



MAKÜ FEBED
ISSN Online: 1309-2243
<http://dergipark.ulakbim.gov.tr/makufebed>

Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 7(1): 67-74 (2016)
The Journal of Graduate School of Natural and Applied Sciences of Mehmet Akif Ersoy University 7(1): 67-74 (2016)

Derleme Makale / Review Paper

Hava Kirleticilerin Bitkilere Etkileri

Cengiz YÜCEDAĞ¹, Latif Gürkan KAYA^{1*}

Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Burdur

Geliş Tarihi (Received): 12.02.2016, Kabul Tarihi (Accepted): 30.03.2016

✉ Sorumlu Yazar (Corresponding author)*: lgkaya@gmail.com

☎ +90 248 2132703 📠 +90 248 2132704

ÖZ

Dünyada hızlı gelişen kentleşme ve endüstrileşme ile bilinçsiz tarımsal uygulamalar sonucunda ciddi hava kirliliği problemleri ortaya çıkmıştır. Çeşitli endüstriyel kaynaklardan atmosfere verilen hava kirleticiler, başta insanlar olmak üzere bitkiler ve hayvanlar üzerinde önemli zararlara neden olmaktadır. Dolayısıyla bu çalışmada, başlıca hava kirleticilerine yer verilmiş ve bunların bitkiler üzerine etkileri incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Hava kirliliği, hava kirletici, bitki, kentleşme, endüstri

Impacts of Air Pollutants to Plants

ABSTRACT

In the World, the rapid development of urbanization and industrialization with unconscious agricultural practices have emerged serious air pollution problems. Air pollutants into the atmosphere from various industrial sources have caused important damages on human, plants and animals. Therefore, in the study, the major air pollutants and their impacts on the plants have been investigated.

Keywords: Air pollution, air pollutant, plant, urbanization, industry

GİRİŞ

Dünyada hava kirletici emisyonlarında 2030 yılına kadar beş katına kadar bir artış beklenmektedir. Türkiye’de hava kirliliği özellikle 1950’lerden sonra hızlı nüfus artışı, hızlı kentleşme, endüstrileşme sonucu yoğun enerji kullanımı nedeniyle bir halk sağlığı sorunu olmaya başlamıştır (Bayram, 2005). 1970’li yıllara gelindiğinde başta Ankara olmak üzere büyük kentlerin hemen tamamında ağır bir hava kirliliği yaşanmış ve özellikle Muğla’da bulunan Yatağan ve Yeniköy termik santralleri hava kirliliği nedeniyle gündeme gelmiştir.

Hava kirliliği; doğal olaylar veya insan faaliyetleri sonucunda oluşan, atmosferin doğal bileşimini değiştiren, yoğunluğu ve atmosferde kaldıkları süreye bağlı olarak insan sağlığına, bitki ve hayvan hayatına zararlı olan gaz ve tanecikler olarak tanımlanabilmektedir (Eğri, 1997). Topoğrafik ve meteorolojik özelliklerin dikkate alınmadığı yanlış kentleşme, uygunsuz ve yersiz yakma teknikleri, yeşil alanların azalması, motorlu araç sayısındaki artış, atıkların yetersiz atılımı hava kirliliğini daha da artırmıştır (Bayram, 2005).

Kaynaklardan yayılan hava kirleticiler, sadece atmosferde buldukları ortama değil, o ortamdaki de

kilometrelerce uzaklıkta etkili olabilmektedir. Global ölçekte CO₂ artışının yol açtığı sera etkisinin ve ozon tabakasının delinmesi gibi etkilerin atmosferde önemli ölçüde klimatolojik değişimlere yol açtığı belirlenmiştir. Hava kirliliğinin neden olduğu asit yağmurlarının ormanları tahrip ettiği ve gölleri asitleştirerek ekolojik dengenin bozulmasına yol açtığı tespit edilmiştir. SO₂, CO, NO_x, partikül gibi hava kirlleticilerin ise insan sağlığı, bitkiler, yapı ve malzemeler üzerinde olumsuz etkiler meydana getirdiği bilinmektedir (Amil, 2005).

Hava kirliliği atmosfer bileşimini değiştirerek sıcaklık ve yağış modellerini değiştirmekte, su ve toprağın kirlenmesine neden olmaktadır. Atmosfer bileşimi, gerek açık gerekse kapalı alanlarda (sera ve depo) bitki yetiştiriciliğini ve muhafazasını etkileyen önemli bir faktördür (Dursun, 1998). Son yıllarda atmosfer bileşimi bitki yetiştiriciliğini sınırlayan önemli bir çevre faktörü olarak değerlendirilmektedir. Dünya üzerinde hava kirliliği ağaçlara, çim bitkilerine, süs bitkilerine zarar vermekte ve tarım ürünlerinde verim kayıplarına neden olmaktadır (Seyyednejad ve Koochak, 2011). Yine, özellikle Türkiye'nin güneyinde kalan Muğla'daki termik santraller ve İskenderun'daki sanayi bölgesinin çevresindeki orman alanlarında yaprak/ibre kayıp oranlarının yüksek olmasının nedeni hava kirliliğidir (Tolunay ve ark., 2013).

