

HAVA KİRLİLİĞİNİN ULUSLARARASI ÖNEMİ

HAVA KİRLİLİĞİ VE ASİTLEŞME

Prof.Dr. Sücaattin KIRIMHAN

Türkiye Tabiatını Koruma Derneği

Bilim ve Danışma Kurulu Üyesi

1. GİRİŞ

Hava kirliliğinin uluslararası boyutta ele alınması daha eski yıllara kadar geri giderse de, bu konuda ilk önemli uluslararası ilişkilerin başlangıcı 1970'li yılların başı olduğu bilinir. Aradan geçen 30 yılı aşkın bir süre boyunca, Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP) başta olmak üzere, gelişmiş Kuzey Amerika ve Avrupa ülkeleri sorunun önemi üzerine yoğun bir şekilde eğilmiş, birçok uluslararası bilimsel toplantı ile birlikte, devlet ve hükümet temsilcilerinin katıldığı zirve toplantıları gerçekleştirilerek, protokoller ve sözleşmeler imzalanmıştır. Diğer bir anlatımla, sorun hem bilimsel ve hem de siyasi otoriteler tarafından dünya kamuoyunun gündemine taşınmıştır.

Dünyanın hangi bölgesinde, hangi devletin sınırları içerisinde ve hangi kaynaktan salınırsa salınsın, hava kirliletiçi maddelerin, gaz ve parçacıklar halinde atmosfere salımının önlenmesi amacıyla alınan yaptırımcı kararların uygulamaya sokulması sonucu, küresel boyutta salımların bir miktar azalmış olduğu, yapılan izleme çalışmalarının sonuçlarından anlaşılmaktadır. Ancak, bu sonuçların yeterli olduğunu söylemek olası değildir.

Avrupa Birliği'ne aday ülkelerden biri olarak Türkiye'nin de taraf olduğu uluslararası anlaşmalar vardır. Bu anlaşmalar uyarınca, ülkemizde de atmosfere salınan kirliletiçi maddelerin denetlenmesi ve denetim sonuçlarının ortaya konulabilmesi için izleme çalışmalarının yapılması gerekmektedir. Özellikle AB'ye giriş sürecinde bu çalışmalar daha da önem kazanmaktadır. Bu nedenle, ülkemizdeki tüm kamu kurum ve kuruluşları ile özel sektörün ve sivil toplum kuruluşlarının duyarlılığı yanında, çevre gönüllü kuruluşlarının da, özellikle bilinçli bir kamuoyu oluşturulması bakımından, duyarlı olmaları gerektiği herkes tarafından çok iyi bir şekilde bilinmektedir. Gönüllü kuruluşlarda "bilinçli duyarlılık" anlayışı çok önemlidir. Bunun sağlanabilmesi için, gönüllü kuruluş içerisinde bulunan bireylerin, ilgili konularda bilgilendirilmesi gerekir.

Yakın geçmişte, 2003 Mayıs ayında, Avrupa Çevre Dairesi (European Environment Agency-EEA) tarafından, Birleşmiş Milletler Avrupa Ekonomik Komisyonu (UNECE) himayesinde Kiev'de gerçekleştirilen Bakanlar Toplantısı için hazırlanan Avrupa'nın Çevresi: Üçüncü Değerlendirme Raporu'nda; Avrupa Birliği'nin çevre mevzuatının uygulanmasındaki kararlılığa bağlı olarak alınan önlemler sonucunda, iklim değişikliklerine, stratosferik ozon derişiminin azalmasına ve hava kirliliğine neden olan salımların önemli miktarda azaldığı ve bu azalmanın devam etmekte olduğu vurgulanmıştır. Bu konuda başarıya ulaşılmasında, mevzuatın yürürlüğe girmesi ve var olan mevzuata uyum önemli görülmüştür.

Çevre gönüllü kuruluşlarının şemsiyesi altında, bilinçli kamuoyu oluşturulmasına katkı sağlamak amacıyla, "Hava Kirliliğinin Uluslararası Önemi" başlıklı bu yazı dizisinde, birinci bölüm olarak "Hava Kirliliği ve Asitleşme" konusu gündeme getirilmiştir. Konunun tanıtımında, sorunu tüm doğal ekosistemleri üzerinde birebir yaşamış olan İskandinavya ülkelerinin deneyimleri esas alınmıştır.

2. ASİTLEŞMENİN NEDENLERİ

Avrupa'daki asitleşme olayı ciddi boyutlarda hissedildiğinde, "kritik yük" ifadesi ortaya atılmış, bu amaçla Avrupa'nın bir asitlik haritası hazırlanarak SO_x ve NO_x kaynakları ve alıcı ortamlar belirlenmiştir. Bunun sonucunda asidik gazların salımının azaltılması amacıyla çalışmalar yapılmıştır. Alplerin kuzeyindeki Avrupa'nın çoğu alanında, 1980 yılına oranla % 70-90 oranında azalma olmuştur. Hava Kirliliğinin Sınırlar Ötesi Uzun Menzilli Taşınımı Sözleşmesi bu gerçeği gündeme getirmiştir. Salım miktarının azaltılması oranları, kabul edilebilir ve uygulanabilir olmalıdır. Prensip olarak, 1972 yılında Stockholm'de ve 1992 yılında Rio'da ortaya konulan esaslar, kirlenici yayan ülkelere sorumluluk yüklemiştir. Kirlenici öder prensibi, asitleşmenin önlenmesinde, özellikle doğu ve orta Avrupa ülkelerine önemli mali yükler getirmiştir.

1987 yılına göre karşılaştırıldığında, resmin parlak yüzü, atmosferik ozon ve asitleşme ile ilgili olarak, Avrupa'da ve Kuzey Amerika'da sorumluluğun kabul edilmemesiydi. Bunun yanında sorunları azaltacak yeterli teknik de bilinmemekteydi. Resmin karanlık yüzü de bu önlemlerin alınmasını takiben karşılaşılabilecek ekonomik, sosyal ve politik zorluklardı.

1950'li yıllarda, doğa bilimciler İskandinavya'nın güneyindeki göllerde balık yaşamının giderek azalmakta olduğuna dikkatleri çekmişlerdi. Bazı yerlerde balıkların tamamen yok olduğu ifade ediliyordu. Ancak, 1960'lı yıllara kadar bilim adamları bunun özel bir etkinin sonucunda meydana geldiği konusunda ilişki kuramamışlardı. Daha sonra bunun çok uzaklardan gelen atmosferik kirlenicilerden kaynaklandığını ortaya koymuşlardı.

İskandinavya'da on binlerce göl ve akarsu asitleşmenin etkisinde kalmıştı. Ayrıca, milyonlarca kişinin içme suyu kaynaklarını oluşturan yer altı suyunun da asidik duruma geldiği, bunun sonucu olarak da su içerisinde zararlı metal miktarının giderek artmakta ve sağlık riski yaratmakta olduğu biliniyordu. Yine bilinen diğer bir gerçek, orta Avrupa'da ve İskandinavya'da ormanların aşırı biçimde hasar görmesiydi. Bunun nedeninin de hava kirliliği olduğu biliniyordu. Hava kirliliği doğrudan doğruya insan sağlığını etkilediği gibi bitki örtüsünü de etkiliyordu. Kentlerde ve yol boylarında zarar görmüş ağaçlar bazı şeylerin yanlış gittiğinin açık göstergesiydi. Dünya genelinde, endüstri alanlarından ve kentlerde, motorlu taşıtlardan, fabrikalardan ve yakma tesislerinden kaynaklanan kirlenicilerle karşı karşıya gelinmişti.

1980'li yıllarda, hava kirliliğinin ormanlar üzerindeki etkisi üzerinde dikkatler yoğunlaşmaya başladı. Tehlike sinyalleri özellikle Batı Almanya'dan geliyordu. Bu ülkede hava kirliliğinin etkisi ile ormanlar giderek artan bir hızda tahrip olmaktadır. Topraklar giderek asitleşiyordu. Hava kirlenicilerinin herhangi bir kaynaktan atmosfere salımını izleyen süreçte, kirlenici maddeler farklı kimyasallara dönüşerek daha zararlı olmaktadır ve bu konuda araştırmalar yoğunlaştırılmıştı. Kükürlü ve azotlu gazlar asitlere dönüşürken, azot oksitler ve hidrokarbonlar, başta ozon olmak üzere, fotokimyasal oksitleyicilere dönüşmekteydi. Ozon bitkiler için çok tehlikeli bir oksitleyiciydi. Fotokimyasal oksitleyiciler asidik olmadıkları için, orman tahribatı sadece asitleşmeden meydana gelmiyordu, fotokimyasal oksitleyicilerin de önemli payı vardı. Daha doğrusu, asitleşme ve fotokimyasal oksitleyicilerin birlikte etkisi daha fazlaydı.

Bu gerçeklerin saptanmasını takiben, hava kirlenici maddelerin kaynakları ve uzun menzilli taşınımı üzerinde araştırmalar planlandı ve gerçekleştirildi. Yüzlerce ve hatta binlerce kilometre uzaklardaki kirlenici kaynaklardan atmosfere salınan kirlenici maddeler rüzgarlarla taşınıyor, ormanların üzerinde yoğunlaşarak çöküyor ve ormanlara zarar veriyordu. Avrupa'da bazı ülkeler kirlenici yayan, bazıları da kirlenicilerden etkilenen alıcı ortam durumundaydı. Bu genelleme ile, asit yağışların, asitleşmenin ve hava kirliliğinin uluslararası boyutu vurgulanıyordu. Hava kirliliğinden sadece bir ülke sorumlu değildi. Tüm

ülkelerin ayrı ayrı kendi atmosferlerini temiz tutması arzu ediliyordu. Dolayısıyla, hem kendi ülkelerindeki öz kaynaklarına ve hem de diğer ülkelerin doğal kaynaklarına zarar verilmeyecekti. Bu yapılabilirdi. Hem yaşamakta olan ve hem de gelecekte bu ortamlarda yaşayacak insanlık için bu gerekliydi. Ulaşılan bilgi ve teknolojik düzey buna olanak sağlıyordu. Ancak, sorunun çözümü biraz ekonomikti. Ek masraflar gerektiriyordu. Sorunun ortaya konulmasında ve çözüm önerilerinin geliştirilmesinde, bu sorundan en fazla etkilenen İskandinavya ülkelerinin öncülük ettiği bir gerçektir. Bu ülkelere göre beş temel sorunun cevaplandırılması gerekiyordu. Bunlar;

1. Asitleşme nedir? Neden kaynaklanmaktadır?
2. Asitleşmenin bilinen ve gelecekte karşılaşılabilecek çevresel etkisi nedir?
3. Asitleşmenin önlenmesi için neler yapılabilir?
4. Asitleşme sorunu neden uluslararası ilgi ve sorumluluk gerektirmektedir?
5. Asitleşmenin önlenmesi için bugüne kadar neler yapılmıştır, gelecekte neler yapılabilir?

