

Kentleşme ve Sanayileşmenin Bitki Gelişimi Üzerine Etkileri

Taner ŞAR^{1,2}

ÖZET

Kentleşme ve sanayileşmenin sonucu olarak hava kirletici özelliğe sahip farklı tür materyaller açığa çıkmaktadır. Bu materyaller kükürt dioksit ve ozon gibi gaz halindeki bileşikler, polisiklik aromatik hidrokarbonlar gibi kalıcı organik kirleticiler, ağır metaller ve partikül materyallerdir. Toksik, mutejenik ve karsinojenik etkilerinden dolayı hayvan ve insan sağlığı üzerinde olumsuz etki göstermektedir. Farklı tür kirleticiler fotosentez ve solunumu engelleyerek bitki gelişimini inhibe etmektedir. Ayrıca bitki ürün verimini de olumsuz yönde etkilemektedir.

Anahtar Kelimeler: Ağır metal, bitki gelişimi, kentleşme, polisiklik aromatik hidrokarbon, sanayileşme, sülfür dioksit.

Effects on Plant Development by Urbanization and Industrialization

ABSTRACT

Different types of air pollutant materials have occurred as a result of urbanization and industrialization. These materials are gaseous compounds such as sulfur dioxide and ozone, persistent organic pollutants such as polycyclic aromatic hydrocarbons, heavy metals and particle materials. Due to toxic, mutagenic and carcinogenic effects shows adverse effects on animal and human health. Different types of pollutants inhibit plant growth by inhibiting photosynthesis and respiration. Furthermore, plant product yields are also adversely affected.

Keywords: Heavy metal, industrialization, plant growth, polycyclic aromatic hydrocarbon, sulfur dioxide, urbanization.



¹ Gebze Teknik Üniversitesi, Temel Bilimler Fakültesi, Moleküler Biyoloji ve Genetik, Kocaeli, Türkiye

² İstanbul Üniversitesi, İklim Değişikliği ABD., Fatih, İstanbul

Sorumlu yazar/Corresponding Author: Taner ŞAR, st.taner@gmail.com

GİRİŞ

Hava kirliliğine etmen olan kirlenici materyaller bir dizi fiziksel aktiviteler (volkanlar, yangınlar, v.b.) sonucu oluşmasına rağmen hava kirliliğinin en büyük sebeplerinden biri kentleşme ve sanayileşmenin bir sonucu olan antropojenik aktivitelerdir. Çevre açısından zararlı olabilecek kimyasalların büyük bir kısmı endüstriyel uygulamalar ve benzeri aktiviteler ile sanayileşmenin sonucu olarak çevreye yayılır.

Hava Kirliliği bitki vejetasyonu, hayvanlar ve insanlar üzerine zararlı olabilecek herhangi bir maddenin oluşturabileceği olumsuz etki olarak tanımlanabilir. Hava kirliliğinin insan sağlığı üzerine etkisi incelendiğinde kardiyorespiratuar morbidite ve mortalitede artış gibi mevcut ve potansiyel olabilecek zararlı durumları kapsamaktadır. Hava kirliliği çocuklarda ise akut solunum yolu enfeksiyon riskinin artmasına neden olabilir (Wilson and Spengler, 1996). Bitkiler için hava kirliliği incelendiğinde ise bitki hastalıkları, bitki ölümleri, bitki genotipik ve fenotipik özelliklerinin değişimleri görülebilir.

Atmosferik bileşiklerin temel değişikliği, fosil yakıtların tüketimi, enerji üretimi ve ulaşım ile ilgilidir. Hava kirlenici özelliğe sahip materyallerin kimyasal yapılarında farklılık göstermesi, reaksiyon özellikleri, emisyonu, çevrede kalıcı olabilirliği, uzun veya kısa mesafede taşınabilir özelliği gibi çeşitli etkileri raporlanmıştır. Hava kirlenici materyallerin gösterdiği özellikleri ve etki mekanizmaları bakımından benzer olması nedeniyle, kirlenici özelliğe sahip materyaller dört kategori ile gruplandırılabilir.

1. Gaz halindeki kirleniciler
2. Kalıcı organik kirleniciler
3. Ağır metaller
4. Partikül materyaller.

Bu çalışma, kentleşme ve sanayileşmenin sonucu olarak ortaya çıkan farklı kirlenici materyallerin bitki gelişimi ve fizyolojisi üzerine etkisinin ve etki mekanizmalarının araştırılmasına yöneliktir. Farklı kirlenicilerin etkisinin azaltılması ve azaltılmasına yönelik alınabilecek çözüm önerilerinin ortaya konulması amaçlanmıştır.

1. Gaz Halindeki Kirleniciler

Hava kirliliği, endüstriyel alanlarda bulunan bitki vejetasyonu için büyük bir tehdit oluşturmaktadır. (Gupta and Mishra, 1994). Hızlı endüstriyelleşme ve çevreye zehirli materyal ile gazların eklenmesi mevcut ekosistemin değişmesine neden olmaktadır. Endüstriyel ve tarımsal aktiviteler, çevre ve atmosferde biyolojik açıdan aktif olan nitrojen bileşiklerinin ve sülfür dioksit bileşiklerinin seviyesi ile ilişkilidir.