Hava kirliliği kontrolünün kanuni süreçlere girmesiyle, dünyanın bir çok ülkesinde yerel ve Dünya Sağlık Örgütü'nün (WHO) belirlediği kirlitici sınır değerleri ve emisyon kriterleri kullanılmaktadır (Bayram ve ark., 2006). Öte yandan, ülkemizde hava kirliliği 06.06.2008 tarihli 26898 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği çerçevesinde kontrol altına alınmaya çalışılmıştır (URL1, 2015). Bu çalışmada başlıca hava kirliticilerine yer verilmiş ve bunların bitkilere etkisi üzerinde durulmuştur.

BAŞLICA HAVA KİRLİTİCİLERİ

Hava kirliticileri atmosfere erişim yollarına bağlı olarak birincil ve ikincil kirliticiler olarak sınıflandırılmaktadır (Çınar, 2008).

Birincil (primer) kirliticiler

Birincil kirliticiler atmosfere kaynaktan direkt gönderilen ve bir değişime uğramayan kirliticilerdir. Bunlar; kükürtdioksit (SO₂), hidrojen Sülfür (H₂S), azotmonoksit (NO), azotdioksit (NO₂), karbonmonoksit (CO), karbondioksit (CO₂) ve partiküllerdir (Demirel, 2010).

İkincil (sekonder) kirliticiler

İkincil kirliticiler kaynaktan çıktıktan sonra atmosferde bulunan diğer maddelerle reaksiyona girip bu reaksiyonlar sonucu ortaya çıkan bileşikler ifade eder. Bunlar; kükürtrioksit (SO₃), sülfürik asit (H₂SO₄), ozon (O₃), aldehit ve ketonlar, peroksi asetil nitrat (PAN) ve ağır. Oysa bunların oluşumuna zemin oluşturan hidrokarbonlar ve NO birincil kirlitici grubundadır. Çok çeşitli kaynaklardan salınmalarına rağmen diğer kirliticiler gibi çoğunluğu birincil kaynaklardan salınan antropojenik kökenli olup diğer bir kısmında atmosferde maruz kaldıkları değişimler sonucu oluşan ikincil aerosollardır (Çınar, 2008).

HAVA KİRLİTİCİLERİN BİTKİLERE ETKİLERİ

Çeşitli endüstriyel kaynaklardan atmosfere verilen zararlı gaz ve maddeler, dünyanın değişik ülkelerinde başta insanlar olmak üzere bitkiler ve hayvanlar üzerinde önemli zararlar yapmaktadır. Hava kirliticilerinin bitkiler üzerindeki zehirli etkisi, kirlitici türü ve konsantrasyonuna, bitki türü ve gelişme dönemine, ışık ve sıcaklık gibi çevresel faktörlere göre değişmektedir (Elkoca, 2002).

Havada kirlilik yaratan maddeler bitki yapraklarının yüzeyine temas ile yapraktaki solunum gözeneklerinin kapakçıklarını tıkayarak, solunum gözeneklerinden içeri girip karbondioksit özümlemesine katılarak olumsuz etkiler yapmaktadırlar (Kantarıcı, 1995). Hava kirliliği, yapraklarda nekrozlara ve klorofil miktarında azalmalara sebep olmak suretiyle, fotosentetik aktivitenin gerilemesine ve buna bağlı olarak çap gelişimi, boy ve yaprak alanı gibi çeşitli büyüme parametrelerinin olumsuz yönde etkilenmesine neden olmaktadır (Pandey ve Agrawal, 1994). Hava kirliliği, bitki fizyolojisi veya biyokimyasal aşamalar üzerine etkili olduğu gibi, büyüme veya verimde önemli kayıplara ve besin kalitesinde değişikliklere neden olabilir (Ashmore ve Marshall, 1999). Kuzey Amerika'da (Heck ve ark., 1988) ve Güney Asya'da (Wahid ve ark., 1995) yapılan kapsamlı çalışmalar, ortam hava kirliliğinin önemli ürünlerde ciddi verim kaybına yol açtığını göstermiştir.

Hava kirliliğinin ağaç gelişimine olumsuz etkileri neticesinde, kirliliğe hassas tür ve genotiplerin rekabet güçlerinde önemli azalmalar meydana gelmektedir (Karnosky ve ark., 1992). Hava kirliliği Norveç ladini ve Avrupa kayınında bir takım kalıcı genetik farklılıklara sebep olmuş ve ayrıca çalışma alanlarında göknar ağacı (*Abies sp.*) sayısında önemli miktarda azalma görülmüştür. Ayrıca, çiçeklenmede bozulma dolayısıyla üreme-etkin popülasyon boyutunda azalmaya neden olmuştur (Longauer ve ark., 2004).

İzmir'in kuzey kısmında yer alan endüstri tesislerinden kaynaklı hava kirliliği kızılçam ve karaçam ağaçlarının yıllık halkalarında azalmalara neden olmuştur (Tolunay, 2003). Hava kirliliğine maruz kalan *Eucalyptus camaldulensis* ağacında yüksek miktarda çözünür karbonhidrat ve prolin içeriği saptanmıştır. Yani kirlenmiş yapraklarda prolin seviyesi artmıştır (Seyyednejad ve Kooc-hak, 2011)

Yeniköy termik santrali çevresinde bulunan kızılçam ağaçlarının iğne yapraklarında hava kirliliği kaynaklı reçine kanal genişlemesi ve epidermis/hipodermis tabakalarının incilmesi saptanmıştır (Nuhoğlu, 2005) Aynı zamanda, endodermis tabakası ve iletim doku hücrelerinin deforme olduğu, hücre içi materyallerinin kaybolduğu, 2-3 yaşlı iğne yaprakların çok erken dö-küldüğü belirlenmiştir. Linyit kömürle çalışan bir termik

santral çevresinde oluşan hava kirliliği ise bitkilerin fotosentetik pigmentlerinde azalmaya ve aynı zamanda *Azadirachta indica* A.Juss ağaç türünde rubisco enzi-minin büyük oranda bozulmasına neden olmuştur (Go-vindaraju ve ark., 2010).

