

GÖRÜNMEYEN TEHLİKE: ASİT YAĞIŞLARI

THE INVISIBLE THREAT: ACID RAIN

Dr. Oya Özdemir*

*Ankara Üniversitesi Tıp Fakültesi Halk Sağlığı Anabilim Dalı, Uz. Dr.

Sağlık ve Toplum Dergisi, Yıl: (15) 2005, Sayı:1

Özet

Asit yağışları görülemeyen, en önemli küresel kirlilik problemlerden birisidir. Asidik depozitlerin kolaylıkla ilerleyebilmesi, problemi küresel hale getirmiştir. Ormanların, bitkilerin, alglerin, su bitkilerinin ölümü, toprağın canlılığı ile tarihi ve kültürel varlıkların yavaş yavaş yok oluşu, tarım alanlarının verimsizleşerek çölleşmesi gibi olumsuz sonuçları mevcuttur. Aynı zamanda insan sağlığını da olumsuz etkilemekte ve hem ekosistemlere olan zararlı etkilerinin giderilmesi ve hem de sağlık maliyetleri yönünden ekonomik boyutları önemli düzeydedir. Günümüzde hızla ilerleyen teknolojiyle asit yağışlarını kısıtlayacak çeşitli yöntemler mevcuttur. Bu makalede, asit yağışlarının nedenleri, çözüm yolları, bu yağışların dünyada ve Türkiye'deki durumu değerlendirilmiştir.

Anahtar sözcükler: asit yağışları, küresel kirlilik, asidik depozisyon,

Summary

Acid rain is one of the global pollution problems which is an invisible threat. It has become an international or transboundary problem because of the asidic depositions can run easily. It has also negatively results to forests, soils, fresh water, buildings. Acid rain also effects to human health negatively and has a great economic size, because of the human health costs and repairing to ecosystem's destruction. There are many way for limit to acid rain. In this paper, reasons of acid rain, ways of solutions, the status of world and Turkey were assesed.

Key words: acid rain, global pollution, acidic deposition

I.Giriş

Asit yağışları, geçmişte sadece sınırlı bölgelerin sorunu olarak insanların sağlığını tehdit eder gibi görünürken, günümüzde geniş alanlardaki binaları, ekosistemleri ve hatta kamu sağlığını tehdit eden bir sorun olarak karşımıza çıkmaktadır. Asit yağışlarından sorumlu olan birincil kirleticiler, atmosferde kükürt ve azot dioksitler, sülfürik ve nitrik asitler gibi ikincil kirleticilere dönüşmektedir. Bunlar, çoğunlukla atmosfere atıldıkları kaynaklarından yüzlerce veya binlerce kilometre uzaktaki bölgelere kuru zerrecik veya yağmur, kar, don, sis ve çığ olarak inmektedir. Bunların sosyoekonomik maliyeti konusunda çok az çalışma vardır, fakat zararın büyük olduğu ve giderek hızla arttığı gözlenmektedir. Bu etkiler, bitkilere zarar vermekte, toprak ve su kirliliğini artırmakta, binaları çürütmekte, metalik yapıları ve taşıt araçlarını paslandırmakta, her yıl milyonlarca dolarlık zararlara yol açmaktadır (1-13). Bunun sonucu olarak, ülkelerin ekolojik yönden birbirlerine ne derece bağımlı oldukları da, asit yağışları konusu dolayısıyla çok açık biçimde görülmektedir (4).

17. yüzyılda bilim adamları, endüstri ve asidik kirlenmenin, beslenme ve insan sağlığı üzerine etkili olduğunu belirtmişlerdir. Fakat asit yağışı terimi, yaklaşık iki yüzyıl sonra, 1872'de Manchester'de çalışan bir bilim adamı olan Robert Angus Smith'in "Asit Yağışları" adlı kitabı yayınlandığında ilk kez kullanılmıştır. Asit yağışları yeni bir problem değildir, ancak süreç içinde problemin yapısı değişmektedir. Smith'in zamanında asit yağışları şehirler-kasabalarla sınırlı iken, artık uluslararası bir problem haline dönüşmüştür. Kirleticiler atmosfere atıldıkları kaynaklarından yüzlerce kilometre ilerleyebilmektedir (3,10,13).

1970 ve 80'lerde İskandinav ülkeleri, ağaçlar ve tatlı sularındaki asit depozisyonunun etkilerini, ve bu etkilerin nedeni olan kirleticilerin çoğunun, diğer daha kirli ülkelere taşındığını bildirmişlerdir. 1970'li yıllarda ise balık popülasyonlarında, göllerde ve ağaçlarda asit yağışlarının etkileri ve sınır ötesi taşınım nedenlerini tanımlama yönünde uluslararası çabalar göze çarpmaktadır. Asit yağışları, 1980'lerde medyanın da öncelikle ilgilendiği bir konu haline gelmesiyle, Avrupa ile Kuzey Amerika'da bu alanda pek çok araştırma yapılmıştır. 1980 ve 1990'larda uluslararası yasal düzenlemelerle emisyonlarda azalmalar sağlanmakla birlikte, medyanın dikkatinin küresel ısınma gibi diğer çevre sağlığı sorunlarına kaymasına rağmen, asit yağışları 21. yüzyılın başlarında da bir problem olmayı sürdürmektedir (10).