Hava kirletici maddeler çevre üzerinde doğrudan etkiye sahiptir. Kükürt dioksit (SO₂) ve azot oksit gazları (NO_x) atmosferde, havanın karışımında yüksek derişimde bulunduğunda, ağaçlara ve likenlere zarar verir, insan sağlığını olumsuz yönde etkiler, yapı malzemelerini aşındırır. Bu nedenle çevresel etkileri ekolojik ve ekonomiktir. Doğrudan etkiler daha çok kirletici kaynaklara yakın alanlarda görülür. Bu iki gaz grubu, kükürtlü ve azotlu gazlar, atmosferdeki değişik süreçleri takiben sülfürik asit ve nitrik aside dönüşerek, kaynaklarının çok uzağına rüzgarlarla taşınır ve zararlı etkilerini oralarda gösterir. Bu asitler ikincil kirleticilerdir. Yağmur ve kar suyu ile birlikte toprak ve su kaynaklarının asitleşmesine neden olurlar. Toprak ve su kaynaklarının asitleşme miktarı, asidik maddelerin etkisine karşı koyma potansiyellerine göre değişir.

Kükürt

Toprak ve su kaynaklarının asitleşmesinde etkili olan gazlar kükürt dioksit ve azot oksitlerdir. Kükürtlü bileşikler yağışların asitleşmesinde 2/3, azotlu bileşikler de 1/3 oranında sorumludur. Kükürtlü gazlardan, kükürt dioksit (SO₂) genel olarak petrol ürünlerinin ve kömürün yakılmasından kaynaklanmaktadır. Bu fosil kökenli yakıtlar, birkaç yüz milyon yıl öncesinden başlayan süreçlerle bu güne gelmişlerdir. Organik maddenin yapısında değişik miktarlarda kükürt bulunması doğal bir sürecin gereğidir. Ham petrol ve kömürüm kükürt içeriğı oldukça büyük farklılıklar gösterir. Ancak, az veya çok, petrol ve kömürde değişik miktarlarda kükürt bulunmaktadır. En az kükürt, bazen sıfıra yakın miktarda, yine bir fosil yakıt olan doğal gazda bulunur. Petrol ve kömürdekine oranla yok denecek kadar azdır. İşte, petrol ve kömürlerin yakılması sonucu, atmosfere salınan kükürt dioksitin kaynağı bu organik maddenin yapısında yer alan kükürttür. Değişik amaçlarla bugüne kadar yakılmış olan fosil kökenli yakıtlardan atmosfere aşırı miktarda kükürt dioksit yayılmıştır ve halen de bu salım devam etmektedir. Dünya üzerinde halen çok miktarda petrol ve kömür varlığının olduğu bilindiğine göre, bu yakıtların yakılmasına bağlı olarak, gerekli önlemler alınmadığı takdirde, kükürt dioksit salımı artan bir hızla devam edecektir.

Dünya üzerindeki ülkeler dikkate alındığında, ülke bazında atmosfere salınan kükürt miktarı oldukça büyük farklılıklar göstermektedir. EMEP (European Monitoring and Evaluation Programme) –*Avrupa İzleme ve Değerlendirme Programı*- verilerine göre, Avrupa genelinde, yıllık kükürt salım miktarı 1980 yılında 27.030.000 ton ve 1990 yılında 19.167.000 ton'dur. Buna göre, alınan önlemlerim sonucunda on yıl içerisinde kükürt salımı % 29 oranında azaltılmıştır. Yine 1990 yılı verilerine göre, atmosfere en fazla kükürt salımı yapan

ülkeler, eski Sovyetler Birliği (4.168.000 ton S), eski Doğu Almanya (2.400.000 ton S), İngiltere (1.887.000 ton S), Polonya (1.605.000 ton S), eski Çekoslovakya (1.222.000 ton S), İspanya (1.158.000 ton S), İtalya (1.090.000 ton S) ve Bulgaristan (1.010.000 ton S) olarak verilmiştir. Aynı yıl için Türkiye'nin kükürt salımı 177.000 ton olarak verilmektedir ki, bu miktar Avrupa kaynaklı toplam salımın % 1'inin altındadır.

Avrupa'da, İkinci Dünya Savaşı'nı izleyen dönemde, atmosfere kükürt yayılımında çok hızlı bir artış görülmüştür. Bunun nedeni, nerede ise her yıl % 10 oranında artış gösteren petrol yakılması olmuştur. 1970 yılında, 1945 yılına oranla 15 kat daha fazla petrol tüketilmiştir.

Eski Sovyetler Birliği dikkate alınacak olursa, 1990 yıllarının ilk yarısında atmosfere salınan kükürt miktarı, yıllık olarak, 20 milyon ton dolayındadır. Bunun % 80'i fosil kökenli yakıtlardan, geri kalanı endüstriyel işlemlerden kaynaklanmıştır. Batı Avrupa'da en fazla kükürt salımı, bu dönemde, Federal Almanya ve İngiltere, Doğu Avrupa'da ise eski Sovyetler Birliği ve Polonya'dır. Alınan bir seri önlem sonucu, Avrupa'da kükürt salımı yıllara göre azalma eğilimi göstererek devam etmektedir. 1990'lı yıllarda, Kuzey Amerika'da yıllık kükürt salımı 12 milyon tondur, bunun 10 milyon tonu ABD'ye aittir. Dünya genelinde, insan faaliyetlerine bağlı olarak atmosfere salınan yıllık kükürt miktarı 80 milyon ton olarak tahmin edilmektedir.

Kükürt salımı sadece insan faaliyetlerine bağlı kalmamaktadır. Aslında, doğal bir süreç olan küresel madde döngüsü kapsamında da doğal kükürt salımı vardır. Ayrıca, volkan patlamaları, denizler ve okyanuslar, tatlı su ortamları doğal kükürt salımının kaynakları arasındadır. Doğal olarak atmosfere yayılan kükürt miktarı insan faaliyetleri sonucunda salınan kükürt miktarına yakındır. Burada en önemli olan bir husus, küresel boyutta bir yıl içerisinde atmosfere salınan kükürt miktarının % 90'a yakın bir bölümünün Avrupa ve Kuzey Amerika'nın endüstrileşmiş bölgelerinden kaynaklanmasıdır. Bu miktar doğal olarak tüketilebilecek atmosferik kükürt miktarının 10 katından fazladır. Avrupa'da yağışların kimyasal özellikleri çok önceden başlatılan çalışmalarla ölçülmektedir. Bu analizlerin sonuçlarına göre, 1950'li yılları takiben kükürt miktarlarında artışlar olduğu, 1970'li yıllarda oldukça yüksek ve sabit değerlere ulaştığı ve daha sonraki yıllarda azalma eğilimi gösterdiği saptanmıştır.

Azot

Kükürtlü bileşiklerle birlikte, toprak ve su kaynaklarının asitleşmesine neden olan diğer grup, azotlu bileşikler ve özellikle azot oksitler (NO_x)'dir. Bu grupta yer alan gazlar azot monoksit (NO) ve azot dioksit (NO_2) gazlarıdır. Azot oksitler her türlü yanma sonucu oluşur. Kükürt dioksitin oluşumundan farklı olarak, atmosferdeki azot gazının oksijenle yaptığı bileşiklerdir. Atmosferde, solumakta olduğumuz katmandaki hava karışımında bulunan hava % 78 azot ve % 21 oranında oksijen içermektedir. Bu karışım ısıtıldığında, azot ve oksijen birleşerek azot oksitleri oluşturmaktadır. Yakma sıcaklığı arttıkça azot oksitlerin oluşumu artmaktadır. Bunun yanında, yakıtlarda, organik maddenin yapısında bulunan azotun yanmasıyla da azot oksitler oluşmaktadır. Bir çok ülkede azot oksitlerin en önemli kaynağı motorlu taşıtların egzozudur. İskandinavya'da motorlu taşıtlardan kaynaklanan azotlu gazların toplam miktar içerisindeki payının 2/3 olduğuna bilinmektedir.

Kükürtlü gazlara oranla, azot oksitlerin salım miktarını tahmin etmek daha zordur. Buna rağmen, 1960'lı yıllarda, azot oksitlerin salımının daha önceki yıllara oranla iki kat arttığı tahmin edilmiştir. Yapılan bu tahminlere göre, Avrupa'da her yıl atmosfere salınan azot oksit miktarı, NO_2 eşdeğeri olarak, 22 milyon ton dolayındadır. Trafik yoğunluğunun giderek artması bu artışta önemli etken olmuştur. 1990 yılındaki artış, 1980 yılına göre % 3,5

olmuştur. Kükürt salımının denetim altına alınması çabaları, asitleşmede azot oksitlerin önemini giderek artırmaktadır.

EMEP verilerine göre, 1990 yılında en fazla azot oksit salımına neden olan ülkeler, eski Sovyetler Birliği (4.248.000 ton NO₂), İngiltere (2.727.000 ton NO₂), Batı Almanya (2.600.000 ton NO₂), İtalya (1.761.000 ton NO₂), Fransa (1.750.000 ton NO₂) olarak belirtilmektedir. Türkiye için bu miktar 175.000 ton NO₂ olarak verilmektedir.

Atmosferik azot kirliliğinde, tarımsal amaçlarla kullanılmakta olan kimyasal gübreler de önemli bir yer tutmaktadır. Ayrıca, hayvan gübresinin mikrobiyolojik ayrışmasına bağlı olarak atmosfere fazla miktarda amonyak (NH₃) salımı olmaktadır. Amonyak gerçekte yağışların pH'sını bir miktar yükseltmesine karşın, yağmur ve kardaki amonyum iyonu (NH₄⁺) toprak mikroorganizmaları tarafından dönüştürülerek etkisi giderilmektedir. Aşırı miktarlarda kullanılan azotlu gübreler, topraktan yüzey akış suları ile uzaklaştırılarak yüzey su kaynaklarına ulaştırılmakta ve başka kaynaklardan gelen fosforla birlikte toplam etki oluşturarak önemli su kirliliği (ötrifikasyon) sorunları oluşturmaktadır. Bunun dışında, derine yıkanan azotlu bileşikler yer altı sularının kirlenmesine de neden olmaktadır.

Diğer Kirleticiler

Havanın normal karışımı içerisinde fazla miktarda bulunmasına karşın, insan faaliyetleri sonucu giderek artmakta olan karbon dioksit (CO₂) sera etkisi oluşturması bakımından dikkate alınmakta ve salımının denetlenmesi gereği üzerinde durulmaktadır. Atmosfere salınan hidrokarbonlar da oldukça önemlidir. Bunlar atmosfere girmelerini takiben değişik süreçlerin etkisi ile en az on farklı yeni bileşiğin meydana gelmesine neden olarak hava kirliliğinde etkili olmaktadır.

Otomobil egzozları, boya atölyeleri ve petrokimya tesislerinden yayılan hidrokarbonlar atmosferde güneş ışığının katalitik etkisi ile fotokimyasal oksitleyicilere dönüşürler.