Araç kaynaklı emisyon gazlarının meydana getirdiği ağır metal kirliliği üzerine yapılan bir çalışmada, çevre yoluna 100 m uzaklıktan toplanan tohumlar yüksek oranda çimlenirken , çevre yoluna yakın yerlerden (0-30 m arasında bir uzaklıktan) toplanan tohumların ise ön işlem uygulanmasına rağmen uzun süreli deneme-lerde bile çimlenmedikleri görülmüştür (Ganatas ve ark., 2011). Hava kirliliğinin bazı Akdeniz orman ağacı türleri üzerindeki etkileri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Bazı Akdeniz orman ağacı türlerine hava kirliliğinin etkileri (Bussotti ve Ferretti, 1998)

Tür	Deney Tipi	Kirleticisi/Konsantrasyon/Zaman	Etkiler
<i>Pinus halepensis</i>	Alan gözlemleri ve kontrollü ortamda (5 yıllık fidanlar)	Hem alanda (<210 ppb) hem de kontrollü koşullarda (2 ay boyunca günde 7 saat ortalama 70 ppb) ozon uygulaması	Görünür semptomlar (klorotik benekler)
	Fumigasyon odalarında (2 yıllık fidanlar)	Büyüme mevsimi boyunca episodik (5 güne kadar) ozona maruz kalma (<120 ppb)	Görünür semptomlar (klorotik benekler); endodermiste nişasta birikimi; kalburlu damar hücrelerinin büzülmesi
	Kontrollü ortamda (18 aylık fidanlar)	2-16 günlük süre boyunca ozon (150-600 ppb) uygulaması	<ul style="list-style-type: none"> Düşük ozonda miristik ve palmitik asitte artış, kloroplast boyu ve stroma kararlığında azalma Yüksek ozonda linolenik asitte azalma, kloroplast membranlarının bozulması
	Üstü açık ortamda (1-3 yıllık fidanlar)	3 yıllık süre boyunca yaz işlemlerinde (haftada 5 gün günde 7 saat) ozon (filtreli ve filtrelenmemiş hava; ortam havası + 40 ppb ozon) uygulaması	Ozon uygulamasının ikinci yılında görünür belirtiler; net fotosentez, stomatal iletkenlik, klorofil, N ve P'da azalma
	Büyüme ortamında (3 yıllık fidanlar)	2 aylık süre boyunca ozon (100 ppb) ve yapay asit yağmuru (pH 3.4) uygulaması	Hem kombine hem de ozon işlemlerinde 1 yıllık iğne yapraklarda peroksidaz aktivitesi, poliamin, putresin ve spermidinde artış
	Büyüme ortamında (3 yıllık fidanlar)	3 ay boyunca günde 14 saat ozon (100 ppb) uygulaması	Bitkinin spesifik aktivitesinde azalma; mitokondriyal aktivitede artış; kuraklık stresiyle Rubisco aktivitesinde azalma
	Fumigasyon odalarında (2 yıllık fidanlar)	1 yıl boyunca tek başına ve kombine ozon (50 ppb) ve SO ₂ (40 ppb) uygulaması	Kök ve toplam biyoküttele işlemler tek tek etkisiz; kombinasyonda toplam biyoküttele %25 azalma ve mikorizal etki

Tablo 1. Bazı Akdeniz orman ağacı türlerine hava kirliliğinin etkileri (Bussotti ve Ferretti, 1998) (devam ediyor.)