II.Tanım

“Asit yağışı” terimi, yağmur, kar, sis-bulut, çığ veya kuru partiküllerde asidik komponentlerin depolanması anlamında kullanılır. Asit yağışları, “*asit presipitasyonu*” ve “*asit depozisyonu*” gibi terimlerle de ifade edilmektedir, dolayısıyla üç terminoloji de aynı konuyla ilişkilidir (8-14). Asit depozisyonunun *kuru ve yaş* olmak üzere iki tipi vardır. *Kuru depozisyon*, asidik gaz ve partikülleri ifade eder. Atmosferdeki asiditenin yaklaşık yarısı kuru depozisyon olarak yeryüzüne geri döner. Rüzgar bu asidik partikül ve gazları binalar, arabalar, evler, ormanlar ve toprağa taşır. Yaş depozisyon ise, yağmur, kar ve çığı ifade eder. Asidik su yeryüzüne yağarken, aynı zamanda çeşitli ekosistemleri de etkiler (10,11,13).

Karbon dioksit içermeyen distile suyun pH'ı 7'dir. 7'den daha az pH'a sahip olan sıvılar asidiktir, büyük olanlar alkalidir. “Temiz” veya kirlenmemiş yağmur 5.6-5.7'lik pH ile hafifçe asidiktir, çünkü havadaki karbondioksit ve su birlikte reaksiyona girerek, zayıf bir asit olan karbonik asiti oluştururlar (1,3,8-9,14). Saf yağmurun asiditesi pH 5.6-5.7 iken; yağışlarda bulunan fazla asidite, birincil kirlenici olan sülfür ve nitrojen oksitlerin, havadaki suyla reaksiyonu sonucu oluşan ikincil kirleniciler nedeni ile meydana gelir (1,8,9,12). Yağışların asiditesinin değerini ve dağılımını bulmak için, hava durumları izlenir ve yağmur örnekleri toplanır ve pH'ı ölçülür (8). Son dekatlarda Kuzey Amerika ve Avrupadaki endüstriyel alanlarda yağışların pH'ının 4.5'e, hatta limon suyuyla eşit olarak 2.1'e düştüğü, en son olarak da 2000 yılında ABD'ye düşen en asidik yağışın pH'ının 4.3 olarak tespit edildiği bildirilmiştir (11,14).

Atmosfer kirlenicilerinin kaynağı, doğal ve yapay olarak ele alınmaktadır. *Doğal kaynaklar*; volkanlar, okyanuslar, biyolojik çürüme, orman yangınları gibi durumları içerir. *Yapay kaynaklar* ise, hammaddelerin insan kullanımına sunulması için geçen süreç içinde oluşan kaynaklardır. Fosil yakıtların yakılması, petrokimya endüstrisi, demir-çelik endüstrisi, gübre endüstrisi, maden eritimi, kağıt hamurunun kağıda dönüşümü, atıkların yakılması gibi, herhangi bir üretim sürecinde oluşan kirlenicileri bacalar yoluyla atmosfere atan kaynakları içeren “*sabit kaynaklar*” ile ulaşımda kullanılan taşıtların egzoz emisyonlarından oluşan kaynakları içeren “*hareketli kaynaklar*” olarak ele alınmaktadır (1-4,9,15,16).

Kaynaklardan yayılan kirlenicilerin hangi miktarlarının, herhangi bir alıcı ortamda, hangi boyutta bir kirlilik oluşturacağı bazı faktörlere bağlıdır. Bunlar kabaca, kirlenici yayan bacanın yapısı ve yüksekliği, kullanılan yakıtın niteliği ve niceliği, rüzgar hızı, söz konusu bölgenin jeolojik, topografik yapısı ve meteorolojik koşullar olarak sıralanabilir (2).

Asit yağışlarının primer nedenleri sülfür dioksit ve nitrojen oksitlerdir. *Sülfür dioksit (SO₂)*; renksizdir, suda çözünür ve havadan gelen su damlacaklarıyla okside olabilir, yağışlardaki asiditenin çoğunluğundan sorumludur. Atmosferde sülfür dioksit su buharıyla

birleşir ve sülfürik asit (H_2SO_4) oluşur. Bu, yağmur ve kar içinde yer alabileceği gibi, H_2SO_4 içeren partiküller kuru hava dışında yerleşir. Böylece, asit yağışı problemi ıslak olduğu kadar kuru havada da birikebilmektedir (10,12,14). Termik santraller; demir-çelik, çinko, nikel ve bakır cevheri işleyen fabrikalardan, petrokimya-gübre endüstrilerinden, fosil yakıtlardan enerji elde eden tüm sanayi tesislerinden, fosil yakıtlarla yapılan ısıtmadan atmosfere bol miktarda SO_2 atılmaktadır (1,3,10,12,13). Yıllık atılan SO_2 miktarı dünyanın kükürt çevrim kapasitesini aşmış ve atmosferde birikerek olağan konsantrasyonlarının çok üzerine çıkmıştır. Atmosferde biriken SO_2 , havanın suyu ile birleşerek sülfürik asit/ H_2SO_4 haline dönüşmekte ve tekrar yeryüzüne dönmektedir (1,12). Tüm SO_2 emisyonunun yaklaşık %10'u volkanlar, okyanuslar, plankton ve bitki çürümesi gibi doğal olaylardan; %69.4'ü endüstriden, %3.7'si ise ulaşımdan kaynaklanmaktadır (10,12,13). *Nitrojen oksitler (NO_x)*; nitrojenin oksitlerinin iki örneğini ifade etmede kullanılan kolektif bir terimdir. Birincisi, nitrik oksit (NO) ve diğeri de nitrojen dioksittir (NO_2). Nitrik oksit renksiz, hafif kokulu, yanabilen bir gazdır. Toksik olmasına rağmen kokusu uyardırma yetersizdir. Nitrojen dioksit kırmızımsı kahverengi renkte, yanıcı olmayan ve tespit edilebilen bir kokuya sahip bir gazdır. Önemli konsantrasyonlarda oldukça toksiktir, gecikmiş bir etki olarak ciddi akciğer hasarına neden olabilir. Nitrojen dioksit, organik nitrat kadar toksik olan nitrik asit biçimine dönüşmek için, havada reaksiyona giren güçlü bir ajandır. Aynı zamanda, yeryüzü seviyesinde ozon ve duman üreten atmosferik reaksiyonlarda da önemli rol oynar (10,14). Nitrojen oksitler, tesisler ve taşıtlar gibi çok yüksek sıcaklıklarda yakma işlemleri bulunan prosesler ile kimyasal endüstrilerin ürünleri tarafından oluşturulur. Topraktaki bakteriyel hareketler, orman yangınları ve volkanlar tüm NO_x 'in yaklaşık %5'ini oluşturmakta iken; ulaşım araçları %43 ve endüstriyel yakma prosesi %32 oranında sorumludur (3,10,12).

