

# Hava kirliliğinin tarihi eserlere etkisi ve alınması gereken önlemler

B.Yeşim BÜYÜKAKINCI<sup>1</sup>

## Özet

Son yıllarda yapılan çalışmalar, hava kirliliğinin tarihi yapılara ve malzemelere zarar verdiğini göstermiştir. Açık ve kapalı müzeler, galeriler, kütüphaneler ve arşivler hava kirliliği nedeniyle risk altındadır. Gelecek nesillere aktarmakla yükümlü olduğumuz kültürel mirasımızın bozucu etkilerden uzak tutularak özenle korunabilmesi için hava kirliliğinin yol açtığı hasarların incelenmesi, bu konuda gereken çalışmaların yapılması ve tedbirlerin alınması gerekmektedir.

**Anahtar kelimeler:** Hava kirliliği, tarihi eser, asit yağmuru

## Air pollution effects on historical artifacts and necessary measures

### Abstract

*Recent studies show that air pollution damages historical buildings and materials. Due to air pollution, closed and open air museums, galleries, libraries and archives are under risk of corrosion. It is our responsibility to pass our cultural heritage on to next generations. In order to preserve and protect it, the damages caused by air pollution should be investigated, the necessary activities should be carried out and precautions should be taken.*

**Keywords:** air pollution, cultural heritage, acid rain

### Giriş

Tarihi ve kültürel eserlerin, depolandığı ve sergilendiği ortamlarda zamanla yıprandığı, ve aşındığı bilinmektedir. Bu hasarlara neden olan faktörler, başta hava kirliliği olmak üzere, ortam sıcaklığı, bağıl nem değerleri, ışık miktarı ve insan faktörüdür. Bu etkiler özellikle tarihi eserler bakımından zengin olan ülkemizde de hissedilmektedir. Eserleri korumak için değişik araştırmalar yapıp önlemlerin alınması gerekmektedir.

### Hava kirliliği

Hava kirliliğinin değişik tanımları bulunmakla birlikte genel anlamda, atmosferde gaz, sıvı veya katı şeklindeki yabancı maddelerin, canlı sağlığına ve yeryüzünün ekolojik dengesine zarar verecek konsantrasyon ve sürede bulunması olarak ifade edilebilir. Hava kirliliği doğal veya insan kökenli kaynaklardan gaz, toz veya sıvı halde atmosfere atılan maddelerin doğrudan veya dolaylı olarak diğer maddelerle reaksiyona girmesiyle oluşmaktadır (meteor.gov.tr, 2005).

---

<sup>1</sup> Yard.Doç.Dr. *İstanbul Aydın Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Tekstil Mühendisliği, İstanbul 90 212 425 6151, [yesimbuyukakinci@aydin.edu.tr](mailto:yesimbuyukakinci@aydin.edu.tr)*

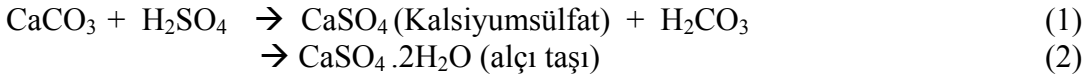
Hava kirliliğinin tarihi eserlere etkisi ve alınması gereken önlemler

Kirleticiler atmosferde yer alış durumlarına göre birincil ve ikincil kirleticiler şeklinde iki temel sınıfta toplanırlar. Birincil kirleticiler (karbon monoksit, hidrokarbonlar, asılı parçacıklar, kükürt ve azot oksitleri) kaynaktan atmosfere doğrudan yayılan kirleticilerdir. İkincil kirleticiler ise atmosferde bulunan doğal bileşenler ile birincil kirleticiler ve atmosferik özellikler yardımıyla meydana gelen kimyasal reaksiyonlar sonucunda oluşurlar. İkincil kirleticilerin oluşmasında fotokimyasal reaksiyonlar önemli rol oynar. Fotokimyasal reaksiyonlarda değişime uğrayan madde miktarı absorblanan güneş radyasyonu miktarı ile orantılıdır (Stern vd., 2002).