Tür	Deney Tipi	Kirletici/Konsantrasyon/Zaman	Etkiler
<i>Pinus halepensis</i>	Saksılı bitkilerde işlemler	4 farklı yapay asit yağmuru uygulaması (pH 7.5, 6, 4.5, 3)	En asidik işlemlerde kök uzunluğunda azalma, temel alt katmanda ektomikori-za mantarına olumlu etki
	Serada (3 yıllık fidanlar)	Episodik ozon fumigasyonları (100-110 ppb)	Nitrat reduktazın depresyonu; poliamin birikimi, yeni iğne yapraklarda glutatyon ve askorbat; kuraklık ve hava kirliliğiyle toplam fenol ve glutatyonda azalma
	Açık hava denemesinde (18 aylık fidanlar) ve büyüme odalarında (24 aylık fidanlar)	1-2 büyüme sezonu boyunca 5 haftalık günde 12 saat ozon (150 ppb) uygulaması	Yaygın stoma iletkenliğinde artış, Nişasta içeriğinde azalma
	Üstü açık ortamda (24 aylık fidanlar)	20 aylık süre boyunca yaz işlemlerinde (haftada 5 gün, günde 7 saat) ozon (filtrelenmiş, ortam havası + 40 ppb ozon) uygulaması, kuraklık işlemleri	Ozon ve kuraklık işlemleri arasındaki gaz değişim oranları üzerine antagonistic (ters yönde) etkiler
<i>Pinus pinaster</i>	Serada (3 yıllık fidanlar)	60 gün boyunca yapay asit yağmuru işlemi (pH 5.4, 4.4, 3.4, 2.4)	En asidik (pH 3.4 ve 2.4) işlemlerde epikutikular mum yapısında değişim, POD aktivitelerinde etkisiz
	Büyüme ortamında (2 haftalık fidanlar)	Kültür ortamında asidite (pH 3.5 - 6) uygulaması	Düşük pH köklerin uzaması ile K, Ca, Mg, Mn alınımına etkili ama biyokütlelerine etkisiz; P, Fe ve Al alınımını artırır
<i>Pinus pinea</i>	Serada kaplı fidanlar	72 saat boyunca kültür ortamında asidite (pH 3.5, 5.5) uygulaması	En düşük pH'da kök uzamasında azalma
<i>Quercus pubescens</i>	Fumigasyon odalarında (2 yıllık fidanlar)	23 hafta boyunca sülfür dioksit (28-61-93 ppb) uygulaması	Mezofil bozulmasıyla birlikte <i>Q. pubescens</i> 'in stomalarının doğası ve <i>Q. cerris</i> 'de fotosentetik sınırlama
<i>Q. ilex</i>	Büyüme ortamında (4 yıllık fidanlar)	4 gün için günde 6 saat ozon (0, 65, 175, 300 ppb) uygulaması	300 ppb'den daha düşük işlemler fotosentez, klorofil flüoresansı, POD aktivitelerine etkisiz
<i>Arbutus unedo</i> ; <i>Viburnum tinus</i>	Fumigasyon odalarında (2 yıllık fidanlar)	80 gün boyunca sülfür dioksit (25-60 ppb) uygulaması	<i>Arbutus unedo</i> 'da fotosentetik faaliyeti azaltırken <i>Viburnum tinus</i> 'da etkisiz
<i>Hedera helix</i>	Fumigasyon odalarında	30 gün boyunca günde 5 saat 60 ve 200 ppb ozon uygulamaları	Yüksek doz ozonda gliyoksalat aktivitesinde azalma; her iki işlemde ise kısmen stoma kapanması ve asimilatif aktivitede azalma
<i>Eucalyptus sp.pl</i>	Üstü açık ortamda (1 yıllık fidanlar)	107 gün boyunca günde 4 saat sülfür dioksit (5, 50, 122, 175, 332 ppb) uygulaması	175 ppb ve üzeri konsantrasyonlarda okaliptusta büyüme azalması
	Üstü açık ortamda (1 yıllık fidanlar)	169 gün boyunca haftada 3 kez günde 2 saat azot oksit (>5, 25, 50, 91, 187 ppb) ve ayrıca farklı sıklıklarla 100 ppb azot oksit uygulamaları	Türlere göre farklı etki, düşük azot oksit konsantrasyonlarında büyüme artışı
	Üstü açık ortamda (7 aylık fidanlar)	18 hafta boyunca iki haftada 5 gün, günde 7 saat ozon (26-172 ppb) uygulaması	Türlere göre hassasiyet farklılığı (büyümede azalma ve yaprak yaranmaları)
<i>Eucalyptus globulus</i>	Saksılı bitkilerde işlemler	Yapay asit yağmuru (8 saatte bir pH 3.5; 4 ve 8 saatte bir pH 2.2) uygulaması	Bütün işlemlerde net fotosentezde azalma

Birincil (Primer) Kirleticiler

Kükürt oksitler (SO_x)

Yerel ölçekte görünür yaprak zararları (kloroz vb.), bitki büyümesinde bozulma ve ormanların azalmasına neden olurlar. Görünür bir zararı olmasa bile, SO₂ büyüme ve verimde bir azalmaya neden olabilir (Emberson, 2003). Kükürtoksitler, bitkilerde vejetatif gelişmeyi etkiler, bitki yapraklarına stomalardan girer ve hücre duvarını zedeler. Yüksek SO₂ konsantrasyonuna bağlı olarak, bitki hücreleri küçülür ve kloroplastlar parçalanarak yaprağın asıl renginde açılmalar olur (Elkoca, 2002). Geniş yapraklı bitkilerde damarlar arası yaprak dokusu üzerinde beyaz-saman sarısı lekelere neden olur (Müezzinoğlu, 2003). Kükürt oksitlerin neden olduğu bu olumsuz etkiler yüksek nispi nem şartlarında daha da şiddetlidir. SO₂'in bu zararlı etkisi özellikle yaprağı yenen bahçe bitkileri için çok önemlidir.

Kükürt oksitlerin bitkilerde protein sentezini olumsuz etkilediği de bilinmektedir. Nitekim, yapılan bir çalışmada baklagillerde yaprak ve tohumda toplam protein miktarını kontrole göre azalttığı tespit edilmiştir. Bitki gruplarında SO₂'in etkileri üzerine Hollanda'da yapılan bir çalışmada, SO₂ zararına bağlı olarak meyvelerde %1.0, açıkta sebze yetiştiriciliğinde %0.9, sera sebzeciliğinde %1.8, kesme çiçek yetiştiriciliğinde %0.9 ve saksı çiçekçiliğinde ise %2.5 oranında verim kaybının meydana geldiği belirlenmiştir (Elkoca, 2002).

SO₂ stomaların kapanmasını engellemekte ve bunun sonucunda, bitkilerin fazla miktarda su kaybederek fizyolojik kuraklıkla karşı karşıya kalmalarına neden olmaktadır (Özkan, 1988). SO₂ stomalardan asimilasyon organlarına girince mezofil dokusunda bulunan kloroplastları parçalamakta ve klorofilin yapısında bulunan demir ile reaksiyona girerek klorofili ayrıştırmaktadır (Çepel ve ark., 1980).