Herhangi bir hasar oluşmaksızın, ekosistemlerin üstesinden gelebileceği maksimum kirlilik miktarı “çevrim kapasitesi-kritik yük” olarak adlandırılır. Hedef yük ise; politik kabul tarafından belirlenen izin verilen kirlilik yüküdür. Yani hedef yük, kritik yük değerinden yüksek veya düşük olabilir. Örneğin, güvenli bir sınır sağlamak için hedef yük düşük olabilir, ama ekonomik nedenlerden dolayı da yüksek olabilir (10).

III.Asit yağışlarının ekosistemler ve insan sağlığı üzerine etkileri

Birincil kirleticilerin artmasıyla atmosferde miktarı artan sülfürik ve nitrik asitler, atmosfer olayları aracılığıyla bir yerden bir başka yere kolaylıkla taşınabilirler. Böylece, kirletici hava, karıştığı yerin çok ötelinde de asit yağışları olarak yeryüzüne inmekte, toprağa, suya, bitki örtüsüne, hatta eşyalara yıkıcı ve uzun süreli nitelikte zarar verebilmektedir (2,3). Ekosistemlerin değişmez kuralı olan “karşılıklı etkileşim” gereğince;

ekosistemlerdeki kimyasal maddelerin uğrayacakları değişim ile, o ekosistemde ne cins canlıların yaşayabileceği belirlenmekte ve dolayısıyla tüm canlı türleri değişik biçimlerde etkilenmektedirler (4).

A. Topraklar

Toprak karaya dayalı yaşam için vazgeçilmezdir. Kalsiyum ve kireç taşı içeren topraklar, granit bazlı kum veya çakıla göre, sülfirik ve nitrik asidi daha fazla nötralize edebilir. Bu nedenle, bazı alanlar ve havzalar aside duyarlı (zayıf tamponlu) olarak adlandırılır, bu tür toprakların pH'ı hızla değişmektedir ve asit yağışları nedeniyle ciddi ekolojik zarara uğramaktadırlar (10,12).

Asit yağışlarının bir sonucu olarak bazı duyarlı toprakların kimyasında uzun vadede değişiklikler oluşur. Asit yağışları toprak içine girdiklerinde, Ca, K ve Mg gibi vital bitkilerin büyümeleri için gerekli olan maddeleri kimyasal reaksiyonlarla yağmalar ve gelecekteki orman üretkenliği için potansiyel bir tehlike oluştururlar. Dahası, organik materyallerin çürüyerek besin haline gelmesinde önemli rolleri olan pek çok mikroorganizma da azalır (9,10,13). Normal koşullar altında toprağa bağlı olan ancak asitlerin çözücü özelliklerinin etkisiyle toprak partiküllerinin kırılması yoluyla alüminyum, kadmiyum ve cıva gibi zehirleyici metaller topraktan süzülürler, (9,10,12).

B. Su yaşamı

Asit yağışları su ekosistemlerini de etkiler. Göl ve nehirlerin çoğunun sudaki pH'ı 6-8 arasındadır. Tatlı su çevresinin doğal kirliliği, Son buzul çağından beri bazı göllerin pH'ının, asit yağışlarının etkileri olmaksızın doğal olarak asidik olmasına rağmen; dünya çapında pek çok gölün hızla asitleşmesi doğal değildir, bu asidik kirlenmenin bir sonucudur (10,12). 1970'lerde asit yağışı nedeni ile cıva, alüminyum ve kadmiyum gibi ağır toksik metallerin yüksek konsantrasyonlarda asidik göllerde toplandığı ve su canlılarının sayısı ile biyoçeşitliliğinin azaldığı görülmüştür (3,9,13,14).

Asit yağışlarının su yaşamına dahil oluşu ile ilgili birkaç yol vardır. Presipitasyon biçiminde direk olarak girebilirler, kanalizasyon sistemleri yoluyla drene edilebilir ya da daha sık görülen şekliyle bir havza yoluyla su yatağına girebilirler (10,12). Diğer bir yol ise, bahar asit şokudur. Asidik kar baharda eridiği zaman, kardaki asitler toprak ve göl içine girer. Pek çok organizma için doğurganlık çağı olduğundan bahar önemli bir dönemdir. Ani pH değişimi tehlikelidir, çünkü asit, genç ve yumurta halindeki pek çok su canlısında ciddi deformitelere neden olabilir (12,13). Eğer havza toprağı alkaliden zenginse asit yağışları nötralize edilebilir, fakat eğer havza ince ve alkaliden fakir ise zamanla asidikleşir. Granit ve çürümüş bazlı

toprak gibi asidik bir jeolojisi olan alanlar su asidifikasyonu yönünden en hassas alanlardır. Asidikleşen göl, organik çürümelerin de başlaması nedeniyle açık bir mavi gibi görünür (10).