İnsan etkinliği olarak sanayi, endüstri, tarım ve diğer çevresel işlemler sonucunda birçok atıklar atmosfere atılmaktadır. Çeşitli yollarla atmosfere atılan kükürt dioksit ve azot oksitler su ile reaksiyona girerek yağış suyu pH değerini daha da düşürerek asit yağışlarını oluşturmaktadırlar. Atmosfere karışan kirleticiler hava hareketleri ile yüzlerce km uzaklara kadar taşınabilmekte, düştükleri bölgeyi (bitkiler, toprak, yapılar, göller, akarsular, denizler vb) kirletmekte, doğal yapılara ve canlılara zarar vermektedirler (Sezginer,1982; orman.istanbul.edu.tr,2008).

### **Hava Kirliliğinin Tarihi Eserler Ve Müze Koleksiyonlarına Etkisi (Uğurgöl, 2005)**

Asidik karakterlerdeki yağışların tarihi eserlere etkisi, yağışın özelliğine, süresine ve sıcaklığına bağlı olduğu gibi, tarihi eserleri oluşturan yapı malzemesinin karakterine de bağlıdır. Özellikle kış aylarında artan hava kirliliği sonucunda oluşan asidik yağmurlar, kültürel mirasın en önemlilerinden olan tarihi eserleri olumsuz yönde etkilemekte ve bozulmalarını hızlandırmaktadır. Asitli yağış sularıyla oluşan sülfirik asit en fazla tabii yapı taşları olan kireç taşları( $\text{CaCO}_3$ ), mermerler, traverten ve kalsit bağlayıcılı kum taşlarını etkiler. Saf kumtaşı ve granitler ise asit yağmurlarından daha az etkilenir (Boke, 1987).



(1) ve (2) reaksiyonlarında oluşan iki sülfat türünün suda kolaylıkla çözünmesi tarihi yapıların yüzeylerinin zarar görmesine neden olur. Duman partikülleri de isli bir tabaka oluşturup, suyun da etkisiyle tarihi eserlerin bozulmasını hızlandırır.

*Bir örnek verecek olursak; Erzurum'un simgesi olan Çifte Minareler Medresesi (Şekil 1) ciddi biçimde doğanın tahribatına uğramıştır. Kar ve yağmur sularının olumsuz etkilediği tarihi mekanın özellikle minarelerinde meydana gelen hasarlar endişe doğuracak seviyededir. Minarelerin altında yer alan ve mavi çinilerle tezyin edilmiş bölümlerde bozulma ve sökülmeler sürmektedir. Minarenin çinili bölümündeki doğal tahribat, minarenin özelliğini yitirmesine yol açacak boyuttadır. Ayrıca minarelerin üzerindeki sırlı süslemeler de gerekli onarımlar yapılmadığı için kopmaktadır (Erzurum Gazetesi, 2005).*



Şekil1. Çifte minareler medresesi / Erzurum

- Sülfürik asit (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) Etkisi (Boke, 1987; nap.edu/books, 2009; atlas.cc.itu.edu.tr, 2009)

Sülfürik asit, zerrecikler halinde müzeye girebilir ya da taş, kağıt ve dokumaların içerdiği bazı katalizör maddelerin etkisi ve yoğunlaşma ile koleksiyon malzemelerinin yüzeyinde oluşabilir. Sülfirik asit kuvvetli bir asittir, uçucu olmadığı için birikir. Organik malzemelerden kağıt, pamuk ve keten gibi selülozik grubun molekül yapılarını bozar, dokularını zayıflatır. Kağıtlarda sararma ve kırılma oluşmaya yol açar. Yün ve ipek gibi protein temelli malzemede daha az etkili olsa da tümünde renk solmasına neden olur. Parşömen ve deride kırmızı lekeler oluşturur.

Sülfirik asit inorganik malzemeye de önemli ölçüde zarar verir. Özellikle açık havada sergilenen mermer ve kireç taşlarının sülfirik asit içeren yağmur suları ile yıkanması ayrışmalara neden olur. Zamanla taş yüzeylerinde önemli tahribatlar meydana gelir. H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>'ün kireçli sıva ve boyalarla reaksiyon vermesi ile duvar resimlerinde kopmalar ve renk solmaları meydana gelir. Metallerle karşı kuvvetli bozucu etkisi vardır. H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> etkisiyle demir, hatta çelik paslanır, bakır alaşımlar (tunç vb.) korozyona uğrar.

