

ATMOSFERİK ÇÖKELME TAYİN YÖNTEMLERİ

Hanefi BAYRAKTAR, F. Sezer TURALIOĞLU

Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 25240/Erzurum

Geliş Tarihi : 03.10.2002

ÖZET

Doğal ve/veya antropojenik kaynaklardan atılan kirleticilerin atmosferde çeşitli süreçlerden geçtikten sonra tekrar yeryüzeyine dönmeleri atmosferik çökeltme olarak tanımlanmaktadır. Kuru ve/veya ıslak olarak gerçekleşen atmosferik çökeltme, giriş yaptığı su, bitki örtüsü, toprak, çeşitli tarihi ve diğer yapılar gibi ortamlara verdiği zararlardan dolayı son yıllarda ağırlıklı olarak çalışılan konulardan biridir. Ancak atmosferik çökeltme tayini çok çeşitli ve değişken parametrelerin etkisinde olduğundan tespiti oldukça zordur ve çeşitli örnekleme cihazı ve örnekleme yüzeylerine ihtiyaç duyulmaktadır. Islak çökeltme manuel veya otomatik kontrollü cihazlarla örneklenebilirken, kuru çökeltmede, çeşitli meteorolojik ve topografik etkileri minimize etmek için örnekleme yüzeyleri kullanılmaktadır. Yapılan çalışmalar su yüzeyli örnekleycilerin hem kuru hem de toplam (bulk) çökeltmeyi örneklemede daha uygun olduğunu göstermektedir. Bu makalede, atmosferik çökeltme olayı ve tayin yöntemleri özetlenmiş, çeşitli hava kirleticilerin çökeltme akımlarını belirlemek için geliştirilmiş toplama yüzeyleri birbirleriyle kıyaslanmıştır.

Anahtar Kelimeler : Atmosferik çökeltme, Kuru çökeltme, Islak çökeltme, Toplam çökeltme

DETERMINATION METHODS OF THE ATMOSPHERIC DEPOSITION

ABSTRACT

The atmospheric deposition is defined as the turning back of pollutants to the earth, emitted either from natural or anthropogenic sources, after the some transformation stages of pollutants in the atmosphere. Because the atmospheric deposition (wet and dry deposition) damages water, plants, soil, historical and other structures, it is one of the popular subject to study in recent years. However, it is difficult to study the determination of atmospheric deposition because it has a lot of various and changeable parameters. So, there is a need for various systems and surfaces for sampling. As wet deposition can be sampled by manual and automatic systems, the different developed sampling surfaces which minimize the effect of various topographic and meteorological conditions are used to sample dry deposition. Studies show that sampling with water surfaces is more suitable to collect both dry and bulk deposition. In this study, atmospheric deposition and its determination methods were explained and sampling surfaces that were developed to collect deposition of different air pollutants compared each other.

Key Words : Atmospheric deposition, Dry deposition, Wet deposition, Bulk deposition

1. GİRİŞ

Atmosfer gaz ve partikül maddelerin giriş yaptığı, değişime maruz kaldığı ve ayrıldığı dinamik bir

sistemdir. Bu sistem, kendi doğal bileşenleri yanında, yer yüzeyinden salınan doğal ve antropojenik kaynaklı hava kirleticilerle de yüklenmektedir. Hava kirleticiler oluşum şekillerine göre iki ana grupta toplanmaktadır. Bunların bir kısmı doğrudan doğruya kirletici kaynaktan

atıldıkları şekilde atmosferde bulunurlar ki bunlara birincil kirleticiler denir. Diğerleri ise, havaya karışan bu birincil kimyasalların havada mevcut diğer bazı türlerle atmosferde reaksiyona girmesi ile oluşan reaksiyon ürünleridir ve bunlara da ikincil kirleticiler denir (Henry and Heinke, 1996). Atmosferik kimyasal oksidasyon prosesleri, gazların transformasyonunda ve ikincil kirleticilerin oluşumunda önemli bir mekanizmadır. Böylece gazlar daha ileri okside olmuş ürünlere dönüşmektedir. Örneğin; NO oksidasyonla NO₂'yi daha sonra da HNO₃'ü, hidrokarbonlar oksidasyonla aldehitleri, SO₂'de oksidasyonla sülfat partiküllerini oluşturmaktadır (Boubel et al., 1994).

Çeşitli kaynaklardan salınan hava kirleticiler, meteorolojik koşullara bağlı olarak ya dağlararak seyrelmekte veya kimyasal reaksiyonlara maruz kalarak farklı kirletici oluşumuna sebep olmaktadır. Atmosferde farklı kalış sürelerine sahip olan kirleticiler, nihai olarak kuru ve ıslak çökeltme diye adlandırılan mekanizmalarla atmosferden ayrılmaktadırlar.

Atmosferdeki en ince partiküller (0.005-0.1µm) yanma kaynaklarında oluşan sıcak buharların yoğunlaşmasıyla atmosfere girerler. Bu en küçük partiküller, atmosferde birkaç saat içinde birbirleriyle tane bağlanması (aglomerasyon) yoluyla büyürler. Bu tane bağlanması bazen gaz fazda brownian hareketleriyle meydana gelir, bazen de bulut veya sis damlaları içinde oluşur. Orta büyüklükteki partiküller (0.1-1µm)'in bir kısmı tane bağlanması ile oluşurken bir kısmı da kimyasal dönüşümle (gaz ve buharların kimyasal olarak partiküllere dönüşümü) meydana gelir. Yeteri kadar büyümüş bu partiküller, bulutlardaki damlacıklar tarafından yakalanma (rainout) veya yere düşen yağmur damlaları tarafından yakalanma (washout) mekanizmalarıyla atmosferden ayrılırlar. 2-100 µm arasındaki daha büyük partiküller ise genelde endüstriyel kaynaklarından atmosfere girmekte ve bunlar çoğunlukla yer çekimi kuvvetiyle atmosferden ayrılmaktadırlar. Bu ayrılmada bazen bulut ve yağmur aktiviteleri de etkili olmaktadır (Baumbach, 1996).