Asit yağışları; göller, dereler, nehirler, küçük körfezler, havuzlar ve diğer su oluşumlarının asiditesini artırarak; balık ve diğer su canlılarının uzun süre yaşayamayacakları biçimde etkilerler. Su bitkileri en iyi pH 7.0 ve 9.2 arasında yetişir. Asidite arttığında, su içindeki bitkiler azalır ve su kuşları temel yiyecek kaynaklarından yoksun kalır. pH 6'da, taze su karidesi yaşayamaz. pH 5.5'te, tepede yaşayan bakteriyel ayrıştırıcılar ölmeye başlar ve yaklaşık pH 4.5'in altında tüm balıklar ölür (9,17). Ayrıca, asidik moleküller, balığın oksijeni iyi absorbe edememesine neden olabilecek şekilde solungaçlarında mukusa yol açabilir. Aynı zamanda, düşük bir pH seviyesi, balığın dokularındaki tuz dengesini de bozacaktır. Bu, üremelerinde probleme neden olur, yumurtaları çok kırılabilir ve zayıftır. Kalsiyum eksikliği kemiklerinde deformite ve omurgalarında zayıflığa neden olabilir (9,12,17).

C.Ormanlar ve bitki örtüsü

Bilim adamları uzun yıllar, hiçbir neden olmaksızın bazı ormanların çok yavaş büyüme olduğunu belirtmişlerdir. Ağaçlar önceden olduğu kadar hızlı büyümüyorlardı. Yapraklar ve çamların iğneleri kahverengiye dönüşmüştü ve yeşil olmalarının beklendiği anda da dökülmekteydi (12). Nihayet, ormanların kimyası ve biyolojisi ile ilgili bilgilerin toplanması ve yazılmasından sonra, araştırmacılar bu durumun asit yağışlarının sonucu olduğunu fark ettiler (13). Ağaç yapraklarının renginin sarılaşması ve büyümelerinin yavaşlaması, hava kirliliği nedeniyle ağaçların başının belada olmasının ilk belirtisidir (9,10,12).

Asit yağışları genellikle ormanları hemen ve direkt öldürmez. Onlar daha çok, yapraklarına zarar vererek, kendileri için gerekli besinleri sınırlayarak ya da topraktan yavaşça salınan toksik maddelerle zehirleyerek zarar verirler (10,12).

Yapraklar asitlerle sıkça yıkanır, koruyucu örtüler zarar görebilir, örtü kaybı ise yaprağın yapısının bozulmasına neden olarak, kahverengi noktalar ortaya çıkarır. Fotosentez yapan yapraklar hasarlandığında, yeterli yiyecek enerjisi üretilmez. Ağaçlar bir kez zayıfladığında, muhtemelen kendilerini öldürecek olan hastalık veya böceklerle ve soğuk havaya daha duyarlı hale gelirler (10,17). Asit yağışları olduğunda, asidik su toprakta mineralizasyona neden olmaktadır. Ca, K ve Mg gibi mineraller, ağaçlar ve diğer bitkiler tarafından büyümeleri için kullanılmadan uzaklara yıkanmaktadır. Bu minerallerin azalması da, bitki büyüme hızlarında azalmaya neden olur (3,9,12,13). Asidik su sadece besinleri bitkilerden uzaklaştırılmaz, aynı zamanda kurşun, çinko, bakır, krom ve alüminyum gibi toksik maddelerin asidifiye olmuş toprakta daha mobil hale gelmesine yardım ederek bitki ve ağaç

köklerine zarar verir ve Mg, K gibi diğer minerallerin bitkiler tarafından kullanılması ile de etkileşir. Asit yağışları, bu metalleri salar ve ağaçlarla diğer bitkilerin ve aynı zamanda ormanların büyümesi için gerekli olan yosunların, alglerin, nitrojen fixe bakterilerin ve mantarların büyümesini önler (3,9,10,12,13,17).

D. İnsan yapımı ürünlere etkileri

Asit yağışları, sadece doğal ekosistemlere değil, aynı zamanda insan yapımı materyal ve yapılara da zarar verir. Kirlenmemiş yağışlara maruz kalındığında insan yapımı ürünler yavaşça deforme olurlar, fakat asit yağışları bu süreci hızlandırır.

Asit yağışları nedeniyle; yer altındaki kurşun ve bakır boruları, kabloları ve asit su içindeki temellerde yapısal hasar oluşabilir, yüzeydeki bina, köprü ve arabalar hasarlanabilir, heykel ve taşlardaki oymalar, anıtlar özelliklerini kaybedebilir (3,9,10,12,13).

Asit depozisyonu pek çok materyali değişik derecelerde etkiler. Kireçtaşı, mermer ve kumtaşı hassasken; granit bazlı taşlar, paslanmaz çelik ve alüminyum asidik bileşiklere daha dirençlidir. Duyarlı materyaller ise, karbon-çelik, nikel, çinko, bakır, boya, seramikler, bazı plastikler, kağıt, deri, kauçuk ve kumaşlardır. Asidik su, kireçtaşında kalsiyum fosfat oluşturmak üzere kalsiyumla reaksiyona girerken; demire ilave bir proton verip ona pozitif şarj yükleyerek etkileşir (12). Bu konuda yapılmış olan çeşitli araştırma sonuçlarına göre, nitrojen oksit sülfür dioksitle birlikte bulunduğu, insan ürünlerinin bozulma hızı artmaktadır. Ayrıca, tarihi binalar yapıları nedeni ile modern binalara göre asit yağışlarına daha duyarlıdırlar (10).