Önemli bir oksidant olan ozon'un miktarı, 1950'li yıllardan bu yana Kuzey Avrupa'da giderek artmıştır. Bunun en önemli nedeni, motorlu kara taşıtlarının yoğunluğundaki artışa bağlı olarak hidrokarbonların ve azot oksitlerin artışıdır. Ozon (O₃) en önemli fotokimyasal oksitleyicilerden biridir. Diğer PAN (peroksi asetil nitrat) gibi oksidantlar bitkilere zarar vermektedir.

Asitleşme

Kükürt dioksit ve azot oksitler su ile temas ettiklerinde kuvvetli asitler olan sülfürik asit ve nitrik aside dönüşürler. Bu durum atmosferdeki su damlaları içerisinde oksitlerin çözünmesiyle meydana gelir. Oluşan asit damlaları yere ulaştıklarında yağmur veya kar şeklinde bitkilerle temas eder. Ancak, asidik oksitler doğrudan doğruya gaz halinde de bitki örtüsü ile temas edebilir veya havada asılı olarak bulunan kuru parçacıklara da bağlanabilirler. Asidik gazların bu şekilde çökmesi "*kuru çökme*", yağışlarla birlikte çökmesi ise "*ıslak çökme*" olarak adlandırılmaktadır. Kuru çökme ile çökelen asidik gazlar su ile temas edince yine asitler meydana gelir.

Asitlerin tipik özellikleri, ortama hidrojen (H⁺) iyonlarını salmalarındır. Asitleşme miktarı salınan hidrojen iyonlarının miktarına bağlıdır. Herhangi bir çözeltilerdeki asitlilik, hidrojen iyonlarının derişiminin bir göstergesidir. Asitlilik pH olarak ifade edilir.

$pH = -\log [H^+]$ şeklinde formüle edildiğinden, asitlilik arttıkça pH değeri düşer. Diğer bir ifade ile pH değerinin düşük olması asitliliğin veya hidrojen iyonlarının fazlalığına işaret eder. Nötr pH 7'dir. Bu değer altında olması asidik, üzerinde olması alkalilik olarak ifade edilir. pH değişimi logaritmik ölçekte olduğu için, pH değerindeki bir birimlik azalma,

hidrojen iyonu miktarında 10 kat artışı gösterir. Örneğin, pH'sı 6 olan bir çözeltideki hidrojen iyonlarının miktarı, pH'sı 7 olan bir çözeltideki hidrojen iyonları miktarından 10 kat fazladır. Toprak ve su ortamlarındaki kimyasal ve biyolojik süreçler ortamın pH değeri ile yakından ilgilidir.

pH'nın ani değişikliklerine karşı, toprak ve su ortamlarında doğal bir mekanizma vardır. Buna, ortamın "*tamponlama kapasitesi*" adı verilmektedir. Doğal bir göl suyunda tamponlama işlevi, suda çözülmüş olarak bulunan bikarbonat (HCO_3^-) iyonları tarafından sağlanmaktadır. Kireççe zengin olan göl sularında bol miktarda bulunan bikarbonat iyonları nedeniyle bu göllerin asitleşmesi (suyun ekşi tat alması) belirli bir noktaya kadar önlenir. İskandinavya'da doğal göllerin sadece küçük bir bölümü yeterince kireçlidir. Danimarka ve İsveç ile Norveç'te Oslo dolaylarındaki bazı göller bu bağlamda nispeten kireçli sayılabilir. Bu alanların dışındaki göller yeterince bikarbonat iyonuna sahip değildir. Bunun sonucu olarak da asitleşmeye karşı oldukça duyarlıdırlar. Bu göl sularına dışarıdan asidik maddeler karıştırıldığında suyun pH değeri önemli ölçüde azalmaktadır.

Topraklardaki pH ölçümü sudaki ölçümlere oranla karmaşıktır. Toprağın kendisi homojen bir yapı ve özelliğe sahip olmadığından, ayrıca toprak içerisindeki kimyasal ve biyolojik süreçler devam etmekte olduğundan, pH ölçümlerinde dikkatli olunması gerekmektedir. Ölçüm şekline göre farklı değerler elde edilmemesi için, en uygun yöntem olarak önerilen, toprak örneğinin belirli miktardaki saf su ile karıştırılması, zaman zaman çalkalanarak en az bir saat kadar bekletildikten sonra pH'sının ölçülmesidir.

Topraklarda ani pH değişimini önleyen birkaç süreç vardır. Toprak, farklı mineralleri ihtiva eden kayaların aşınması ile meydana gelmiş olduğundan, oldukça farklı mineralleri bünyesinde bulundurur. Toprakta kalkerli-*kireçli*- mineraller varsa, toprak pH'sı yüksektir. Bu topraklarda kirecin bulunması, ortama dışarıdan gelen asidik maddelerin pH'yı aniden düşürmesine karşı koyar. Ancak asit birikiminin miktarı ve sürekliliğine bağlı olarak pH'da azalma görülebilir. Bunun sonucu olarak, bazik-*alkali*- pH değerlerinde toprakta çözünmeden bulunan metalik bileşikler pH'nın düşmesi ile çözülmeye başlar ve metaller toprak çözeltisine geçer. Buna tipik örnek alüminyumdur. Serbest hale geçen alüminyum bitki köklerine zarar verir. Toprak derinliklerine doğru hareket halinde olan su ile yer altı suyuna ulaşır. Benzer şekilde yüzey sularına da karışır. Bu durumda göllerde varlığını sürdürmekte olan balıklar başta olmak üzere diğer canlılar da etkilenir.

3. HAVA KİRLİLİĞİNİN ÇEVRESEL ETKİSİ

Göller ve Akarsular

İskandinavya'da asitleşme olayı önce göllerde kendisini göstermiştir. Bu nedenle asitleşmenin göl ve akarsulardaki etkisi çok iyi bilinmektedir. Yüzeysel su ortamlarının asitleşmesi, bu su kaynakları ile bağlantılı olan topraklarla yakından ilgilidir. Göl ve akarsuları oluşturan suyun % 90'ı toprak kaynaklarını geçerek bu ortamlara ulaşmaktadır. Suyun, % 10'u da doğrudan doğruya su yüzeylerine atmosferden düşen yağmur veya kar suyudur. Asitleşmenin ilk görüldüğü göller, çevresindeki toprak kaynakları yeterli tamponlama kapasitesine sahip olmayan, kireçsiz topraklardır. Bu nedenle, göl suyunun tamponlama kapasitesi de yetersiz olduğundan asitleşme gerçekleşmektedir.

Norveç'in güneyinde, geçtiğimiz yüzyılın ikinci ve üçüncü on yıllarında da akarsularda balık ölümleri görülmüştür. İsveç'in güneyinde bulunan daha hassas göller, 1950 ve 1970 yılları arasındaki aşırı kükürt salımına bağlı olarak asitleşmişlerdir. Başlangıçta asitleşmeye karşı koyuş nedeniyle asitleşme yavaş seyretmiş, ancak tamponlama özelliği kaybolunca asitleşme hızlanmıştır. Belirli bir süre boyunca pH azalması devam etmiş ve daha sonra asidik denge durumuna gelmiştir.

Hayvanlar ve Bitkiler

Asitleşmiş göllerin suyu aldatıcı bir şekilde, temiz, parlak ve berrak görünür. Korkutucu yanı sudaki canlıların yok oluşudur. Asitliğin etkisi ile balıklar kaybolur, diğer bitkisel ve hayvansal canlı varlığında önemli azalma görülür. Sudaki planktonlar yok olduğu ve su içerisindeki humus gölün tabanına çöktüğü için su berraktır.

Asitleşmiş göllerde çoğu su bitkisi olumsuz yönde etkilenir. Bu sonuç, sadece doğrudan suyun pH'sındaki azalıştan kaynaklanmaz. Suyun pH'sının düşmesi ile serbest hale gelen alüminyumun zararlı etkisi görülür. Balıkların yok olmasında da, pH'nın düşmesiyle birlikte alüminyumun serbest hale geçmesi etkili olmuştur. Benzer şekilde, sudaki kadmiyum, çinko, kurşun miktarı da zamanla artmaktadır. Bunlar da, alüminyumda olduğu gibi, su içerisindeki derişimleri belirli bir düzeye ulaştığında bitkisel ve hayvansal canlılar için zararlı olmaktadır. Herhangi bir gölde meydana gelen bu istenmeyen kimyasal maddeler, su akıntıları ile bir gölden diğer bir göle de taşınabilmektedir.

Suyun kimyasal özelliklerinde ortaya çıkan bu değişiklikler biyolojik özelliklerini de etkiler. Balıkların yok olması ile bazı böcek varlığında artış olur. Bunun nedeni, böceklerle beslenen balıkların azalması veya yok oluşudur. Bu nedenle, bir bakıma, asitleşmiş göller biyolojik olarak ölü göller değildir.

Göldeki asitlilik, gölü besleyen su kaynaklarına ve yağışlara bağlı olarak mevsimlik farklılıklar gösterir. Göl ve akarsuları asitliliklerinin en yüksek olduğu mevsim, karların erimesini takiben asidik suların göle karıştığı ilkbahardır. Bunun yanında, sonbahardaki yağmurlarla da suyun asitliliği artar.

Cıva

İsveç'te, uzun bir zamandan beri cıva önemli bir sorundur. 1960'lı yıllardan bu yana, balıklardaki cıva birikiminin sağlığa zarar verecek düzeye ulaşmış olması nedeniyle birçok göl kara listeye alınmıştır. Alınan önlemlerle göllere cıvalı atıkların boşaltılmasının önüne geçilmiş, böylece sorunun az veya çok çözüldüğü düşünülmüştür. Ancak, sonuç öyle olmamıştır. Aksine, özellikle besin maddesi bakımından yetersiz ve pH'sı düşük olan göllerde cıva miktarı müsaade edilebilir değerlerin üzerine çıkmıştır. Bu cıva derişimi yüksek bulunan göllerin büyük bir bölümü atıksuların boşaltıldığı yerlerden oldukça uzakta bulunan göllerdir. Kara listeye alınan göllerdeki balıklar satılamaz ve dolayısıyla de yenilemez. Kara listeye alınan göller için belirlenen cıva miktarı sınır değeri, balıklarda 1 mg Hg/kg'dır. Bu değer WHO standartlarına göre 0,5 mg Hg/kg'dır. 1990'lı yıllarda, İsveç'te 200 göl bu nedenle kara listeye alınmıştır. Ayrıca, 5.000-10.000 gölün de risk altında bulunduğu belirlenmiştir. Asitleşme sorunu görülmeyen bazı göllerde de, cıva düzeyleri kara listeye alınma sınırına yaklaşmıştır.