Azot oksitler (NO_x)

Azot oksitler, bitki gelişimi bakımından SO₂ ve ozon kadar tehlikelidir. Azot oksitler, kükürt dioksitle beraber asit yağmurlarına sebep olmak suretiyle de zarar yapmaktadırlar. Düşük azot oksit konsantrasyonlarının (0.05 ppm) etkisi altında uzun süre kalan bitkilerin büyümelerinde belirgin bir azalma olurken, bir kaç saat süreyle 2-10 ppm arasındaki konsantrasyona maruz kalmış bitkilerde şiddetli zararlar ortaya çıkmaktadır. Azot oksitler içerisinde azot dioksit, azot monoksit oranla bitki ve ağaçlara daha fazla zarar vermekte; kök gelişimi, solunum ve fotosentezde ciddi azalmalara neden olabilmektedir (Elkoca, 2002).

Azot oksitler bitki büyümesinde bozulma ve stres faktörlerine karşı hassasiyeti artırmaktadır (Emberson, 2003). Azot oksitlere maruz kalmış bitkilerde kurağa, böcek zararına ve bazı durumlarda dona karşı hassasiyet artmaktadır (CLAG, 1996). Uzun süreli azot oksite maruz kalma fotosentezi engelleyerek bitki büyümesini baskı altına alır. Azot oksitlerle diğer kirleticilerin kombinasyonu bitkiler üzerine sinerjik bir etkiye neden olmaktadır. Yani vejetasyonu daha büyük boyutta etkilemektedirler (Emberson, 2003). Honour ve ark. (2009) aşırı azot oksitin kent vejetasyonu üzerine olumsuz etkiye sahip olduğunu vurgulamışlardır.

NO₂ çoğunlukla yaprak ve fidanları etkilemekte ve bitki ve dokunun yaşının artmasıyla etkisi azalmaktadır. Koniğerler ilkbahar ve yaz aylarında kış aylarına kıyasla bu gaza karşı daha hassastırlar. En yaygın görünür etkiler angiosperm yapraklarındaki kloroz ve gymnosperm iğne yapraklarındaki uç yanmasıdır (Gheorghe ve Ion, 2011).

Karbon gazları

CO gazı epinasti, kloroz ve absisyona neden olur. Bununla birlikte, haftalık bu gazın 100 ppm'den daha az miktarına maruz kaldıklarında herhangi bir zarar görmezler (Gheorghe ve Ion, 2011).

Partiküller

Kirli havada yüksek miktarda bulunan partiküller kloroplastlara olan ışık transmisyonunun ve gaz değişim etkinliğinin azalmasına neden olabilir. Aynı zamanda, partikül kirliliği tomurcuk patlaması, tozlaşma ve ışık emilimi/yansıması gibi diğer fizyolojik proseslere engel olabilir. Partiküllerin bitkilerin patojen enfeksiyonuna karşı hassasiyeti arttırdığı ve genetik yapılarında uzun süreli değişimler neden olduğu da rapor edilmiştir (Emberson, 2003).

Partiküller, bitkide su dengesi ve özümleme faaliyetlerini bozmakta, gelişme bozukluklarına, verim ve kalitede azalmalara sebep olmaktadır. Diğer taraftan, kalabalık yerleşim alanları ve endüstri bölgelerinde, havaya yayılan tozlar içerisinde yer alan kurşun gibi çeşitli metaller bitkiler tarafından alınarak kök, gövde ve yapraklarda depolanmaktadır. Bunun sonucunda başta fotosentez olmak üzere pek çok fizyolojik olay olumsuz yönde etkilenmekte ayrıca, köklerde biriken metaller baklagillerde nodülasyonu engellemek suretiyle bağlanan azot miktarında önemli azalmalara neden olmaktadır (Singh ve ark., 1997).

İkincil (Sekonder) Kirleticiler

Ozon (O₃)

Ozona hassasiyet bakımından bitki türleri arasında geniş bir varyasyon görülmektedir. Yüksek ozon konsantrasyonları yaprağın deforme olmasına ve tipik olarak üst yüzeyde beyazımsı lekelerin oluşmasına neden olmaktadır (Müezzinoğlu, 2003). Bölgesel ölçekte, görünür yaprak zararları, büyümede azalma ve ormanların azalmasına neden olur (Emberson, 2003). Geniş yapraklı bitkilerde kloroz, beyazlaşma, bronzlaşma, lekelenme, beneklenme ile tek ve iki yüzlü nekroz gibi net belirtiler görülür. Koniferlerde uç nekrozu, lekelenme ve beneklenme en yaygın belirtilerdir (Kley ve ark., 1999).

Ozona (O₃) duyarlı türler, yüksek gaz değişim kapasitesi ve dolayısıyla yüksek ozon alımı ile ilişkilendirilen düşük yaprak yoğunluğu ile karakterizedir (Gravano ve ark., 2003). Diğer taraftan, buğday da ozona hassasiyet göstermekte; ozon, buğday bitkisinde özellikle bayrak yapraktaki hücrelerde yapısal bozukluklara sebep olmak, bayrak yaprak süresini kısaltmak ve bayrak yaprakta üretilen asimilatların başağa transferini kısıtlamak suretiyle tohum verimini olumsuz yönde etkilemektedir (Pleijel ve ark., 1998).