E. İnsan sağlığına etkileri

SO₂'nin yüksek konsantrasyonları ile ilişkili olarak meydana gelen insan sağlığı sorunları, daha çok solunum sistemi üzerinedir, ayrıca mevcut kardiyovasküler hastalıkların agregasyonuna neden olur (6,10). Sülfür dioksit ve nitrojen oksit emisyonu kuru öksürük, astım, başağrısı, göz-burun ve boğaz irritasyonu gibi problemler için risk yaratır. Kirli yağışlar, özellikle astımı veya solunum güçlüğü olanlara zararlıdır. Fakat sağlıklı insanlar da asit hava kirleticileri tarafından akciğer hasarına uğrayabilirler. (12,13).

Cıva ve alüminyum gibi toksik metaller, toprağın asidifikasyonu ile çevreye yayılabilir. Asit yağışı atmosfer ya da toprak aracılığıyla besinleri etkileyerek de insan sağlığına zarar verir. Alüminyum, cıva ve kurşun gibi toksik metaller insan sağlığı için zararlıdır; yüksek kurşun seviyeleri kirlenmiş içme suyu kaynaklarını kullanan ve zehirli balıklardaki cıvayı yiyen insanlarda ciddi sağlık problemlerine neden olur; alüminyumun da Alzheimer hastalığı ile ilişkili olduğu düşünülmektedir. Aynı zamanda, içme suyu, balıklar ve ekinlerin kontaminasyonu, veya toksik metallerin hayvanlar tarafından da absorbe edilme

riski de vardır. Bu tür yiyecek ve içeceklerin tüketilmesi çocuklarda sinir hasarına, ciddi beyin hasarı veya ölüme yol açabilir (9,12,13,16).

IV.Asit yağışlarını önleme yöntemleri

Toplumsal düzeyden bireysel aktivitelere kadar asit depozisyonunun azaltılmasında alınabilecek önlemler vardır.

A.Asit yağışlarının nedenini ve etkilerini anlama

Küresel boyut kazanmış olan asit yağışları probleminin çözümünde, asit yağışlarının çevreye nasıl zarar verdiğinin ve probleme neden olan kirleticilerin kaynaklarında ne gibi değişiklikler yapılabileceğinin anlaşılması en önemli basamaktır. Bu soruların yanıtları karar vericilere, asit yağışlarını nasıl azaltacakları ve kontrol altına alacaklarını belirlemede yardımcı olacaktır (11).

B.Tesis kaynaklı emisyonların azaltılması

Asit yağışları probleminin çözümünde bir diğer yöntem, kirleticilerin kaynaklarından atmosfere çıkışını sınırlamaktır. Bu amaçla, endüstride kullanılacak uygun teknolojiler vardır ve bunlar yanma öncesi, yanma sırasında ve sonrasında uygulanabilirler ya da düşük nitrojen oksit içeren yakıt kullanılabilir (10,13).

C.Taşıt kaynaklı emisyonların azaltılması

Endüstrileşmiş ülkelerde 1970'lerden beri yollardaki araç sayıları giderek artmıştır. Trafikteki bu büyük artışla, kirletici emisyonları minimumda tutmak artan bir önem kazanmıştır. Bunun için, emisyon kontrol teknolojilerinin kullanımı gibi pek çok yol vardır (10).

Nitrojen oksit azaltılması, daha zor bir problemdir, çünkü asidik kirliliğin bu tipinin ana sorumlusu taşıtların egzozudur. Bu kaynaklardan gelen emisyonlar özel olarak tasarlanan katalitik konverter ile düzenlenerek kontrol edilebilir (12,13). Bu yöntem, araç performansı ve yakıt tüketimini oldukça az miktarda etkileyen görece daha düşük maliyetli bir yöntemdir. Avrupa Birliğine üye ülkelerde, Ocak 1993'ten beri satılan yeni arabalar katalitik konverterlidir. Yine, egzoz çıkışı kısıtlamaları, denetimleri de önemlidir. Daha küçük, daha hafif taşıtlar daha az yakıt kullanır ve daha az kirletici üretir. Yapımda daha hafif malzemeler kullanan teknolojik gelişim emisyonları azaltabilir (10,11).

D.Kireçleme

Asidifiye olmuş olan göllerin pH'ı, kireçleme yöntemiyle artırılabilir. Suyu oldukça fazla miktarlarda hidrate kireç, sönmemiş kireç veya soda (sodyum bikarbonat) eklenerek

pH'ı artırılabilir. Bu yöntemi uygulayan bazı alanlarda başarılı sonuçlar alındığı bildirilmektedir. Batı Galler'de bu yöntemin uygulanmasıyla, bazı göllerin pH'ı 5.5'ten 7'ye çıkmış ve burada kahverengi alabalıklar bir kez daha yaşama şansını yakalamışlardır. Ancak bu yöntem, işlem sonrası, gölün yine hızla asidifiye olması riskinin yüksek olduğu bölgelerde ve maliyet yönünden gölün büyük boyutta olması gibi durumlar için uygun olmayabilir (10,13).

Bu yöntem, Norveç ve İsveç'te de yoğun bir şekilde kullanılmaktadır, fakat ABD'de çok sık başvurulan bir yöntem değildir. Kireçleme pahalıdır, suyun pH'ının istenen düzeyde kalmasının sağlanması için tekrar tekrar yapılmalıdır ve kirliliği azaltma ya da önleme çabasından ziyade, sadece spesifik alanlarda kısa süreli bir çare olarak düşünülmektedir. Dahası, toprağın kimyası, su yaşamı, orman sağlığı gibi olumsuz değişiklikleri çözemez ve, materyallerin hasarı ve insan sağlığı riskinin azaltılmasının yolu bu değildir. Yine de, kireçleme ile, bölgede asit emisyonları azaltılana ya da yok edilene kadar doğal popülasyonun yerlerinde kalmaları sağlanmış olur (11).