Cıva, insanlarda, cenin durumunda iken beyin gelişmesini engellemektedir. Bunun anlamı, hamile kadınların cıvaya karşı daha fazla risk taşımasıdır. İsveçliler daha az tatlı su balığı tüketmelerine karşın yine de bu konuda duyarlıdırlar. Etinde yüksek oranda cıva birikmiş olan balıkların bulunduğu göl suları zararlı değildir. Bu sularda banyo yapılabilir ve hatta içilebilir. Burada akla gelen önemli bir soru, suların içilebilmesine karşın neden bu sulardaki balıkların yenmemesidir. Bunun nedeni, sudaki cıva göl ortamındaki canlılar tarafından alınarak depolanmaktadır. Sudaki bitkiler, fitoplanktonlar, zooplanktonlar ve böcekler cıvayı vücutlarında depolar. Bu canlılar daha büyük hayvanlar tarafından yenildiğinde gıda zinciri boyunca vücutlarında aşırı miktarda cıva birikmiş olur. Su ortamında daha çok balıklarda biriken cıva, balık yiyen insanlarda ve kuşlarda daha fazla zararlı etkiye

sahip olmaktadır. Balıklar cıva birikiminden nadiren zarar görürler. Ancak, hemen belirtmek gerekir ki asitleşmiş göllerdeki balıklarda cıva birikimi daha üst düzeylerde dir.

Asidik topraklardaki cıva, diğer ağır metallere göre daha farklı bir davranış gösterir. Toprak çözeltilisine salınması beklenirken, aksine toprağa, özellikle humusa, daha sıkı bağlanır. Humusla birlikte göl tabanına çökebilir veya diğer göl ve akarsulara taşınabilir.

Suların kireçlenmesi ile balıklardaki cıva birikimi azaltılabilir. Suyun pH değeri kireçleme ile artırıldığı için canlı türleri ve varlıkları giderek artar. Gölde daha önceden birikmiş olan cıvanın miktarı sabit olduğundan, göl ortamındaki canlı varlığının artması ile canlılardaki cıva birikimi her bir canlı için oransal olarak azalır. Bunun sonucu olarak da balıklardaki cıva birikimi sınır değerlerin altında kalabilir.

Toprağın Asitleşmesi

Toprağın asitleşmesi sonucunda bitkilerin besin maddesi alımı önemli ölçüde etkilenir. Asitleşme, aslında toprakta olağan bir süreçtir. Bitkiler topraktan kökleri ile pozitif değerlikli besin elementlerini alırken toprağa H^+ iyonları veririler. Ayrıca, toprakta bulunan organik maddenin mikrobiyolojik yolla ayrışması sonucunda da asidik maddeler oluşur. Özellikle iğne yapraklı ağaçlardan oluşan ormanlarda toprak üzerinde biriken bitki artıklarının ayrışması ile toprağa önemli miktarda hidrojen iyonu karışır. Ancak bunlar doğal süreçlerdir ve toprağın tamponlama kapasitesine bağlı olarak fazla asidik hal almazlar. Dışarıdan farklı kaynaklardan toprağa yeni asidik maddeler ulaşmaya kadar bu denge devam eder. Toprağa asidik maddenin gelmesi ile, pH'da, yine tamponlama özelliğine bağlı olarak, yavaş bir şekilde düşmeler meydana gelir. Asidik madde ilavesi devam ettiği takdirde tamponlama kapasitesi yeterli olamaz ve toprak asidik bir hal alır. Toprak pH'sındaki düşüşe bağlı olarak, toprakta bulunan alüminyum ve diğer toksik metaller serbest hale geçer, toprak çözeltilisindeki miktarları artar. Diğer taraftan, çözünürlüğün artışına bağlı olarak, potasyum, kalsiyum ve magnezyum gibi bitki besin elementleri de çözeltiliye geçerek toprağın derinliklerine doğru yıkanır. Bitki kök bölgesinden uzaklaştıkları için artık bitkiler için yararlı durumdan çıkarlar.

Bilim adamları, daha önceki yıllarda toprakların tamponlama özellikleri nedeniyle asitleşmenin mümkün olmayacağını söylemelerine karşın, İskandinavya'da toprakların pH değerlerinde 0,3-1 birim azalma meydana gelmiştir. Bazı yerlerde bu azalma 1,5 birime kadar ulaşmıştır. Toprakların üst 1 m'lik katmanı asidik duruma gelmiştir. Batı Almanya ve Avusturya'da, son 20-40 yıl içerisinde, toprak pH'sında 0,3-1,5 birimlik azalma olmuştur.

Toprak pH'sının düşmesinden toprak canlıları önemli ölçüde etkilenir. Toprak canlıları toprağa düşen organik artıkların ayrışmasında önemli görev üstlendiklerinden, bu canlıların azalması veya yok olması sonucu, toprağa düşen organik atıklar ayrışmadan uzun bir süre kalır ve birikim meydana gelir. Ayrışmanın azalması veya durması ile bitkiler için mineral besin maddesi temini de yavaşlar. Asidik topraklarda mantar varlığında artış görülür.

Sudakine oranla topraklardaki asitleşme süreci daha yavaş olarak seyreder. Ancak zamanla toprakta ağır metal birikimi artar ve bitki besin maddeleri yıkanarak kaybolur. Bu sorunları gidermek oldukça zordur. Toprak kaynaklarının bu şekilde asitleşmesine neden olan asidik gazların salımı durdurulsa bile, toprakların eski hallerine döndürülmesi oldukça uzun zaman alır.

Tarım Alanları ve Tarımsal Üretim

Çoğu bitkiler toprak pH'sının 6'nın üzerinde olması durumunda daha iyi gelişir. Bu pH değeri civarında, bitkilerin topraktan su ve besin maddesi alımları ve zararlı maddelerden korunmaları daha uygundur. Tarım topraklarında asitleşmeye neden olan tek faktör atmosferik

çökeltme değildir. Günümüzdeki tarımsal uygulamalar da topraklardaki hidrojen iyonlarının artmasına yol açmaktadır. Örneğin, toprağa bitki besin maddesi olarak azot ilavesinde amonyumlu kimyasal gübrelerin verilmesi sonucu, amonyumun nitrata dönüşümünde önemli miktarda hidrojen iyonu toprağa geçmektedir. Bu şekildeki gübreleme topraktaki asitleşmenin % 15-50 'sini oluşturmaktadır. Diğer taraftan hasatla topraktan uzaklaştırılan biyokütle ile birlikte aşırı miktarda bitki besin maddesi de topraktan uzaklaşmaktadır. Bunun sonucu olarak da toprakların tamponluk kapasitesi giderek azalmaktadır. Ancak topraklara kireç ilavesi ile pH düşüşleri önlenmektedir.

Hava kirliliğinin bitkiler üzerindeki doğrudan etkisi nedeniyle de tarımsal üretim etkilenmektedir. Ozon, birçok bitkiye doğrudan zarar vererek tarımsal alanlardan alınan ürünün miktarını önemli ölçüde etkilemekte ve kalitesini bozmaktadır. ABD'de 1970'li yılların başında yapılan tahminlere göre, ozon her yıl bitkisel üretimde 2-4 milyar dolarlık kayıplara neden olmuştur. Bunun anlamı, toplam bitkisel üretim gelirinde % 4-7 oranında azalmadır. Benzer hasar İsveç'te rapor edilmiş, ürün kaybının % 10'a kadar yükseldiği ifade edilmiştir.

Ormanlar

Hava kirliliğinin ormanlar üzerindeki etkisi oldukça farklılık göstermektedir. İskandinavya'da başlıca iki tip orman toprağı vardır. En yaygın olanlar podzollar ve kahverengi topraklardır. Podzollar genel olarak iğne yapraklı ağaçlarla kaplıdır. Bu yöreler oldukça fazla miktarda yağmur alır. Kireç bakımından oldukça fakirdir ve bitki besin maddeleri topraktan giderek yıkanmıştır. Bu topraklar kısmen asidiktir. Bu nedenle asit yağışlara karşı oldukça duyarlıdır. Podzolların aksine, kahverengi toprakların pH'sı daha yüksektir. Bitki besin maddesi bakımından daha zengindir. Bu topraklar genelde çayır ve yaprağını döken ağaçlarla kaplıdır. Kahverengi topraklar asit yağışlarla karşı karşıya geldiğinde, topraktaki kil minerallerine bağlı olan alüminyum serbest duruma geçer ve böylece toprak çözültisindeki derişimi giderek artar. İğne yapraklı ağaçların dikilmesi ile kahverengi topraklar da zamanla podzola dönüşebilir. Bunun nedeni iğne yapraklı ağaçların asitleştirici etkisidir.

Ormancılık faaliyetleri de toprakların asitleşmesine neden olabilmektedir. Ormandaki ağaç kesimleri ile birlikte, her türlü bitkisel ürünün orman ekosistemi dışına çıkarılması yoluyla bitki besin maddeleri de orman dışına çıkarılmaktadır. Bunun sonucu olarak, mineral madde teminindeki doğal süreç bozulmuş olur ve toprağın asitleşmeye karşı direnci azaldığı gibi kendiliğinden de asidik duruma gelir. Ayrıca tıraşlama ile orman toprağının üzeri bitki örtüsünden yoksun duruma getirildiğinde, toprağın yüzeysel su tutma kapasitesi azalacağından, yüzeysel sular çevredeki göl ve akarsulara ulaşarak onların da asitleşmesine neden olur. Ayrıca, ormanların geliştirilmesi amacıyla asidik özellikli kimyasal gübrelerin kullanılması ile de toprak asitliği artırılır.

Orman topraklarının asitleşmesi ve birçok yörede ağaçların zarar görmüş olması modern ormancılık faaliyetlerinin etkisi ile açıklanamaz. Avrupa'nın, özellikle orta kesiminde, yüksek miktardaki hava kirliliği, yoğun olarak kükürtlü ve azotlu bileşiklerin çökeltmesi, hem ormanlara ve hem de topraklara önemli zararlar vermektedir. Avrupa'da 1983 yılından beri orman tahribatı bazı ülkeler tarafından araştırılmaktadır. 1986 yılından bu yana, çoğu Avrupa ülkesi uluslararası işbirliği ile bir çerçeve programı kapsamında sorunları ele almaktadır. Bu programın yürütülmesi Almanya'nın sorumluluğuna verilmiştir. Yirmi üç Avrupa ülkesini kapsayan programın beşinci aşaması 1990 yılında gerçekleştirilmiştir. Program kapsamında 130 milyon hektarlık ormanlık alan bulunmaktadır. Bu alan Avrupa'daki tüm ormanların 2/3'ü içerisine almakta, eski Sovyetler Birliği'nin Avrupa'daki bölümünün büyük bir kısmını da kapsamaktadır. Yapılan etüt çalışmalarından elde edilen

bilgiye göre, bu program kapsamındaki ormanlarda görülen hasar beş sınıf altında toplanmaktadır. Sınıflara göre hasar oranları, 0.Sınıf % 0-10, 1.Sınıf % 11-25, 2. Sınıf % 26-60, 3. Sınıf % 60'ın üzeri, 4. Sınıf ölü ağaçlardır. 1986-1990 yılları arasında gerçekleştirilen etütlerde, hasar düzeyleri ile ilgili olarak yıllık önemli farklılıklar izlenmiştir. Orman tahribatında, kuraklık, rüzgar, don gibi doğal olaylarla birlikte hava kirliliğinin etkili olduğu görülmüştür. Bir genelleme yapılarak, orman tahribatının daha çok yaşlı ağaçlar ve yüksek yerlerdeki ağaçlarda görüldüğü, Avrupa genelinde, en etkili faktörün hava kirliliğinin doğrudan veya dolaylı etkisi olduğu ifade edilmiştir.