-Hidrojen sülfür (H<sub>2</sub>S) Etkisi (atlas.cc.itu.edu.tr, 2009)

Atmosferde bulunan diğer bir kükürtlü bileşik olan hidrojen sülfür (H<sub>2</sub>S), gümüş eserlerle tepkimeye girerek (3) nesne yüzeyinde kalınlaştıkça koyulaşan bir tabaka oluşturur.



-Nitrik asit(HNO<sub>3</sub>) Etkisi (atlas.cc.itu.edu.tr)

Nitrik asit H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>' e göre daha uçucudur, fakat kuvvetli oksitleyici özelliğe sahiptir. Hem inorganik hem de organik malzemeyle tepkimeye girerek oksidasyon yoluyla bozulmalara neden olur.

-Ozon gazı (O<sub>3</sub>) Etkisi (Stern, 2002)

Ozon gazı doğal olarak yüksek atmosferde oluşur. Fakat şehir ortamında, ulaşım araçlarının yakıt atıklarıyla açığa çıkan azot dioksit (NO<sub>2</sub>), güneşten gelen (dalga boyu 200 nm.nin altındaki) UV ışınları, oksijen ve hidrokarbonların birlikte etkileşimleri sonucunda ortaya çıkar. Ayrıca bazı elektronik cihazlar, özellikle de elektrostatik hava temizleyicileri ozon oluşumuna neden olurlar. Bu nedenle müzelerde kullanılmaları sakıncalıdır. Ozon oksijenin en reaktif halidir ve kuvvetli oksitleyici özelliktedir. Çoğu organik malzemeye saldırarak molekül bağlarını parçalar.

Kauçuk ( [-CH<sub>2</sub> - C(CH<sub>3</sub>) = CH - CH<sub>2</sub>-] <sub>n</sub> ) gibi çift bağ içeren polimerler ozon'a karşı oldukça dayanıksız moleküllerdir. Bu polimerlerin O<sub>3</sub> ile etkileşmeleri sonucunda, özellikle C=C bağlarının zarar görmesiyle yapıları bozulur.

-Parçacık (partikül) Kirliliğinin Etkisi (Stern, 2002)

Havada bulunan yanmamış karbon artıkları olan is tanecikleri, uçucu küller, toz ve kum gibi havada savrulan metal ve mineral parçacıklar, tuz (rüzgar ve dalga yardımıyla denizden gelen su zerrecikleri ile taşınan tuzlar), vb. parçacıklardan bir kısmı müze binasının dışında kalırlarken, havada asılı kalabilen bir grup da içeriye girerek koleksiyonlara fiziksel ve kimyasal olarak zarar verir. Fiziksel zarar, bu parçacıkların (kum, tuz kristalleri, metal tozlar) nesnelere yüzeylerine çarparak aşındırmalarıdır. Ayrıca is tanecikleri malzeme üzerinde kirlilik yaratır, toz bünyesinde nem tutar. Müze binası içine ziyaretçilerin giysileri ile taşınan kumaş havı, deri, tüy gibi koleksiyon malzemesi üzerinde biriken organik maddeler mantar sporları taşıyabilir, bir yandan da higroskopik olmaları nedeniyle eserler üzerinde nem tutucu kütleler oluşturabilirler. Bu tür organik kirler bozunarak ve yoğunlaşma ile nesnelere üzerinde asitliğin neden olurlar. Müze içinde oluşan diğer kirlilik

Hava kirliliğinin tarihi eserlere etkisi ve alınması gereken önlemler

(boya, sıva parçacıkları vb.) de bunlara eklenir. Kir tabakası içinde bulunan metalik unsurlar da kükürtlü bileşiklerin ve nitroksidlerin aside dönüşmelerinde katalizör olabilirler.