Hava kirlenicileri olarak nitrojenin çeşitli (NO , NO_2 , NH_3 , NO_3 , NH_4) türevleri bulunabilir. Nitrik oksit (NO) ve Nitrojen dioksit (NO_2) atmosferik oksijen (O_2) ve azottan (N_2) oluşur ve fitotoksik özelliği gösterebilir.

Sülfür dioksit (SO_2) hava kirlenicileri içerisinde en yaygın bulunan ve en zararlı özelliğe sahip olan gazdır (Li and Yi, 2012). Sülfür dioksitin % 90'ı fosil yakıtların kullanılması neticesinde atmosfere karışmaktadır (Borat ve ark., 1992). Ayrıca maden işleme tesisleri, kimyasal madde fabrikaları ve rafineriler atmosfere karışan SO_2 miktarının artmasına neden olmaktadır (Janick, 1986).

Sülfür aminoasitlerin, proteinlerin, vitaminlerin ve klorofilin yapısal bir bileşenidir (De-Kok, 1990; Yang et al., 2006). Sülfür bitki gelişimi için gerekli olan makronutrient olmasından dolayı düşük SO_2 dozu bitkiler için zararsız veya yararlı olabilir (Maugh 1979, Kooij et al., 1997). Fakat yüksek SO_2 dozu yaprak klorozuna, bitki ölümüne ve bitki gelişiminin olumsuz etkilenmesine neden olmaktadır (Pfanzen et al., 1992; Kubo et al., 1995; Agrawal et al., 2003). Sülfür dioksit (SO_2) en önemli fitotoksik kaynağı olmasından dolayı yüksek doz ile kısa süre maruz bırakıldığında dahi yaprak nekrozu gibi akut yaralanmalara sebep olmaktadır.

SO_2 sitoplazmada çözünebilir sülfid (SO_3^{2-}) ve bisülfid (HSO_3^-) moleküler türleri ile aktiftir (Madamanchi et al., 1992). Bitkilerde sülfid türünün detoksifikasyon reaksiyonu sonucu sülfat oluşumunda süperoksit radikal, hidrojen peroksit ve hidroksil radikal gibi reaktif oksijen türlerinin (ROT, ROS) artışına neden olmaktadır (Kong et al., 1999). Reaktif oksijen radikallerinin artması nükleik asit, protein ve lipitlerin zarar görmesine neden olmakta ve oksidatif zararına cevaben biyomakromoleküllerin yıkılmasına neden olmaktadır (Mittler et al., 2004; Yi et al., 2005).

SO₂ stomaların kapanmasını engellemekte ve bunun sonucunda bitkilerin fazla miktarda su kaybederek fizyolojik kuraklık ile karşı karşıya kalmalarına neden olabilmektedir (Özkan, 1988). Stomaların kapanmasının engellenmesi ile SO₂ yaprak içerisine doğru ilerleyerek karbonhidratları değişikliğe uğratar. Karbonhidratların yıkılması sonucunda bitki gelişimi olumsuz yönde etkilenir ve solunumu teşvik etmek suretiyle net fotosentezde azalmaya yol açabilir. Yüksek SO₂ (35 ppb) konsantrasyonu fasulye bitkisinde (*Phaseolus vulgaris*) net fotosentezin önemli ölçüde sınırlandırıldığı bildirilmektedir (Lendzian and Unsworth, 1981).

Asit yağmurları ile açığa çıkabilen sülfür dioksit ve nitrojen oksit gibi gaz halindeki kirletici materyallerin bitki gelişimi üzerine gösterdiği en önemli etkisi fosil kökenli yakıtların kullanılması

neticesinde açığa çıkan inorganik gazlar ile etkileşmesi olarak ifade edilebilir. Sülfür dioksit ve nitrojen oksit ile inorganik gazların güneş ışığı ile okside olması neticesinde ozon ve peroksiasetil nitrat (PAN) gibi sekonder kirleticiler oluşabilir. Fotokimyasal olarak, ozon'un fitotoksik etki değeri, güneş ışığı, nitrojen oksitler (NO_x) ve uçucu organik bileşiklerin (VOCs) varlığı ile ilişkilidir. Nitrojen oksit ve uçucu organik bileşiklerin emisyon kontrolleri ile salınımın azaltılması, ikincil kirleticilerin konsantrasyonlarını da azaltmak için bir girişim sunmaktadır (Medeiros and Moskowitz, 1983; Eraslan, 1988). Yüksek ozon konsantrasyonu gaz halindeki bileşiklerin etkisine benzer olarak stomaların kapanmasını engellemekte ve buna bağlı olarak fotosentezi azalmakta hatta bazı bitki ürünlerin verimini de düşürmektedir (Çizelge 1) (Olszyk et al., 1988).

Çizelge 1. Ozon gazının etkisi ile bazı bitki ürün verimlerinin azalması (%).