2. ATMOSFERİK ÇÖKELMENİN ÖNEMİ

Günümüzde artık çevre olayları sadece lokal boyutta kalmayıp, aynı zamanda uluslararası problemler haline alan bir süreçtir. Örneğin SO₂ ve NO₂ kirliliği meteorolojik parametrelere bağlı olarak başka bölge veya ülkelere taşınabilmekte ve asit yağmurları

şeklinde oraları olumsuz biçimde etkileyebilmektedir (Asman, 2001). Güneybatı Pensilvanya'daki Allegheny ve Laurel tepelerinde 1983 yılına ait gözlenen yağışların pH değerleri ortalama 3.52'dir (Pierson et al., 1987). Tanner (1999)'in Honk Kong için yaptığı çalışmada ise pH değerlerinin bazen 3.83 değerine kadar düştüğü gözlemlenmiştir. Bugün dünyanın endüstrileşmiş çeşitli ülkelerinden atmosfere salınan kirleticilerin komşu ülkelerde meydana getirdiği asit çökeltmesi ve bunun sonucu olarak o ülkelerde doğal suların asitlenmesi ve ekolojik yapının bozulması ile meydana gelen tahribat açıkça ortaya konulmuştur (Park and Cho, 1998). Atmosferde bozunması zor olan insan kaynaklı bazı kirleticiler ise çok daha uzak bölgelere taşınıp ekosisteme girebilmektedir. Örneğin antropojenik kaynaklı kimyasallar, kaynaklardan binlerce kilometrelik uzakta ve hiçbir endüstriyel faaliyetin olmadığı Kuzey ve Güney kutuplarında bulunmuşlardır (Connell et al., 1999; Burkow and Kallenborn, 2000; Planchon et al., 2001; Shevchenko et al., 2003). Montone et al., (2003) tarafından yapılan çalışmada Antartika' da PCB (Çok klorlu bifenil) ve DDT (Diklorodifeniltrikloroetan) kalıntıları tespit edilmiştir. Bu nedenle atmosferik çökeltme, sınır tanımaz bir kirlilik kaynağı olarak temiz çevreler için ciddi bir tehdit olmaya devam etmektedir.

Atmosferik çökeltmenin su ortamı ve onu kullanan canlılara etkileri de oldukça önemlidir. Yüzeysel suya atmosferik çökeltme yoluyla giren kirleticiler genelde partiküllerin yüzeyine tutunurlar veya çözünerek suda kalırlar. Suda yaşayan canlılar, bu kirleticileri ya temas yoluyla veya beslenme amacıyla vücutlarına alırlar. Bunlardan özellikle toksik ve kanserojen yapıda olanlar canlı vücudunda birikmekte ve beslenme zincirinde artan konsantrasyonlarda insana kadar gelebilmektedir. Ayrıca, atmosferik çökeltmeyle tatlı su göllerinde asidite artmakta, bunun neticesi canlı türlerinde azalmalar ve yok olmalar gözlenmektedir. Halen bir çok ülkede aşırı asitliği gidermek amacıyla tatlı su göllerine kalsiyum hidroksit püskürtülmekte, bu amaçla İsveç' te yılda 40 milyon dolar harcanmaktadır (Okay, 1996). Diğer yandan, yapılan çalışmalarda doğal suların atmosferik toksik kirleticilerle de önemli olarak kirlendiği saptanmıştır. Superior ve Michigan göllerine giren kurşunun % 95'i, PCB (Çok klorlu bifenil)'nin % 75'i ve POM (Çok halkalı organik madde) un % 96'sı atmosferik çökeltmeden kaynaklandığı belirtilmektedir (Taşdemir ve Payan, 1999).

Kirleticilerin bir bölümü de atmosferden karalar üzerine çökmektedirler. Çökelediği ortamdaki bitkilerin yıkanmadan tüketilmeleri sonucu üzerlerindeki kirleticilerin insan ve hayvan

bünyelerine geçişi söz konusu olabilmektedir. Diğer yandan kükürt dioksit (SO₂) ve azot oksitler (NO_x), bitki yüzeyinde bulunan ve stoma denilen delikler yardımıyla yaprak dokularına girmekte, özellikle SO₂ bir yönden oksijen alımını önlemekte, diğer yönden de bünyede sülfürik asite dönüşerek parçalama ve yakma etkisi yapmaktadır. Aynı zamanda SO₂'nin yaprak ve ibrelerde oluşturduğu sülfürik asitin klorofili ve plazmayı tahrip ettiği, dolayısıyla özümlemeyi engelleyerek bitki canlılığının sona ermesine neden olduğu bilinmektedir. Ayrıca, toprak yüzeylerine çökelen kirlenmeler toprak pH'ını düşürerek besin elementlerinin yıkanmasına ve ağır metallerin çözünürlüğünün artmasına sebep olur. Topraktaki bu kirlenmeler yağmur veya sulama sularıyla da yıkanarak, yeraltı ve yüzeysel sulara karışmakta ve su kalitelerinde ciddi problemler oluşturmaktadır (Balestrini et al., 2000).

