollution in a subtropical city. *Arch. Environ. Contam. Toxicol* 45: 168-176.
- 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.
- Madamanchi, N.R., Alscher, R.G.,** 1990. Alterations in Antioxidant Metabolism And Associated Enzymes in Pea (*Pisum Sativum*) Exposed To Sulfur Dioxide. *Plant Physiology*, 93, 1.
- Martinez-Dominguez, D., De Las Heras, M.A., Navarro, F., Torronteras, R., Cordoba, F.,** 2008. Efficiency of antioxidant response in *Spartina densiflora*: An adaptative success in a polluted environment. *Environ. Exp Bot.* 62: 69-77.
- Manning, W.J., Feder, W.A.,** 1980. Biomonitoring air pollutants with plants. ISBN 0-85334-916-9, *Applied Science Publishers*, p.142, London.

- Markert, B.**, 1993. Plants as biomonitors: Indicators for heavy metals in the terrestrial environment, VCH, Weinheim.
- Markert, B., Oehlmann, J., Roth, M.**, 1997. "General Aspects of Heavy Metal Monitoring by Plants and Animals. In: Environmental Biomonitoring — Exposure Assessment and Specimen Banking", 18–29, Subramanian K.S., Iyengar G.V., Eds., ACS Symposium Series 654, American Chemical Society, Washington D.C.
- Martin, M.H., Coughtrey, P.J.**, 1982. Biological monitoring of heavy metal pollution. Applied Science Publishers, p. 26, London.
- Masters, G.M.**, 1991. Introduction to Environmental and Science, Prentice Hall International Editions.
- Mckersie, D.B., Leshem, Y.Y.**, 1994. Stress and stress coping in cultivated plants. Kluwer Academic Publishers, The Netherlands: 1-180.
- Miteva, L.P.E., Ivanov, S.V., Alexieva, V.S., Karanov, E.N.**, 2018. Effect of atrazine on glutathione levels, glutathione s-transferase and glutathione reductase activities in pea and wheat plants Plant Protection Science. 40: 160-20.
- Mutiu, S., Atıcı, Ö., Kaya, Y.**, 2009. Effect of cement dust on diversity and antioxidant enzyme activities of plants growing around a cement factory. *Fresenius Environmental Bulletin* 18: 1823-1827.
- Müezzinoğlu, A.**, 1987. Hava Kirliliğinin ve Kontrolünün Esasları, Dokuz Eylül Üniversitesi, Yayınları, Yayın No: 0908.87.DK.006.042, İzmir.
- Müezzinoğlu, A.**, 2009. Atmosfer Kimyası, 2.baskı, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Basım Ünitesi, İzmir.
- Nash, T.H.**, 1989. Metal tolerance in lichens, In: Heavy metal tolerance in plants; Evolutionary aspects. Shaw, A.J. (ed), CRC Press, pp. 119-131, Boca Raton.
- Nast, W., Mortensen, L., Fisch, K.**, 1993. Effects of air pollutants on the growth and antioxidative system of Norway spruce exposed in open-top chambers. *Environ. Pollut.*, 80: 85-90.
- Nimis, P.L., Purvis, O.L.**, 2002. Monitoring lichens as indicators of pollution, In: Monitoring with lichens-Monitoring lichens. Nimis, P.L., Scheidegger, C. And Wolseley P.A. (eds), Kluwer Academic Publishers, pp. 7-10, Netherlands.
- Nuhoğlu, Y.**, 1996. Hava Kirliliğinin Bitkiler Üzerindeki Etkileri. Lisansüstü Ders Notları (Basılmamış), Atatürk Üniv. Fen Bilimleri Enst., Erzurum.

- Pandey, J., Agrawal, M.,** 1994. Evaluation of air pollution phytotoxicity in a seasonally dry tropical urban environment using three woody perennials. *New Phytol.*, 126 (1): 53-61.
- Pell, E.J., Schlagnhauser, C.D., Arteca, R.N.,** 1997. Ozone induced oxidative stress: Mechanisms of action and reaction. *Physiol. Plantarum* 100: 264-273.
- Petrova, S.T.,** 2011. Biomonitoring Study of Air Pollution with *Betula pendula* Roth from Plovdiv, Bulgaria. *Ecologia Balkanica*. 3, 1, 1-10.
- Polle, A.,** 1996. Mehler reaction: friend of foe in photosynthesis? *Botanica Acta*, 109: 84-89. 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. 22, 4.
- Puccinielli, A.N., Bragloni, M.,** 1998. Peroxidases: Usable markers of air pollution in trees from urban environments. *Chemosphere* 3: 889.
- Ram, S.S., Majumder, S., Chaudhuri, P., Chanda, S., Santra, S.C., Chakraborty A., Sudarshan, M.,** 2015. "A review on air pollution monitoring and management using plants. With special reference to foliar dust adsorption and physiological stress responses. *Critical Reviews in Environ. Sci. And Technol.*, DOI:10.1080/10643389.2015.104677. X. L.
- Rao, M.V., Dubey, P.S.,** 1990. Biochemical aspects (antioxidants) for development of tolerance in plants growing at different low levels of ambient air pollutants. *Environ. Pollut.* 64:55.
- Rausch, T., Wachter, A.,** 2005. Sulfur metabolism: A versatile platform for launching defence operations. *Trends Plant Sci.* 10: 503-509.
- 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.
- Rennenberg, H.,** 1982. Glutathione metabolism and possible biological roles in higher plants. *Phytochem.*, 21: 2771-2781.