Bitki Ürün Türü	Ozon Konsantrasyonu (ppm)		
	0.05	0.06	> 0.10
Üzüm	15.9	20.8	21.9
Şeker Pancarı	0	0	0
Limon	17.7	19.8	19.1
Portakal	14.8	18.7	18.6
Buğday	0.8	0.8	0.8
Fasulye ürünleri (kuru)	17.5	20.9	22.7
Pamuk	12.2	16.2	18.3

Mevcut ortam konsantrasyondaki uçucu organik bileşiklerin (VOC) bitki üzerine etkileri nispeten düşüktür. Fakat uçucu organik bileşiklerin yüksek konsantrasyonu bitki vejetasyonu üzerine kısa zamanlı etkisi dahi önemlidir. Bazı bitki grupları uçucu organik bileşiklere tolere edebilir. Fakat Bezelye (*P. vulgaris*) gibi bitki grupları uçucu organik bileşiklere karşı oldukça hassastır ve uçucu organik bileşiklerin etkisi ile tohum tane ağırlığında azalma görülebilir. Hava kaynaklı uçucu organik bileşiklerini tolere edebilen bitki grupları bu tarz materyalleri metabolize edebilir

veya yaprak kısımlarından köklerine taşıyabilir. Açığa çıkan metabolitler degrades olabilir veya bitkinin bazı kısımlarında (yaprak, vakuol veya hücre duvarı arasında) birikebilir. Oluşabilen metabolitler ise herbivor ve bitki ile beslenen böcekler için toksik olması mümkündür (Cape et al, 2003). Antropojenik hava kaynaklı uçucu organik bileşiklerin en büyük kaynakları, endüstriyel süreçler (çözücü ve üretim), petrol rafinerisi ve dağıtımı ile ulaşım (egzoz emisyonları ve yanmamış yakıt) ile ilgilidir.

2. Kalıcı organik kirleticiler

Kentleşmenin artması ile birlikte nüfusun artması ve buna bağlı olarak insan kaynaklı aktivitelerin bir sonucu olarak çevreye bırakılan organik ve inorganik bileşiklerin büyük bir kısmı çevre açısından ciddi problemlere sebep olabilmektedir.

Toksik, mutajen, ve karsinojen özellikte olabilen organik ve inorganik kirletici materyaller, insan sağlığını, tarımsal verimliliği ve çevreyi tehdit etmektedir. Kanserojen özelliğe sahip olabilen bu maddelerin gıda, hava ve sularda bulunabilecek en yüksek değerleri ulusal ve uluslararası gıda ve sağlık örgütleri tarafından belirlenerek kontrol edilmektedir. Petrol hidrokarbonlar (PHC), polisiklik (polinükleer) aromatik hidrokarbonlar (PAH), halojenli hidrokarbonlar, pestisitler, solventler ve metaller kalıcı organik kirleticilere örnek olarak verilebilir (Meagher, 2000; Greenberg et al., 2007; Rajkumar et al., 2010).

Çevrede bulunan organik kirleticilerin çoğu insan aktivitesi sonucu açığa çıkmakta ve organizmalar için ksenobiyotik özellik taşımaktadır. Tehlikeli organik kirleticiler, kaza yolu ile oluşabilen dökülmeler (petrol, çözücüler), askeri aktiviteler (patlayıcı, kimyasal silahlar), tarım ilaçlarının (pestisit, herbisit) kullanılması ve sanayi atıklarının (kimyasal, petrokimyasal) doğaya karışması ile çevreye karışabilmektedir. Organik kirleticilerin özelliklerine bağlı olarak bitki kök

kısımlarında parçalanabilir ya da bitki tarafından alınarak hücre içerisinde parçalanabilir, konjugasyonla ya vakuolde ya da hücre çeperi alanlarında tutulabilir veya buharlaştırılabilir (Pilon-Smits, 2005; Zhu et al., 2007). Kirletici maddelerin bitki köklerinde birikebilme hızı ve oranı, kirletici maddelerin fizikokimyasal özelliklerine, toprak yapısına, bitki türüne ve fizyolojisine göre değişebilmektedir (Chiou et al., 2001; Zhu and Gao, 2004; Collins et al., 2006; Gao and Ling, 2006). Organik kirletici maddelerin yıkılabilir olmasına rağmen, bitkilerin PAH gibi bazı kirleticiler ile uzun süre maruz kalması sonucunda kirletici maddelerin yıkılma oranı düşebilir ve bu materyaller doğada birikebilir (Srogi, 2007). Bu durum kirletici maddelerin giderilme oranını ve bitkilerin gelişmesini etkileyebilir (Gruber et al., 2008).

Polisiklikaromatik hidrokarbonlar endüstriyelleşme ve kentleşme sonucu ekosistemde giderek yaygın bir kirletici olma eğilimi göstermektedir (Srogi, 2007). Polisiklik aromatik hidrokarbonlar iki yada daha fazla aromatik halkadan oluşur ve organik bileşiklerin büyük bir sınıfını teşkil eder. Toksik, mutajenik ve karsinojenik özelliklerinden dolayı Amerika Bileşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı (US-EPA) tarafından öncelikli kirletici olarak 16 tane polisiklik aromatik hidrokarbon (Çizelge 2.) sınıflandırılmıştır (IARC; International Agency for Research on Cancer).

Çizelge 2. Kirletici özelliğe sahip önemli 16 polisiklik aromatik hidrokarbonlar.