Atmosferde bulunan kirlenmeler yapılar üzerine kuru veya yaş halde çökerek bunlara da zarar verirler. Bu tahribat binalarda olduğu kadar, tarihi eserlerde de gözlenmektedir. Atina yakınındaki Akropol yıkıntılarında tahribat tamamen atmosferik çökeltme kaynaklıdır (Okay, 1996). Aynı şekilde atmosferik çökeltme çeşitli yüzeyler üzerinde (araç, metal vb. yüzeyler) de korozyona sebebiyet vermektedir (Oesch and Foller, 1997; Rabl, 1999).

3. ATMOSFERİK ÇÖKELMEDE ETKİLİ MEKANİZMALAR

Doğal bir temizlenme mekanizması olan atmosferik çökeltme, hava kirlenmelerin atmosferden ayrılarda diğer ortamlara girişine neden olan önemli bir süreçtir. Bu sürecin gerçekleşmesinde kuru ve yaş çökeltme etkin bir rol oynamaktadır.

3. 1. Kuru Çökeltme

Atmosferik kirlenmelerin her hangi bir hidrometeor etkisi olmadan (sis, yağmur, kar) sadece yerçekimi kuvveti etkisiyle atmosferden ayrılma prosesidir (Wesely and Hicks, 2000). Atmosferik kuru çökeltmenin belirlenebilmesinde değişik yöntemler kullanılmaktadır. Her bir yöntem kendine has bir çok belirsizlikler içermektedir. Bunlardan atmosferik akı metodunda havada ölçülen konsantrasyonlardan ve çökeltme hızlarından faydalanılır. Bu yöntem matematiksel olarak Eşitlik (1) yardımıyla verilmektedir (Lin et al., 1993).

$$F = C \times V_d \quad (1)$$

Burada;

C = Konsantrasyon (µg/m³)

V_d = Partikül çökeltme hızı (cm/s)

F = Kuru çökeltme akısı (µg/ Alan×Periyot)

ifade eder.

Bu yöntemin tutarlılığı alınacak çökeltme hızının (V_d) durumu temsil etme yeteneğine bağlıdır. Yapılan çalışmalarda çökeltme hızları, farklı çökeltme yüzeyleri için farklı değerlerle tanımlanmaktadır. Bu değerler, çeşitli yüzey şartlarının (toprak, su, bitki örtüsü vb.) ve meteorolojik parametrelerin (rüzgar, türbülans vb.) modellenmesiyle bulunmaktadır (Brook et al., 1999 a). Tablo 1'de çeşitli yüzeyler için ölçülmüş ve model yöntemiyle tahmini yapılmış çökeltme hızlarının karşılaştırılması verilmektedir (Brook et al., 1999 b).

Yüzey analiz metodu ise, atmosferik kirlenmelerin bir yüzeyde toplanıp analizlenmesi esasına dayanır. Seçilecek toplama yüzeyinin ölçüm yapılan alanı temsil etmesinde bir çok belirsizlikler bulunmaktadır. Yinede bu metod, ölçüm bölgesinin meteorolojik ve topografik yüzey şartlarını yansıtacağı için atmosferik akı metoduna göre daha tutarlı sonuçlar verebilmektedir. Örneğin Zorbist et al., (1993) yüzey analiz metodunu baz alarak yaptıkları çalışmada atmosferik çökeltmeyi tayinde toplama yüzeyi olarak su yüzeyi kullanmış ve çökeltme akısını da Eşitlik (2) yardımıyla hesaplamışlardır. İsviçre'nin Zürih kenti civarındaki kırsal alanda yapılan bu çalışmada, ıslak yüzeylere (deniz, göl, gölet, nemli yüzeyli bitkiler vb.) olan kuru çökeltme akısının, kuru yüzeylere (herhangi bir kaplama malzemesi tatbik edilmemiş petripler, frizbiler vb.) nazaran genellikle 4 kat daha yüksek olduğu gözlenmiştir. Ancak yinede çeşitli hidrometeorlar (yağmur, kar, sis) vasıtasıyla aynı örnekleme bölgesinde oluşan ıslak çökeltme akısının, ıslak yüzeylere olan kuru çökeltme akısından da büyük olduğu belirtilmiştir.

$$R = \frac{C \times V}{A \times T} \quad (2)$$

Burada;

C= Konsantrasyon (Yıkama suyu dahil) (µg/L)

V= Hacim (Yıkama suyu dahil) (L)

A= Yüzey alanı (m²)

T= Numuneleme periyodu (gün)

R= Çökeltme akısı (µg/ m²×gün)

ifade etmektedir.

Tablo 1. Çeşitli Atmosferik Kirlenmeler İçin Ölçülmüş ve RDM (Routine Deposition Model) Model Yöntemiyle Tahmini Yapılmış Çökeltme Hızları (Brook et al., 1999 b)

Yüzey	Ölçülen çökeltme hızı (cm/s)				RDM Modeliyle tahmini çökeltme hızları (cm/s)			
	SO ₂	HNO ₃	SO ₄	O ₃	SO ₂	HNO ₃	SO ₄	O ₃
Bitki ört. olmayan toprak yüzeyler	1.2	-	-	0.5**	-	-	-	-
Yapraklı ormanlar	0.3	4.0	0.13	1.0	0.86	5.0	0.75	0.5
Kozalaklı ormanlar	0.33	-	0.7	1.0	0.89	-	0.96	0.51
Çimen yüzeyler	1.4	4.0	0.22	0.56	0.58	4.5	0.34	0.67
Su yüzeyleri	1.5	-	0.24*	0.05	1.72	-	-	0.03

*(Tanner et al., 2001)

**(Wesely et al., 2000)

Her iki metod (Atmosferik akı ve Yüzey analiz metodu) ile kuru çökeltme akısının belirlenmesi, bir çok parametreye bağlı olduğundan oldukça kompleksdir. Bu nedenle tasarlanan çeşitli toplama yüzeyleri oldukça önem taşır. Çünkü (Taşdemir ve Payan, 1999).