Yüksek miktarda ozon kirliliğinin *Pinus ponderosa* iğne yapraklarında kloroz ve erken yaşlanmaya neden olduğu belirlenmiştir (Miller ve McBride, 1999). Ozon ladin, göknar ve kayın ağaçlarının taç yaprak dökümünü etkilemektedir (Zierl, 2002). Ozolincius ve Serafinaviçute (2003), ozona maruz kalan dişbudak ağaçlarında yaprak dökümünün arttığını, sağlıklı ağaç oranının ise azaldığını ortaya koymuşlardır. Hindistan'ın Varanasi şehrinde yürütülen bir çalışmada, ozonun kırsal alanda daha etkili olduğu görülmüş ve hava kirliliğinin ürün verimini olumsuz yönde etkileyebileceği sonucuna varılmıştır (Agrawal ve ark., 2003).

Asit yağmurları

Asit yağmurları yaprakların stomalarından girerek yaprağın su dengesini sağlayan stoplazmanın asitleşmesine neden olurlar. Ağaçlar ve ıspanak gibi yaprağı yenilen sebzelerde SO₂, yaprak yüzeyini bir katman halinde kapatır ve fotosentez faaliyetini engeller. Bunun sonucunda su kaybeden yaprak kısa sürede ölür. Ayrıca zamanla zayıflayan ve yaprak kaybeden ağacın üst kısımları seyrekleşerek rüzgâr perdesi görevini yapmaz ve ağaç rüzgârdan devrilebilir. Böylece ağaçların yeşil sürgünleri gelişmeyip kurumakta, yaprakları dökülmekte, çiçek ve meyve vermemektedir (Kant ve Kızıloğlu, 2003).

Toprağa ulaşan asit yağmurları toprak asitliğine yol açmaktadır. Bu tip asit topraklarda, toprak minerallerindeki alüminyum ve manganez iyonları çözünerek köklerde toksik etki yapmaktadır (Esher ve ark., 1992).

Peroksi Asetil Nitrat (PAN)

En yaygın görünür belirtileri yapraklarda kloroz ve nekroz oluşumudur. Aynı zamanda bitkilerde fotosentez ve solunum ile karbonhidratların ve proteinlerin emilimini ve sentezini engellemektedir (Gheorghe ve Ion, 2011). Ozonda olduğu gibi PAN zararına uğramış bitkilerde de erken yaprak yaşlanması ve buna bağlı olarak yaprak dökümü meydana gelmektedir.

Diğer taraftan, fotooksidant olması nedeniyle yüksek ışık yoğunluğunda PAN zararı artış göstermekte ve bitkide solunumu teşvik etmek suretiyle net fotosentezde kayıplara neden olmaktadır. Marul ve soya fasulyesinde 0.01-0.05 ppm gibi düşük PAN konsantrasyonlarında dahi bazı belirtiler ortaya çıkarken, kabak, mısır ve buğday aynı konsantrasyonlardan zarar görmemektedir (Hatipoğlu ve ark., 1988).

Ağır metaller

Bazı ağır metaller düşük dozlarda bitkiler için önemli mikro-elementlerdir. Fakat yüksek dozlar bitki türlerinin çoğunun büyümesini engeller ve metabolik düzensizliğe sebep olabilir. Ağır metaller bitki dokularında aşırı biriktiği zaman mineral beslenme, transpirasyon, fotosentez, enzim aktivitesi, nükleik asit yapısı, klorofil sentezi ve çimlenme olumsuz yönde etkilenir. Bunlara ek olarak membranlarda hasar, hormon dengesinin bozulması ve su ilişkisinin değişmesi gibi durumlar da görülebilmektedir (Okcu ve ark., 2009).

Ağır metal etkisinde bitkilerin kök ve sürgün büyümesi azalır, kökler incilir, genç yapraklar kıvrılır ve kloroz görülür, hücre büyümesi ve uzaması engellenir, hücre organelleri parçalanır ve klorofil sentezi azalır. Artan çinko konsantrasyonları mitoz bölünmeyi engeller, ayrıca hücrelerin ligninleşmesini sağlayarak hem kök hem de gövde büyümesini engeller (Asri ve Sönmez, 2006).

Ağır metaller, hücre turgoru ve hücre duvarı stabilitesini olumsuz etkilemesi, stoma hareketlerini ve yaprak alanını azaltması nedeniyle bitki su rejimini etkilemektedir. Aynı zamanda kökler tarafından tutulması ve kök gelişimini azaltması nedeniyle bitkilerin katyon ve anyon alımını azaltmakta dolayısıyla besin alımını etkilemektedir (Asri ve Sönmez, 2006).

Civa, çinko, nikel, kobalt, kurşun ve kadmiyum gibi ağır metal iyonları elmada polen çimlenmesini ve polen tüpü uzamasını engellemektedir. Ağır metaller arasında en

fazla toksik etkiyi civa göstermektedir (Munzuroğlu ve Gür, 2000).

