

HAVA KİRLİLİĞİ VE FOTOSENTEZ

A. Vahap KATKAT*

ÖZET

Hava kirliliğinde etkili olan belli başlı bileşikler SO₂, H₂S, HF, HCl, O₃, PAN, NO, NO₂, CO₂, etilen, ağır metaller ve tozlardır.

Hava kirliliği üzerinde biyokimyacılar, fizyologlar, tarımcılar ve fizikokimyacılar çeşitli araştırmalar yapmaktadırlar. Yapılan araştırma sayısının çok fazla ve çeşitli olması bugün için bir sentez oluşturulmasını zorlaştırmaktadır. Gerçekten elde edilen sonuçların çoğu birbirleri ile çelişkili bir durum göstermektedir. Aynı çeşit bir bitki üzerine hava kirliliğinin etkileri, ortam koşulları, kirleticilerin konsantrasyonları ve bitki ile temas süresiyle ilgili olarak değişiklik göstermektedir.

RESUME

Pollution de l'air et Photosynthèse

Les principaux composés qui font l'effet sur la pollution de l'air sont SO₂, H₂S, HF, HCl, O₃, PAN, NO, NO₂, CO₂, ethylène, métaux lourds et poussières.

De nombreux travaux sont réalisés par les biochimistes, les physiologistes, les agronomes et les physico-chimistes sur la pollution de l'air. Actuellement, la synthèse de ces recherches est très difficile en considérant la diversité et le nombre important de ces travaux. En effet, beaucoup de résultats obtenus apparaissent contradictoires. Les effets de la pollution de l'air sur la même espèce de plante diffèrent suivant les conditions extérieures, les concentrations des polluants dans l'atmosphère et la durée de contact des polluants.

GİRİŞ

Hava kirliliğinin asırlar öncesinden bilinmesine karşın zamanında gerekli önlemlerin alınmaması nedeni ile günümüzün en önemli sorunlarından birisi durumuna gelmiştir. Çünkü direkt olarak insan sağlığı ile ilgili olduğu gibi hayvanlar, bitkiler, binalar ve tarihi eserler de hava kirliliğinden önemli ölçüde etkilenmektedirler. Özellikle 1954 yılı Londra olayları ile 1982 yılı Ankara olayları hava kirliliğinin insan sağlığı yönünden ne denli önemli olduğunu ortaya koymuştur.

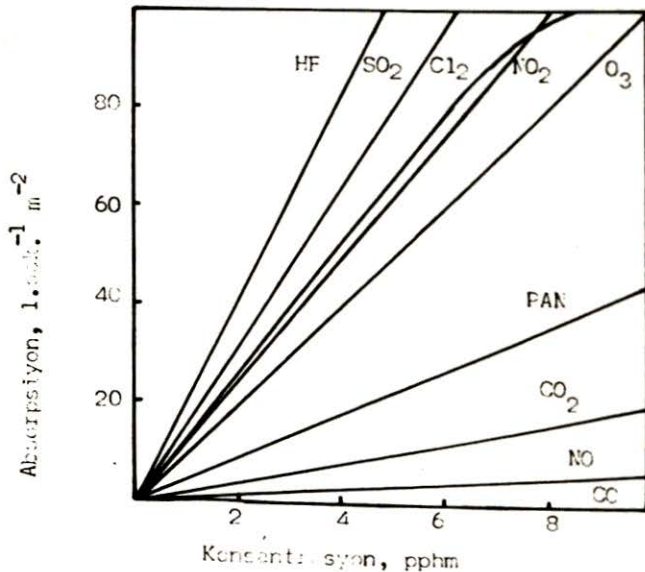
* Doç. Dr; Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bölümü

Hava kirliliği, atmosferde bulunan gaz, sıvı ve katı partiküllerin normalin üzerinde artış göstermesi ile meydana gelmektedir. Hava kirliliğinde etkili olan bileşikler: a) Asit etkisi gösterenler (SO_2 , H_2S , HF , HCl), b) Oksitleyici maddeler (O_3 , PAN, NO , NO_2 , CO_2 ve etilen), c) Ağır metaller (Hg , Cd , Pb , Ar , Zn ve Cu), d) Tozlar olmak üzere 4 grup altında toplamak mümkündür.

