

## Hava Kirliliği ve Bitkiler Üzerindeki Etkileri

Erdal ELKOCA

Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü, ERZURUM (eelkoca@atauni.edu.tr)

Geliş Tarihi : 11.11.2002

**ÖZET :** Günümüzde sanayileşmenin ve kentleşmenin bir sonucu olarak, enerjiye olan ihtiyaç her geçen gün artmaktadır. Bu enerji ihtiyacının büyük bir kısmı fosil yakıtlar ve bunların sentetik türevlerinin yakılması ile elde edilmektedir. Ancak, yanma neticesinde atmosfere verilen gaz ve partikül halindeki kirleticiler, atmosferin doğal bileşim ve fonksiyonlarını bozmak suretiyle başta insan olmak üzere tüm canlı organizmaları olumsuz yönde etkilemektedir. Bu literatür çalışmasında hava kirliliği, bitkiler üzerinde etkili olan hava kirleticiler ve bunların etki mekanizmaları üzerinde durulmuş ve hava kirliliğinin bitkiler üzerindeki etkisini azaltmak amacıyla kirliliği azaltıcı tedbirler ortaya konulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Hava kirliliği, bitkiler üzerindeki etkileri

### Air Pollution and Its Effects on Plants

**ABSTRACT :** Today need for energy is ever increasing due to rapid industrialisation and urbanisation. Most of energy currently comes from fossil fuels and its synthetic derivatives. However, gas and particular emissions as a result of burning negatively affect life of humans and other organisms by disrupting natural balance and functions in the atmosphere. This review study highlighted air pollution and its effect on plants and drew conclusion, on the possible measures to be taken in order to mitigate the noxious effect of the pollution.

**Key words:** Air pollution, effects on plants

### GİRİŞ

Dünya nüfus artışına paralel olarak, şehirleşme ve sanayileşme giderek artmaktadır. Özellikle endüstri kuruluşlarının yoğun olduğu ülke veya yörelerde hava, su ve toprak gibi unsurlar sanayi atıkları neticesinde her gün biraz daha kirletilmektedir. Sanayiden kaynaklanan bu atık maddeler hava, kara ve suların fiziksel, kimyasal ve biyolojik karakterlerini değiştirmekte ve bu değişim canlı hayatına farklı yönlerden zararlı etki yapmaktadır. Günümüzde kirlenme, yalnız ülke sınırları içerisinde kalmayıp, komşu ve hatta daha uzak ülkelere de yayılarak küresel boyut kazanmaktadır. Kirliliğin ciddi boyutlara ulaşması neticesinde, insanoğlu kendi sonunu hazırlamak üzere olduğunu anlamış ve bu konuda tedbirler almaya başlamıştır. Nitekim, günümüzde bütün ülkeler çevre kirliliğine karşı çözümler aramaya ve uzun süreli planlar yapmaya yönelmişlerdir. Diğer taraftan, çevre kirliliğinin canlı organizmalar üzerindeki etkileri çok yönlü olarak araştırılmaktadır.

Bu literatür çalışmasında hava kirliliği, bitkiler üzerinde etkili olan hava kirleticiler ve bunların etki mekanizmaları üzerinde durulmuş ve hava kirliliğinin bitkiler üzerindeki etkisini azaltmak amacıyla, kirliliği azaltıcı tedbirler ortaya konulmuştur.

### HAVA KİRLİLİĞİNİN KAYNAKLARI VE BAŞLICA KİRLETİCİLER

Deniz seviyesinde bulunan kuru havanın bileşimi temiz hava olarak kabul edilmektedir (Tablo 1).

İnsan etkileri, özellikle evsel ve endüstriyel yanma olayları sonucu havanın doğal bileşiminin, yapısının ve fonksiyonlarının bozulması neticesinde hava kirliliği

oluşmaktadır (Yıldırım vd., 1991). Hava kirliliğini oluşturan başlıca kaynaklar endüstriyel kuruluşlar, kentlerdeki konutlar ve taşıt araçları olmak üzere üç grup altında toplanmaktadır. Bilindiği gibi enerji, çağımızın ve modern toplumların temel kaynaklarından biridir. Toplumların ekonomik büyüme hızı ve kalkınmışlık seviyesi ile enerji tüketimi arasında doğru orantılı bir ilişki vardır. Dünyada üretilen enerjinin %30'u hidroelektrik ve nükleer santrallerden, geriye kalan %70'i de kömür, petrol, doğalgaz gibi fosil yakıtlar ve bunların sentetik türevlerinin yakılması ile elde edilmektedir (Nuhoglu, 1993). Fosil yakıtlar temel bileşen olarak C, H ve O ile az miktarda kükürt ve azottan oluşmuştur (Yıldırım vd., 1991). Bu yakıtların yanması ile C, H ve O'nin havayla reaksiyonu sonucu su, CO<sub>2</sub>, ısı ve ışık oluşmaktadır. Bunun yanında kükürt bileşenlerin yanması sonucunda oluşan kükürt dioksit (SO<sub>2</sub>), yüksek basınç ve ısı reaksiyonlarında oluşan azot oksitler (NO<sub>x</sub>), yanma reaksiyonlarının tam olarak oluşmaması sonucunda meydana gelen karbon monoksit (CO), yanmamış hidrokarbonlar ve partiküller havanın doğal yapısı ve fonksiyonlarının bozulmasına neden olmaktadır. Diğer bir kirletici kaynak olan motorlu taşıtlardan çevremize yayılan kirleticiler ise CO, hidrokarbonlar ve azot oksitler gibi gazlardır. Bunlardan hidrokarbonlar ve azot oksitler güneş ışığı altında hızla okside olarak, sekonder kirleticiler olarak bilinen ozon ve peroksiasetil nitrat (PAN) biçimine dönüşmektedir (Medeiros ve Moskowitz, 1983; Eraslan, 1988).