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bitkiler hareketsiz olduğu ve fizyolojik tepki bakımından hava kirliliğine karşı insanlar ve hayvanlardan daha hassas olduğu için, yerel koşulları daha iyi yansıtmaktadırlar. Bitki yaprakları hava kirliliğine uzun süreli düşük konsantrasyonlarda bile maruz kalsa görünür yaralanmalar olmaksızın bitki yapraklarında zararlı etkiler görülmektedir. Hava kirliliğinin bitkiler üzerindeki bu zararlı etkilerini azaltmak amacıyla aşağıda belirtilen önlemler alınabilir:

- Hava kirliliğine neden olan tesisler SO₂, NO_x ve diğer hava kirlenici gazları arıtmak amacıyla ileri arıtım teknolojilerine sahip olmalıdır.
- Alternatif enerji kaynaklarına öncelik verilmelidir.
- Toplu taşımanın daha yaygın kullanımı konusunda toplum bilinçlendirilmeli ve özendirilmelidir.
- Hava kirliliği ile ilgili yasal düzenlemeler revize edilmeli ve daha da önemlisi yaptırımlar caydırıcı olmalıdır.
- Bitki ıslah programları çerçevesinde hava kirlenicilere karşı daha toleranslı ırklar tespit edilmeli ve ıslah edilmelidir.

KAYNAKLAR

Agrawal, M., Singh, B., Rajput, M., Marshall, F., Bell, J.N.B. (2003). Effect of Air Pollution on Peri-Urban Agriculture: A Case Study. *Environmental Pollution*, 126: 323-329.

Amil, M. (2005). Ankara Hava Kalitesinin Alansal ve Zaman-sal Değişiminin İncelenmesi. Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Erzurum.

Ashmore, M.R., Marshall, F.M. (1999). Ozone Impacts on Agriculture: An Issue of Global Concern. *Advances in Botanical Research*, 29: 32– 49.

Asri, F., Sönmez, S. (2006). Ağır Metal Toksikitesinin Bitki Metabolizması Üzerine Etkileri. *Derim Dergisi*, 2(23): 36-45.

Bayram, H. (2005). Türkiye’de Hava Kirliliği Sorunu: Nedenleri, Alınan Önlemler ve Mevcut Durum. *Toraks Dergisi*, 6(2): 159-165.

Bayram, H., Dörtbudak, Z., Fişekçi, F.E., Kargın, M., Bülbül, B. (2006). Hava Kirliliğinin İnsan Sağlığına Etkileri, Dünyada, Ülkemizde ve Bölgemizde Hava Kirliliği Sorunu. *Dicle Tıp Dergisi*, 33(2): 105-112.

Bussotti, F., Ferretti, M. (1998). Air Pollution, Forest Condition and Forest Decline in Southern Europe: an Overview. *Environmental Pollution*, 101 (1): 49-65.

CLAG, (1996). Critical Levels of Air Pollutants for the United Kingdom. Critical Loads Advisory Group, Institute of Terrestrial Ecology, Penicuik.

Çepel, N., Dündar, M., Ertan, E. (1980). Samsun-Gelemen Orman Fidanlığında Görülen Duman Zararları Üzerine Araştırmalar. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 30: 6-42.

Çınar, Ö. (2008). Çevre Kirliliği ve Kontrolü. Nobel Yayıncılık, Ankara.

Demirel, E. (2010). Erzurum Kent Atmosferindeki Polislik Aromatik Hidrokarbonların (PAH) Örneklenmesi ve Analizi. Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Erzurum.

Dursun, A., Aslantaş, R., Pırlak, L. (1998). Hava Kirliliğinin Bahçe Bitkileri Yetiştiriciliği Üzerine Etkileri. *ÇEVKOR*, 7(27): 11-14.

Eğri, M. (1997). 1996-1997 Kış Döneminde Malatya İl Merkezi Hava Kirliliği Parametrelerine Meteorolojik Koşulların Etkisi. *Turgut Özal Tıp Merkezi Dergisi*, 4(3): 265-269.

Elkoca, E. (2002). Hava Kirliliği ve Bitkiler Üzerindeki Etkileri. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 34(4): 367-374.

Emberson, L.D. (2003). Air pollution impacts on crops and forests: an introduction. Ashmore, M.R., Emberson, L.D., Murray, F.M. (eds.) *Air Pollution impacts on crops and forests: A Global Assessment*, Imperial College Press. London, Bölüm 1, 3-29.

Esher, R.J., Marx, D.H., Ursic, S.J., Baker, R.L., Brown, L.R., Coleman, D.C. (1992). Simulated Acid Rain Effects on Fine Roots, Ectomycorrhizae, Micro-Organisms, and Invertebrates in Pine Forests of The Southern United States. *Water, Air and Soil Pollution*, 61: 269-278.

Ganatas, P., Tsakalimi, M., Zachariadis, G. (2011). Effect of Air Traffic Pollution on Seed Quality Characteristics of *Pinus brutia*. *Environmental and Experimental Botany*, 74: 157-161.

Gheorghie, I.F., Ion, B. (2011). The Effects of Air Pollutants on Vegetation and the Role of Vegetation in Reducing Atmospheric Pollution. The Impact of Air Pollution on Health, Economy, Environment and Agricultural Sources", kitabı, editör: Mohamed K. Khalla, Bölüm 12, DOI: 10.5772/17660.

Govindaraju, M., Ganeshkumar, R.S., Suganthi, P., Muthukumar, V.R., Visvanathan, P. (2010). Impact Assessment of Air Pollution Stress on Plant Species through Biochemical Estimations. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 48: 933-936.

Gravano, E., Giulietti, V., Desotgiu, R., Bussotti, F., Grossoni, P., Gerosa, G., Tani, C. (2003). Foliar Responses of an *Ailanthus Altissima* Clone in Two Sites with Different Levels of Ozone-Pollution. *Environmental Pollution*, 121: 137-146.