Bu kirleticiler arasında endüstri kuruluşları ve konutların ısıtılması sırasında ortaya çıkan SO_2 , alüminyum, çelik endüstrisi ile briket, kiremit, tuğla yapımı ve kimyasal ürünlerin endüstrisi sonucu ortaya çıkan HF , yoğun trafiğe sahip şehirlerde eksoz gazları ile açığa çıkan NO , NO_2 , CO ve peroksi asetil nitrat (PAN), ile Pb ve Cd gibi ağır metaller ile O_3 ve hidrokarbonlu bileşikler en önemlilerini oluşturmaktadırlar.

KİRLİLİĞİN BİTKİLER ÜZERİNE ETKİLERİ

Hareket edememeleri nedeni ile hava kirliliğinden en fazla etkilenen canlılar bitkiler olup en çok zararlanma da bu bitkilerin yapraklarında meydana gelmektedir. Kirleticilerin bitkiler üzerine etkisi yoğunluklarına, temas süresine ve yapraklar tarafından az ya da çok absorbe edilmelerine bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Genellikle SO_2 ve O_3 bitkiye en fazla zehir etkisi yapan hava kirleticileri olarak bilinmektedir. Florlu maddelerin bünyede fazla miktarda birikmesi sonucunda bitki üzerine olumsuz etkileri olmaktadır. Hill (1971), tarafından yonca bitkisi ile yapılan bir çalışmada en fazla absorbe edilen gazın HF , en az absorbe edilen gazın da CO olduğu ortaya konulmuştur (Şekil: 1).



Şekil: 1

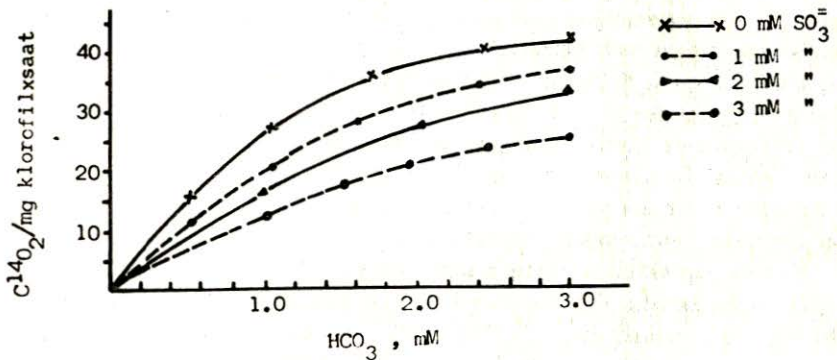
Farklı kirleticilerin yonca bitkisi tarafından absorpsiyonları

KÜKÜRT DİOKSİTİN FOTOSENTEZ ÜZERİNE ETKİSİ

Endüstrinin yoğun olduğu bölgeler ile şehir merkezleri atmosferlerinde kükürt dioksit konsantrasyonu en fazla $3000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ oranına kadar yükselebilmekte ve bitkilerde önemli ölçüde zararlanmalar meydana getirmektedir. Bitkiler en fazla bu kirleticiye karşı duyarlı olup, gözle görülebilir etkiler $500 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 'den itibaren başlamaktadır. Bu durumda yapraklarda yanma olayları kısa zamanda ortaya çıkmaktadır. Lekeler, damarlar arasından başlayarak tüm yaprağı kaplamakta rengi de fildişinden, açık kahverengiye kadar değişiklik göstermektedir. Sert çekirdekli meyve ağaçlarında ise lekeler kırmızı şeritler halinde ortaya çıkmaktadır. Yaprığın yeşil bölümleri, kirlenme süresince bir yavaşlama olmasına karşın önceki gibi fonksiyonlarına devam edebilmektedir.