Herhangi bir olumsuz faktörün doğrudan veya dolaylı etkisi altında kalmış ağaçlardaki hasarın izleri ve belirtiler oldukça açık olarak görülür. Ancak bu zararın hangi faktörün etkisi ile meydana geldiğini söylemek çoğu kez kolay değildir. Herhangi bir olumsuzluk iklim, böcekler veya hava kirliliğinden kaynaklanmış olabilir.

Kirli hava ağaçları doğrudan veya dolaylı olarak etkilemektedir. Doğrudan etki yapraklardaki zararlarıdır. Asit yağışlar, kükürt dioksitin kuru çökmesi veya ozon, ağaç yaprağını koruyan mum tabakasını aşındırır, yaprak dokusundaki gözeneklerde hasara yol açar. Geniş ve iğne yaprakların iç dokusunda bulunan yarı geçirgen zarları tahrip ederek, ağacın gaz, su ve besin maddesi dengesini bozar.

Dolaylı etki, toprakların asit yağışların etkisi ile asitleşmesi sonrasında görülür. Topraktaki besin maddesinin azalması nedeniyle ağaç yeterince beslenemez. Ayrıca, toprak çözeltisinde giderek artan, alüminyum gibi zehirli maddeler ağaca zarar verir. Ağaç kökleri hasar görür, kılcal kökler su ve besin maddesi alımını gerçekleştiremez. Bu şekilde giderek zayıf düşen ağaçlar, hastalık ve böceklerle karşı dayanıksız hale gelir. Bunu takiben, bir-iki sıcak yaz mevsiminin kuraklık etkisi, zor kış koşulları ile de karşı karşıya gelirse ağaçlar kurur.

Farklı ağaç türleri, hava kirliliğinin doğrudan veya dolaylı etkisinden farklı bir şekilde etkilenir. Yapraklarını döken ağaçlar, iğne yapraklı ağaçlara oranla daha az hassastır. Bunun nedeni, geniş yapraklı ağaçların toplam yaprak yüzeyi genişliğinin iğne yapraklı ağaçlara oranla daha az olmasıdır. Ayrıca, her sonbaharda dökülen yapraklar nedeniyle hava kirleticilere daha az süre maruz kalmaktadırlar. İğne yapraklı ağaçlarda ibreler önce sarımsı bir renk almakta, daha sonra kahverengine dönüşerek kurumakta ve dökülmektedir. Bitki kökleri saçak kılcal uzantılarını kaybetmekte ve kök gelişmesi yavaşlamaktadır. Ağaçlardaki ibrelerin boyu kısalmakta, ağaç gövdesindeki yıllık halkalar daralmakta ve dallar kendini taşıyamaz duruma gelerek sarkmaktadır.

İskandinavya'daki ormanlar tüm batı Avrupa için önemlidir. Bu ormanlar bölgedeki odun menşeyli endüstrinin ham maddesidir. İsveç ve Finlandiya'da orman ürünlerinin % 80'i ihraç edilir. Başlıca pazarlar da İngiltere ve Almanya'dır. İskandinavya'daki ormanlar üretkenliklerini sürdürmedikleri taktirde, üretim ve işleme süreçlerinde önemli iş kayıpları meydana gelecek ve hem ulusal ve hem uluslararası ekonomilerde gerilemeler görülecektir. Bunun sonucu olarak sosyal ve siyasal çalkantılar ortaya çıkabilecektir.

Ormanlar, ekonominin ötesinde, doğal varlıklar ve değişik ekosistemlerdir. Doğal yaşam ortamlarıdır. Binlerce böcek ve küçük hayvan türünü, sayısız bitki türünü, çok sayıda memeli hayvan türünü ve bu türlerin varlıklarını barındırırlar. İklimlerin oluşmasında, su kaynaklarının sürekliliğinde, toprakların erozyonla kaybolmasının önlenmesinde görev üstlenirler. İnsanlar için rekreasyon alanlarıdır. İsveç ve Çekoslovakya'da kuruyan ağaçlar nedeniyle yok olan ormanların sonucunda toprak erozyonunun arttığı ifade edilmektedir.

Bitkiler Üzerindeki Etkiler

Hava kirliliğinden sadece ormanlar veya orman ağaçları zarar görmez. Diğer bitkisel canlılar da benzer şekillerde etkilenir. Yani, doğrudan hava kirletici maddelere, kükürtlü ve

azotlu kirletici gazlara ve ozon'a maruz kalarak veya dolaylı yolla, toprakların asitleşmesine bağlı olarak, zarar görürler. Bu etkilenmede en hassas olanlar, likenler ve yosunlardır. Bunun en önemli nedeni koruyucu parafin tabakasına sahip olmamalarıdır. Likenler hava kirliliğinin çok tipik göstergesidir. Özellikle kükürt dioksit gazının etkisinin belirlenmesinde çok iyi sonuç verirler. Likenler oldukça geniş bir yayılım alanına sahiptir. Ormanlarda, kırsal alanlarda, kentlerde ve endüstri bölgelerinde de belirli koşullarda varlıklarını sürdürebilirler. Ancak, kentlerde ve endüstri bölgelerinde hava kirliliğinden zarar görme oranına bağlı olarak kaybolurlar. Çiçek açan bitkiler ve eğrelti otları hava kirliliğinden nispeten fazla etkilenmezler. Bunun yanında, atmosferik azotu alarak köklerindeki özel dokularında biriktiren baklagiller, hava kirliliğinden daha az etkilenirler. En azından toprakların asitleşmesi sürecinde kaybolan bitki besin maddesinin bir bölümünü kendileri karşılar. İsveç'te yapılan araştırmalarda 150 bitki türünün asitleşme nedeniyle yok olma tehlikesi ile karşı karşıya kaldığı görülmüştür.

Hayvanlar Üzerindeki Etkiler

Asitleşmenin etkisinde kalmayan hayvan yok gibidir. Asitli göllerden sadece balıklar kaybolmaz. Kurbağalar da doğal dengenin bozulmasından önemli derecede etkilenir. Küçük kuşlar asitli sulardan uzaklaşır. Kuş yumurtalarının kabuklarında incelmeler görülür. Bunun nedeni böcek yiyen kuşlardaki alüminyum etkisidir. Asitli göllerde balık kalmadığı için balık yiyerek beslenen kuşların o yörede barınması mümkün değildir.

Toprakların asitleşmesine bağlı olarak bitkilerde ağır metal birikimi görülür. Bu bitkilerle beslenen hayvanlarda da ağır metal birikimi kaçınılmazdır. Özellikle karaciğerlerinde ve böbrek dokularında kadmiyum birikimi oldukça yaygındır.

Asitliliğin hayvanlar üzerindeki olumsuz etkisi, daha çok bitki örtüsünün etkilenmesi ile orantılıdır. Bitki örtüsünün çeşitliliği ve zenginliği önemlidir. Örneğin, ormanlar önemli derecede hasar görmüş ise bu ekosistemlerde barınmakta olan hayvan türleri de önemli ölçüde etkilenir ve ortamdaki uzaklaşırlar.

Sonuç olarak, ormanlardaki etkiye benzer şekilde, hava kirliliği dorudan ve dolaylı olarak tüm flora ve faunayı da etkilemektedir.

Yeraltı Suyu

Yağışların çok büyük bir bölümü yağmur ve kar şeklindedir. Yeryüzüne düşen yağışların bir bölümü değişik yollarla yeraltı suyuna ulaşır. Toprak yüzeyinin su sızdırma özelliğine ve toprak katmanlarının geçirgenliğine bağlı olarak, yeraltı suyuna ulaşan su miktarı değişir. Eğer topraklar yeterince geçirgen değilse, toprak yüzeyine ulaşan su, eğime bağlı olarak yüzey akışına geçer. Böylece, yeraltı suyundan daha çok akarsu ve göllere ulaşır. Yeraltı suyuna ulaşan su daha sonra yeraltı suyunu besleyerek önemli su kaynaklarını oluşturur. İsveç'te yaklaşık olarak 8 milyon insan su ihtiyacını yeraltı su kaynaklarından karşılamaktadır. Bu yöredeki çok sayıda göl asidiktir. Toprak hem fiziksel bir filtre görevini üstlenmekte ve hem de içerisinden aşağıya doğru süzülme olan suyu kimyasal olarak nötralize etmektedir. Bunun sonucu olarak da, yeraltı suları yüzey sularına oranla daha az asidiktir.

Yeraltı suyunun asitleşmesi belirli durumlara bağlı olarak gerçekleşmektedir. En önemlisi toprağın asidik yağış suyunu nötralize edebilme yeteneği, içerdiği sülfat, kalsiyum ve potasyum miktarıdır. Toprağın tamponlama özelliği yeterli değilse veya zamanla azalmış ise, toprak yüzeyinden sızarak alt katmanlara doğru süzülen su asidik özelliğini sürdürdüğü için korozif (*aşındırıcı*) olabilir. Topraktaki bazı metalleri de çözerek yeraltı suyuna ulaşır. Bu

şekilde yeraltı suyu da etkilenmiş olur. pH'sı düşer ve kimyasal özellikleri değişir. Su korozif hale gelir. Hem içme suyu ve hem de kullanma suyu bakımından istenmeyen duruma gelir.

İnsan Sağlığına Etkisi

Asitli sular insan sağlığı bakımından risk oluşturur. Suyun asitlilik düzeyine bağlı olarak içerdiği zehirli metallerin, özellikle alüminyum ve kadmiyum miktarı da artar. İskandinavya'da asit yağışların etkisinde kalmış suların pH'sının 5,2-6,4 arasında değiştiği, bu sulara fazla miktarda kurşun, çinko ve kadmiyum görüldüğü rapor edilmiştir.

Kadmiyum, oldukça hareketli bir ağır metaldir. Daha çok beyin zarında birikerek doku bozulmalarına neden olur. Vücudu çok yavaş olarak terk eder. İskandinavya'da topraklardaki kadmiyum miktarı oldukça fazladır. Bunun en önemli nedeni asitleşme olmasına karşın, tarımsal amaçlarla kullanılan kimyasal gübreler de önemli kadmiyum kaynağıdır.

Bakır, daha çok çocuklarda ishale neden olur. Su asidik duruma geldiğinde, bakır içeren boru ve benzeri araçları aşındırarak bakırı alır, böylece bakır suya karışmış olur.

Alüminyum, yer yüzünün yapısında fazla miktarda bulunur. Toprakları oluşturan mineraller içerisinde oldukça sıkı bağlantılar halindedir. Ancak asitleşmeyi takiben toprak çözeltisine geçer. Buradan da su kaynaklarına ulaşır. Sudaki alüminyum, özellikle böbrekler üzerinde etkilidir. Diyalizle kana karışır. İskelet ve beyin dokusu üzerinde olumsuzluklar oluşturur. Zamanla vücuttaki birikimin artması ile Alzheimer ve Parkinson hastalıklarına da yol açtığı belirtilmektedir.

Kurşun, benzer şekilde asitleşmenin sonucu olarak sulara karışır. Özellikle çocukların sinir sistemi üzerinde etkilidir.