Hatipoğlu, R., Tükel, T., Koç, M. (1988). Çevre Kirlenmesinin Bitkiler Üzerindeki Etkileri. Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 2(3): 119-133.

Heck, W.W., Taylor, O.C., Tingey, D.T. (1988). Assessment of Crop Loss from Air Pollutants", Elsevier Applied Science, London.

Honour, S.L. Bell, J.N.B. Ashenden, T.A. Cape, J.N., Power, S.A. (2009). Responses of herbaceous plants to urban air pollution: Effects on growth, phenology and leaf surface characteristics. *Environmental Pollution*, 157(4): 1279-1286.

Kant, C., Kızıloğlu, T. (2003). Asit Yağmurlarının Canlılar Üzerine Etkileri. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 2(34): 217-221.

Kantarci, D. (1995). Hava Kirliliğinin Bitkiler Üzerine Doğrudan ve Dolaylı Etkileri. http://www.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/6ef5f7fa914c199_ek.pdf?dergi=169

- Karnosky, D., Witter, J., Gagnon, Z., Reed, D. (1992). Effects of Genotype on The Response of *Populus-Tremuloides* Michx to Ozone and Nitrogen Deposition. *Water Air and Soil Pollution*, 62(3-4): 189-199.
- Kley, D., Kleinmann, M., Sanderman, H., Krupa, S. (1999). Photochemical oxidants; state of the science. *Env. Pollut.* 100: 19-42.
- Longauer, R., Gömöry, D., Paule, L., Blada I., Popescu, F., Mankovska, B., Müller-Starck, G., Schubert, R., Percy, K., Szaro, R.C., Karnosky, D.F. (2004). Genetic Effects of Air Pollution on Forest Tree Species of The Carpathian Mountains. *Environmental Pollution*, 139: 85-92.
- Miller P.R., McBride, J. (1999). Oxidant Air Pollution Impacts in the Montane Forests of Southern California: The San Bernadino Mountain Case Study. Springer-Verlag, New York.
- Munzuroğlu, Ö., Gür, N. (2000). Ağır Metallerin Elma (*Malus sylvestris* Miller cv. Golden)'da Polen Çimlenmesi ve Polen Tüpü Gelişimi Üzerine Etkileri. *Türk Biyoloji Dergisi*, 24: 677-684.
- Müezzinoğlu, A. (2003). Hava Kirliliği ve Kontrolünün Esasları. Dokuz Eylül Yayınları, İzmir.
- Nuhoğlu, Y. (2005). The harmful effects of air pollutants around the Yenikoy thermal power plant on architecture of Calabrian pine (*Pinus brutia* Ten.) needles. *Journal of Environmental Biology* 26 (2): 315-322.
- Okcu, M., Tozlu, E., Kumlay, A.M., Pehlivan, M. (2009). Ağır Metallerin Bitkiler Üzerine Etkileri. *Alinteri Dergisi*, 17: 14-26.
- Ozolincius, R., Serafinaviciute, B. (2003). Ozone-Induced Visible Foliar Injuries in Lithuania. *Baltic Forestry*, 9(2): 51-57.
- Özkan, N. (1988). Asit Yağmurları ve Orman Tahribatı. *Orman Mühendisliği Dergisi*, 2(25): s.22-25.
- Pandey, J., Agrawal, M. (1994). Growth-responses of Tomato Plants to Low Concentrations of Sulfur Dioxide and Nitrogen Dioxide. *Scientia Horticulturae*, 58(1-2): 67-76.
- Pleijel, H., Danielsson, H., Gelang, J., Sild, E., Sellden, G. (1998). Growth Stage Dependence of The Grain Yield Response to Ozone in Spring Wheat (*Triticum aestivum* L.). *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 1(70): 61-68.
- Seyyednejad, S.M., Koochak, H. (2011). A Study on Air Pollution Effects on *Eucalyptus Camaldulensis*. International Conference on Environmental, Biomedical and Biotechnology, 16: 98-100.
- Singh, R.P., Tripathi, R.D., Sinha, S.K., Maheshwari, R., Srivastava, H.S. (1997). Response of Higher Plants to Lead Contaminated Environment. *Chemosphere*, 11(34): 2467-2493.
- Tolunay, D. (2003). Air pollution effects on annual ring widths of forest trees in mountainous land of İzmir (Turkey). *Water, Air, and Soil Pollution: Focus* 3: 227-242.
- Tolunay, D., Öztürk, S., Karakaş, A., Akkaş, M., Adıgüzel, U., Gürlevik, N., Taşdemir, C., Aytar, F. (2013). Türkiye'de Hava Kirliliğinin Ormanlar Üzerindeki Etkilerinin İzlenmesi ve Değerlendirilmesi Uluslararası İşbirliği Programı (Icp Forests)'ndan Elde Edilen Sonuçlar. Hava Kirliliği ve Kontrolü Sempozyumu, Bildiriler Kitabı, 6-21
- URL1 (2015). www.mevzuat.gov.tr
- Zierl, B. (2002). Relations Between Crown Condition And Ozone And Its Dependence on Environmental Factors. *Environmental Pollution*, 119: 55-68.
- Wahid, A., Maggs, R., Shamsi, S.R.A., Bell, J.N.B., Ashmore, M.R. (1995). Air Pollution and its impacts on Wheat Yields in the Pakistan Punjab. *Environmental Pollution*, 88: 147-154.