Tablo 1. Deniz seviyesindeki Kuru Havanın Bileşimi (Nuhoğlu, 1996)

Bileşen	Oran	Bileşen	Oran
Azot (N <sub>2</sub> )	% 78.081	Kripton (Kr)	1.1 ppm
Oksijen (O <sub>2</sub> )	% 20.946	Hidrojen (H <sub>2</sub> )	0.5 ppm
Argon (A <sub>2</sub> )	% 0.934	Diazot monoksit (N <sub>2</sub> O)	0.3 ppm
Su buharı (H <sub>2</sub> O)	% 0.7	Karbon monoksit (CO)	0.1 ppm
Karbon dioksit (CO <sub>2</sub> )	320 ppm	Ozon (O <sub>3</sub> )	0.02 ppm
Neon (Ne)	18.2 ppm	Amonyak (NH <sub>3</sub> )	0.01 ppm
Helyum (He)	5.2 ppm	Azot dioksit (NO <sub>2</sub> )	0.0002 ppm

### HAVA KİRLİTİCİLERİN VE ASİT YAĞMURLARININ BİTKİLER ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Hava kirleticilerin bitkiler üzerindeki toksik etkisi, kirletici türü ve konsantrasyonuna (Weber vd., 1993), bitki türü ve gelişme dönemine (Crittenden ve Read, 1979; Momen vd., 1996; Rebbeck, 1996), ışık ve sıcaklık (Thornton vd., 1993; Anderson vd., 1997) gibi çevresel faktörlere göre değişmektedir. Kirletici türüne göre en etkili kirleticiden, en az etkili kirleticiye doğru; hidrojen florit) kükürt dioksit) azot dioksit) ozon) PAN (peroksiasetil nitrat)) azot monoksit) karbon monoksit şeklinde bir sıralama yapılabilir (Nuhoğlu, 1993). Ancak bu sıralama genel olup, tüm bitki türleri için geçerli değildir.

Her bitkinin kirletici gazdan hiç etkilenmediği bir alt eşiği vardır. Bu eşikten sonra bitkilerde gözle görülemeyen zararlar oluşmaya başlar. Daha sonra kirletici gaz konsantrasyonu arttıkça kirleticinin zarar ve şiddeti de artmaktadır. Bu sınır genel olarak hidrojen floritlerde 0.8, kükürt dioksitte 30, azot dioksitte 40, ozonda 60 ve azot monoksitte 100 mikrogram/m<sup>3</sup> olarak kabul edilmektedir (Nuhoğlu, 1996). Diğer taraftan, hava kirleticilerin bitkiler üzerindeki etkileri konsantrasyonları yanında etki sürelerine bağlı olarak da değişmektedir. Kirletici gazlar yüksek konsantrasyonlarda kısa süre içerisinde bitkilerde akut zararlar meydana getirirken, düşük konsantrasyonlarda uzun sürede kronik zararlara sebep olmaktadır (Psaras ve Christodoulakis, 1987). Ancak, kirletici konsantrasyonunun etkisi üzerine sıcaklık derecesi ve hava nemi önemli ölçüde etkide bulunmaktadır (Tibbits ve Kobriger, 1983). Bitkilerin minimum fizyolojik aktivite gösterdiği kış mevsimi boyunca düşük sıcaklık ve düşük bağıl nem koşullarında yüksek kirletici konsantrasyonları bitkiler üzerinde az etkili olabilirken; metabolik aktivitenin yoğun olduğu ilkbahar ve yaz aylarında düşük konsantrasyonlar bile etkili olabilmektedir. Çünkü ilkbahar ve yaz aylarındaki yüksek sıcaklık ve nem havadaki partikül maddelerin katalizleyici etkisini yükseltmekte ve kirleticilerin ikincil ürünlere dönüşüm reaksiyonlarını hızlandırarak toksisitesini artırmaktadır (Nuhoğlu, 1993).

Genetik farklılıklar, bitki türlerinin kirleticilerden farklı seviyelerde zarar görmelerine neden olmaktadır (Medeiros ve Moskowitz, 1983). Örneğin bir bitki SO<sub>2</sub>'e direnç gösterirken, ozon veya hidrojen floritlere karşı duyarlı olabilmektedir. Bu konuda üzerinde en çok çalışılan bitkilerden birisi tütün olup, bu bitki genellikle hava kirliliği için biyolojik indikatör olarak kullanılmaktadır (Menser ve Hodges, 1972).

Kirli havadaki zararlı maddeler kent ve orman ağaçlarının zarar görmesine, hastalanmasına ve hatta ölümüne neden olmaktadır. Hava kirliliği çoğu kere orman ağaçları için doğrudan öldürücü olmamaktadır. Kirlilik, yapraklarda nekrozlara ve klorofil miktarında azalmalara sebep olmak suretiyle, fotosentetik aktivitenin gerilemesine ve buna bağlı olarak ta çap gelişimi, boy ve yaprak alanı gibi çeşitli büyüme parametrelerinin olumsuz yönde etkilenmesine neden olmaktadır (Pandey ve Agrawal, 1994). Hava kirliliğinin ağaç gelişimi üzerindeki bu olumsuz etkileri neticesinde, kirliliğe hassas tür ve genotiplerin rekabet güçlerinde önemli azalmalar meydana gelmektedir (Karnosky vd., 1992). Diğer taraftan, hava kirliliğinden etkilenmiş ağaçların kuraklığa, dona, zararlı böceklerle ve mantarlara karşı dirençleri azalmaktadır. Hava kirliliğinin bütün bu olumsuz etkileri sonucunda toplu ağaç ve orman ölümleri meydana gelebilmektedir.

Diğer taraftan havada bulunan katalizleyici maddeler, SO<sub>2</sub> ve azot oksitleri (NO<sub>x</sub>) asit yağmurlarına dönüştürmek suretiyle de bitki ve toprak sağlığını tehdit etmektedir (Eraslan, 1988; Serez ve Ata, 1988; Yıldırım vd., 1991). Atmosferdeki NO<sub>x</sub>'ler ve SO<sub>2</sub>, havaya yayılan katı partiküllerde bulunan çeşitli metal ve metal tuzlarının katalizörlüğü eşliğinde SO<sub>3</sub> (sülfür), H<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> (sülfüroz asit), H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (sülfrik asit), HSO<sub>3</sub> (bisülfür), HNO<sub>3</sub> (nitrik asit) ve HCO<sub>3</sub> (bikarbonat)'a dönüşüp havada asılı su zerreciklerine yapışarak asit yağmurlarını oluşturmak suretiyle hava kirleticilerin etkisini kat kat artırmaktadırlar. Böylece normal yağmur suyuna göre çok daha asitli yağmurlar oluşmaktadır. Normal yağmur suyunun pH değeri minimum 5.6 olup, daha düşük pH'ya sahip olan yağmurlar

asit yağmuru olarak kabul edilmektedir. Ülkemiz pH değeri 5.5 olan kuşak içerisinde yer almakla birlikte termik santraller, bakır fabrikaları, demir-çelik fabrikaları gibi tesislerin çevresinde bu değer çok daha aşağıya inebilmektedir (Nuhoğlu, 1993).