- Toplama yüzeylerinin değişik zaman ve yerlerde kullanılabilmesi, çeşitli meteorolojik ve bölgesel değişikliklerin çökeltmeye etkisini yansıtmada önemlidir.
- Örneklemede pürüzsüz yüzeylerin kullanımı hava akımlarının türbülansını minimize edeceğinden minimum seviyede bir çökeltme değeri verir. Ancak gerçek çökeltme yüzeyleri değişik oranlarda pürüzlülüğe sahiptir ve daha büyük değerler gözlenir. Bu nedenle deneysel çökeltme değeri olarak bulunan bu akılar, doğada beklenen değerlerin alt sınır değerine karşılık gelen sonuçları gösterir.
- Toplama yüzeyleri, araştırma enstrümanı olarak kullanıldıkları için çökeltmeye yüzey geometrisi, yüzey özellikleri, meteorolojik faktörler ve çökeltme türlerinin karakteristik etkileri belirlenebilmektedir.

Bu faktörler göz önünde bulundurularak geliştirilmiş, kuru çökeltme tayininde kullanılan yüzeylerin başlıcaları;

- a) Toplama kapları ve frizbiler : Önceki çalışmalarda çeşitli yüzeylere herhangi bir kaplama malzemesi tatbik edilmeden partikül madde kuru çökeltmesi ölçülmeye çalışılmıştır. Bu amaçla çeşitli cam ve plastik malzemeden yapılmış yüzeyler kullanılmıştır. Ancak yapılan laboratuvar çalışmaları çok düşük rüzgar hızları hariç çökeltme partiküllerin, rüzgarın etkisiyle havalanıp, ortamdan uzaklaşmalarından dolayı bu tür toplama kaplarının verimlerinin oldukça düşük olduğunu göstermiştir (Vallack, 1995). Ayrıca

aerodinamiği bozan yapılarıyla da bu tür toplama üniteleri istenen bilimsel hassasiyete sahip değildir. Aerodinamik blokajı (atmosferik doğal akışı bozan yapılar) önlemek için yapılan çalışmalar, frizbi şeklinde olan yapıların bunu büyük ölçüde giderdiğini göstermiştir (Hall et al., 1994; Goosens and Offer, 2000). Böylece partikülleri uzaklaştıran içsel türbülanslar minimize edilmiş olmaktadır. Yinede atmosferik kuru çökeltmeyi tayinde bu tür kapların kullanımı ile güvenilir sonuçlar elde edilememiş ve yeni yüzeylerin kullanımı yoluna gidilmiştir.

- b) Yağlı yüzeyli örnekleyiciler: Rüzgar tüneline geliştirilmiş olan ve aerodinamik akışı bozmayan esaslar dahilinde Noll et al., (1988) partikül haldeki kirlenmelerin toplanmasında bu tür yüzeyleri kullanmışlardır. Sonraları bu örnekleyiciler, bir çok araştırmacı tarafından modifiye edilerek kullanılmıştır (Holsen et al., 1991; Holsen ve Noll, 1992; Lin et al., 1993; Taşdemir ve Payan, 1999). Holsen et al., (1991) tarafından PVC yüzeyler üzerine tutturulan gresli Mylar şeritleri kullanılarak yapılan çalışmada PCB (Çok klorlu bifenil) çökeltme örnekleri toplanmıştır. 8 mg Apezion L gresi yaklaşık 8 µm kalınlığında sürülerek Mylar şeritleri oluşturulmuş ve bu greslenmiş yüzeyler üzerine çökeltme gerçekleşmiştir. Şikago'da yapılan bu çalışmada PCB'lerin kuru çökeltme akılarının 2.8-9.7 µg/m²×gün olarak değiştiği kuru çökeltme hızının ise ortalama 0.5 cm/s olduğu belirlenmiştir. Genellikle yağlı yüzeyler kullanılarak yapılan çalışmalarda kabul edilen teoriler şunlardır (Holsen et al., 1991; Odabaşı ve ark., 1999).

- Yüzeyledeki engebelerden dolayı oluşacak kuru çökeltme hızları bu tür örnekleyicilerle minimize edilmektedir.
- Yağlı yüzeyler, çöken partiküllerin yeniden atmosfer ortamına karışmasına engel olmakta ve çökeltme partikül miktarını doğrudan ölçebilmektedir.
- Küçük partiküller rüzgarla beraber hareket ederek çökeltmenin gerçekleşmesini sağlarken, büyük partiküllerin çökeltmesinde sedimentasyon etkili olmaktadır.
- Uçucu ve yarı-uçucu olan, ve yağlı yüzeylerle kimyasal teması girmeyen maddelerin yakalanmasında bu tip örnekleyiciler rahatlıkla kullanılabilir.

Bu tip yüzeyler, ancak sınırlı sayıda kirleticileri tutabildiğinden ve özellikle gaz halindeki kirleticilerin kuru çökeltme akısının belirlenmesinde yetersiz kalmasından dolayı (Yi et al., 1997; Odabaşı ve ark., 1999) yeni toplama yüzeyleri (özellikle su yüzeyli örnekleyiciler) araştırma çalışmalarına başlanmıştır.

- c). Su yüzeyli örnekleyiciler: Suyun toplama yüzeyi olarak kullanılması, diğer yapay toplama yüzeylerine (filtre, petri kabı, toz toplama kabı, yağlı yüzeyler vs.) nazaran daha makuldür çünkü doğal çökeltmeyi temsil edici bir özelliğe sahiptir. Bununla beraber su dünyada bulunan en büyük doğal kaynaktır. Dolayısıyla gerçekleşen atmosferik çökeltme olayının büyük bir kısmının su yüzeylerine olması muhtemeldir.