- Richardson, C.J., Di Glulio, R.T., 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. Academies Press, pp 251–260.
- Rich, S., Tomlinson, H.,** 1974. Mechanisms Of Ozone Injury To Plants, M. Dugger, Air Pollution Effects On Plant Growth, s. 76-82.
- Sarkar, R.M., Banerjee, A., Mukerjj, S.,** 1986. Acceleration of peroxidase and catalase activities in leaves of wild dicotyledonous plants as an indicator of automobile exhaust pollution. *Environmental Pollution (series A)* 42: 289.
- Scandalias, J.G.,** 1993. Oxygen Stress And Superoxide Dismutase. *Plant Physiol.*, 101: 7-12.
- Schwanz, P., Polle, A.,** 2001. Growth Under Elevated Co2 Ameliorates Defenses Against Photo-Oxidative Stress In Poplar (Populus Alba X Tremula). *Environmental And Experimental Botany*, 45: 43-53.
- Schröder, P.,** 2001. The role of glutathione S-transferases in plant reaction, adaptation to xenobiotics. In: Grill D, Tausz M, De Kok LJ (eds) Significance of Glutathione to Plant Adaptation to the Environment. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 155-183, ISBN 1-4020-0178-9.
- 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.
- Serez, M., Ata, C.,** 1988. Kazdağı Ormanlarında Karaçam (*Pinus nigra* Arnold Subsp. Pallasiana) ve Kazdağı Göknaarı (*Abies equi-trojani* Asher Sint.) Türlerinde Görülen Gaz Zararları. Çevre'88: Dördüncü Bilimsel ve Teknik Çevre Kongresi, 5-9 Haziran, İzmir.
- Seçmen, Ö., Gemici, Y., Görk, G., Bekat, L., Leblebici, E.,** 2000. Tohumlu Bitkiler Sistematigi. 4. Baskı. Ege Üniversitesi Basımevi. 117-126.
- Shannigrahi, A.S., Fukushima, T., Sharma, R.C.,** 2004. Tolerance of some plant species considered for green belt development in and around an industrial or urban area in India: An overview. *Int. J. Environ. Stud*, 61(2): 125.

- Sharma, P., Jha, A.B., Dubey, R.S., Pessarakli, M.,** 2012. Reactive oxygen species, oxidative damage, and antioxidative defense mechanism in plants under stressful conditions. *Journal of Botany*, 1–26.
- Singh, S.N., Verma, A.,** 2007. Photoremediation: A review In: Environmental bioremediation technology, Singh, S.N and Tripathi, R.D (Eds). Springer, Berlin Heidelberg. PP: 293-324.
- Smirnoff, N.,** 1995. Antioxidant systems and plant response to the environment. In: Environment and plant metabolism: flexibility and acclimation. Bios Scientific Publishers, Oxford, UK, 217–243.
- 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.
- Shimazaki K., Sakaki T., Kondo N., Sugahara K.,** 1980. Active Oxygene Participation İn Chlorophyll Destruction And Lipid Peroxidation İn So₂-Fumugated Leaves Of Spinach. *Plant Cell Physiol.*, 21: 1193-1204.
- Joshi, N. Chauhan, A., Joshi, P.C.,** 2009. “Impacts of industrial air pollutants on some biochemical parameters and yield in wheat and mustard plants”. *Environmentalist*. 29: 98-104.
- Kocaman, Ö.,** 2010. Erzurum’da Pasif Örnekleme Yöntemiyle Alansal Hava Kalitesinin Tahmini, Erzurum.
- Mangır, H.,** 2014. İstanbul'da 2010 Yılına Ait Hava Kirliliği Envanterinin Halk Sağlığı Açısından Değerlendirilmesi, İstanbul Üniversitesi Sağlık Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Mitscherlich, G.,** 1995. Die Welt in der wir leben. Entstehung – Entwicklung, heutige Stand (Yaşadığımız Dünyanın Oluşumu-Gelişimi ve Bugünkü Durumu). Rombach Ökologie, Rombach Verlag, Freiburg.
- Murray, K.R., Mayes, P.A., Granner, D.K., Rodwell, W.V.,** 1993. Harper'ın Biyokimyası I. Böl., 60: 811-7.
- Nuhoğlu, Y.,** 1993. Muğla-Kemerköy Termik Santralinin Oluşturacağı Çevre Kirliliğinin Ormanlar Üzerindeki Etkileri (Doktora Tezi).
- Ormrod, D.P.,** 1986. *Hort. Rev.*, 8, 1–42.