Asit yağmurları yaprak kimyasını ve morfolojisini, hücre pH dengesini, rubisco ve nitrat redüktaz aktivitesini, karbon paylaşımını, kloroplast zarlarını, stoma ve mezofil iletkenliğini olumsuz yönde etkilemek suretiyle fotosentezin azalmasına (Neufeld vd., 1985; Muthuchelian vd., 1993; Shumejko vd., 1996; Siffel vd., 1996), dolayısıyla bitkilerde verim ve kalite kayıplarına neden olmaktadır (Rinallo ve Mori, 1996). Ağaçların en önemli organı olan ve fotosentez yoluyla asimilatların üretildiği yaprakların yüzeyine ulaşan asitler, yaprak yüzeyinde kloroz ve nekrozlara neden olarak ağaçların büyümesini ve gelişmesini sekteye uğratmaktadır. Bunun sonucunda, ana ve yan tomurcukların uzunluğuna büyümesi azalmakta, yapraklar küçülerek vaktinden önce solmakta ve dökülmekte, doruk kısımlar kurumakta ve yıllık halkalar daralmaktadır (Eraslan, 1988).

Toprağa ulaşan asit yağmurları ise toprak asitliğine yol açmaktadır. Bu tip asit topraklarda, toprak minerallerindeki alüminyum ve manganez iyonları çözünerek köklere toksik etki yapmakta (Esher vd., 1992), böylece kökler ve bu köklerle ortak yaşam kurmuş olan *Rhizobium* bakterileri (Rice vd., 1977; Bordeleau ve Prevost, 1994) ve *Mykorrhiza* mantar türleri zarar görmektedir (Eraslan, 1988; Serez ve Ata, 1988; Esher vd., 1992). Düşük pH şartlarında, baklagil türleri ile ortak yaşam kurup azot bağlama yeteneğine sahip olan *Rhizobium* bakterilerinin gelişme ve çoğalması azalmakta, etkisiz bakterilerin sayısı artmakta, artan manganez seviyesi enfeksiyon işlemi ve nitrogenaz aktivitesini olumsuz yönde etkilemektedir (Rice vd., 1977; Bordeleau ve Prevost, 1994). Bütün bu faktörlere bağlı olarak *Rhizobium* bakterileri tarafından tespit edilen azot miktarı önemli ölçüde azalmaktadır (Elkoca ve Kantar, 2001). *Mykorrhiza* mantar türlerinin zarar görmesi neticesinde ise köklerin üst yüzeyinde oluşan boşluklardan çeşitli bakteri ve mantarlar girerek canlı odun tabakasında birikmekte ve su dolaşımı engellenmektedir (Serez, 1985). Diğer taraftan, NO<sub>2</sub> ve SO<sub>2</sub>'in sis veya yağmurla oluşturduğu asitler toprağa ulaştığı zaman, bitki beslenmesinde hayati öneme sahip olan Mg, Ca, K, P ve Mo'nin alınması güçleşmekte ve bitkilerde beslenme bozuklukları meydana gelmektedir (Ownby ve Dees, 1985; Esher vd., 1992).

Avrupa'da son 15-20 yıldan beri, ormanlar asit yağmurlarının etkisi altında bulunmaktadır. Örneğin, Avusturya ormanlarının % 50'si, Almanya ormanlarının ise % 34'ü değişik seviyelerde olmak üzere hastadır. ABD'de ise hava kirliliğine bağlı olarak oluşan asit yağmurları ticari ürünlerin % 90'ını etkilemekte ve her yıl 1-2 milyar dolar zarara sebep olmaktadır (Özkan, 1988).

## BAZI HAVA KİRLİTİCİLERİN BİTKİLER ÜZERİNDEKİ ETKİ MEKANİZMALARI

### Sülfür Bileşikleri

Gerek sülfür bileşikleri gerekse hava kirleticiler içerisinde zarar derecesi, miktarı, yayılış alanının genişliği ve bitkiler üzerindeki toksik etkisi bakımından SO<sub>2</sub> gazı başta gelmektedir (Allen, 1990). Nitekim, SO<sub>2</sub>'in sebep olduğu maddi zarar, diğer bütün kirleticilerin yaptığı zararın yarısı kadar olup, asit yağmurlarına sebep olmak suretiyle de bitkiler üzerinde etkili olmaktadır (Eraslan, 1988; Serez ve Ata, 1988; Yıldırım vd., 1991). SO<sub>2</sub>'in % 90'ı fosil yakıtların yakılması neticesinde atmosfere karışmaktadır (Borat vd., 1992). Ayrıca maden işleme tesisleri, kimyasal madde fabrikaları ve rafineriler atmosfere karışan SO<sub>2</sub> miktarının artmasına neden olmaktadır (Janick, 1986). Nitekim, bu tip tesislerin bulunduğu alanlarda atmosferdeki SO<sub>2</sub> miktarı 43 ile 348 mikrogram/m<sup>3</sup> arasında değişim göstermektedir (Khan ve Khan, 1996). Büyük çoğunluğu Kuzey Yarıkürede olmak üzere, Dünya'da her yıl 150 milyon ton SO<sub>2</sub> havaya yayılmakta ve pek çok sanayileşmiş ülkede atmosferdeki SO<sub>2</sub> konsantrasyonunun yıllık ortalama 10-30 ppb olduğu bildirilmektedir (Lendzian ve Unsworth, 1981).

SO<sub>2</sub>, stomaların kapanmasını engellemekte ve bunun sonucunda, bitkilerin fazla miktarda su kaybederek fizyolojik kuraklıkla karşı karşıya kalmalarına neden olmaktadır (Özkan, 1988). Stomalardan giren SO<sub>2</sub>, yaprak içerisine doğru ilerlemekte ve bir taraftan karbonhidratları değişikliğe uğratarak bitki gelişimini olumsuz yönde etkilerken, diğer taraftan solunumu teşvik etmek suretiyle net fotosentezde azalmaya yol açmaktadır. Nitekim, 35 ppb'den yüksek SO<sub>2</sub> konsantrasyonlarının fasulyede (*Phaseolus vulgaris*) net fotosentezi önemli ölçüde sınırlandırdığı bildirilmektedir (Lendzian ve Unsworth, 1981).