Yeraltı suyunun asitleşmesi ile serbest hale gelen metallerin insan sağlığı üzerindeki etkisi, suyun metal içeriği ve suyun kullanılma miktar ve süresine bağlıdır.

Korozyon

Hava kirliliği çoğu metali etkiler. Bu etki doğrudan doğruya hava içerisinde bulunan asidik gazların etkisiyle, atmosferik korozyon (aşınma) veya toprak ve suyun asitleşmesi ile oluşur. Bazı yörelerdeki atmosferik korozyonun nedeni, yerel olarak hava kirleticisi maddelerin salımıdır. Bu durumlarda hava kirliliğinin etkisi, kırsal alanlardan daha çok, yerleşim veya endüstri bölgelerinde görülür. En etkili gaz kükürt dioksittir. Azot oksitler, ozon, asit yağmur ve asidik kar da metal veya malzeme aşınmasına ve bozulmasına neden olur. Demir, çinko, kum taşı, kireç taşı, plastikler, kağıt, deri ve dokumalar hava kirliliğinden etkilenen malzemelerdir.

Çoğu materyal de hava kirliliğinin dolaylı etkisi altındadır. Asidik toprak ve su ile temasta bulunan demir borular, toprağa gömülü boru hatları, benzeri demir ve çelik yapılar, beton havuzlar korozyon etkisinde kalmaktadır. Korozyondan etkilenme oranı malzemenin aşınmaya karşı kaplanması ile azalmaktadır. Binalarda, asidik sular nedeniyle aşınan demir su borularında oluşan delikler nedeniyle borular su sızdırabilir, ıslak alanlarda kullanılan lavabo, küvet, klozet, sifon gibi gereçlerde bozulma ve renk değişikliği görülebilir. Renk değişikliğinin nedeni, suda çözülmüş olan demir ve bakır gibi metallerin çökmesi ve oksidasyon süreçlerine bağlı olarak değişik renk almasıdır. Suyun içerdiği demir ve mangan miktarına bağlı olarak yıkanan çamaşırlarda da renkli lekeler oluşabilir. Korozyonun neden olduğu maddi zarar oldukça fazladır. Aynı zamanda sağlıklı yaşamı tehdit eder. Sanat eserlerine zarar vererek kültürel etki yapar.

Sağlık Üzerinde Doğrudan Etki

Genel olarak, kirli hava, insanın yaşam kalitesini bozar, sağlık sorunlarına ve ölümlere neden olur. Özellikle yerleşim yerlerindeki hava karışımı içerisinde çok sayıda ve miktarda kirletici madde bulunabilir. Hava kirliliği bu ortamlarda, astımlı insanları, çocukları ve yaşlıları daha fazla etkiler. Kalp ve dolaşım sistemi hastalıkları, solunum kapasitesinin azalması en önemli etkileri arasındadır. Hava içerisinde bulunan asidik kirleticiler öncelikle solunum sistemini tahriş eder, zamanla kronik etkiler gösterir. Solunum gücünü çeker ve değişik doku ve organlar da hasar görülür.

4. ÇEVRESEL ETKİNİN AZALTILMASI

Hava kirliliğinin çevresel etkisini en aza indirebilmek amacıyla yapılabilecekler, süre bakımından, kısa ve uzun dönem içerisinde gerçekleştirilebilir. Ancak kısa dönemde alınacak önlemlerle yeterli oranda başarıya ulaşmak mümkün değildir.

Yüzey Suları

Akarsu ve göllerdeki asitleşme ve etkisi, kısa dönem içerisinde, kireçleme yapılarak önenebilir. Suyu kireç ilavesi ile pH'sı yükseltilebilir. Böylece suda çözülmüş olarak bulunan alüminyum ve diğer metaller çöker, balıkların vücutlarında biriken cıva miktarı zamanla azalabilir. Asitleşmenin etkisi ile su ortamlarından uzaklaşmış olan bitkisel ve hayvansal canlılar zamanla yaşam ortamlarına geri gelebilirler. Gıda zinciri içerisinde, balıkların çoğalması ile su kuşları da çoğalır. Kurbağalar yaşamlarını sürdürmeye devam eder. Ancak sorun gölün dibine çökmüştür. Zararlı maddeler beklemeye alınmıştır. Bu nedenle asit yağışların devam ettiği süre boyunca kireçlemenin yapılması gerekir. Aksi halde dibe çökelmiş olan kirletici maddeler tekrar yukarı çıkarak suya karışabilirler.

Kireçleme her 3-5 yılda bir yapılmaktadır. 1992 yılında İsveç'te kireçleme giderleri 28 milyon dolar olmuştur. İsveç ve Norveç bu amaçla oldukça fazla para harcamaktadır. Bu maddi harcamalara karşın, kireçlemenin, alüminyum ve ağır metallerin topraktan suya sızmasını önlemede sınırlı kaldığı bilinmektedir.

Tarım Toprakları

Gerek asit yağışlar ve gerekse topraklar üzerinde yetiştirilen bitkisel ürünlerin hasadı ile uzaklaştırılan bitki besin maddeleri ve asidik kimyasal gübrelerin kullanılması ile, tarım toprakları asitleşmektedir. Bu şekildeki asitleşmenin kısa dönem içerisinde önlenmesinin etkin yöntemi de kireçleme yapılmasıdır.

Ormanlık Alanlar

Tarım topraklarındakine benzer bir şekilde, asit yağışlarla birlikte orman ürünlerinin hasadı ile bitki besin maddelerinin uzaklaştırılması ve asidik kimyasal gübrelerin kullanımı ile asitleşmiş olan orman topraklarının da kireçlenmesi gerekmektedir. Federal Almanya'da asitleşmenin etkisini azaltmak amacıyla yoğun kireçleme programları uygulanmıştır. Aynı işlemler İsveç'te gerçekleştirilmiştir. Bu uygulamaların maliyeti oldukça yüksektir. Güney İsveç'te yer alan 1,4 milyon hektarlık alanda, pH'sı 4,7 'nin altında olan toprakların kireçlenmesi 400 milyon dolara mal olmuştur.

Yeraltı Suyu

Asidik yeraltı suyu, kuyu tabanına yerleştirilen filtrelerle iyileştirilebilmektedir. Diğer bir uygulama olarak, kuyu çevresindeki toprak kireçlenmektedir. Asidik yeraltı sularının kullanımı korozyona dayanıklı malzemeden yapılmış borularla sağlanmaktadır.

Kirletici Maddelerin Salımının Denetlenmesi

Kirletici maddelerin kaynakta denetlenerek salımlarının ve atmosferde yayılımlarının önlenmesi, uzun dönemde gerçekleştirilebilecek en uygun çalışmalardır. Bu amaçla, en uygun yakıt, en verimli yakma yöntemi, enerji tasarrufu, baca gazından kirleticilerin giderilmesi gibi önlemler gündeme gelmiştir.

Avrupa genelinde, en önemli kükürt salım tesisleri petrol ve kömür yakan enerji santralleridir. Kirletici salımını azaltmak amacıyla, yakma öncesi, yakma esnasında ve yakma sonrasında alınabilecek önlemler vardır. Yakıt seçiminde, düşük kükürt değerine sahip olan yakıtlar tercih edilebilir. Piyasalarda % 0,5 oranında, oldukça az miktarda kükürt ihtiva eden kömürler vardır. Ancak bu gibi yakıtların doğal depolama miktarı sınırlıdır. Bu nedenle, teknik olarak yakıttan kükürt giderilmesi gündeme gelmektedir. Bir kükürt giderme yöntemi olarak, öncelikle kömür öğütülmekte, fiziksel olarak en hafiften en ağıra doğru ayrılmaktadır. Bu yöntemle kükürt miktarı yarı yarıya azaltılmaktadır. Petrolde de kükürt giderimi mümkündür. Kükürt miktarı % 3'den % 1'e indirildiğinde, uzaklaştırılan her ton kükürt başına maliyeti 700 dolara ulaşmaktadır.

Diğer taraftan, kükürt, eski tip veya akışkan yataklı yakma tesislerinde kireç ilavesiyle de tutulabilmektedir. Kükürt'ün büyük bir bölümü kireç tarafından tutulmakta ve külle beraber alınmaktadır. Bu yöntemde maliyet fazla değildir.

Yanmış baca gazlarından kükürt giderilmesi amacıyla yeni teknikler geliştirilmiştir. Bunlar genel olarak ıslak/kuru yöntemlerdir. Asidik dumana ıslak kireç püskürtülmekte ve kuru olarak kükürt alınmaktadır. Kömür ve petrol tesislerinde kullanılabilen bu yöntem oldukça uygulanabilir ve pahalı olmayan bir yöntemdir. Bu işlemle kükürt miktarı % 90 oranında azaltılabilmektedir. Yeni kurulan termik santrallerde mutlaka kükürt giderme işlemi uygulanmaktadır.

Termik santrallerden atmosfere salınan azot oksit gazları yakma yönteminin iyileştirilmesi ile azaltılabilmektedir. Bunun için yakma süresinin ve yakma sıcaklığının azaltılması gerekmektedir. Böylece NO_x salımı % 20-80 oranında azalmaktadır. Bu amaçla Japonlar tarafından geliştirilen yeni teknolojik uygulamalarla azot oksitler % 85 oranında azaltılabilmektedir. Bu yöntem, azot oksit gazlarının azot ve suya dönüştürülmesini esas almaktadır.

İskandinavya'da azot oksit gazlarının % 60'ı motorlu taşıtlardan kaynaklanmaktadır. Trafik yoğunluğunun ve hız sınırının azaltılması, bu sınırlamaya uyum sağlanması, katalitik konvertörlerin (*katalitik dönüştürücü*) yaygın kullanımı ile azot oksit salımı azaltılabilmektedir.

Ayrıca, uzun dönemde, enerji tasarrufu, enerji üretiminde verimliliğin artırılması, toplu taşımacılığın yaygınlaştırılması, enerji üretiminde temiz ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanım oranının artırılması ile asidik gazların salımı önemli ölçüde azaltılabilecektir.

Kritik Kirlilik Yüğü

Son yıllarda, zararlı olma eşiği olarak kabul edilebilecek kirlilik miktarı ile ilgili seri çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalarla "*kritik kirlilik yüğü*" terimi ortaya atılmıştır. Bu terim,

kirleticilerin çevre, insan sağlığı ve diğer materyallere zarar vermeyen üst sınır olarak kabul edilmiştir.

1988 yılının ilkbaharında, kritik kirlilik yükü ilgili iki uluslararası konferans düzenlenmiştir. Birinci konferansta kükürlü ve azotlu çökelmeler ele alınmıştır. İkinci konferansta da kükürt dioksit, azot oksitler ve ozon'un atmosferik düzeyi üzerinde durulmuştur.