Kükürt dioksit yaprağa stomalar aracılığı ile girmektedir. İlgili yaprak yüzeyinde görülen nekrozlar ile stoma sayıları arasında bir ilişki olduğu deneysel olarak gösterilmiştir. Ortamda kükürt dioksit bulunması durumunda stomalarda kapanma olduğu, bu aktif korunma hareketinin yoğunluğunun nisbi nem ile atmosferdeki karbondioksit miktarının fonksiyonu olarak değişiklik gösterdiği Bonte (1975), tarafından deneysel olarak gösterilmiştir. Buradan kükürtdioksitin fotosentez üzerine dolaylı olarak etkide bulunduğu ortaya çıkmaktadır.

Bonte (1975), tarafından 5 ppm SO_2 ile yapılan fümigasyon sonucunda klorofillerin parçalanarak feofitine dönüştüğü ve pH'nın asitleştiği belirtilmiştir. Kükürt dioksidin fotosentez üzerine etki mekanizmalarının açıklanmasından sonra Libera ve ark. (1974), ıspanak yapraklarından izole edilen kloroplastlarda bu etkiyi deneysel olarak göstermişlerdir. Bu kloroplastlar uygun bir ortamda C^{14} ile etiketli radyoaktif HCO_3^- anyonunu fikse etme yeteneğindedirler. Araştırmacılar değişik sülfid konsantrasyonlarında HCO_3^- konsantrasyonuna bağlı olarak C^{14} fiksasyon yoğunluğunu incelemişlerdir (Şekil: 2).



Şekil: 2
Ispanak bitkisi kloroplastlarındaki CO₂ fiksasyonu üzerine SO₃ konsantrasyonunun etkisi

Şekil 2'nin incelenmesinden anlaşılacağı gibi SO₃ konsantrasyonu artış gösterdikçe fikse edilen CO₂ miktarı azalmaktadır.

Enzim reaksiyonlarının meydana gelebilmesi için gerekli fiksasyon yani enzim etkisi ile maddelerin fiksasyonu reaksiyonlarında SO_3^- iyonları, karbondioksinin yerini alabilmektedir. Ribuloz 1.5-bifosfat karboksilaz enzimi reaksiyonlarının bir bölümü CO_2 ile yarışma halindeki SO_3^- iyonları tarafından işgal edilerek reaksiyon hızlarında önemli ölçüde azalmalar meydana getirmektedir.

Fosfoenolpiruvat karboksilaz enziminin engellenmesi de benzer şekilde olmaktadır. Fakat SO_3^- iyonlarının fosfoenolpiruvat karboksilaz enzimi üzerine etkisi ribuloz 1.5-bifosfat karboksilaz enzimi üzerine etkisinden çok daha azdır. Çünkü fosfoenolpiruvat enziminin karbondioksite karşı ilgisi çok fazladır. O halde C_4 tipi fotosentez metabolizmasına sahip bitkilerde, fotosentez olaylarının SO_3^- iyonları tarafından engellenmesi C_3 tipi fotosentez metabolizmasına sahip bitkilere oranla daha az olmaktadır. Bu gözlemler litrede birkaç mM sülfid konsantrasyonunda yapılmıştır. Ziegler (1975), 1.25 mM sülfid konsantrasyonundaki çözeltinin, atmosferde $500 \mu g/m^3$ (0.2 ppm) SO_2 konsantrasyonunun etkisine eşdeğer olduğunu belirtmiştir. 0.1 ppm'den daha düşük kükürt dioksit konsantrasyonlarında, Hill reaksiyonlarının yoğunluklarının artış gösterdiği gözlenmektedir. Bu durum sülfid iyonlarının yükseltgenme ve indirgenme özellikleri ve indirgeyici güçlerin ($NADPH_2$) artmasındaki rolü ile açıklanmaktadır.