-Sıcaklığın Etkisi (meteor.gov.tr, 2005)

Yüksek sıcaklıkta organik malzemelerle beslenen böceklerin üremesi için uygun ortam oluşur. Eğer yüksek nem ortamı da mevcutsa (% 65'den yüksek bağıl nem) küf vb. mikroorganizmaların gelişimi için uygun ortam hazırlanır. Yüksek nem ve sıcaklığın birlikteliği ile genellikle kimyasal tepkimeler (metal korozyonu, boyaların solması gibi) hızlanır.

Sıcaklığın dalgalandığı durumlarda bağıl nem miktarı değişeceği için organik eserlerde şekil değiştirme, inorganik eserlerde genişleme veya büzülme (ısı genleşme katsayısına göre) meydana gelir. Çeşitli malzemelerden meydana gelen bileşik eserler ise, ısı ve nem dalgalanmalarından çok fazla etkilenirler. Denetimsiz koşullarda bu malzemelerin farklı çalışmaları sonucu zamanla eserde kopma, çatlama, kırılma, ayrılma vb. bozulmalar kaçınılmazdır.

-Nemin Etkisi (meteor.gov.tr, 2005)

Organik malzemeler canlı oldukları dönemdeki kadar cansız halde de su içirme özelliğine sahiptirler. Müze ortamında nem oranı yüksek olduğunda havanın taşıdığı su moleküllerini emme, nem oranı düşük olduğunda ise bünyelerinde bulunan su moleküllerini ortama vererek bir denge kurma eğiliminde olan organik malzemeler bu yolla genişir ve büzülürler. Nem oranındaki dalgalanmalar organik eserlerin zamanla deforme olmalarına neden olur. Nem oranının düşük oluşu organik nesnelere kuruma çatlama, kırılma, kırılma, kırılma vb. neden olur. Bunun aksine eğer bağıl nem oranı % 65-70'in üzerine çıkarsa mantar (küf) oluşumu için uygun ortam sağlanır. Bağıl nemdeki dalgalanmalar nedeniyle oluşan çatlaklar, yüzeye yerleşen spor, kir gibi çeşitli malzemelerin organik eserlerin iç kısımlarına nüfuz etmesine neden olur. Ayrıca yüksek nem içeriği atmosferde bulunan kirlilik yaratan maddelerle müze nesnelere kimyasal tepkimeye girmelerine uygun ortam hazırlar.

Havadaki nem metal, cam ve taş nesnelere soğuk yüzeyleri ile temas ettiğinde yoğunlaşarak suya dönüşür. Yoğuşma ve yüksek bağıl nem, tekstil liflerinde zayıflamaya, metallerde korozyona sebep olur ya da var olan korozyonu hızlandırır.

-Biyolojik Etki (Stern, 2002)

Yüksek sıcaklık, % 65'in üzerinde bağıl nem ve durgun havanın varlığı (sirküle edilmeyen) mikroorganizma ve böcek üremesi için uygun ortam hazırlar. Havadaki tozlar arasında bulunan mikroorganizmalar ve çeşitli yollardan gelen ahşap kurdu, güve vb. böcekler müzelerdeki organik malzemeler ile ya da bunların üzerlerinde biriken yağ ve kirlerle beslenirler. Bakteri ve mantarlar kütüphane ve arşiv malzemesindeki zararın %30'unu teşkil ederler. Ayrıca açık havada sergilenen taş, pişmiş toprak vb. eseler de bitki kökleri, yosun ve likenlerin bozucu etkilerine maruz kalırlar.

-Işığın Etkisi (Stern, 2002)

Işınlar, elektromanyetik dalgalar halinde yayınlanan bir tür enerjidir. Görünür ışınlar dalga boyu 380-760 nm. (1 nm = 10<sup>-9</sup> m.) arasındaki ışınlardan ibarettir ve bu bölgede elektromanyetik tayf, mordan kırmızıya doğru değişik renkler içerir. Bu dalga boyları dışında kalan ışınları göremeyiz. 100-380 nm. dalga boyları arasında kalan ışınlar UV (morötesi), 760 nm.'den daha uzun dalga boyundaki ışınlar ise IR (kızılaltı) ışınlardır. UV, IR ve görünür ışınlar farklı biçimlerde canlılara, eşyalara ve koleksiyonlara zarar verirler.