Kükürt çökelmeleri için kritik yük, en yüksek miktar olarak, 3 kg S/ha olarak belirlenmiştir. Eğer kükürt çökmesi bunun üzerinde olursa, duyarlı çoğu orman toprakları ve yeraltı su sistemi uzun süreli asitleşme ile karşı karşıya kalmaktadır. Bu eşik düzey, İsveç'in ormanlık alanlarına çökelen 15-30 kg S/ha'lık miktarla karşılaştırıldığında sorunun ne kadar önemli olduğu görülür. Kükürt çökelmelerinin en fazla olduğu orta Avrupa'da bu miktar 100 kg S/ha'a ulaşmıştır. Bu hassas alanların asitleşmenin etkisinden kurtarmak için çökelmenin % 80-90 oranında azaltılması gerekmektedir.

Azotlu bileşiklerin çökelmelerinde kritik yükün belirlenmesi oldukça zordur. Kritik azot yükü, ekosistemin üretim kapasitesine, topraktaki mikroorganizmaların faaliyetine ve bitki örtüsünün çeşitliliğine ve miktarına bağlıdır. Bu karmaşık duruma rağmen, kritik azot yükü 3-15 kg N/ha/yıl olarak belirlenmiştir. Daha duyarlı ekosistemler için bu sınırlamanın 3-10 kg/ha olması kabul edilmiştir. Orta Avrupa ülkelerinde gerçek azot çökmesi 30-40 kg N/ha'a ulaşmıştır. İsveç'te bu miktar 20-30 kg N/ha, Hollanda'da iğne yapraklı ağaç ormanlarında 100 kg N/ha düzeyine çıkmıştır. Bu sınırlamalar dikkate alındığında, doğal alanlarda azot çökmesinin % 50-75 oranında azaltılması gerekmektedir.

Kükürt dioksit için, havadaki kritik miktar, yıllık ortalama olarak 20-30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, günlük üst sınır ise 70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 'dür.

Bitkiler ozonun zararlı etkisine karşı daha duyarlıdır. Bu nedenle bitki gelişme döneminde, yani yaklaşık olarak yılın altı aylık döneminde, O_3 miktarı 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ değerini aşmamalıdır. Ozonun etkisi diğer gazlarda da olduğu gibi, havadaki karışımı ve maruz kalma süresi ile yakından ilgilidir. Ayrıca, diğer kirletici gazların ortamdaki varlıkları ve miktarları ozonun etkisini artırmaktadır.

Azot oksitler, kükürt dioksit ve ozona oranla bitkiler için daha az zararlı olarak bilinir. Ancak, NO_2 (azot dioksit) NO 'ya (azot monoksit) oranla daha zararlıdır. Yıllık ortalama miktar 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ve 4 saatlik üst değeri de 90 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak belirlenmiştir.

Verilen bu sınır değerlerine karşın, sürdürülmekte olan araştırma çalışmalarıyla bu kritik yüklerin daha aşağıya çekilmesi gereği görülmektedir.

5. ULUSLARARASI BOYUTTA ASİTLEŞME VE ÖNLEMLER

İskandinavya'nın büyük bir bölümü oldukça ince ve kireç ihtiva etmeyen toprak tabakası ile kaplıdır. Bu nedenle toprak ve su kaynakları asitleşmeye karşı oldukça duyarlıdır. Daha çok batıdan ve güney batıdan esen rüzgarlar, kuzey Avrupa üzerinden geçerek bu bölgeye çok miktarda hava kirletici madde getirirler. Ancak asitleşme sadece bu yörenin sorunu değildir. İskoçya'da, Hollanda'da ve eski adı ile Batı Almanya'da da asidik göller vardır. Orman tahribatı çoğu Avrupa ülkesinde de meydana gelmiştir. Kirli hava Venedik ve Londra gibi Avrupa kentlerindeki tarihi eserler üzerinde de etkisini göstermiştir.

Hava kirliliğinin dünyanın sadece bir bölümünü etkilediğini söylemek mümkün değildir. Endüstrileşme ve yakıt tüketiminin giderek artması ile orantılı olarak kükürt salımı ve yayılımı artmıştır. Bu nedenle hava kirliliği ve etkileri dünyanın birçok yöresinde hissedilmiştir. Brezilya'da, Güney Afrika'da, Hindistan'da ve güney Asya'da da hava kirliliğinin etkileri görülmüştür.

Her hangi bir ülkenin hava kalitesi bir başka ülkeden salınan kirleticilerden etkilenir hale gelmiştir. Bu nedenle her ülkenin kendisine ait salımı denetlemesi ve azaltması gerekmektedir. Bunun için uluslararası işbirliği gerçek çözümü getirecektir.

1960'lı yılların sonunda, İskandinavya'lı bilim adamları kendi ülkelerinde zararlı etkileri olan kirletici maddelerin, özellikle kükürt dioksitin, orta Avrupa ve İngiltere'den gelmiş olduğu konusunda aynı görüşeydiler. 1972 yılında, Stockholm'de gerçekleştirilen Birleşmiş Milletler İnsan Çevresi Konferansı'nda İsveç Hükümeti tarafından hava kirletici maddelerin sınırlar ötesi taşınımı ile ilgili bir rapor sunmuştur. Bu rapor genel bir ilgi görmüştür. Konferansta herhangi bir ülkenin diğer ülkelere zarar vermeyecek şekilde faaliyetlerini düzenlemeleri gereği konusunda bir karar alınmıştır.

Birleşmiş Milletler bu konuya giderek daha fazla önem vermiştir. 1970'li yıllarda kirleticilerin uluslararası hareketi üzerine İskandinavya'da yeni projeler ve araştırma programları geliştirilmiştir. Bunlardan biri, EMEP (European Monitoring and Evaluation Programme) idi. Birleşmiş Milletler Avrupa Ekonomik Komisyonu'nda (ECE-United Nations Economic Commission for Europe) yer alan 25 ülkede 90 ölçüm istasyonu kurulmuştur.

1979 yılında, önemli bir politik gelişme olmuştur. ECE ülkelerinin katılımı ile Cenevre'de yapılan Çevre Bakanları toplantısında ilk önemli kararlar alınmıştır. Bu toplantıya ECE ülkelerinin temsilcilerinin yanında, Kuzey Amerika'dan da katılımlar olmuştur. 34 ülkenin katıldığı bu toplantıda, Hava Kirliliğinin Sınırlar Ötesi Uzun Menzilli Taşınımı (Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution) anlaşması imzalanmıştır. Anlaşma, Aralık 1982'ye kadar yeterli sayıda ülke tarafından kabul görmemiştir. Ancak 16 Mart 1983 tarihinde uygulanabilir duruma gelebilmiştir. Bu anlaşma ülkelerin kirletici madde salımlarını azaltmalarını istemekteydi. Genel ilkeler olarak, ülkelerin bireysel sorumluluklarını öne çıkarmakta ve en uygun teknolojileri kullanmalarını önermekteydi.

1982 yılının yazında, Stockholm'da asitleşme ve etkileri üzerine bir uluslararası konferans düzenlendi. Bu konferansın temel amacı, uluslararası boyutta bir koordinasyon oluşturulmasıydı. Aslında bu, aynı zamanda sürdürülen iki konferans halindeydi. Birincisi, farklı ülkelere gelen bilim adamlarının toplantısı, ikincisi ise, ilgili değişik ülkeleri temsilen katılan bakan ve üst yöneticilerin toplantısı idi. Bu konuda ilk kez konferansa katılan bilim adamları, yöneticiler ve siyasetçiler arasında uyum sağlanıyor ve birlikte kararlar alınıyordu. Bu toplantılarda ulaşılan ortak görüşler:

- *Kükürt çökmesi için sınır değeri (kritik yük) $0,5 \text{ g S/m}^2/\text{yıl}$ (5 kg S/ha/yıl) olmalıdır,
- *Çökmenin mümkün olduğu kadar azaltılması çevrenin korunması bakımından önemlidir,
- *Hava kirleticilerin salımını önleyecek teknikler ticari olarak mevcuttur,
- *Koordinasyon programlarının hazırlanmasında kükürt dioksitle birlikte azot oksitler de dikkate alınacaktır,
- * Mevcut olan en uygun teknik ve teknolojilerin kullanılması gerekmektedir.

Bilim adamları ve araştırmacılar tarafından öne sürülen görüşler, tehlikenin ulaştığı boyutlar dikkate alınarak, toplantıya katılan politikacılar tarafından da kabul görmüştür.

1983 yılının ilkbaharında, Stockholm Konferansı'nın sonuçları dikkate alınarak, 4 Kuzey Avrupa ülkesi (İsveç, Norveç, Danimarka ve Finlandiya) birlikte bir proje önerisi sundular. Bu proje teklifi, ECE ülkelerinin 1980 yılı kükürt salımlarının esas alınarak 1993 yılına kadar salımlarının % 30 oranında azaltılmasını amaçlanmaktaydı. Bu teklif Batı Almanya, İsviçre, Avusturya ve Kanada tarafından desteklendi. Proje önerisini kabul eden ülkeler, daha sonra, "Yüzde Otuz Kulübü" olarak adlandırılmıştır.

SO₂ Protokolü

1984 yılının yazında, ECE ülkelerinin çevreden sorumlu bakanları Münih'te bir araya gelerek kükürt salımının % 30 oranında azaltılması için bir anlaşma yaptılar. Bir yıl sonra Helsinki'de, 21 ülkenin çevre bakanları bu dokümanı imzaladılar. Diğer 14 ülke bu dokümanı imzalamadı. Polonya, İngiltere, ABD bu ülkeler arasındaydı. Polonya ve bazı güney Avrupa ülkeleri için ekonomik engeller vardı. Ancak, ABD ve İngiltere, başlangıçta aynı görüşlere katılmış olmalarına karşın, hava kirliliğinin yayılımı, çökeltme etkileri, alınacak önlemler gibi konular üzerinde daha fazla araştırma yapmanın gerektiğini ileri sürdüler. İngiltere biraz daha ileri giderek, hedeflenen indirim oranının ve zamanının bilimsel verilere dayanmadığını ileri sürmüştür. Daha sonra doküman 16 ülke tarafından da imzalanınca, kükürt protokolü 2 Eylül 1987 tarihinde yürürlüğe girmiştir.

NO_x Protokolü

1 Kasım 1988 tarihinde, 25 ülke Bulgaristan'ın başkenti Sofya'da NO_x sınırlandırılması ile ilgili bir sözleşme imzaladılar. Bu protokolde, esas olarak, salınan NO_x miktarının 1994 yılına kadar 1987 yılındaki salım düzeyinde tutulması istenmekteydi. Diğer bir ifade ile, gerçek bir azaltma yerine, 1987 yılına oranla artışın önlenmesi öneriliyordu. Bu işin ilk basamağıydı. İkinci basamak olarak, NO_x miktarının 1987 yılındaki salıma göre azaltılması yoluna gidilecekti. Bu ikinci basamak çalışmaları 1996 yılından sonra ele alınacaktı. Yeterli sayıda ülkenin protokolü imzalamasıyla 14 Şubat 1991 tarihinde yürürlüğe girdi.