Yaprak içine stoma yoluyla giren SO<sub>2</sub>, yaprak hücrelerinde protoplazma suyuyla birleşerek, önce oldukça toksik bir bileşik olan sülfite daha sonra da sülfata okside olmakta ve hücrenin kolloidal durumu bozulmaktadır (Pell, 1979). Stomalardan giren SO<sub>2</sub> konsantrasyonu fazla ise sülfitin sülfata oksidasyonu yavaş olmakta ve sülfid konsantrasyonu artarak bitkide akut zararlara sebep olmaktadır. Eğer havadaki SO<sub>2</sub> konsantrasyonu düşük ise hücrelerdeki sülfat konsantrasyonu artmakta ve fazla miktarda sülfat birikmesi sonucu bitkide kronik zararlar ortaya çıkmaktadır. Akut zararlar bitkileri kısa sürede öldürmekte, kronik zararlar ise öldürücü olmamakla birlikte, bitki gelişmesini büyük oranda engellemektedir.

SO<sub>2</sub> stomalardan asimilasyon organlarına girince mezofil dokusunda bulunan kloroplastları parçalamakta ve klorofilin yapısında bulunan demir ile reaksiyona girerek klorofili ayrıştırmaktadır. Bu nedenle, SO<sub>2</sub>'e "klorofil zehiri" de denilmektedir (Çepel, 1980). Ayrıca, yaprak dokusuna giren SO<sub>2</sub>, bazı enzimlerin bileşimini bozmak ve

metabolik olayları engellemek suretiyle oksidasyon ve redüksiyon reaksiyonları ile protoplazmayı tahrip etmektedir. Bütün bu etkiler neticesinde, yapraklardaki hücreler toplu halde ölmekte; yapraklarda renksizlik, sararma veya kızarmalar meydana gelmekte ve zarar gören yapraklar erkenden dökülmektedir.

Havadaki SO<sub>2</sub>'den ilk etkilenen likenler olup, yapılan araştırmalar neticesinde likenlerin zarar görme alt eşliğinin ortalama olarak 30 mikrogram/m<sup>3</sup> olduğu belirlenmiştir (Huneck, 1999). Bu değer bir çok sanayi tesisinin çevresinde ve bir çok büyük şehirlerde kat kat aşmaktadır.

Bitkilerin SO<sub>2</sub> gazından zarar görme dereceleri bitki türüne, yaprak yaşına, fotosentez şiddetine, nem derecesine, gaz yoğunluğuna ve gazın etki süresine göre değiştiğinden zarar yapan konsantrasyon hakkında standart bir değer vermek oldukça güç olmaktadır. Genel olarak 0.05-10 ppm arasındaki SO<sub>2</sub> konsantrasyonlarının bitkiler için zararlı olduğu bildirilmektedir (Levitt, 1980). Nitekim, endüstrilemiş ülkelerde atmosferde yer alan SO<sub>2</sub> seviyeleri, ekonomik öneme sahip pek çok üründe verim kayıplarına sebep olmaktadır (Agrawal, 2000). Ancak gerek bitki türleri, gerekse aynı tür içerisine giren varyete ve genotipler arasında SO<sub>2</sub>'e hassasiyet bakımından farklılıklar bulunabilmektedir. Nitekim salatalık, elma, turp, arpa, buğday, yulaf ve pamuğun SO<sub>2</sub>'e hassas; mısır ve meşenin ise dayanıklı olduğu bildirilirken (Heck ve Brandt, 1977; Jeffree, 1981; Lenzian ve Unsworth, 1981), SO<sub>2</sub>'in soya üzerindeki etkisinin varyetelere (Agrawal, 2000; Deepak ve Agrawal, 2001), çayır kelp kuyruğu üzerindeki etkisinin ise genotiplere göre farklılık gösterdiği rapor edilmektedir (Clapperton ve Reid, 1994). Diğer taraftan çim ve domuz ayrığı gibi yem bitkisi türlerinin de SO<sub>2</sub>'e hassas olduğu bildirilmektedir (Jeffree, 1981). Nitekim, kontrollü şartlarda 90 mikrogram/m<sup>3</sup> SO<sub>2</sub> uygulamasının çim ve domuz ayrığında sürgün kuru ağırlığını % 40 oranında azalttığı saptanmıştır (Crittenden ve Read, 1979). Tarla şartlarında soya fasulyesi kullanılarak yürütülen bir araştırmada ise, 0.19 ve 0.79 ppm SO<sub>2</sub> uygulamalarının tohum verimini sırasıyla % 12 ve % 35 oranında azalttığı (Irving ve Miller, 1981); ayrıca, SO<sub>2</sub>'in baklagillerde tohum protein oranında kayıplara sebep olduğu tespit edilmiştir (Deepak ve Agrawal, 2001).

### **Fotooksidantlar**

Fotooksidantlar, ultraviyole ışınların etkisi altında azot oksitlerden ve hidrokarbonlardan meydana gelmektedir (Janick, 1986). Fotooksidantlar içerisinde ozon ve peroksiasetil nitrat (PAN) fitotoksik etkisi olan en önemli iki bileşiktir (Medeiros ve Moskowitz, 1983; Eraslan, 1988).

### **Ozon**

Fotooksidantların başında yer alan troposferik ozon, çok düşük konsantrasyonlarda dahi bitki ve ağaçlarda

zararlara neden olmakta; dolayısıyla, endüstrilemiş ülkelerde orman ve tarımsal ürünlere zarar veren fitotoksik etkiye sahip en önemli hava kirleticilerden biri olarak kabul edilmektedir (Bender vd., 1999). Avrupa, Kuzey Amerika, Uzak Doğu ve gelişmekte olan bir çok ülkedeki ozon seviyeleri, fotosentez ve bitki gelişimini olumsuz yönde etkilemek suretiyle pek çok üründe verim kayıplarına sebep olmaktadır (Heath, 1994; Krupa, 1996; Yunus vd., 1996). Nitekim, ozonun ABD'de yıllık 4.3 milyar dolarlık ürün kaybına neden olduğu bildirilmektedir (Faostat, 1998). Diğer taraftan, troposferik ozon konsantrasyonu her yıl % 0.5 oranında artış göstermektedir (Hertstein vd., 1995).