- Polat, E.E.,** 2016. Gaziantep'in Trafik Kaynaklı Hava Kirliliğinin Belirlenmesi Üzerine Bir Çalışma, Yüksek Lisans Tezi, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Kahramanmaraş.
- Patykowski, J., Kolodziejek, J.,** 2016. Changes in Antioxidant Enzyme Activities of European Mistletoe (*Viscum album* L. subsp. Album) Leaves as a Response to Environmental Stress Caused by Pollution of the Atmosphere by Nitrogen Dioxide, *Pol. J. Environ. Stud.* 25, 2: 725-732.
- Sağlık Bakanlığı,** 2010. T.C. Sağlık Bakanlığı Temel Sağlık Hizmetleri Genel Müdürlüğü 811 No'lu Yayını. Türkiye'nin Hava Kirliliği ve iklim değişikliği Sorunlarına Sağlık Açısından Yaklaşım, ANKARA (Erişim Tarihi: 2011).
- Srivastava, H. S.,** 1999. Biochemical defence mechanisms of plants to increased levels of ozone And other atmospheric pollutants. *Current Science*, 76, 4, 525-533.
- Tanaka, K., Sugahara, K.,** 1980. Role Of Superoxide Dismutase In Defence Against SO₂ Toxicity And An Increase In Superoxide Dismutase Activity With SO₂ Fumigation. *Plant Cell Physiol.* 21: 601-611.
- Taylor, G.E., 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.
- Tingey, D.T., Anderson, C.P.,** 1991. The physiological basis of differential plant sensitivity to changes in atmospheric quality, in *Ecological Genetics and Air Pollution*, Taylor, G.E., Pitelka, L.F., and Clegg, M.T., Eds., Springer- Verlag, New York, 1991, 209. **URL-1**
<http://www.yildiz.edu.tr/~kvarinca/Dosyalar/Yayinlar/yayin020.pdf>, 7 Mart, 2007.
- Uysal, N., Schapira, R.M.,** 2003. Effects of ozone on lung function and lung diseases. *Curr Opin Pulm Med.*, 9: 144-50.
- Van Breusegem, F., Dat, J.F.,** 2006. Reactive oxygen species in plant cell death. *Plant Physiol*, 141: 384-90.
- Vardar, Ç.,** 2011. Kayseri İli Yöresinde Kirliliğe Maruz Bırakılmış *Pseudevernia Furfuracea* (L.) Zopf Liken Türünde Hava Kirliliğinin Genotoksitesinin Atomik Absorbsiyon Spektroskopisi Ve Moleküler Markörlerle Değerlendirilmesi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Biyoloji Anabilim Dalı, Ankara.

- Vollenweider, P., Ottiger, M., Gunthardt-Goerg, M.S.,** 2003. Validation of leaf ozone symptoms in natural vegetation using microscopical methods. *Environmental Pollution*, 124:101
- 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 İn Nicotiana Plumbaginifolia L. *Plant Physiol.* 106: 1007-1014.
- Yaltırık, F.,** 1988. Dendroloji Ders Kitabı I, Gymnospermae (Açık Tohumlular), İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, İ.Ü. Yayın No: 3443, O.F. Yayın No: 386, İstanbul, s. 73–79.
- Yaltırık, F., Efe, A.,** 2000. Dendroloji Ders Kitabı Gymnospermae–Angiospermae II. Baskı, İ.Ü. YayınNo: 4265, O.F Yayın No: 465, İstanbul.
- Yıldırım, Y., Doğu, G., Uysal, B.Z., Çulfaz, M.,** 1991. Hava Kirliliği ve Temiz Enerji. Yanma ve Hava Kirliliği I. Ulusal Sempozyumu, 10-12 Haziran 1991, Ankara
- Yılmaz, C.,** 2006. Glutathione S-Transferase Activity And Glutathione Levels In Drought Stressed *Pinus Brutia* Ten. Trees Growing In Ankara, Master Thesis, Middle East Technical University.
- Zubay, G.,** 1983. Biochemistry. 3rd Ed. Addisson Wesley CoUSA, 543.

ÖZGEÇMİŞ

1992 yılında Diyarbakır’da doğdum. Şehit Namık Tümer ilköğretim okulunda ilk ve ortaöğrenimimi, Ziya Gökalp Lisesinde lise öğrenimimi tamamladım. 2011 yılında girmiş olduğum Tunceli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümünden 2015 yılında mezun oldum. 2016 yılında Munzur Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans eğitimine başladım. Şuan Diyarbakır Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğünde görev yapmaktayım.