E. Alternatif enerji kaynaklarının kullanımı

Tesisler için fosil yakıtların alternatifi olarak; nükleer, su, rüzgar, jeotermal ve solar enerji tipleri mevcuttur. Benzer şekilde taşıtlar için de doğal gaz, benzin ve pil gibi güç kaynakları kullanımı mümkün olabilir. Ancak bu kaynakların çevreye sağlayacakları yarar kadar, oldukça önemli derecede maliyetleri de vardır. Fakat teknolojiye ilerlemeler ve çevre düzenlemeleri bu durumu gelecekte değiştirebilir (11,12).

F. Bireysel çabalar

Tek bir kişinin kendi başına asit depozisyonunu önleyemeyeceği düşünülebilir, ancak pek çok çevre problemi gibi asit yağışları da büyük oranda, tek tek insanların oluşturduğu ve milyonların kümülatif eylemleriyle meydana gelmektedir. Her bir birey bu problemin çözümü için, kendisinin probleme katkısını azaltabilir ve çözümün bir parçası olabilir (11).

Asit depozisyonu probleminin en geniş kısmını enerji üretimi oluşturduğu için, bireyler tüketici olarak enerji tasarrufu yapabilirler. Örneğin; kullanılmadığı zamanlarda ışıklar, bilgisayarlar ve diğer elektrikli cihazlar kapatılabilir, sadece ihtiyacı karşılama ölçüsünde açık tutulabilir; aydınlatmada, havalandırmada, ısıtıcılarda, buzdolabı ve çamaşır makineleri gibi cihazla seçerken, enerjiyi randımanlı kullanan cihazlar tercih edilebilir; kışın 20 C⁰ ve yazın 22 C⁰ sıcaklığın korunması yeterli olabilir, evde olunmadığı zamanlarda da bu sıcaklıklar kışın daha düşük ve yazın daha yüksek tutulabilir; toplu taşıma araçları kullanmak, hatta yürümek veya bisiklete binmek tercih edilebilir; düşük NO_x emisyonlu taşıtlar tercih edilebilir; iyi bilgilenecek ve bilgilendirmek de çok önemlidir (11,12).

V.Asit yağışlarının ekonomik boyutu

Asit yağışları bazı insanların ekonomik yaşamlarını da etkiler. Örneğin, Kuzey Amerika'nın doğusundaki pek çok nehir ve göl oldukça asidiktir ve balık sayıları önemli derecede azalmıştır. Azalmış balık sayısı, ticari balıkçıları ve balık tutma turizmi ile ilişkili sektörleri etkiler. Ormancılık ve tarım, bitkilerin hasarlanması nedeniyle etkilenir (13).

1986 yılında Almanya'da, asit yağmurları nedeniyle yıllık 48 milyar DM ekonomik kayıp hesaplanmıştır (1). Asit yağmuru hasarı, ABD'nin doğusunda yıllık 13.000 milyon dolar; orman hasarında yıllık 1.750 milyon dolar; yalnızca 2000 yılı için Ohio nehrinde 8.300 milyon dolar ürün hasarı; ve Minnesota'da 40 milyon dolar sağlık maliyeti olduğu bildirilmiştir. Pek çok insana göre problemin çözülmesinde tek maliyet-etkili yöntem, emisyonların kaynağından çıkışının azaltılmasıdır (9). ABD'nin doğusunda yer alan 17 eyalette yalnız madde paslanması yıllık zararının 7 milyar dolarlık bir maliyete ulaştığı tahmin edilmektedir (5).

Avrupa Birliği ülkelerinde, 1980 ile 2000 yılları arasında kükürt emisyonlarını %55-65 azaltmanın yılda 4.6 milyar ile 6.7 milyar dolar; 2000 yılına kadar azot düzeylerini yılda yalnızca %10 düşürmek için sabit kazanlarda uygulanacak kontrollerin 100.000 dolar ile 400.000 dolar maliyet getirdiği belirtilmektedir. Bu rakamlar, elektriğin tüketiciye ulaşma fiyatında bir defalık yaklaşık %6'lık bir artış anlamına gelmektedir. Yapılan çalışmalara göre, yalnızca madde kaybı ve balık kaybı nedeniyle zarar maliyeti yılda 3 milyar dolar olmakta, tarım ürünlerine, ormanlara ve sağlığa verilen zarar ise yılda 10 milyar dolar olarak hesaplanmaktadır (5). Bina ve anıtların onarımı çok pahalıdır. İngiltere'de 10 milyon pound civarında bir harcama ile asit yağışı hasarları onarılmıştır. 1990'da ABD, boya hasarına 35 milyar dolar, 1985'te Almanlar bir katedral onarımı için 20 milyon dolar, Romenler anıtları için 200 milyon dolar harcamıştır. Hindistan'da Taç Mahal, Roma'da kolezyumun yanı sıra, Polonya, İsveç gibi diğer ülkeler de kültürel eserlerinin yıpranma hızlarının arttığını bildirmişlerdir. (10,12).

