

## HAVA KİRLİLİĞİNİN MİMARİ YAPILAR ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN İRDELENMESİ

**K.Onur DEMİRARSLAN<sup>1</sup>, Deniz DEMİRARSLAN<sup>2(\*)</sup>**

<sup>1</sup>Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Doktora Programı, Kocaeli

<sup>2</sup>Kocaeli Üniversitesi Mimarlık ve Tasarım Fakültesi İç Mimarlık Bölümü, Kocaeli

### ÖZET

Hava kirliliği yapı malzemeleri ve özellikle kullanıldıkları yapıları uzun süreç içerisinde etkilemekte ve hasar vermektedir. Hava kirliliğinin mimari yapılar üzerindeki etkisi çoğunlukla görülebilir ve endişe verici bir düzeyde olup özellikle kültürel mirası olan mimari eserleri etkilemektedir. Hava kirliliğinden zarar gören yapı malzemeleri arasında doğal taşlar, harç ve sıva, boya, beton, alüminyum ve galvanize çelik, demir gibi metaller yer almaktadır. Bu bildiride öncelikle hava kirliliği kavramı ve hava kirliliğinin fiziksel ve mimari açıdan binalar üzerindeki etkileri incelenmiş olup; Kocaeli kentinin merkezinde yer alan tarihi yapılar ve en az 20 yıllık yapılar üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

### ABSTRACT

Air pollution damages building materials and especially it affects those buildings in a long time and causes to damage. This damage which is seen on building materials causes some of the most visible and worrying damage, particularly where it concerns buildings of architectural cultural worth. These building materials for which damage has been considered are natural stone, mortar, paint, concrete, different metals such as iron, aluminium and galvanised steel. This paper describes the concept of air pollution and examines its damages in physical and architectural terms on the architectural buildings. In this context, historical architectural monuments and some buildings which were built at least 20 years ago in centre of Kocaeli city are examined.

### ANAHTAR SÖZCÜKLER

Çevre Kirliliği, Hava Kirliliği, Asit Yağmuru, Yapı Malzemesi, Sürdürülebilirlik.

### GİRİŞ

Günümüzde sanayileşme, kentleşme ve hızlı değişen yaşam koşullarına bağlı olarak dünyanın birçok kentinde oluşan hava kirliliğinin insan sağlığına olan etkilerinin dışında kentlerin kimliklerini ve yaşam birimlerini oluşturan mimari yapıların üzerinde de zarar verici etkilerinin olduğu çeşitli çalışmalarla tespit edilmiştir. Hava kirliliğinin mimari yapılar üzerindeki etkisi ise iki açıdan ele alınmaktadır: Mimari yapıları oluşturan yapı malzemeleri üzerindeki etkisi ve iç mekân hava kalitesi üzerindeki etkisi. Hava kirliliğinin yapı malzemeleri üzerindeki etkisi direk olarak yapının ömrünü etkileyen bir unsur olup dolaylı

---

\* denizd@kocaeli.edu.tr

olarak insan sağığına etki etmekteyken, iç mekân hava kalitesi üzerindeki etkisi ise doğrudan insan sağığına etki eden bir unsur olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu bildiri kapsamında hava kirliliğinin yapı malzemeleri üzerindeki etkisi sürdürülebilirlik kavramı açısından ele alınmıştır.

Araştırmanın konusu için belirlenen çalışma sahası Kocaeli ili İzmit merkez ilçesi olup; özellikle hava kirliliğinin en yoğun yaşandığı mevki olan D-100 karayolu ve yakın çevresinde yer alan İzmit Saat Kulesi, Redif Dairesi, Abdülaziz Köşkü, Mimar Sinan'ın eseri olan Yeni Cuma Camii başta olmak üzere İzmit bulvarı üzerinde yer alan ve en az 20 yıldır cephe tadilatı yapılmamış bulunan çağdaş mimari yapıların cephelerindeki hava kirliliği nedeniyle oluşan hasarlar mimarlık biliminin başlıca inceleme metotlarından biri olan gözlem metodu ile tespit edilmiş; bir yandan da Kocaeli ilinde hava kirliliğinin boyutu araştırılmış; ve konu mimari yapıların sürdürülebilirliği ve mimari tasarım açısından alınabilecek önlemler yönünden incelenerek öneriler verilmesi amaçlanmıştır.