FLORLU BİLEŞİKLERİN FOTOSENTEZ ÜZERİNE ETKİSİ

Endüstri bölgelerinde atmosferdeki flor miktarı genellikle $1 - 10 \mu g/m^3$ arasında değişiklik göstermektedir. Ancak nadir olarak $20 \mu g/m^3$ 'ün üzerine de çıkmaktadır. Flor bitkilerin toprak üstü aksamaları tarafından absorbe edilmekte ve transpirasyon akımı ile yaprakların kenarları ya da ekstrem noktalarına kadar taşınabilmektedir. Bu taşınma buğdaygil ve çamgiller gibi uzun yapraklı, kayısı gibi yuvarlak ve bağ gibi girintili yapraklı bitkilerde değişik olmaktadır.

Flor büyük olasılıkla bitkilerin mezofil hücrelerine kadar ulaşmaktadır. Ancak yapılan araştırmalar en fazla yağılmanın palisadik dokularda olduğunu ortaya koymuştur. Yaprak yüzeyindeki nekrozlar, flor konsantrasyonunun kritik noktayı geçmesinden sonra görülmeye başlamaktadır. Bu kritik nokta bitki çeşitlerine göre çok geniş sınırlar arasında değişiklik göstermektedir. Örneğin kıvılcık kantaron yapraklarında florun 30 ppm den az olması halinde bile nekrozların görülmesine karşın kayın ağacı yapraklarında florun 1000 ppm'e kadar çıktığı ve yapraklarda herhangi bir nekroz belirtisinin olmadığı belirlenmiştir. Bazı bitkilerde nekroz dozu altındaki miktarlarda bile bir sararma görülmekte, bu sararma sağlıklı dokular ile nekrozlu dokular arasındaki yaprak ayasında az ya da çok yayılma göstermektedir.

Flor da yapraklara stomalar aracılığı ile girmektedir. Atmosferdeki nisbi nem bu girişi artırılmaktadır. Glycine max üzerinde yapılan bir çalışmada stomaların 4 saatte kapandığı belirtilmiştir (De Cormis, 1978). Domates bitkisi yapraklarında yapılan analiz sonucunda gecede flor miktarının gündüze oranla daha fazla olduğu ortaya konulmuştur. Bu da gece nisbi nemin daha fazla olması ile açıklanmıştır. Ayrıca sürekli olarak günde 8 saat $1.3 \mu g/m^3$ HF uygulamasının, üç günde bir, 8 saat için $4.2 \mu g/m^3$ ya da 4 saat $8.5 \mu g/m^3$ HF uygulamasından daha fazla etkili olduğu deneysel olarak gösterilmiştir. Buradan 2 günlük arada bitkinin kendisini yenilediği anlaşılmaktadır.

Şeker kamışı üzerinde yapılan bir incelemede florun yapraklara stomalar aracılığıyla girdiği ve stomalara herhangi zararlı bir etki yapmadığı belirlenmiştir. Stomalardan giren flor hücreler arası boşluklar aracılığı ile mezofil hücreleri tarafından absorbe edilmektedir. Daha sonra difüzyon ile parenkima perivasküler dokuya ve oradan da ksilem ile yaprak ayasının ekstrem noktalarına kadar yayılmaktadır. Florun etkisi ile bitki dokularında önce kloroz belirtileri yani sararmalar ortaya çıkmakta, daha sonra renk kırmızimsı kahverengi ve koyu kahverengiye dönüşmektedir. Mezofil hücreleri nekroz gösterinceye kadar dayanıklılığını yavaş yavaş kaybetmekte, flora karşı dayanıklılığı belli bir noktanın altına düştüğü anda da nekrozlar görülmeye başlamaktadır. Bitki dokuları şu aşamalardan geçmektedir. Önce hücre zarlarının ara lamelleri şişmekte, sonra ufak parçalara bölünmekte daha sonra da membranlar birbirlerinden ayrılmaktadır. Böylece iç membran ve sitoplazmik membran tahrip olmaktadır. Ayrıca kloroplastların hacmi azalmakta ve tilakoitler içindeki boşluklar artış göstermektedir. Buna bağlı olarak granular hacim ve miktar olarak azalmaktadır.