Gaz absorplama ve aerosol yakalama özellikleri göz önünde tutularak karşılaştırıldığında su yüzeyleri yapay yüzeylere göre çeşitli avantajlara sahiptir. Bunlar (Zorbist et al., 1993).

- Çoğu gazlar Henry kanunu uyarınca suya absorbe olurlar.
- Su yüzeyine ulaşan uçucu olmayan kirleticilerin su tarafından tutularak tekrar atmosfere karışması önlenir.
- Su, çoğu gaza düşük ve sabit direnç gösterir.
- Aerosollerin yüksek oranda tutulması sağlanır ve bu geri dönüşümsüzdür.

Su yüzeyli örnekleyiciler günümüzde halen atmosferik kuru çökeltmeyi tayinde kullanılan etkin örnekleme yüzeylerinden biridir. Ancak bu toplama yüzeyinin kullanımı da bölgenin

meteorolojik ve topografik yapısına bağlı olduğundan oldukça zor ve pahalı bir işlemdir.

3. 2. Islak Çökeltme

Atmosferik kirleticilerin hidrometeorlar (yağmur, kar vs.) vasıtasıyla atmosferden uzaklaştırılma prosedürü (Schnoor, 1996). Atmosferik çökeltmede en etkin mekanizma ıslak çökeltmedir. Yapılan araştırmalar herhangi bir kirleticinin, ıslak çökeltmesinin kuru çökeltmeye oranının 2 kattan fazla olduğunu göstermektedir (Asman, 2001). Gazların sudaki çözünürlüğü ıslak çökeltmeyle gazların atmosferden uzaklaştırılma miktarını etkilemektedir. SO₂ ve NO₂ gibi gazlar, bulut içindeki yağmur damlacıklarının formasyonuna bağlı olarak suda yeterince çözünebilir. Bu gibi çözünebilir gazlar, yağmur veya sis formundaki sıvı damlacıklarının ıslak çökeltmesiyle atmosferden uzaklaştırılabilir. Ancak O₃ ve hidrokarbon buharları gibi daha az çözünen gazlar ise atmosferden yer yüzeyine taşınımıyla ulaşmakta ve büyük su kütlelerine difüze olmaktadır (Boubel et al., 1994).

Islak çökeltme (3) ve (4) nolu eşitlikler kullanılarak hesaplanmaktadır (Voldner and Aluo, 1993; Luo, 2001).

$$C = \sum C_i \times P_i / P_i \quad (3)$$

Burada;

C_i: Ölçülmüş konsantrasyon (µg/L)

P_i: Toplama periyodunda kaydedilmiş yağış miktarı (mm/h)

C: Konsantrasyon (µg/L)
ve

$$D = C \times P_T \quad (4)$$

Burada;

C: Konsantrasyon (µg/L)

P_T: Toplam yağış miktarı (mm/h)

D: Islak çökeltme akısı (µg / m² × periyot)

ifade etmektedir.

Ayrıca yapılan çalışmalarda ıslak çökeltme için temizleme oranları da göz önüne alınmaktadır. Partikül ve gazlar; hem bulutlardaki damlacıklar tarafından yakalanma (rainout), hemde yere düşen damlacıklarla süpürülme (washout) mekanizmalarıyla atmosferden uzaklaştırılmaktadır. Temizleme oranının tayini için atmosferik kirleticilerin konsantrasyonlarının başlangıç değerlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bunun için de

yapılan çalışmalarda farklı yapılarda ve farklı gözenek boyutlarında filtreler kullanılmıştır (Tuncel ve Üngör, 1995; Zhuang et al., 1999; Chan et al., 2000; Odabaşı et al., 2001 ve Tanner et al., 2001). Islak çökeltmede temizleme oranı aşağıdaki (5) nolu denklemle tanımlanmaktadır (Tuncel ve Üngör, 1995).

$$S_R = \left(\frac{C_r}{C_a} \right) \times S_a \quad (5)$$

Burada;

S_R : Temizleme oranı

C_a : Aerosol fazda gözlenmiş kirleticinin konsantrasyonu ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

C_r : Yağışta ölçülmüş kirleticinin konsantrasyonu ($\mu\text{g}/\text{g}$)

S_a : Havanın yoğunluğu (g/m^3)

ifade etmektedir.

Islak çökeltme örneklerinin toplanmasında farklı dizayn edilmiş iki grupta değerlendirilebilecek sistemler kullanılmaktadır. Bunlar;

- a) Manuel (elle) Kontrollü Yağış Toplama Kapları : Yağış örneklerinin toplanmasında çeşitli tipte manuel olarak kontrol edilebilen toplama kapları kullanılmaktadır. Bu kaplar bazen dış kirlenmelere (kuş, böcek ve diğer kirlenmeler) karşı çeşitli gözenek büyüklüğündeki (1 mm) ağlarla kapatılmaktadır (Reynolds et al., 1999). Bu kapların toplanan yağışın kimyasını bozmayacak maddelerden (Teflon, polietilen, yüksek yoğunluklu polietilen, cam, paslanmaz çelik vs) yapılmış olmasına dikkat edilmektedir (Eitzer and Hites, 1989; Arslan et al., 1993; Çakır ve Çakır, 1993; Naik et al., 1995; Ozeki et al., 1995; Al-Momani et al., 2000 ve Luo, 2001). Atmosfere açık bu kaplar her gün rutin olarak kontrol edilmekte, kuru çökeltmeden kaynaklanan kirlenmeyi önlemek için her kontrolde distile suyla temizlenmektedir. Her yağış olayı sonucunda kapta toplanan yağış numunesinin pH'sı genellikle sistemin bulunduğu alanda veya en yakın laboratuara kısa sürede tespit edilmekte ve toplama kapları kapatılarak analiz için laboratuara getirilmektedir. Laboratuvar şartlarına bağlı olarak yağış numunesinde çeşitli analizler (İletkenlik, Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} ,

Na^+ , NH_4^+ , K^+ , Ca^+ , Mg^+ , vb.) yapılabilmektedir (Zunckel et al., 2003).