Aromatik Hidrokarbonlar	
İki Halkalı	Naftalin (Np) Fluoren (Flr) Asenaften (Ane) Asenaftelen (Anp)
Üç Halkalı	Floranten (Flu) Fenantren (Phe) Antrasen (An)
Dört Halkalı	Krisen (Chr) Piren (Py) Benzo[a]antrasen (BaA) Benzo[b]floranten (BbF) Benzo[k]floranten (BkF)
Beş Halkalı	Benzo[a]piren (BaP) İndeno[1,2,3-cd]piren (IcdP) Dibenzo[a,h]antrasen (DahA)
Altı Halkalı	Benzo[g,h,i]perilen (BghiPy)

İki ya da üç benzen halkalı bileşikler biyolojik süreçler ile kolaylıkla degrades olabilirken, dört ve daha fazla halkaya sahip kompleks ksenobiyotiklerin yüksek derecede hidrofobik özellik göstermesi nedeniyle yıkılması güçleşir (Bence et al., 1996). PAH ile kirletilmiş bitkilerin günlük olarak tüketilmesi ile potansiyel olarak tehlikeli maddelerin insan ve hayvanlarda görülme oranı artabilir (Collins et al., 2006; Gao and Collins, 2009). Düşük PAH dozu bitki büyümesini teşvik etmesine rağmen yüksek PAH dozu bitki büyümesini inhibe edebilir ve hatta engelleyici etki de gösterebilir. PAH hücre membranından geçebilmesi nedeniyle su ve minerallerin kullanılmasını azaltabilir. Bu durum hücresel ve dokusal seviyede etkilediğinden dolayı bitki gelişimini olumsuz yönde etkiler ve oksidatif stresin oluşmasına neden olabilir (Ma et al., 2010). Morfolojik olarak ise kök ve sürgün büyümesinin azalması, düzensiz kök oluşumu, kloroz (sarıma) ve beyaz lekelerin görülmesi, geç çiçeklenme gibi değişik fizyolojik etkiler görülebilir (Alkio et al., 2005).

3. Ağır Metaller

Bitkilerdeki farklı metallerin toksik etkisi, bitkilerin genotipi ve çevresel koşullar ile değişkenlik gösterebilir. Hg (civa), Cu (bakır), Ni (nikel), Pb (kurşun), Co (kobalt), Cd (kadmium) ve olası Ag (gümüş), Be (berilyum), Sn (kalay) gibi metallerin çevrede çok fazla miktarda olması, yüksek yapılı bitkiler ile mikroorganizmalar için zehirli etki gösterebilir (Kabata-Pendias and Pendias, 1984).

Doğada civa, kurşun ve arsenik metallerinin bulunma oranları oldukça önemlidir. Özellikle şehirleşmenin hızla artan bölgelerinde, bu metallerin seviyeleri de hızla artmaktadır. Kurşun atmosferik kirletici gruplarından biri iken, civa toprakta, arsenik ise su ortamında bulunmaktadır (Mandal, 1996; Chakraborty et al., 1998; Chatterjee and Mukherjee, 1999).

Civa, kurşun ve arsenik gibi metaller, bitkilerin özellikle ürün kısımlarında birikebilir ve besin zinciri ile taşınabilir. Gıda olarak tüketilen bazı bitki grupları potansiyel zehirli metallerin yüksek konsantrasyonunu tolere edebilir, fakat dokularında metal birikimi nedeniyle bitki ile beslenen canlılar üzerinde sağlık riski oluşturabilir.

Zehirli metal iyonların hücreler tarafından alınması, eser miktarda olan mikroelementlerin taşınma süreci ile benzerlik gösterir. Sınıf A metaller (K, Ca, Mg) öncelikli olarak oksijence zengin ligandlara (karboksilik gruplar) bağlanır, Sınıf B metaller (Hg, Pb, Pt, Au) ise öncelikli olarak sülfür ve nitrojence zengin ligandlara (aminoasitler) bağlanır. Cd, Cu, Zn gibi iki sınıf arasındaki metaller ise ara tercihleri gösterirken, ağır metaller gibi bağlanma özelliği gösterme eğilimindedir (Nieboer and Richardson, 1980).

Civa normal değerli konsantrasyonlarında çok fazla fitotoksik değildir. Civa metalinin bitki metabolizması ve birikimi hakkındaki bilgiler ise yetersizdir. Toprakta bulunan organik ve inorganik civanın bitki kök kısımları ile adsorbsiyon kapasitesi düşüktür (Rauter, 1976; Lodenius, 1990). Bitki kök kısımları civa taşınımında muhtemel bir bariyer görevi üstlenmektedir. Fakat civa içeren pestisit/fungisit kalıntıları, bazı durumlarda bitki kök kısımlarında yerleşebilir ve pirinç gibi bitkilerde civa birikimini arttırabilir. Toprak ortamındaki civa tuzları, metalik veya metillenmiş bileşikler ile biyolojik ve kimyasal reaksiyonlar sonucu azalabilir. Kapalı ortamlarda yetişen bitkilerde ise oluşan reaksiyon ürünleri yaprak kısımlarından uçucu hale geçebilir. Bitkilerin metal birikimini etkileyen faktörler, mevcut ortamdaki civa seviyesi, civa metaline maruz kalma süresi, toprak veya sediment organik içeriği, karbon değişim kapasitesi, oksit ve karbonat içeriği ve redoks potansiyelidir (Crowder, 1991; Cho and Park, 1999). Aynı ağaç türlerinde farklı civa yoğunluğu gözlemlenebilir. Bu durum bitki yaş ve doku tip farklılığı ile bitkide meydana gelen varyasyonlar ile ilgili olabilir (Rasmussen et al., 1991). Hava ile taşınan civanın, bitki ürünlerindeki civa içeriği ile önemli bir ilişki olduğu görülmektedir (Mosbaek et al., 1988). Yüksek civa içeriği, çok fazla endüstriyelleşme gösteren alanlarda bitkilerin meyve kısımlarında kaydedilmiştir (Wojciechowska-Mazurek et al., 1995).