UV ışınımı yüksek enerjiye sahiptirler ve bu nedenle çok etkilidirler. Organik maddelere kimyasal zararlar verirler. İnorganik maddelerde daha az zararlı olsa da, hem organik hem de inorganik maddelerde önceden başlamış olan kimyasal bozunmaları hızlandırır. Genellikle boyalı nesnelere (ahşap, yağlıboya, dokuma vb.) solma; kağıt, pamuklu kumaş gibi selülozik malzeme ve protein temelli dokumalarda sararmaya neden olurlar.

Yağlıboya tablolarında, mobilyalarda vb. gereçlerde kullanılan koruyucu verniklerin sararması, bazı boyaların organik bağlayıcılarının bozunması (C=C çift bağlarının parçalanması) genellikle UV ışınımının etkisiyle meydana gelir.

Bir ışık kaynağı dışında, ısınan herhangi bir madde de IR yayımlayarak içinde bulunduğu ortama ısı yayar (örneğin radyatörler). Bu nedenle özellikle organik maddelerin ısı etkisiyle kuruyarak çatlamalarına, biçim değiştirmelerine neden olurlar.

Görünür ışınım, yani ışık, UV ışınımı kadar olmasa da önemli ölçüde bozucu etkilere sahiptir. Görünür ışınımın denetimi, çeşitli koleksiyon malzemeleri için belirlenen aydınlık düzeyi sınırlamaları ile sağlanır.

Güneşten gelen ışınım yüksek miktarda UV, IR ve görünür ışınım içerir. Bu yüzden müzelerde doğal aydınlatma kullanılması sakıncalıdır. Ayrıca filtre kullanılarak zararlı etkiler önlenirse dahi, güneşin gün içinde değişen konumu ve atmosfer koşulları nedeniyle aydınlık düzeyinin değişkenliği gibi unsurlar, doğal ışığın sergileme aydınlatmasına uygun olmadığını ortaya koymaktadır.

Sıcak ışık kaynağı olan akkor lambalarda, tungsten telden geçirilen elektrik akımı telin ısınarak ışınımını sağlar. Bu yapay ışık kaynaklarının yüksek oranda IR ışınımı yayınlamaları nedeniyle vitrin içinde kullanılmaları (sera etkisi nedeniyle) özellikle organik eserler için zararlıdır. Vitrin dışında kullanılmaları tercih edilebilir (Stern, 2002; Uğurgöl, 2005)

### **Hava kirliliğine karşı alınması gereken önlemler** (Uğurgöl, 2005; ekutup.dpt.gov.tr, 2008)

Hava kirliliğinin etkilerinin azaltılması ve tarihi eserlerin ömrünün uzatılması için gerekli önlemler maddeler halinde şu şekilde sıralanabilir:

- Giriş bölümü ile sergi salonlarını holler yardımıyla ayırmak (hem hava kirliliği, hem de sıcaklık ve nem değişimlerine karşı tampon görevi görür);
- Duyarlı nesnelere amerikan bezi kumaşlara sararak depolamak;
- Müzelerde karbon filtreli hava temizleyici sistemler kullanarak gaz kirliliğinden korunmak, filtreleri periyodik olarak yenilemek;
- Müzelerde ideal olarak kükürt dioksit ve azot dioksit oranını  $10\mu\text{g}/\text{m}^3$  -  $30\mu\text{g}/\text{m}^3$ , ozon oranını  $2\mu\text{g}/\text{m}^3$  değerlerinin altında tutmak;
- Parçacık kirliliğinden korunmak için ozon gazı oluşumuna neden olan elektrostatik hava temizleyiciler yerine, yüksek verimli partikül temizleyicileri (HEPA) kullanmak;
- 1-2 mikrondan büyük partiküllerin filtre edilmesini sağlamak;
- El yazması, kağıt belge, suluboya gibi iki boyutlu nesnelere cam ya da pleksiglas kullanarak çerçevelemek;
- Yağlıboya ya da metaller gibi organik ve inorganik nesnelere, uygun koruyucular kullanarak film tabakası ile kaplamak ve bu yolla hava ile temas etmelerini önlemek;