- b) Otomatik Kontrollü Yağış Toplama Kapları : Yağış örneklerinin toplanmasında çeşitli tipte otomatik kontrollü cihazlar kullanılmaktadır (Al-Momani et al., 1995; Tanner, 1999 ve Balestrini et al., 2000). Bu tip cihazlar genellikle 5 bölümden oluşmaktadır. Bunlar; nem sensörü, huni kapağı, filtre mekanizması, zaman sayacı, numune alma şişesi ve elektrik motorudur. Nem sensörü; dedektöre ilk yağmur damlasının çarpmasından sonra toplama kabının kapağını açarak mekanik sistemi çalıştırmaktadır. Böylece yağmur örnekleri kuru çökeltmeyle kirlenmemiş olmaktadır. Numune toplama cihazındaki filtre mekanizması toplanan yağmur suyunun filtrelenmesini sağlamaktadır. Genellikle toplama ve saklama kapları yüksek yoğunluklu polietilen malzemelerden seçilmektedir (Tuncel ve Üngör, 1995).

c) 3. 3. Toplam (Bulk) Çökeltme

- d) Yapılan bazı çalışmalarda kuru ve ıslak çökeltme haricinde toplam çökeltme de ele alınmıştır. Toplam çökeltme; kuru ve ıslak çökeltmenin birlikteki halidir (Reynolds et al., 1999). Bu amaçla toplama sistemleri belli bir zaman periyodunda atmosfere açık bir şekilde bırakılarak kuru ve ıslak çökeltme birlikte toplanmakta, daha sonra numune laboratuara getirilerek analizlenmektedir. Toplam çökeltme tayininde, yağışın olmadığı periyotlarda kuru çökeltmenin belirlenmesinde daha tutarlı sonuçlar elde etmek için su yüzeyli örnekleyicinin kullanımı faydalı olmaktadır. Bayraktar (2002) atmosferik çökeltme (toplama çökeltme) tayininde su yüzeyli bulk örnekleyicisi kullanmış, bu amaçla polietilen numuneleme kabı belli hacimde distile su ile doldurulup atmosfere açık bırakılmıştır. Numuneleme periyodu sonunda örnek (kuru ve yağ çökeltmenin birlikteki hali) çeşitli analizler için laboratuara getirilmiştir. Özellikle otomatik kontrollü çökeltme tayini sistemlerinin olmadığı durumlarda, kuru ve ıslak çökeltme örnekleri ayrı ayrı sağlıklı toplanamadığından, toplam (bulk) çökeltme tayini yapmak bölge ile ilgili atmosferik çökeltme tayininde doğru sonuçlar verebilmektedir (Reynolds et al., 1999 ve Bayraktar, 2002).

4. GENEL DEĞERLENDİRME

Atmosferik çökeltme, çevre ve insan sağlığı açısından oluşturduğu tehdit nedeniyle uzun yıllar dikkate alınması gereken konulardan biri olmuştur. Çeşitli çalışmalar (Voldner and Aluo, 1993; Montone et al., 2003) göstermiştir ki, bazı ortamlar (göl, gölet vb. tatlı su kaynakları) için kirlilik girdisinin % 95'i atmosferik çökeltmeden kaynaklanmaktadır. Bu kirlilik kaynağı, yapılacak olan mühendislik hesaplamalarında bir girdi olarak mutlaka göz önüne alınmalıdır.

Kuru ve/veya ıslak olarak gerçekleşen atmosferik çökeltme değişik örnekleme yüzeyleri kullanılarak çeşitli manuel ve otomatik kontrollü sistemlerle örneklenebilmektedir. Manuel kontrollü sistemlerle yapılan ıslak çökeltmenin belirlenmesi çalışmalarında bir miktar kuru çökeltme örnekleri de eklenmekte (örnekleme sistemi yağıştan öncede açık bulunduğu) bu sebeple az da olsa hatalar içermektedir. Ancak otomatik kontrollü sistemler, yağış başlangıcında örnekleme başladığından ve yağış bitiminde de cihaz kapandığından kuru çökeltmeyi biriktirmemektedir.

Çeşitli meteorolojik faktörlerin (rüzgar, türbülans vb.) etkin olduğu kuru çökeltme de değişik örnekleme yüzeyleri kullanılmaktadır. Kaplamasız yüzeylerle yapılan kuru çökeltmenin belirlenmesi çalışmalarında, gaz ve partikül kirlleticilerin toplama verimi oldukça düşük gözlenmiş, diğer yandan kaplamalı (gresli) yüzeyler ise sınırlı sayıda kirliticileri (gresle kimyasal reaksiyona girmeyen) tutabildiğinden pek etkin olarak belirtilmemiştir. Su yüzeyli örnekleme yüzeyleri ise özellikle büyük su kütleleri (göl, gölet, akarsu vb.) için yapılan kuru çökeltme akısının belirlenmesi çalışmalarında oldukça etkin örnekleme yapabilmektedir. Hem toplam (bulk) çökeltme hem de kuru çökeltme akısının belirlenmesinde kullanılabilmesi mümkün olan su yüzeyli örnekleme yüzeyleri, karasal alanlar (kent, kırsal vb.) içinde kullanılabilen, ancak atmosferik çökeltmenin en yüksek değerini vermektedir.