Troposferik ozon, bitki ve ağaçlarda klorofilin yapısını bozmakta, klorozlara neden olmakta, yaprak alanını azaltmakta ve yaprakların yaşlanmasını hızlandırarak yaprak dökümüne neden olmaktadır. Özellikle palizat hücreleri ozona karşı hassasiyet göstermektedir (Krupa ve Manning, 1988). Ozon zararına maruz kalmış bitkilerde rubisco enzimi (Lehnher vd., 1987), klorofil ve çözülebilir protein miktarı azalmaktadır (Grandjean ve Fuhrer, 1989). Dolayısıyla ozon, bir taraftan fotosentez oranını azaltırken (Rebeck vd., 1993; Weber vd., 1993; Izuta vd., 1995), diğer taraftan solunumu teşvik etmekte (Momen vd., 1996) ve bunun sonucunda karbon kaynaklarındaki azalmalara bağlı olarak bitki gelişmesi ve verimde önemli azalmalar meydana gelmektedir. Ancak dengeli bir gübreleme yapıldığında, tüm kirleticilerde olduğu gibi, ozonun da metabolizma üzerindeki olumsuz etkilerinin hafiflediği bildirilmektedir (Landolt vd., 1997).

Ozona hassasiyet bakımından gerek bitki türleri (Anderson vd., 1997), gerekse aynı tür içerisine giren çeşitler arasında (Skarby vd., 1993) varyasyon bulunmaktadır. Stoma iletkenliği, bitki tür ve çeşitlerinin ozona göstermiş olduğu hassasiyette önemli rol oynamakta; yüksek stoma iletkenliğine sahip tür ve çeşitlerde ozon zararı artmaktadır (Reich ve Amundson, 1985; Reich, 1987). Buğday, soya fasulyesi, tütün, patates ve domatesin ozona hassas; çeltik, biber ve nanenin ise dayanıklı olduğu bildirilmektedir (Heck ve Brandt, 1977; Ollerenshaw ve Lyons, 1999). Örneğin, kontrollü şartlarda 44.2 ppm ozon uygulamasının patateste yaprak kuru ağırlığını % 48, kök kuru ağırlığını % 58, yumru sayısını % 38 ve yumru verimini ise % 45 oranında azalttığı belirlenmiştir (Foster vd., 1983). 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 (Ojanpera vd., 1992) tohum verimini olumsuz yönde etkilemektedir (Pleijel vd., 1998).

### **Peroksiasetil Nitrat (PAN)**

PAN, geniş yapraklı bitkilerde yaprakların alt kısımlarında parlak, gümüşü renkli lekelerin ortaya

çıkmasına sebep olmaktadır. 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. Ozonda olduğu gibi PAN'a hassasiyet bakımından da bitki türleri arasında varyasyon bulunmaktadır. Nitekim, marul ve soya fasulyesinde 0.01-0.05 ppm gibi düşük PAN konsantrasyonlarında dahi belirtiler ortaya çıkarken, kabak, mısır ve buğday aynı konsantrasyonlardan zarar görmemektedir (Hatipoğlu vd., 1988).

### **Azot Oksitler**

Azot oksitler, bitki gelişimi bakımından SO<sub>2</sub> ve ozon kadar tehlikelidir (Anon., 1998). Bir azot oksit olan azot dioksitinin emisyonu, dünyada yıllık 35 ile 85 milyon ton arasında değişmektedir. Taşıt araçları ve termik enerji santralleri atmosfere verilen azot oksitlerin en önemli iki kaynağını oluşturmaktadır. Dolayısıyla, taşıt araçlarının yoğun olduğu kentlerdeki bitkiler atmosfere yüksek oranda verilen azot oksitlerden ciddi şekilde zarar görmektedirler. Azot oksitler, kükürt dioksitle beraber asit yağmurlarına sebep olmak suretiyle de zarar yapmaktadırlar. Nitekim, asit yağmurların % 30'unu azot oksitler oluşturmaktadır (Eraslan, 1988). 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 yaprakların bir veya iki yüzünde "gümüşlenme" denilen parlak beyazlanmaya neden olmakta ve oluşan bu beyaz renk daha sonra kahverengine dönüşmektedir (Serez ve Ata, 1988).

Azot oksitler içerisinde azot dioksit, azot monoksit oranla bitki ve ağaçlara daha fazla zarar vermekte; kök gelişimi (De Temmerman vd., 1992), solunum ve fotosentezde (Srivastava vd., 1975) ciddi azalmalara neden olabilmektedir. Diğer taraftan azot dioksit, pek çok bitki türünde SO<sub>2</sub> (Reinert, 1975) ve ozona (Runeckles ve Palmer, 1987) hassasiyeti artırmakta, sinerjist etki ederek SO<sub>2</sub> ve ozon zararının şiddetini yükseltmektedir.

### **Floritler**

Flor, yer kürede bol miktarda ve yaygın olarak bulunan bir elementtir. Flor bileşikleri maden kömürü, linyit, çöp ve atıkların yakılması neticesinde oluşmakta; alüminyum, çelik, cam, seramik ve ham fosfattan gübre üreten fabrikalardan çıkarak atmosfere yayılmaktadır (Janick, 1986; Eraslan, 1988). Almanya'da 1975 yılında alüminyum üreten fabrikalardan yaklaşık 1500 ton florlu hidrojen gazının havaya verildiği hesaplanmıştır. Endüstri bölgelerinde 0.2-2 ppb konsantrasyonlarında

bulunmaktadır (Hatipoğlu vd., 1988).

Hidrojen florit zararına uğramış geniş yapraklı bitkilerde yaprak ucu ve kenarlarında şerit halinde kızıl-kahverengi renk oluşumu gözlenmektedir (Serez ve Ata, 1988; Dursun vd., 1998). Ancak, bu gazın etkisi çoğu defa SO<sub>2</sub> tarafından kamufle edilmektedir (Özkan, 1988). Florit yaprakta biriktirilmekte veya yaprak yüzeyinde çözünebilir formda adsorbe edilebilmektedir. Bu nedenle floridin bitki tarafından alınması stomaların açılıp kapanması diğer gazlardaki kadar önemli değildir (Hatipoğlu vd., 1988).