NO_x protokolünü imzalamalarına karşın 12 ülke, 1998 yılına kadar NO_x miktarını % 30 oranında azaltabileceklerini taahhüt edemiyordu. Bu ülkeler; Avusturya, Belçika, Danimarka, Finlandiya, Fransa, Federal Almanya Cumhuriyeti, İtalya, Lihtenştayn, Hollanda, Norveç, İsveç ve İsviçre idi.

Sofya toplantısının önemli olan diğer bir çıktısı, iki yeni çalışma grubunun oluşturulmasıdır. Birinci grup, hidrokarbonlardan (VOC- volatile organic compounds-*uçucu organik bileşikler*) sorumluydu. Bu grup VOC'lerin salımını ve bununla ilgili olarak ozon gibi fotokimyasal oksitleyicilerin oluşmasını azaltmak amacıyla sözleşmeye esas olacak bir taslak protokol metni hazırlayacaktı. Diğer grup ise, azaltma stratejileri çalışma grubu idi. Böylece kritik yük yaklaşımının yaygınlaştırılması sağlanacaktı. Bu gruba verilen bir diğer görev de, 1993 yılından sonra süresi dolacak olan Helsinki kükürt protokolünün devamını sağlayacak, kükürt salımının azaltılmasını esas alan yeni bir protokol çalışmasını yapmaktı.

Uçucu Organik Bileşikler (VOC) Protokolü

Üç yıl süren görüşmeleri takiben, 19 Ekim 1991 tarihinde, Cenevre'de 21 ülkenin imzalaması ile, uçucu organik bileşikler protokolü yürürlüğe girmiştir. Özellikle ozon'un çevresel etkisinin en aza indirilmesi amaçlanmaktaydı. Protokolü imzalayan çoğu ülkeler, 1988 yılındaki seviyeyi esas alarak 1999 yılına kadar salımlarını % 30 oranında azaltmayı kabul ediyordu. Üç ülke (Norveç, Kanada ve Ukrayna) kendi ülkelerindeki bazı özel alanlarda -troposferik ozon yönetim alanları- azaltma oranını % 30'la sınırladılar. Az miktarda kirletici salımına neden olan bazı ülkeler bu sınırlamayı sadece soğutucu olarak kullanılmakta olan gaz salımları için uygulamayı kabul ediyordu. Ayrıca, 1988 yılı salım miktarları yerine en son salım miktarının esas alınmasını öneriyordu.

6. ÇALIŞMALARIN SONUÇLARI

Kükürt Dioksit

1993 yılına kadar, son on yıl içerisinde Avrupa'da kükürt salımı % 25 oranında azaltılmıştır. Bunun sonucu olarak İskandinavya'da kükürt çökmesinde önemli miktarda azalma görülmüştür. Bazı Avrupa ülkeleri kükürt salımlarını azaltma konusunda duyarlı ve kararlıdır. Geri kalanlar ise öyle veya böyle kükürt salımlarını azaltma çabası içerisinde girmiştir. Alınan kararlar uyarınca, ısı gücü 50 MW'dan daha büyük olan ısı santralleri, 1980 yılı esas alınarak, 1993 yılına kadar kükürt salımlarını % 23, 1998'e kadar % 42, 2003'e kadar % 58 oranında azaltabilecek planlamaları yapmışlardır. Gerçekten de 1980 yılına oranla 1990 yılı ortalarında, İskandinavya'da kükürt çökmesinin % 30 oranında azaldığı tahmin edilmiştir.

1980'li yıllarda, Uluslararası Uygulamalı Sistem Analizleri Enstitüsü (The International Institute for Applied Systems Analysis-IIASA), Avusturya'da RAINS (Regional Acidification Information and Simulation) olarak adlandırılan bir bilgisayar modeli geliştirerek Avrupa'da asitleşme olayını araştırmıştır. Bu model, çoğu Avrupa ülkesi için, asitleşme üzerinde etkili olan, enerji kullanımı, salım faktörleri, denetim teknolojileri, taşınma, çökme, kükürlü ve azotlu bileşiklerin çevresel etkileri gibi faktörleri kapsamıştır.

Bu çalışmaları takiben, kirletici maddelerin salımlarını azaltıcı senaryolar hazırlanmıştır. Bu senaryolardan biri, toplam olarak Avrupa için, 1980 yılına göre 2000 yılında SO₂ salımını % 18 oranında azaltabilmekteydi. Bu model, ülkelere alınacak verileri esas alarak çalışmaktaydı. Batı Avrupa'daki bazı ülkeler güneydeki ve doğudaki Avrupa ülkelerine oranla SO₂ salımlarını daha fazla azaltabilecekti. Bazı ülkelerde ise, örneğin, Yunanistan, Türkiye, Yugoslavya ve Romanya'da, bu senaryolara göre salımların artması bekleniyordu.

Diğer bir senaryo da, her ülke için (The Best Available Technology –BAT) en uygun teknolojilerin kullanılması ile kükürt salımlarının azaltılması potansiyelini ortaya koymayı amaçlamıştı. Senaryonun uygulanmasını takiben, Avrupa'nın kükürt salımının % 80 oranında azaltılabileceği görülmüyordu. BAT senaryosunun uygulanması yıllık olarak 85 milyar DM gibi büyük bir harcamayı gerektiriyordu. İlk senaryo ise 12 milyon DM'ye mal olmaktadır. En iyi teknolojinin kullanılması ile elde edilecek sonuç oldukça başarılı olacaktır, ancak Avrupa'da kişi başına 100 DM'lik bir maliyet getirmektedir.

Azot Oksitler

Daha önce de açıklandığı gibi, azot oksitlerin salımı konusunda yeterli veri yoktu. Ancak mevcut salımın % 50'sinin batı Avrupa ülkelerindeki benzin ve mazot yakan motorlu taşıtlardan kaynaklandığı tahmin ediliyordu. Enerji üretimi ile salım toplam miktarın % 30'u dolayındaydı. Bunun çoğu da kömür yakan tesislerden kaynaklanıyordu.

Azot oksitlerin motorlu taşıt trafiğine bağlı olarak salımı ülkeden ülkeye değişmekteydi. Motor özellikleri, yakıt cinsi, egzoz gazının temizlenmesi için alınan önlemler azot oksit salımı üzerinde etkili olmaktadır. Düşük hızla seyreden otomobiller daha az azot oksit yayarlar. Ayrıca iki zamanlı motorların azot oksit salımı dört zamanlı motorlara oranla daha azdır. Bu sorunun azaltılması için silindir hacmi 2 litrenin üzerinde olan otomobillerde en iyi teknoloji uygulamaları kapsamında üç yollu katalitik konvertör kullanımı gerekecekti.

1989 yılında, başta Danimarka olmak üzere Hollanda, Federal Almanya Cumhuriyeti, Yunanistan ve diğer bazı ülkelerin baskıları sonucu, EC ülkelerinin bakanları 1989 yılında daha etkili önlemlerin alınmasını ve standartların yürürlüğe girmesini kabul ettiler. Bu standartlar ancak 1993 yılında yürürlüğe girebildi.

Mazotlu ağır vasıtalarda NO_x salımını azaltılması için henüz etkili iyi bir yöntem yoktur. Ancak bu vasıtalarda da NO_x salımının % 50 oranında azaltılabilmesi için turbo, iç soğutucu kullanımı ve motor değişikliği gerekmektedir. Kamyon ve otobüslerden salımların azaltılması için diğer yollar, yakıt kalitesinin geliştirilmesi, mazot yerine benzin, gaz veya alkol yakıtların kullanılması gereklidir. Bu yakıtları kullanan araçlar üç yollu katalitik konvertörlerle uyumlu olmalıdır.

Model çalışmaları ile ortaya konulan diğer bir görüş, fabrikalarda, enerji üretim tesislerinde ve ulaşım hizmetlerinde daha uygun teknolojilerin kullanılmasıdır. Temiz yakıt tüketimi, temiz enerji kaynakları, hız sınırının düşülmesi, demiryolu taşımacılığının geliştirilmesi, toplu taşımacılığın özendirilmesi gibi önlemlerle salımlar arzu edilen düzeylere indirilebilecektir.

7. SON SÖZ

İnsan ihtiyaçlarının karşılanması ve yaşam kalitesinin giderek yükseltilmesi amacıyla, doğal kaynaklarının kullanımına bağlı olarak meydana gelen hava kirliliği sorunu, sadece bir ülkenin veya dünya coğrafyasında bir bölgenin sorunu olmaktan öteye önem taşımaktadır. Hava kirliliği sorunu dünya üzerinde yaşamakta olan tüm canlıların ve tüm varlıkların sorunu haline gelmiştir. Sorunun boyutları ve etkileri giderek artmaktadır. Bugüne kadar yapılan bilimsel çalışmaların sonuçları, tüm insanları ve devletleri, uluslararası kuruluşları bu konuda daha duyarlı olmaya davet etmektedir.

Hava kirliliği sınır tanımayan, bir ülke üzerindeki hava katmanları ile yüzlerce ve binlerce kilometre uzaktaki diğer ülkelerin atmosferine taşınarak zararlı etkisini gösteren küresel bir sorun haline gelmiştir. Doğrudan ve dolaylı etkileri bakımından, bugün olduğu kadar, gelecek dönemlerde de, canlı ve cansız varlıkları olumsuz olarak etkileyebilecek bir özellik taşımaktadır. Stratosferik ozon tabakasının incelmeye, iklim değişimleri, kuraklık, çölleşme, toprak ve su kaynaklarının asitleşmesi, ormansızlaşma gibi etkiler giderek belirgin hale gelmektedir.

Sorunun çözümü uluslararası boyutta, daha ciddi yaklaşımlarla ele alınmalıdır. Özellikle Birleşmiş Milletler Örgütü bu konuda daha güçlü bir yapıya kavuşturulmalı, bu konuda alınan uluslararası kararlara ve sözleşmelere uyum zorunlu hale getirilmelidir. Kirliten öder prensibi yerine, kirlitenin kesinlikle önlenmesi ilkesi dikkate alınmalıdır. Ekonomik zorunluluklar nedeniyle gerekli önlemleri alamayan, geri kalmış ve gelişmekte olan ülkeler, oluşturulacak fonlarla desteklenmelidir.

8. KAYNAKLAR

EEA, 2002, "Energy and Environment in The European Union", Copenhagen, Denmark.

EEA, 2003, "Europe's Environment: The Third Assessment", Copenhagen, Denmark.
Internet: <http://www.eea.eu.int>

Hanneberg, P., 1993, "Acidification and Air Pollution", A Brief Guide, Swedish Environmental Protection Agency, 93 p.

Malanchuk, J.L. and J. Nilsson (Ed.), 1989, "The Role of Nitrogen in The Acidification of Soils and Surface Waters", Nordic Council of Ministers, Copenhagen, Denmark.

Meriletho,K., K. Kenttamies, and J.Kamari, 1988, "Surface Water Acidification in The ECE Region", Nordic Council of Ministers, Copenhagen, Denmark.

Moseholm,L., B. Anderson, and I. Johnsen, 1988, "Acid Deposition and Novel Forest Decline in Central and Northern Europe", Assessment of Available Information and Appraisal of The Scandinavian Situation, Nordic Council of Ministers, Copenhagen, Denmark.