VI.Dünyada durum

Asit yağışları konusunun uluslararası ortama ilk taşınışı 1972 Stockholm Birinci Dünya Çevre Kongresi dolayısıyladır. Bu kongrede İskandinav ülkeleri, göllerinin başka ülkelerden gelen asit yağmuru yüzünden ölmekte olduğunu açıklayarak uluslararası önlemler alınması gerektiğini önermişlerdir. Ancak bu öneriyi ciddiye almayan ve asit emisyonlarının nedeni olan Almanya ve İngiltere gibi ülkeler, kendilerinin de etkilenmeye başladığını görünce, paylaşılan doğanın bir bütün olduğu gerçeğini anlamışlardır. "Doğada hiçbir şey yok olmuyor" diye ifade edilen beşinci ekoloji kuralı gereğince; bacadan havaya karışan

kükürtdioksit, sonuçta sülfirik asit halinde yere inerek tüm ormanları ve gölleri etkilemekteydi. Üstelik, bacalar giderek uzayıp gökyüzüne doğru uzandıkça, herkes kendi ürettiği kükürtdioksiti rüzgar yönündeki komşusuna ihraç etmekteydi. Ancak bu kez de öbür taraftaki komşusundan gelen hava kirliliğine karşı çaresiz kalmaktaydı (4). Orta Avrupa halen yılda metrekaşe başına bir gramdan fazla kükürt almaktadır ki, bu da doğal düzeyin en az beş katına karşılık gelmektedir (5). Ancak 1982'de, İsveçlilerin önerdiği önlemleri önemsemeyen Almanlar, kendi ormanlarının ölmeye başladığını görünce önlem almaya başladılar, ancak geç kalınmıştı. 1982'de ormanlık alanların %8'i etkilenmişken, bu oran 1983'te %34'e ve 1986'da ise %52'ye yükseldiği bildirilmiştir (4,5).

80'li yıllar boyunca, çoğu gelişmekte olan ülkelerde yaşayan, tahminen 1.3 milyar insan, Dünya Sağlık Örgütü'nün (DSÖ) koyduğu sınırlardan çok daha yüksek ölçülere maruz kalmıştır. Eğer bu düzeyler DSÖ'nün önerdiği düzeylere indirilebilmiş olsaydı, her yıl 300.000 ile 700.000 arasında görülen zamansız ölümden kaçınılmış olunurdu (18).

Asit yağmurunun etkileri ABD, Almanya, Çekoslovakya, Hollanda, Avusturalya, Yugoslavya'nın bazı kısımlarından bildirilmiştir. Bu aynı zamanda Japonya, Çin ve Asyanın güneyinde de problem haline gelmeye başlamıştır. Çin şehirlerinde 4.5 ve altında pH'a sahip yağmur bildirilmiştir (9). Japon laboratuvar çalışma sonuçlarına göre, hava kirliliği ve asit yağmuru, buğday ve pirinç ürününde %30'a varan azalmaya yol açabilecektir. Yerel kirlilik ve asitleşme, Japonya'da olduğu kadar Asya, Afrika ve Latin Amerika'nın yeni sanayileşmekte olan ülkelerinde de kendini göstermeye başlamıştır (4). Çin ve Güney Kore özellikle duyarlı durumda gözükmekte, Hindistan, Endonezya, Pakistan, Brezilya, Kolombiya, Ekvator ve Venezuela da aynı belirtileri sergilemektedir (5,18).

Son yıllarda asit kirleticilerin azaltılması konusunda uluslararası girişimlerin hız kazanmasıyla birlikte; ABD'nin güçlü kömür lobilerinin olması ve İngiltere'de rüzgarın geldiği tarafın deniz olması nedeni ile kirlilik ithali ihtimalinin zayıf olması gibi nedenlerle bu ülkelerin direnmesinin, uluslararası çabaları baltaladığı düşünülmektedir (4).

VII.Türkiye'de durum

Türkiye'de, Avrupa ölçülerinde bir sorun henüz yoktur. Türkiye'de asit yağmuruna ancak kısıtlı ölçülerde, Murgul, Ergani, Yatağan, Elbistan gibi önemli kükürtdioksit kaynaklarının olduğu yerlerde, bir de Avrupadan yağış alan kuzeybatı kesimlerde rastlanmaktadır. Türkiye'de yağın yağmur, genel olarak Avrupadaki kadar asitli olmadığı gibi, Türkiye'nin jeolojik yapısı da çoğu bölgede asite duyarlı değildir. Türkiye'de yağın yağmurdaki asidi nötralize edebilecek kireçli, yani kalkerli kayalar bol miktarda mevcuttur.

Kanada ve İskandinav ülkelerinin jeolojik yapısında kalkerli kayalar az olduğundan bu ülkelerin jeolojisi aside çok duyarlıdır ve bu nedenle asit yağmuru ilk kez bu ülkelerde sorun yaratmıştır (4).

Ancak yine de Murgul bakır işletmelerinden günde 33-45 ton SO₂ atıldığı hesaplanmıştır. Bunun bir sonucu olarak da 90.000 hektar orman yok olmuş, 78.000 dekarlık arazi erozyona uğramıştır. Bu doğa ölümü sonucuna doğru giden Yatağan Termik Santrali, günde 600 ton SO₂ atmaktadır ve etrafındaki 400.000 dekar orman yok olma sınırına gelmiştir. Civar toprakların veriminde düşme ve çölleşme eğiliminin başladığı bildirilmektedir (1,20).

Devlet İstatistik Enstitüsü verilerine göre, Türkiye’de, NO_x emisyonu 1990 yılında 680.41 bin ton iken, 1997 yılında 871.52 bin tona çıkmıştır. 1997 yılında NO_x emisyonunun %96.64’ü yakıt tüketiminden,%2.20’si endüstriyel proseslerden ve %1.16’sı tarımsal artıkların yakılmasından kaynaklanmıştır.