Hidrojen floritlerin pek çok bitki türünde net fotosentezi azalttığı (Lendzian ve Unsworth, 1981), bitki bünyesindeki kalsiyumla birleşerek kalsiyum eksikliğine neden olduğu (Janick, 1986); kiraz, limon ve sorgumda verimi düşürdüğü (Heck ve Brandt, 1977); domates, mısır ve soğanda ise genetik anormalliklere neden olduğu bildirilmektedir (Hatipoğlu vd., 1988). Bitki türleri arasında floride hassasiyet bakımından farklılıkların bulunduğu; floride karşı duyarlı olan bitkilerin, diğer kirleticilerden 10 ile 1000 kez daha düşük florit konsantrasyonlarında zararlanma gösterdiği tespit edilmiştir (Weinstein, 1977). Diğer taraftan, yüksek dozlardaki azotlu gübre uygulamalarının da bitkilerde florit zararını artırdığı belirlenmiştir (Kender ve Forsline, 1983).

### **Partiküller**

Endüstri bölgelerindeki fabrika bacalarından ve yerleşim alanlarındaki konutlardan çıkan duman içerisinde yüksek miktarda partikül bulunmaktadır (Menser ve Hodges, 1972). Bu partiküller uzun süre atmosferde kalmakta ve yerleşim alanlarındaki konsantrasyonları 50-500 g/m<sup>3</sup> arasında değişmektedir (Hatipoğlu vd., 1988). Trafik yoğun olduğu alanlarda ve yol kenarlarında bu miktar daha da artabilmektedir.

Bu partiküller, bitkilerde asimilasyon organı olan yaprakların üzerine çökerek gaz alışverişini, yani solunum ve transpirasyonu engellemektedirler (Katircioğlu ve İren, 1986). Partiküller bu olumsuz etkileri neticesinde, bitkide su dengesi ve özümleme faaliyetlerini bozmakta, gelişme bozukluklarına, verim ve kalitede azalmalara sebep olmaktadır (Singh ve Rao, 1980; Katircioğlu ve İren, 1986; Hirano vd., 1995). 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 fikse edilen azot miktarında önemli azalmalara neden olmaktadır (Singh vd., 1997).

### **SONUÇ VE ÖNERİLER**

Bütün bu hava kirleticilerin bitkiler üzerinde oluşturduğu zararlar ve zarar şekilleri Tablo 2'de özetlenmiştir.



Tablo 2. Hava Kirleticilerin Bitkilerde Oluşturduğu Zararlar (Nuhoglu, 1996)

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

Hava kirleticiler, atmosferin doğal yapısı ve bileşimini bozarak tüm canlılar üzerinde zararlı etkiler oluşturmaktadır. Hava kirliliğinin bitkiler üzerindeki etkilerini azaltmak amacıyla aşağıda belirtilen tedbirler alınabilir:

- SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> ve diğer hava kirletici gazları artırmak amacıyla desülfirizasyon tesisleri kurulmalıdır.

- Yanabilir kükürt içeriği düşük fosil yakıtlar yanında, güneş enerjisi ve jeotermal kaynaklar gibi kirlilik yaratmayan veya az kirlilik yaratan enerji kaynakları kullanılmalıdır.

- Taşıt araçlarının eksoztlarından çıkan gazları tutacak katalizör kullanılmalıdır.

- Yerleşim yoğunluğu sınırı aşılmamalıdır.

- Hava kirliliğinin nedenleri ve sonuçları hakkında toplum eğitilmelidir.

Yoğun olarak oluşturulmuş evsel ve endüstriyel hava kirleticilere karşı çözüm olmamakla birlikte, hava kirliliğinin bitkiler üzerindeki etkilerini azaltmak amacıyla, bitki ıslah programları çerçevesinde hava kirleticilere karşı dayanıklı çeşitlerin ıslah edilmesi de gerekmektedir. Dolayısıyla, hava kirleticilerin ve bu kirleticilerin bitkiler üzerindeki etki mekanizmalarının bilinmesi, dayanıklı çeşit geliştirme programlarına ışık tutacaktır.

## KAYNAKLAR

- Agrawal, M., 2000. Researches on air pollution impact on vegetation in India. A Review. The Botanica, 50: 76-85.
- Allen Jr., L.H., 1990. Plant responses to rising carbon dioxide and potential interactions with air pollutants. J. Environmental Quality, 19: 15-34.
- Anderson, P.D., Houppis, J.L.J., Helms, J.A., Momen, B., 1997. Seasonal variation of gas-exchange and pigmentation in branches of three grafted clones of mature ponderosa pine exposed to ozone and acidic rain. Environmental Pollution, 97: 253-263.
- Anonim, 1998. Karabük Hava Kirliliği Araştırması Raporu, Rapor No: 1999-1, Karabük.
- Bender, J., Hertstein, U., Black, C.R., 1999. Growth and yield responses of spring wheat to increasing carbon dioxide, ozone and physiological stresses: a statistical analysis of ESPACE wheat results. European J. Agron., 10 (3-4): 185-195.
- Borat, O., Balci, M., Sürmen, A., 1992. Hava Kirlenmesi ve Kontrol Tekniği. Teknik Eğitim Vakfı Yayını, Ankara.

- Bordeleau, L.M., Prevost, D., 1994. Nodulation and nitrogen fixation in extreme environments. Plant and Soil, 161: 115-125.
- Clapperton, J.M., Reid, D.M., 1994. Effects of sulphur dioxide (SO<sub>2</sub>) on growth and flowering of SO<sub>2</sub> tolerant and non-tolerant genotypes of *Phleum pratense*. Environmental Pollution, 86 (3): 251-258.
- Crittenden, P.D., Read, D.J., 1979. The effects of air pollution on plant growth with special reference to sulphur dioxide. III. Growth studies with *Lolium multiflorum* Lam. and *Dactylis glomerata* L. New Phytol., 83 (3): 645-651.
- Çepel, N., Dündar, M., Ertan, E., 1980. Samsun-Gelemen orman fidanlığında görülen duman zararları üzerine araştırmalar. İstanbul Üniv. Orman Fak. Derg., A (30): 6-42.
- Deepak, S.S., Agrawal, M., 2001. Influence of elevated CO<sub>2</sub> on the sensitivity of two soybean cultivars to sulphur dioxide. Environmental and Experimental Botany, 46 (1): 81-81.
- De Temmerman, L., Vandermeiren, K., Guns, M., 1992. Effects of air filtration on spring wheat grown in open-top field chambers at a rural site. I. Effect on growth, yield and dry matter partitioning. Environmental Pollution, 77 (1): 1-5.
- Dursun, A., Aslantaş, R., Pırlak, L., 1998. Hava kirliliğinin bahçe bitkileri yetiştiriciliği üzerine etkileri. Ekoloji Çevre Derg., 7 (27): 11-14.
- Elkoca, E., Kantar, F., 2001. Baklagillerde simbiyotik azot fiksasyonuna etki eden bazı faktörler. Atatürk Üniv. Ziraat Fak. Derg., 32 (2): 197-205.
- 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.
- 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 Pollut., 61: 269-278.
- Faostat, 1998. <http://apps.fao.org>.
- Foster, K.W., Timm, H., Labanauskas, C.K., Oshima, R.J., 1983. Effects on ozone and sulfur dioxide on tuber yield and quality of potatoes. J. Environmental Quality, 12 (1): 75-80.
- Grandjean, A., Fuhrer, J., 1989. Growth and leaf senescence in spring wheat (*Triticum aestivum*) grown at different ozone concentrations in open-top field chambers. Physiol. Plant., 77: 389-394.
- Hatipoğlu, R., Tükel, T., Koç, M., 1988. Çevre kirlenmesinin bitkiler üzerindeki etkileri. Çukurova Üniv. Ziraat Fak. Derg., 3 (2): 119-133.
- Heath, R.L., 1994. Alterations of Plant Metabolism by Ozone Exposure. P. 121-145. In R.G. Alshser and A.R. Wellburn (eds.) Plant Responses to the Gaseous Environment. Chapman and Hall, London.
- Heck, W.W., Brandt, C.S., 1977. Effects on Vegetation, Native Crops, Forests. P. 157-229. In C.S. Arthur (ed.) Air Pollution, Vol II. Academic Press, New York, Sanfrancisco, London.
- Hertstein, U., Grünhage, L., Jager, H.J., 1995. Assessment of past, present and future impacts of ozone and carbon dioxide on crop yields. Atmospheric Environment, 29: 231-239.