Bitkilerde metal birikimi ve civa dağılımı, iyonik (Hg^{2+}) veya element halindeki civa (Hg^0) ile maruz kalması farklılık gösterebilir. Bitkilerin havada bulunan Hg^0 'a maruz kaldığı durumlarda, civanın kök kısımlarından taşınım olmadan gövde kısımlarında biriktiği görülebilir. Bitki kök kısımlarının civa ile maruz kaldığında ise gövdeye doğru bir taşınım ile gövde ve kök kısımlarında civa birikimi olduğu gözlemlenebilir.

Benzer olarak yapılan bir çalışmada, yüksek civa konsantrasyonu ile maruz bırakılan bitkilerde bitki doku hasarının çok düşük olduğu ancak kök ve gövde büyümesinin inhibe olduğu bildirilmiştir (Gupta and Ghosh, 1992; Suszcynsky and Shann, 1995).

Kadmiyum ağır metal grubu olarak bilinmekte ve biyota için ek besin kaynağı olarak gerekli olmadığı bilinmektedir. Kadmiyumun yüksek konsantrasyonu bitkiler için toksik etkilidir (Prasad, 1995). Kadmiyumun bitkiler üzerinde (tahıllar, patates, meyveler ve sebzelerin kök ve yaprak kısımlarında) birikmesi sonucunda gıda kaynağı olarak tüketilmesinden dolayı insan sağlığı için de önemlidir (Wagner, 1993). Kadmiyum fotofosforilasyon inhibitörü olarak rol oynar ve bundan dolayı fotosentezi etkileyen önemli bir inhibitördür (Krupa et al., 1993; Tukendorf, 1993; Landberg and Greger, 1994; Krupa, 1988). Baklagiller (yonca, soya fasulyesi) üzerine yapılan bir çalışmada ise kadmiyumun solunum ile net fotosentezi inhibe ettiği bildirilmiştir (Huang et al., 1974). Yüksek yapılı bitkiler ile yapılan başka bir çalışmada ise benzer şekilde yaprak kısımlarında biriken kadmiyumun net fotosentezi inhibe ettiği bildirilmiştir (Becerril et al., 1989). Kadmiyum metalinin *Juncus subsecundus* bitkisi üzerine etkisinin araştırıldığı bir çalışmada, sürgün sayısının azalması ve sürgün boylarının kısa olması gibi fizyolojik olarak etkilendiği bildirilmiştir (Zhang et al., 2011).

Kloroplastlar çeşitli ağır metaller ile maruz bırakıldığında inhibe olabilir. Kadmiyum öncelikli olarak fotosentetik pigmentleri etkilemektedir ve bu durum yüksek yapılı bitkilerde toplam klorofil içeriğini ve klorofil a/b oranını düşürmektedir. Yüksek yapılı bitkilerin ağır metal ile maruz kalması sonucunda klorofil/karotenoid oranının düşük olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum sonucunda karotenoidlerin kloroplastlara nazaran ağır metallere daha az etkilendiği söylenebilir (Krupa, 1988).

4. Partikül Materyaller

Endüstri bölgelerindeki fabrika bacalarından ve yerleşim alanlarındaki konutlardan çıkan duman içerisinde yüksek miktarda partikül bulunmaktadır (Menser and Hodges, 1972). Bu partikül materyaller uzun süre atmosferde kalmakta ve yerleşim alanlarındaki konsantrasyonları 50- 500 ppm arasında

değişebilmektedir (Hatipoğlu vd., 1988). Trafik yoğun olduğu alanlarda ve yol kenarlarında ise belirtilen miktar daha da artabilmektedir.

Partikül materyaller (PM), bitkilerde asimilasyon organı olan yaprakların üzerine çökerek gaz alışverişini, yani solunum ve transpirasyonu engellemektedir (Katırcıoğlu ve İren, 1986). Partiküller bu olumsuz etkileri neticesinde, bitkide su dengesi ve özümleme faaliyetlerini bozabilir, gelişme bozuklukları görülebilir, verim ve kalitede azalmalara sebep olabilir (Singh and Rao, 1980; Katırcıoğlu ve İren, 1986; Hirano et al., 1995). Diğer taraftan, kalabalık yerleşim alanları ile endüstriyel bölgelerde havaya yayılan tozlar içerisinde yer alan kurşun gibi çeşitli metaller bitkiler tarafından tutularak kök, gövde ve yaprak gibi çeşitli kısımlarında depolayabilir. Bunun sonucunda başta fotosentez olmak üzere pek çok fizyolojik olay olumsuz yönde etkilenebilir. Ayrıca kök kısımlarında partikül materyallerin birikmesi sonucu baklagillerde nodülasyonu engellemek suretiyle fikse edilen azot miktarında önemli azalmalara neden olabilir (Singh et al., 1997).