SO₂ emisyonu ise, 1990 yılında 813 bin ton iken, 1997 yılında 1.038 bin tona çıkmıştır. 1997 yılında SO₂ emisyonunun %90.80’i termik santrallerden ve %9.20’si endüstriyel proseslerden kaynaklanmıştır. Yine aynı verilere göre, 2003 yılı Mart ayında SO₂ konsantrasyonunun en yüksek bulunduğu il merkezi Samsun iken; 2003 yılı Mart ayı SO₂ ortalamalarında bir önceki yılın aynı ayına göre en çok artış görülen il merkezi %169 ile Karaman’dır. Aynı dönemde en çok azalış görülen il merkezi ise %60 ile Yozgat’tır (20).

VIII.Sonuç-Öneriler

Asit yağışları, dokunduğu her şeyi harap eder veya etkileşime girmekte ve orman veya çevreyi hasarladığında, uzun vadede insanları da etkilemektedir. Bir kez ormanlar tümden hasarlandığında ve göller tamamen kirlendiğinde, yiyecek ve barınak eksikliği nedeniyle hayvanlar da azalmaya başlayacaktır. Yiyecek kaynağı olan tüm hayvanlar, bitkilerle birlikte öldüğünde insanlar da ölecektir. Asit yağışları evleri, anıtları, insanlar için değerli olan herşeyi hasarlayacaktır (12).

Asit depozisyonu, bitki ve hayvanların yaşadığı yerlerde suların kimyası kadar toprağın kimyasını da değiştirerek, bir ekosistemin yapısına, dokusuna derinden penetre olur. Pek çok değişiklik yaşanmış olduğundan, emisyonların azaltılması, yağmur suyunun tekrar normale dönmesi ve ekosistemlerin iyileşmesi oldukça uzun zaman almaktadır. Örneğin görünebilirlik günler içinde düzelebilirken, kronik olarak asitleşmiş göller, nehirler, ormanlar ve toprakların iyileşmesi çok uzun süreler hatta yüzyıllar alabilir (11).

Modern bilim, asit yağışlarının tehlikeli ve oldukça yüksek derecede bir problem olduğunu kanıtlamıştır. Sonuç olarak, asit yağışlarını kısıtlayacak çok çeşitli yollar bulunmuştur ve bunlardan bir çoğu bugün kullanılmaktadır (3).

Kükürt ve azot emisyonlarını azaltmak için pek çok seçeneğin var olmasıyla birlikte, bir tek kirlenici maddeyi kontrol etme stratejisinin ekosistemlere zararını önleme konusunda başarılı olamayacağı düşünülmektedir. Bunun başarılması, entegre bir stratejiler ve teknolojiler paketini gerektirecek, hava kalitesinin her bölgenin ihtiyaçlarına göre iyileştirilmesi gerekli olacaktır (5).

Kaynaklar

1. Akdur R, Ekolojik Denge, Çevre Kirliliği ve İnsan Sağlığı, Halk Sağlığı, AnTıp A.Ş. Yayınları, 1998, 62-63
2. Keleş R, Hamamcı C, Çevrebilim, 4. Baskı, İmge Kitabevi, 2002
3. www.thinkquest.org/library/site_sum.html?tname=26026&url=26026/Environmental_Problems/acid_rain.html, son güncelleme tarihi:1999
4. Kışlalıoğlu M, Berkes F, Çevre ve Ekoloji, 8. Baskı, Remzi Kitabevi, Mayıs 2003
5. Ortak Geleceğimiz, Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu, Türkiye Çevre Sorunları Vakfı Yayını, 3. Baskı, Oxford University Press, 1987, 224-230
6. Ulusal Çevre Sağlığı Programı, Ed: Akdur R, Aygün R, Aycan S, Evcı D, Ekmekcigil A, T.C. Sağlık Bakanlığı, Temel Sağlık Hizmetleri Genel Müdürlüğü, I. Baskı, Ocak 2001, Ankara
7. Keating M, Yeryüzü Zirvesinde Değişimin Gündemi, Gündem 21 ve Diğer Rio Anlaşmalarının Popüler Metinleri, UNEP Türkiye Komitesi Yayını, Nisan 1993, 42-43
8. <http://pubs.usgs.gov/gip/acidrain/2.html>, son güncelleme tarihi:07.21.97
9. <http://www.lehigh.edu/~kaf3/books/reporting/acid.html>, son güncelleme tarihi:1994
10. www.doc.mmu.ac.uk/aric/eae/Acid_Rain/acid_rain.html, son güncelleme tarihi:2000
11. www.policymanc.org/environment/archive/acid_rain.shtml, son güncelleme tarihi: August 6, 2002
12. www.geocities.com/CapeCanaveral/Hall/9111/DOC.HTML, son güncelleme tarihi:1.15.1999
13. <http://royal.okanagan.bc.ca/mpidwim/atmosphereandclimate/acidprecip.html>, son güncelleme tarihi:2002
14. www.users.rcn.com/jkimball.ma.ultranet/BiologyPages/A/AcidRain.html,2001
15. Gökdayı İ, Çevrenin Geleceği, Yaklaşımlar ve Politikalar, Türkiye Çevre Sorunları Vakfı Yayını, Şubat 1997, 82-83
16. <http://www.epa.gov/airtrends>, son güncelleme tarihi: December 14th, 2004
17. www.chem.wm.edu/chemWWW/courses/chem105/projects/group4/page7.html, son güncelleme tarihi: 2003
18. Geleceğe Özen, Nüfus ve Hayat Kalitesi Bağımsız Komisyonu, Türkiye Çevre Sorunları Vakfı Yayını, Haziran 1997, 47-57
19. Türkiye'nin Çevre Sorunları, Türkiye Çevre Sorunları Vakfı Yayını, Mayıs 1991
20. www.die.gov.tr/TURKISH/SONIST/CEVRE/030599t5.html son güncelleme tarihi: 2004