- 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.
- Huneck, S., 1999. The significance of lichens and their metabolites. *Die Naturwissenschaften*, 86 (12): 559-570.
- Irving, P.M., Miller, J.E., 1981. Productivity of field-grown soybeans exposed to acid rain and sulfur dioxide alone and in combinations. *J. Environmental Quality*, 10 (4): 473-478.
- Izuta, T., Ohtsu, G., Miyake, H., Totsuka, T., 1995. Effects of ozone on dry weight growth, net photosynthetic rate and leaf diffusive conductance in three cultivars of radish plants. *Hort. Abst.*, 65 (8): 7002.
- Janick, J., 1986. *Horticultural Science (Fourth Edition)*. W. H. Freeman and Company, New York.
- Jeffree, C.E., 1981 (Çeviri: İ. Özkahraman). Kükürt dioksit gazının bitkiye verdiği zarar. *Tabiat ve İnsan*, 15 (3): 23-24.
- Karnosky, D.F., Gagnon, Z.E., Reed, D.D., Witter, J.A., 1992. Growth and biomass allocation of symptomatic and asymptomatic *Populus tremuloides* clones in response to seasonal ozone exposures. *Canadian J. Forest Research*, 22: 1785-1788.
- Katircioğlu, Y.Z., İren, S., 1986. Çimento Fırın Tozlarının Elma ve Fasulye Yapraklarının Anatomisine ve Elma Sürgünlerinin Morfolojisine Etkileri. *Ulusal Çevre Simpozyumu Tebliğ Metinleri*, 12-15 Kasım 1984, TÜBİTAK DERÇAG, Adana, s. 28-39.
- Kender, J.W., Forsline, P., 1983. Residual measures to reduce air pollution losses in horticulture. *Hort. Sci.*, 18 (5): 680-684.
- Khan, M.R., Khan, M.W., 1996. Interaction of *Meloidogyne incognita* and coal-smoke pollutants on tomato. *Nematropica*, 26: 47-56.
- Krupa, S.V., 1996. The Role of Atmospheric Chemistry in the Assessment of Crop Growth and Productivity. P. 35-74. In M. Yunus and M. Iqbal (eds.) *Plant Response to Air Pollution*. John Wiley and Sons, London.
- Krupa, S.V., Manning, W.J., 1988. Atmospheric ozone: Formation and effects on vegetation. *Environmental Pollution*, 50 (1-2): 101-137.
- Landolt, W., Gunthardt-Goerg, M.S., Pfenninger, I., Einig, W., Hampp, R., Maurer, S., Matyssek, R., 1997. Effect of fertilization on ozone-induced changes in the metabolism of birch (*Betula pendula*) leaves. *New Phytol.*, 137 (3): 389-397.
- Lehnerr, B., Grandjean, A., Machler, F., Fuhrer, J., 1987. The effect of ozone in ambient air on ribulosebiphosphate carboxylase/oxygenase activity decreases photosynthesis grain yield in wheat. *J. Plant Physiol.*, 130: 189-200.
- Lendzian, K.J., Unsworth, K.H., 1981. Ecophysiological Effects of Atmospheric Pollutants. P. 465-502. In O.L. Longe, P.S. Nobel, C.B. Osmond and H. Ziegler (eds.) *Physiological Plant Ecology IV*. Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York.
- Levitt, J., 1980. *Responses of Plants to Environmental Stresses, Volume II: Water, Radiation, Salt and Other Stresses*. Academic Press, A Subsidiary of Harcourt Brace Jovanovich, Publishers New York, London.
- Medeiros, W.H., Moskowitz, P.D., 1983. Quantifying effects of oxidant air pollutants on agricultural crops. *Environment International*, 9 (6): 505-513.
- Menser, H.A., Hodges, G.H., 1972. Oxidant injury to shade tobacco cultivars developed in connecticut for weather flack resistance. *Agron. J.*, 64: 189-192.
- Momen, B., Helms, J.A., Criddle, R.S., 1996. Foliar metabolic heat rate of seedlings and mature trees of *Pinus ponderosa* exposed to acid rain and ozone. *Plant, Cell and Environment*, 19: 747-753.
- Muthuchelian, K., Nedunchezian, N., Kulandaivelu, G., 1993. Effects of simulated acid rain on <sup>14</sup>CO<sub>2</sub> fixation, ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase and nitrate and nitrite reductases in *Vigna sinensis* and *Phaseolus mungo*. *Photosynthetica*, 28: 361-367.
- Neufeld, H.S., Jernstedt, J.A., Haines, B.L., 1985. Direct foliar effects of simulated acid rain. I. Damage, growth and gas exchange. *New Phytol.*, 99: 389-405.
- Nuhoğlu, Y., 1993. Muğla-Kemerköy Termik Santralinin Oluşturacağı Çevre Kirliliğinin Ormanlar Üzerindeki Etkileri (Doktora Tezi). İstanbul Üniv. Fen Bilimleri Enst., Orman Entomolojisi ve Koruma Programı, İstanbul, 129 s.
- Nuhoğlu, Y., 1996. Hava Kirliliğinin Bitkiler Üzerindeki Etkileri. Lisansüstü Ders Notları (Basılmamış), Atatürk Üniv. Fen Bilimleri Enst., Erzurum.
- Ojanpera, K., Sutinen, S., Pleijel, H., Sellden, G., 1992. Exposure of spring wheat *Triticum aestivum* L. cv. Drabant to different concentrations of ozone in open-top chambers: effects on the ultrastructure of flag leaf cells. *New Phytol.*, 120:39-48.
- Ollerenshaw, J.H., Lyons, T., 1999. Impacts of ozone on the growth and yield of field-grown winter wheat. *Environmental Pollution*, 106 (1): 67-72.
- Ownby, J.D., Dees, L., 1985. Growth and mineral status in peanut and sorghum in response to acid precipitation and calcium. *New Phytol.*, 101 (2): 325-332.
- Özkan, N., 1988. Asit yağmurları ve orman tahribatı. *Orman Müh. Derg.*, 2 (25): 22-25.
- 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., 1979. How Air Pollutants Induce Disease. P. 273-292. In J.G. Horsfall and E.B. Cowling (eds.) *Plant Disease: An Advanced Treatise, Vol IV*. Academic Press, New York.
- 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*, 70 (1): 61-68.
- Psaras, G.K., Christodoulakis, N.S., 1987. Air pollution effects on the structure of *Citrus aurantium* leaves. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 39 (3): 474-480.
- Rebbeck, J., 1996. Chronic ozone effects on three northeastern hardwood species: growth and biomass. *Canadian J. Forest Research*, 26: 1788-1798.
- Rebbeck, J., Jensen, K.F., Greenwood, M.S., 1993. Ozone effects on grafted mature and juvenile red spruce: photosynthesis, stomatal conductance, and chlorophyll concentration. *Canadian J. Forest Research*, 23: 450-456.
- Reich, P.B., 1987. Quantifying plant response to ozone: a unifying theory. *Tree Physiology*, 3: 63-91.
- Reich, P.B., Amundson, R.G., 1985. Ambient levels of O<sub>3</sub> reduce net photosynthesis in tree and crop species. *Science*, 230: 125-130.
- Reinert, R.A., 1975. Pollutant interactions and their effects on plants. *Environmental Pollution*, 9 (2): 115-116.
- Rice, W.A., Penney, D.C., Nyborg, M., 1977. Effects of soil acidity on rhizobia numbers, nodulation and nitrogen fixation by alfalfa and red clover. *Canadian J. Plant Sci.*, 57: 197-203.
- Rinallo, C., Mori, B., 1996. Damage in apple (*Malus domestica* Borkh) fruit exposed to different levels of rain acidity. *J. Hort. Sci.*, 71 (1): 17-23.
- Runeckles, V.C., Palmer, K., 1987. Pretreatment with nitrogen dioxide modifies plant response to ozone. *Atmospheric Environment*, 21 (3): 717-719.
- Serez, M., 1985. Asit yağmurlarıyla gelen orman ölümleri. *Tabiat ve İnsan*, 19(1): 11-15.
- Serez, M., Ata, C., 1988. Kazdağı Ormanlarında Karaçam (*Pinus nigra* Arnold Subsp. *Pallasiana*) ve Kazdağı Gökarnı (*Abies equi-trojani* Asher *Sint.*) Türlerinde Görülen Gaz Zararları. Çevre'88: Dördüncü Bilimsel ve Teknik Çevre Kongresi, 5-9 Haziran, İzmir.
- Shumejko, P., Ossipov, V., Neuvonen, S., 1996. The effects of simulated acid rain on the biochemical composition of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) needles. *Environmental Pollution*, 92: 315-321.
- Siffel, P., Braunova, Z., Sindelkova, E., Cudlin, P., 1996. The effect of simulated acid rain on chlorophyll fluorescence spectra seedlings (*Picea abies* L. Karst.). *J. Plant Physiol.*, 148: 271-275.
- Singh, S.N., Rao, D.N., 1980. Growth of wheat plants exposed to cement dust pollution. *Water, Air and Soil Pollution*, 14: 241-249.