Hava kirliliğinin tarihi eserlere etkisi ve alınması gereken önlemler

- Kağıt nesnelere ve kumaşları uygun asit içermeyen kağıtlara veya yıkanmış amerikan bezi kumaşlara sararak muhafaza etmek;
- Müzede cam ve kapıları kapalı tutmak ve bunları iyi yalıtımak;
- Müze koleksiyonlarını vitrinlerde sergilemek;
- Vitrinlerde polietilen toz bantları kullanmak;
- Vitrin içindeki bağıl nemi uygun tampon malzemeler veya silikajel kullanarak denetlemek; (Silikajel (amorf SiO<sub>2</sub>) gözenekli, granüle, %99.7 saflıkta silikadır. Kimyasal olarak inert olması ve toksik olmayışı nedeniyle müze koleksiyonlarına ve müzecilerin sağlığına zararlı etkisi yoktur. Bünyesine nem aldığı anda boyutsal değişime uğramaz. Kendi ağırlığının %38'i kadar su buharı emebilir ki bu, tüm higroskopik malzemelerden daha fazladır.)
- Vitrinlerde ahşap, kağıt, dokuma gibi organik malzemeler higroskopik özellikleri nedeniyle bağıl nem dalgalanmalarına karşı tampon görevi görürler. Fakat bu malzemeler, vitrin içinde bulunan koleksiyon nesnelere üretildikleri malzemeye bozucu etkileri dikkate alınarak, uygun biçimde kullanılmalıdır.
- Gün ışığının sergi salonlarına ve depolara girişi perdeler ya da güneş kırıcı gibi malzemeler kullanılarak önlenmelidir. Morötesi ışınımı önleyici verniklerin vitrin camına sürülmesi, plexiglass vb. kimyasal maddeler içeren morötesi ışınımı süzebilen özel akrilik levhalar kullanılması, ışığın çinko oksit, kurşun oksit ve titanyum dioksit gibi morötesi ışınımı yutan maddeler içeren boyalı yüzeylerden yansıtılarak kullanılması gibi önlemler alınmalıdır. Vernik, akrilik levha, boya vb. UV süzgeçleri belirli zamanlarda yenilenmelidirler.

### Sonuç

Eserleri kirliliğin etkisinden kurtarmak zaman alan, maliyeti yüksek konservasyon çalışmaları gerektirir. Ancak her konservasyon çalışmasının eseri tedavi ederken bir miktar da yıpratmış göz önünde bulundurulmalıdır. Hava kirliliğinin neden olduğu tahribatın önüne geçilebilmesi ve eserlerin ömrünün uzatılması için, öncelikle bireylerin bilinçlendirilmesi, ağaçlandırma çalışmalarına ağırlık verilmesi ve fiziksel bozucuların etkisinin azaltılması için eserlerin çevre düzenlemelerinin yapılması gerekmektedir.

### Kaynaklar

**Boke, H., (1987);** “*Hava Kirliliğinin Travertenler Üzerine Etkileri*”, Y.lisans Tezi, ODTÜ, Ankara.

**Sezginer, A., (1982);** “*Hava Kirliliğinin Yarattığı Eski Eser Yağması*”, Çevre Koruma Dergisi, Reklam, İstanbul s.12

**Stern, C.A., Boubel, W.R., Turner, D.B., Fox, D.L. (2002);** “*Fundamentals of Air Pollution*”, Sec.Edition.

**Uğurgöl, M. (2005);** “*Önleyici Koruma ve Koleksiyon Bakımı*”, Y.T.Ü.Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Programı Ders Notları Erzurum Gazetesi. 30.05.2005

<http://atlas.cc.itu.edu.tr/2009/~toros/hava/>

<http://ekutup.dpt.gov.tr/2008/cevre/eylempla/ekincie/havakir2.pdf>

[www.orman.istanbul.edu.tr/2008/orman/toprak/mdkant/index.html](http://www.orman.istanbul.edu.tr/2008/orman/toprak/mdkant/index.html)

[www.meteor.gov.tr/2005/arastirma/havakirliligi/webhagir.pdf](http://www.meteor.gov.tr/2005/arastirma/havakirliligi/webhagir.pdf)

[www.nap.edu/books/2009/0309033896/html/12.html](http://www.nap.edu/books/2009/0309033896/html/12.html)