SONUÇ

Kentleşme, sanayi devrimi ile birlikte nüfusun kentsel alanlarda birikmesi nedeniyle önemli bir konu haline gelmiştir. Sanayileşmenin ve kentleşmenin hızla artması ile birim alana düşen kirletici miktarı da artmaktadır. Kentleşmenin ve sanayileşmenin yaygınlaşması ile çevre (hava, su ve toprak) kirliliği önemli bir sorun haline gelmektedir. Özellikle ısınma amaçlı ve ulaşım sektöründe kullanılan fosil kökenli yakıtların kullanılması hava kirliliğini önemli ölçüde etki etmektedir. Fosil kökenli yakıtların yanı sıra endüstriyel uygulamalar ile tarımsal aktivitelerde kullanılan pestisit, fungusit ve benzeri zirai ilaç kalıntıları insan aktivitesi sonucu ortaya çıkan kirleticilerdir. Kentleşme ve sanayileşmenin sonucu olarak hava kirliliğinin önemli etkisi her geçen gün daha çok dikkat çekmektedir. Hava kirletici özelliğe sahip maddelerin toksik, mutajen, karsinojen özelliklerinden dolayı insan ve hayvanlar üzerine olumsuz etkisi olabilir.

Kentleşmenin ve sanayileşmenin yoğun olduğu bölgelerde bitki gelişimi ise pek çok yönden olumsuz olarak etkilenmektedir. Kentleşme ve sanayileşmenin

sonucu olarak ortaya çıkan kirletici materyaller bitki ürün ve meyve kısımlarına birikebilir ve verim miktarını azaltabilir. Benzer durum bitkilerin kök ve gövde kısımlarında kirletici özelliğe sahip materyallerin birikimi gözlemlenebilir. Gıda kaynağı olarak bitki tüketimi ile besin zinciri olarak insan ve hayvanlar üzerine zararlı etkisi görülebilir. Ayrıca zararlı gazların karbonhidratların yıkımına neden olması nedeniyle bitki gelişimi olumsuz olarak etkilenebilir. Gaz halindeki kirleticilerin stomaların kapanmasını engelleyebilir ve bu durum ile fotosentezin azalması nedeniyle bitki gelişimi yavaşlayabilir. Bitki gelişimlerinin yanı sıra fizyolojik olarak yaprak nekrozu ve kloroz gibi akut yaralanmalar ile birlikte bitki ürün verimi azalması veya bitki ölümleri görülebilmektedir.

KAYNAKLAR

- Agrawal M, Singh B, Rajput M, Marshall F, Bell JNB, 2003. Effect of air pollution on peri-urban agriculture: a case study. *Environmental Pollution*, 126 (3): 323-329.
- Alkio M, Tabuchi TM, Wang X, Colón-Carmona A, 2005. Stress responses to polycyclic aromatic hydrocarbons in *Arabidopsis* include growth inhibition and hypersensitive response like symptoms. *Journal of Experimental Botany*, 56 (421): 2983-2994.
- Becerril JM, Gonzalez-Murua C, Munoz-Rueda A, De Felipe MR, 1989. Changes induced by cadmium and lead in gas exchange and water relations of clover and lucerne. *Plant physiology and biochemistry*, 27 (6): 913-918.
- Bence AE, Kvenvolden KA, Kennicutt MC, 1996. Organic geochemistry applied to environmental assessments of Prince William Sound, Alaska, after the Exxon Valdez oil spill—a review. *Organic geochemistry*, 24 (1): 7-42.
- Borat O, Balcı M, Sürmen A, 1992. Hava Kirlenmesi ve Kontrol Tekniği. Teknik Eğitim Vakfı Yayını, Ankara.
- Cape JN, Leith ID, Binnie J, Content J, Donkin M, Skewes M, Price DN, Brown AR, Sharpe AD, (2003). Effects of VOCs on herbaceous plants in an open-top chamber experiment. *Environmental pollution*, 124 (2): 341-353.
- Chakraborti D, Samanta G, Mandal BK, Roy Chowdhury T, Chanda CR, Biswas BK, Saha KC, 1998. Calcutta's industrial pollution: groundwater arsenic contamination in a residential area and sufferings of people due to industrial effluent discharge: an eight-year study report. *Current Science*, 74(4): 346-355.
- Chatterjee A, Mukherjee A, 1999. Hydrogeological investigation of ground water arsenic contamination in South Calcutta. *Science of the Total Environment*, 225: 249-262.
- Chiou CT, Sheng GY, Manes M, 2001. A partition-limited model for the plant uptake of organic contaminants from soil and water. *Environmental Science and Technology*, 35: 1437-1444.
- Cho UH, Park JO, 1999. Changes in hydrogen peroxide content and activities of antioxidant enzymes in tomato seedlings exposed to mercury. *Journal of Plant Biology*, 42 (1): 41-48.
- Collins CD, Fryer M, Grosso A, 2006. Plant uptake of nonionic organic chemicals. *Environmental Science and Technology*, 40: 45-52.
- Crowder A, 1991. Acidification, metals and macrophytes. *Environmental Pollution*, 71: 171-203.
- De Kok LJ, 1990. Sulfur metabolism in plants exposed to atmospheric sulfur. *Higher plants*, 3: 111-130.
- Eraslan İ, 1988. Hava Kirliliğinin Kent ve Orman Ağaçlarına Etkisi ve Çevre Mevzuatımız. Çevre. Dördüncü Bilimsel ve Teknik Çevre Kongresi, 5-9 Haziran, İzmir.
- Gao YZ, Collins CD, 2009. Uptake pathways of polycyclic aromatic hydrocarbons in white clover. *Environmental Science and Technology*, 43: 6190-6195.
- Gao YZ, Ling WT, 2006. Comparison for plant uptake of phenanthrene and pyrene from soil and water. *Biology and Fertility of Soils*, 42: 387-394.
- Greenberg BM, Huang XD, Gerhardt K, Glick BR, Gurska J, Wang W, Lampi M, Khalid A, Isherwood D, Chang P, Wang H, Wu SS, Yu XM, Dixon DG, Gerwing P, 2007. Field and laboratory tests of a multi-process phytoremediation system for decontamination of petroleum and salt impacted soils. In: *Proceedings of the Ninth International In Situ and On-Site Remediation Symposium*. Gavaskar AR and Silver CF, eds., Batelle Press, Columbus, OH.
- Gruber H, Wiessner A, Kuschk P, Kaestner M, Appenroth KJ, 2008. Physiological responses of *Juncus effusus* (rush) to chromium and relevance for wastewater treatment in constructed wetlands. *International journal of phytoremediation*, 10 (2): 79-90.
- Gupta AK, Mishra RM, 1994. Effect of lime kiln's air pollution on some plant species. *Pollution Research*, 13 (1): 1-9.