- Singh, R.P., Tripathi, R.D., Sinha, S.K., Maheshwari, R., Srivastava, H.S., 1997. Response of higher plants to lead contaminated environment. *Chemosphere*, 34 (11): 2467-2493.
- Skarby, L., Sellden, G., Mortensen, L., Bender, J., Jones, M., De Temmerman, L., Wenzel, A., Fuhrer, J., 1993. Responses of Cereals Exposed to Air Pollutants in Open-Top Chambers. In H.J. Jager, M. Unsworth, L. De Temmerman and P. Mathy (eds.) *Effects of Air Pollution on Agricultural Crops in Europe*. Air Pollution Research Report No 46, Commission of the European Communities, Brussels.
- Srivastava, H.S., Jolliffe, P.A., Runeckles, V.C., 1975. The influence of nitrogen supply during growth on the inhibition of gas exchange and visible damage to leaves by NO<sub>2</sub>. *Environmental Pollution*, 9 (1): 35-47.
- injuring horticultural plants. *Hort. Sci.*, 18: 675-680.
- Weber, J.A., Clark, C.S., Hogsett, W.E., 1993. Analysis of the relationships among O<sub>3</sub> uptake, conductance, and photosynthesis in needles of *Pinus ponderosa*. *Tree Physiology*, 13: 157-172.
- Weinstein, L.H., 1977. Fluoride and plant life. *J. Occup. Med.*, 19: 49-78.
- 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.
- Yunus, M., Singh, N., Iqbal, M., 1996. Global Status of Air Pollution: An Overview. P. 1-34. In M. Yunus and M. Iqbal (eds.) *Plant Response to Air Pollution*. John Wiley and Sons, London.

- Thornton, F.C., McDuffie, C., Pier, P.A., Wilkinson, R.C., 1993. The effects of removing cloudwater and lowering ambient O<sub>3</sub> on red spruce grown at high elevations in the southern Appalachians. *Environmental Pollution*, 79: 21-29.
- Tibbits, T.W., Kobriger, J.M., 1983. Mode of action of air pollutants in