Flor kloroplastlarda öncelikle proteinlerle birleşmektedir. Çünkü yapılan analizlerde lipid ve öteki pigment maddelerinde flor ya çok az bulunmuş ya da hiç bulunmamıştır. HF yaprak dokularındaki klorofil ve karotenoidlerin etkinlikleri üzerine olumsuz etkide bulunarak önce bitkilerdeki fotosentez miktarını azaltmakta daha sonra sararma ve lekelerin ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Bunun dışında florürler Ca, Mg ve onların aktiviteleri için gerekli öteki metalleri bloke ederek önemli sayıda enzimin aktivitesini engelleyerek fotosentez üzerine olumsuz etkilerde bulunmaktadır.

AZOT OKSİTLERİN FOTOSENTEZ ÜZERİNE ETKİLERİ

Azot oksitlerde, şehir havası kirliliğini oluşturan belli başlı kirleticiler arasındadır. Büyük şehirlerde % 60'ı araçlardan olmak üzere atmosfere günde yüzlerce ton karışmaktadır. Genellikle ortalama konsantrasyonları $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ civarında olup en fazla $2000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 'e kadar yükselme gösterebilmektedirler. Normal konsantrasyonlarda bulunan azot oksitler bitki yapraklarında gözle görülür zararlanmalar meydana getirmez. Bununla beraber, birçok araştırıcı yonca, domates, greypfrut, limon ve tütün bitkilerinde hem büyüme, hem de verimin azaldığını belirtmişlerdir. Taylor (1978), NO ve NO₂'in büyüme ve fotosentez üzerine etkilerini incelemiş, büyümedeki azalmanın yüksek konsantrasyonlardaki kirlenme sırasında fotosentez olaylarının azalması ile ortaya çıktığını belirtmiştir. Araştırmacı ayrıca sürgün verme ya da yaprakların çıkışındaki azalmanın da toksik maddelerin yapraklarda birikmelerinden ileri geldiğini ortaya koymuştur.

Azot oksitler, HF ve SO₂ ile karşılaştırıldığında bitkiler tarafından nisbi olarak daha az absorbe edilmektedir. Azot dioksit daha fazla çözünür olması nedeniyle, azot monoksitten daha hızlı absorbe edilmektedir. Azot oksitler, gaz halindeki diğer kirleticiler gibi bitkilere stomalar aracılığı ile girmektedirler. Ancak ozon ve sülfürlerin tersine stomaların kapanması üzerine etkili olmamaktadırlar. Genellikle azot oksitler bu yolla fotosentez üzerine etkili değildirler. Gerçekten fotosentezin engellenmesi NO₂ tarafından havanın % 80 oranında kirlenmesi sonucunda söz ko-

nusu olmaktadır. Halbuki transpirasyonun engellenmesi, havanın % 10 oranında kirletilmesi sonucunda başlamaktadır.

De Cormis (1978), yonca ve yulaf bitkilerindeki fotosentez miktarı üzerine NO ve NO₂'in ayrı ayrı ya da birlikte etkilerini incelemiştir. Araştırmacı NO, NO₂ ve NO + NO₂ konsantrasyonları ile fotosentezin engellenme yüzdeleri arasında çok sıkı bir ilişkinin bulunduğunu belirtmiştir. Ancak 1400 µg/m³ konsantrasyondan daha düşük kirlenmelerde gözle görülebilir bir zararlanma meydana gelmemektedir.

NO ve NO₂'in fotosentez üzerine etkileri farklılık göstermektedir. Örneğin NO'nin etkisi NO₂'in etkisinden daha önce görülmektedir. Ancak NO kirlenmesine maruz kalmış bir bitki, NO₂ kirlenmesine maruz kalmış bir bitkiye oranla daha çabuk eski haline dönerek normal fotosentez yapmaktadır. Yapılan araştırmalar fotosentez olaylarının normale dönüşmesi için NO kirlenmesinde 1 saatin yeterli olması-na karşın NO₂ için en az 4 saat beklemek gerekmektedir.