- Gupta RS, Ghosh P, 1992. Cytological effects of some heavy metals on root tip meristem of *Lathyrus sativus*. *Journal of Environment and Ecology*, 10: 216–219.
- Hatipoğlu R, Tükel T, Koç M, 1988. Çevre kirlenmesinin bitkiler üzerindeki etkileri. Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 3 (2): 119-133.
- Hirano T, Kiyota M, Aiga I, 1995. Physical effects of dust on leaf physiology of cucumber and kidney bean plants. *Environmental Pollution*, 89 (3): 255-261.
- Huang CY, Bazzaz FA, Vanderhoef LN, 1974. The inhibition of soybean metabolism by cadmium and lead. *Plant physiology*, 54 (1): 122-124.
- IARC (Ed.), IARC Monographs on the Evaluation of the Carcinogenic Risk of Chemicals to Humans: Polynuclear Aromatic Compounds Part I, IARC Press, Lyon (1983). Janick J, 1986. Horticultural Science (Fourth Edition). W. H. Freeman and Company, New York.
- Kabata-Pendias A, Pendias H, 1984. Trace Elements in the Soils and Plants. CRC Press, Boca Raton.
- Katırcıoğlu YZ, İren S, 1986. Çimento Fırın Tozlarının Elma ve Fasulye Yapraklarının Anatomisine ve Elma Sürgünlerinin Morfolojisine Etkileri. Ulusal Çevre Sempozyumu Tebliğ Metinleri, 12-15 Kasım 1984, TÜBİTAK DERÇAG, Adana, s. 28-39.
- Krupa Z, 1988. Cadmium-induced changes in the composition and structure of the light-harvesting chlorophyll a/b protein complex II in radish cotyledons. *Physiologia Plantarum*, 73 (4): 518-524.
- Krupa Z, Öquist G, Huner N, 1993. The effects of cadmium on photosynthesis of *Phaseolus vulgaris*—a fluorescence analysis. *Physiologia Plantarum*, 88 (4): 626-630.
- Kong FX, Hu W, Chao SY, Sang WL, Wang LS, 1999. Physiological responses of the lichen *Xanthoparmelia mexicana* to oxidative stress of SO₂. *Environmental and Experimental Botany*, 42 (3): 201-209.
- Kooij T, De Kok LJ, Haneklaus S, Schnug E, 1997. Uptake and metabolism of sulphur dioxide by *Arabidopsis thaliana*. *New Phytologist*, 135 (1): 101-107.
- Kubo A, Saji H, Tanaka K, Kondo N, 1995. Expression of *Arabidopsis* cytosolic ascorbate peroxidase gene in response to ozone or sulfur dioxide. *Plant molecular biology*, 29 (3): 479-489.
- Landberg T, Greger M, 1994. Influence of selenium on uptake and toxicity of copper and cadmium in pea (*Pisum sativum*) and wheat (*Triticum aestivum*). *Physiologia Plantarum*, 90 (4): 637-644.
- Lendzian KJ, Unsworth KH, 1981. Ecophysiological Effects of Atmospheric Pollutants. P. 465-502. In OL Longe, PS Nobel, CB Osmond and H Ziegler (eds.) *Physiological Plant Ecology*, IV. Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York.
- Li L, Yi H, 2012. Effect of sulfur dioxide on ROS production, gene expression and antioxidant enzyme activity in *Arabidopsis* plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, 58: 46-53.
- Lodenus M, 1990. Environmental mobilisation of mercury and cadmium. Publication of the Department of Environmental Conservation, University of Helsinki, No. 13.
- Ma B, He Y, Chen HH, Xu JM, Rengel Z, 2010. Dissipation of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in the rhizosphere: synthesis through metaanalysis. *Environmental Pollution*, 158 (3): 855-861.
- Madamanchi NR, Alscher RG, 1991. Metabolic bases for differences in sensitivity of two pea cultivars to sulfur dioxide. *Plant Physiology*, 97 (1): 88-93.
- Mandal BK, 1996. Arsenic in groundwater in seven districts of West Bengal, India—the biggest arsenic calamity in the world. *Current Science*, 70: 976-986.
- Maugh 2nd TH, 1979. SO₂ pollution may be good for plants. *Science*, 205 (4404): 383.
- Meagher RB, 2000. Phytoremediation of toxic elemental and organic pollutants. *Current Opinion in Plant Biology*, 3: 153–162.
- Medeiros WH, Moskowitz PD, 1983. Quantifying effects of oxidant air pollutants on agricultural crops. *Environment International*, 9 (6): 505- 513.
- Menser HA, Hodges GH, 1972. Oxidant injury to shade tobacco cultivars developed in connecticut for weather flack resistance. *Agronomy journal*, 64: 189-192.
- Mittler R, Vanderauwera S, Gollery M, Van Breusegem F, 2004. Reactive oxygen gene network of plants. *Trends in plant science*, 9 (10): 490-498.
- Mosbaek H, Tjell JC, Sevel T, 1988. Plant uptake of airborne mercury in background areas. *Chemosphere*, 17: 1227–1236.
- Nieboer E, Richardson DHS, 1980. The replacement of the nondescript term heavy metals by a biologically and chemically significant classification of metal ions. *Environmental Pollution*, 1: 3–26.
- Olszyk DM, 1988. Documentation of Ozone as the Primary Phytotoxic Agent in Photochemical Oxidant Smog,” Final Report for Contract No. A6-125-32 to the California Air Resources Board.
- Özkan N, 1988. Asit yağmurları ve orman tahribatı. *Orman Mühendisliği Dergisi*, 2 (25): 22-25.
- Pfanz H, Würth G, Oppmann B, Schultz G, 1992. Sulfite oxidation in, and sulfate uptake from the cell wall of leaves. In muro studies. *Phyton (A)*, 32: 95-98.
- Pilon-Smits E, 2005. Phytoremediation, *Annual Review of Plant Biology*, 56: 15-39.
- Prasad MNV, 1995. Cadmium toxicity and tolerance in vascular plants. *Environmental and Experimental Botany*, 35 (4): 525-545.
- Rajkumar M, Ae N, Freitas H, 2009. Endophytic bacteria and their potential to enhance heavy metal phytoextraction. *Chemosphere*, 77: 153–160.
- Rasmussen PE, Mierle G, Nriagu JO, 1991. The analysis of vegetation for total mercury. *Water Air Soil Pollution*. 56, 379– 390.
- Rauter W, 1976. Aufnahme von Quecksilber aus der Umgebungsluft durch Pflanzen und seine Speicherung im pflanzlichen Gewebe. *Z. Lebensm. Unters. Forsch.* 162: 1–6.
- Singh RP, Tripathi RD, Sinha SK, Maheshwari R, Srivastava HS, 1997. Response of higher plants to lead contaminated environment. *Chemosphere*, 34 (11): 2467-2493.