Atmosferik çökeltme çalışmaları halen çeşitli yönlerden gelişmekte, örnekleme ve analizleme yöntemleri her geçen gün daha tutarlı zeminlere oturtulmaktadır. Yapılan çalışmanın bu gelişmede bir katkı sağlayacağı umulmaktadır.

5. KAYNAKLAR

Al-Momani, F. I., Ataman, Y. O., Anwari, M. A., Tuncel, S., Köse, C. and Tuncel, G. 1995. Chemical

Composition of Precipitation Near an Industrial Area at İzmir, Turkey. *Atmospheric Environment*. 29, 1131-1143.

Al-Momani, F. Momani, K. A. and Jaradat, Q. M. 2000. Chemical Composition Precipitation in Irbid, Jordan. *Journal of Atmospheric Chemistry*. 35, 47-57.

Arslan, M., Boybay, M. and Kaya, M. 1993. An Investigation on the Pollution of the Rains in Elazığ. *Doğa-Tr. J. of Engineering and Environmental Sciences*. 17, 111-114.

Asman, W. A. H. 2001. Modelling the Atmospheric Transport and Deposition of Ammonia and Ammonium: An Overview With Special Reference to Denmark. *Atmospheric Environment*. 35, 1969-1983.

Balestrini, R., Gali, L. and Tartari, G. 2000. Wet and dry Atmospheric Deposition at Prealpine and Alpine Sites in Northern Italy. *Atmospheric Environment*. 34, 1455-1470.

Baumbach, G. 1996. *Air Quality Control*, 490 pp. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Germany.

Bayraktar, H. 2002. Erzurum Atmosferinde Çökeltme Tayini, 54 s. Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.

Brook, J. R., Zhang, L., Di-Giovanni, F. and Padro, J. 1999 a. Description and Evaluation of a Model Deposition Velocities for Routine Estimates of Air Pollutant dry Deposition over North America. Part I: Model Development. *Atmospheric Environment*. 33, 5037-5051.

Brook, J. R., Zhang, L., Li, Y. and Johnson, D. 1999 b. Description and Evaluation of a Model Deposition Velocities for Routine Estimates of dry Deposition Over North America. Part II: review of past Measurements and Model Results. *Atmospheric Environment*. 33, 5053-5070.

Boubel, R. W., Fox, D. L., Turner, D. B. and Stern, A. C. 1994. *Fundamentals of Air Pollution*. Academic Press Limited, 574 pp. London, UK.

Burkow, I. C. and Kallenborn, R. 2000. Sources and Transport of Persistent Pollutants to the Arctic. *Toxicology Letters*. 112-113, 87-92.

Chan, Y. C., Vowles, P. D., McTinish, G. H., Simpson, R. W., Cohen D. D., Bailey G. M. and McOrist G. D. 2000. Simultaneous Collection of Airborne Particulate Matter on Several Collection Substrates With A High-Volume Cascade Impactor. *Atmospheric Environment*. 34, 2645-2651.