OZON VE ÖTEKİ OKSİTLEYİCİ MADDELERİN FOTOSENTEZ ÜZERİNE ETKİLERİ

Ozon ve öteki oksitleyici maddeler, doymamış hidrokarbürler, azot oksitler ve SO₂ gibi kirleticilerin karışımı üzerine özellikle ultraviyole ışınların etkisi ile oluşan fotokimyasal kirleticilerdir. Bunlara çoğunlukla güneşin çok kuvvetli olduğu bölgelerde rastlanmaktadır. Havadaki ortalama konsantrasyonu yaklaşık 40 µg/m³ civarındadır.

Araştırmacılar çeşitli bitkilerde bu kirleticilerin meydana getirdikleri belirtileri incelemişlerdir. Belirtiler yoğun kirlenme sonucu damarlar arasında nekrozlu lekeler halinde ve kirleticilerin çeşidine göre de yaprağın alt ya da üst yüzeyinde ortaya çıkmaktadır.

Ozon ve öteki oksitleyici maddeler ile ilgili yapılan araştırmalar fotosentezin ve buna bağlı olarak da bitki büyümesinin azaldığını ortaya koymuştur. Bu azalmalar zararlanmaların gözle görülemediği durumlarda da söz konusudur. Zararlanmaların gözle görülebilmesi dokuların tahribi ile mümkündür. Birçok araştırmacı, nekrozların olmaması durumunda bile oksitleyici maddelerin etkisi altındaki bitkide büyümenin gerilediğini belirlemişlerdir. 0.03-0.22 ppm konsantrasyonundaki oksitleyici maddelerin etkisi altında 3-4 hafta bırakılmış tütün bitkisindeki büyüme oranında % 10 bir azalma olduğu belirlenmiştir.

Büyümedeki bu azalmalar, yaprak dokularında anatomik değişiklikler, solunumun artması, fotosentezin azalması, klorofil miktarının azalması ve hücre zarları geçirgenliğinin artması sonucu meydana gelmektedir.

SONUÇ

Günümüzde hava kirliliği, insanlık tarafından üzerinde dikkatle durulan ve tartışılan konuların başında gelmektedir. Gerekli önlemlerin zamanında alınmaması durumunda doğa önceki durumuna dönüşemez şekilde tahrip olacaktır.

Bir ülkenin endüstrileşmesi ne kadar önemli ise bitkilerin varlığı da insan yaşamında o derece önemlidir. Doğayı koruma ön yargısı ile endüstriyel gelişmeyi sınırlamak ya da yasaklamak akılcı bir yol değildir. O halde bu iki konunun uzlaştır-

labilmesi için gerekli önlemlerin alınması zorunludur. Gerekli önlemler alındığında endüstri alanlarında bile çok iyi sonuçlar alındığı ortaya konulmuştur. Ancak alınan bu önlemlere rağmen hava kirliliğini tamamen ortadan kaldırmak mümkün değildir. O halde araştırmaların hava kirliliğine daha dayanıklı bitki çeşitlerinin bulunması ya da duyarlı bitki çeşitlerinin yerine daha dayanıklı çeşitlerin adaptasyonu yönüne kaydırılması son derece yararlı olacaktır.

KAYNAKLAR

- BONTE, J., 1975. Interrelations entre la pollution par le dioxyde de soufre et le mouvement des stomates chez le Pelargonium. These de doctorat d'Universite, Paris VI. pp. 100.
- DE CORMIS, L., 1978. Pollution de l'air et photosynthèse. En photosynthèse et production végétale, ouvrage collectif présenté par C. Costes. Bordas, Paris.
- HILL, A.C., 1971. Vegetation: a sink for atmospheric pollutants. *J. Air. Pollution Control Assoc. (JAPCA)*, 21 (6), 341-346.
- LIBERA, W., ZIEGLER, H., et ZIEGLER, I., 1974. Action of sulfite on fixation pattern of spinach chloroplasts. *Zeitschr. f. pflanzenphysiol.*
- TAYLOR, G.E., Jr., 1978. Plant and leaf resistance to gaseous air pollution stress. *New Phytol.*, 80, 523-534.
- ZIEGLER, I., 1975. The effect of SO₂ pollution on plant metabolism. Springer-Verlag New York Inc.