- Singh SN, Rao DN, 1980. Growth of wheat plants exposed to cement dust pollution. *Water, Air and Soil Pollution*, 14: 241-249.
- Srogi K, 2007. Monitoring of environmental exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons: a review. *Environmental Chemistry Letters*, 5 (4), 169-195.
- Suszcynsky EM, Shann JR, 1995. Phytotoxicity and accumulation of mercury in tobacco subjected to different exposure routes. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 14: 61-67.
- Tukendorf A, 1993. The response of spinach plants to excess of copper and cadmium. *Photosynthetica*. 28: 573-575.
- Wagner GJ, 1993. Accumulation of cadmium in crop plants and its consequences to human health. *Advances in Agronomy*, 51: 173-212.
- Wilson R, Spengler J, 1996. *Particles in Our Air, Concentrations and Health Effects*. USA: Harvard University Press, 123-167.
- Wojciechowska-Mazurek M, Zawadzka T, Karlowski K, Cwiek-Ludwicka K, Brulinska-Ostrowska E, 1995. Content of lead, cadmium, mercury, zinc and copper in fruit from various regions of Poland. *Rocz Panstw Zakl Hig*, 46, 223-238.
- Yang L, Stulen I, De Kok LJ, 2006. Sulfur dioxide: relevance of toxic and nutritional effects for Chinese cabbage. *Environmental and experimental botany*, 57 (3): 236-245.
- Yi H, Liu J, Zheng K, 2005. Effect of sulfur dioxide hydrates on cell cycle, sister chromatid exchange, and micronuclei in barley. *Ecotoxicology and environmental safety*, 62 (3): 421-426.
- Zhang Z, Rengel Z, Meney K, Pantelic L, Tomanovic R, 2011. Polynuclear aromatic hydrocarbons (PAHs) mediate cadmium toxicity to an emergent wetland species. *Journal of hazardous materials*, 189 (1): 119-126.
- Zhu Y, Zhang S, Zhu YG, Christie P, Shan X, 2007. Improved approaches for modeling the sorption of phenanthrene by a range of plant species. *Environmental science and technology*, 41 (22): 7818-7823.
- Zhu LZ, Gao YZ, 2004. Prediction of phenanthrene uptake by plants with a partition-limited model. *Environmental Pollution*, (131): 505-508.