- Connell, D. W., Miller, G. J., Mortimer, M. R., Shaw, G. R. and Anderson, S. M. 1999. Persistent Lipophilic Contaminants and Other Chemical Residues in the Southern Hemisphere. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*. 29, 47-82.
- Çakır, O. and Çakır, S. 1993. Study of Chemical Composition of Wet Deposition in Samsun. *Doğ-Tr. J. of Engineering and Environmental Sciences*. 17, 181-185.
- Eitzer, B. D. and Hites, R. A. 1989. Atmospheric Transport and Deposition Of PCDD And PCDF. *Environ. Sci. Technol.* 23, 1396-1401.
- Goosens, D. and Offer, Z. Y. 2000. Wind Tunnel And Field Calibration of Six Aeolian Dust Samplers. *Atmospheric Environment*. 34, 1043-1057.
- Hall, D. J., Upton, S. L. and Marsland, G. W. 1994. Designs For A Deposition Gauge And A Flux Gauge for Monitoring Ambient Dust. *Atmospheric Environment*. 28, 2963-2979.
- Henry, J. G. and Heinke, G. W. 1996. *Environmental Science And Engineering*. 778 Pp. Prentice Hall, Inc., New Jersey, U.S.A.
- Holsen, T. M., Noll, K. E., Liu, S. P. and Lee, W. J. 1991. Dry Deposition Of Polychlorinated Biphenyls in Urban Areas. *Environ. Sci. Technol.* 25, 1075-1081.
- Holsen, T. M. And Noll, K. E. 1992. Dry Deposition of Atmospheric Particles: Application of Current Models To Ambient Data. *Environ. Sci. Technol.* 26, 1807-1815.
- Lin, J. M., Fang, G. C., Holsen, T. M. and Noll, K. E. 1993. A Comparison of Dry Deposition Modeled From Size Distribution Data and Measured With A Smooth Surface for Total Particle Mass, Lead, and Calcium in Chicago. *Atmospheric Environment*. 27A, 1131-1138.
- Luo, W. 2001. Wet-Deposition Fluxes of Soluble Chemical Species and the Elements in Insoluble Materials. *Atmospheric Environment*. 35, 2963-2967.
- Montone, R. C., Taniguchi, S. and Weber, R. R. 2003. Pcb's in the Atmosphere of King George Island, Antarctica. *The Science of the Total Environment*. 308, 167-173.
- Naik, M. S., Khemani, L. T., Momin, G. A., Rao, P. S. P., Safai, P. D. and Pillai, A. G. 1995. Chemical Composition of Fresh Snow From Gulmarg, North India. *Environmental Pollution*. 87, 167-171.
- Noll, K. E., Fong, K. Y. and Watkins, L. A. 1988. Characterization of the Deposition of Particles From The Atmosphere to A Flat Plate. *Atmospheric Environment*. 1461-1468.
- Odabaşı, M., Sofuoğlu, A., Vardar, N., Taşdemir, Y., and Holsen, T. M. 1999. Measurement of Dry Deposition and Air-Water Exchange of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons With the Water Surface Sampler. *Atmospheric Environment*. 33, 426-434.
- Odabasi, M., Sofuoğlu, A., and Holsen, T. M. 2001. Mass Transfer Coefficients for Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (Pahs) to the Water Surface Sampler: Comparison to Modeled Results. *Atmospheric Environment*. 35, 1655-1662.
- Oesch, S. And Foller, M. 1997. Environmental Effects on Materials. *Corrosion Science*. 39, 1505-1530.
- Okay, C. 1996. *Atmosferik Kirletici Gaz ve Parçacıkların Ölçüm ve Analizi*. 64 S. Marmara Üniv., Fen Edebiyat Fak., Fizik Böl. İstanbul.
- Ozeki, T., Koide, K. and Kimoto, T. 1995. Evaluation of Sources of Acidity in Rainwater Using A Constrained Oblique Rotational Factor Analysis. *Environ. Sci. Technol.* 29, 1638-1645.
- Park, J. and Cho, S. Y. 1998. A Long Range Transport of SO₂ and Sulfate Between Korea and East China. *Atmospheric Environment*. 32, 2745-2756.
- Pierson, W. R., Brachaczek, W. W., Gorse, R. A., Japor, S. M. and Norbeck, J. M. 1987. Acid Rain and Atmospheric Chemistry at Allegheny Mountain. *Environ. Sci. Technol.* 21, 679-691.
- Planchon, F. A. M., Boutron, C. F., Barbante, C., Wolff, E. W., Cozzi, G., Gaspari, V., Ferrari, C. P. and Cescon, P. 2001. Ultrasensitive Determination of Heavy Metals At the Sub-Picogram Per Gram Level in Ultraclean Antarctic Snow Samples By Inductively Coupled Plasma Sector Field Mass Spectrometry. *Analytica Chimica Acta*. 450, 193-205.
- Rabl, A. 1999. Air Pollution and Buildings: An Estimation of Damage Costs in France. *Environ. Impact Assess. Rev.* 19, 361-385.
- Reynolds, B., Lowe, J. A. H., Smith, R. I., Norris, D. A., Fowler, D., Bell, S. A., Stevens, P. A. and

Ormerod, S J. 1999. Acid Deposition in Wales: The Results of the 1995 Welsh Acid Waters Survey. *Environmental Pollution*. 105, 251-266.

Schnoor, J. L. 1996. *Environmental Modeling: Fate And Transport of Pollutants in Water, Air, and Soil*. 682 Pp. John Wiley & Sons, Inc. New York, U.S.A.

Shevchenko, V., Lisitzin, A., Vinogradova, A. and Stein, R. 2003. Heavy Metals in Aerosols Over the Seas of the Russian Arctic. *The Science of the Total Environment*. 306, 11-25.

Tanner, P. A. 1999. Analysis of Hong Kong Daily Bulk and Wet Deposition Data From 1994-1995. *Atmospheric Environment*. 33, 1757-1766.

Tanner, P. A., Low, P. T. and Tom, W. F. 2001. Comparison of Aerosol and Dry Deposition Sampled at Two Sites in Southern China. *Aerosol Science*. 32, 461-472.

Taşdemir, Y., Payan, F. 1999. 'Atmosferik Çökeltme Örneklerinin Toplanması' **Türkiye'de Çevre Kirlenmesi Öncelikleri Sempozyumu III**, 18-19 Kasım 1999. Gebze-Kocaeli, Cilt 1, 552-560.

Tuncel, S. G. and Üngör, S. 1995. Rain Water Chemistry in Ankara, Turkey. *Atmospheric Environment*. 30, 2721-2727.

Vallack, H. M. 1995. A Field Evaluation of Frisbee - Type Dust Deposition Cause. *Atmospheric Environment*. 29, 1465-1469.

Voldner, E. C. and Aluo, M. 1993. Estimation of Wet Deposition of Sulfur, Nitrogen, Cadmium and Lead to the Great Lakes. *Environ. Sci. Technol.* 27, 292-298.

Wesely, M. L. and Hicks, B. B. 2000. A Review of the Current Status of Knowledge on Dry Deposition. *Atmospheric Environment*. 34, 2261-2282.

Yi, S. M., Holsen, T. M. and Noll, K. E. 1997. Comparison of Dry Deposition Predicted From Models and Measured With A Water Surface Sampler. *Environ. Sci. Technol.* 31, 272-278.

Zhuang, H., Chan, C. K., Fang, M. and Wexler, A. S. 1999. Formation of Nitrate and Non-Sea-Salt Sulfate on Coarse Particles. *Atmospheric Environment*. 33, 4223-4233.

Zorbist, J., Wersin, P., Jaques, C., Sigg, L. and Stumm, W. 1993. Dry Deposition Measurements Using Water as A Receptor: A Chemical Approach. *Water, Air and Soil Pollution*. 71, 111-130.

Zunckel, M., Saizar, C. and Zarauz, J. 2003. Rainwater Composition in Northeast Uruguay. *Atmospheric Environment*. 37, 1601-1611.