## **HAVA KİRLİLİĞİ KAVRAMI ve KOCAELİ'NDE HAVA KİRLİLİĞİ**

Çevre sorunları arasında önemli bir yere sahip olan hava kirliliği, atmosferde toz, duman, koku, su buharı şeklinde bulunabilecek olan kirlleticilerin insan ve diğer canlılar ile eşyaya zarar verici miktarlara yükselmesi olarak tanımlanmaktadır (Ansiklopedik Çevre Sözlüğü, 2001). Ayberk'in tanımına göre ise; hava kirliliğini atmosferin doğal bileşimlerinin bozulması ve bu değişimin ekosistemin canlı öğeleri üzerinde olumsuz etki yaratması olayı olarak özetlemek mümkündür (Ayberk, 2001). Hava kirliliğinin özellikle de Türkiye'nin endüstri merkezi olan ili Kocaeli'ndeki mimari yapılara etkisinin anlaşılabilmesi için öncelikle bu ildeki meteorolojik koşullar ile hava kirliliği oranlarının açıklanması gerekmektedir.

İlde endüstriden kaynaklanan hava kirliliği temelde yanlış yer seçimi, yeterli teknik tedbirler alınmadan atık, gaz ve tozların havaya bırakılması ile yanlış ve eksik teknolojilerin seçiminden kaynaklanmaktadır (Tablo 3). Son yıllarda yapılan denetimler nedeniyle alınan tedbirlerle kirlilik azaltılmaya çalışılmaktadır (Tablo 1 ve Tablo 4). Kocaeli yoğun endüstri barındırdığından karışık emisyonlara maruz kalmakta olup; bu nedenle birleşik bir kirlilik söz konusudur (Tablo 1 ve Tablo 2). İlde, endüstriyel hava kirliliği; kazan bacalarından kaynaklanan genel kirleticiler ile sanayinin türü ve şekline göre “organik ve inorganik” diğer kirleticilerden kaynaklanmaktadır. Ayrıca sanayi kuruluşlarının baca yapısı ile kirliliğin yoğunluğu ve yayılma mesafesi kirlilik oranını değiştirmektedir. Kocaeli'nde sanayiden kaynaklanan kazan bacaları toplam emisyon değerleri 2006 yılı verilerine göre (Kocaeli İl Çevre Durum Raporu 2006);

CO emisyonu 992.54 ton yıl<sup>-1</sup>  
NOx emisyonu 2330.48 ton yıl<sup>-1</sup>  
SOx emisyonu 287.06 ton yıl<sup>-1</sup>  
HC emisyonu 71765.90 ton yıl<sup>-1</sup>  
Partikül Madde Emisyonu 26606.36 ton yıl<sup>-1</sup>'dir.

Sanayi sektöründe kullanılan fuel-oil ve linyit kullanılması sonucu yayılan emisyon değerleri (ton yıl<sup>-1</sup>) 2006 yılı verilerine göre (Kocaeli İl Çevre Durum Raporu 2006):

	LİNYİT (ton yıl <sup>-1</sup> )	FUEL-OİL (ton yıl <sup>-1</sup> )
CO emisyonu	491,86	500,68
NOx emisyonu	1042,74	1287,74
SOx emisyonu	12788,36	13818,63
HC emisyonu	206,58	80,48
PM Emisyonu	71565,63	200,27

olarak belirlenmiştir.

**Tablo 1.** Kocaeli İli 2005 yılı ölçüm değerleri (Kocaeli İl Sağlık Müdürlüğü 2005 Yılı verileri)

Ölçümün Yapıldığı Gün	Kükürt Dioksit (SO <sub>2</sub> )		Asılı Partiküler Madde (Duman)	
	Ölçümün yapıp yapılmadığı Evet 1 Hayır 2	Ölçüm yapıldı ise ortalama değer $\mu\text{g m}^{-3}$	Ölçümün yapıp yapılmadığı Evet 1 Hayır 2	Ölçüm yapıldı ise ortalama değer $\mu\text{g m}^{-3}$
01	02	0 3	0 6	0 7
1.Ay	1	17	1	56
2.Ay	1	15	1	56
3.Ay	1	12	1	50
4.Ay	1	11	1	35
5.Ay	1	10	1	34
6.Ay	1	10	1	34
7.Ay	1	10	1	32
8.Ay	1	12	1	28
9.Ay	1	15	1	31
10.Ay	1	15	1	31
11.Ay	1	24	1	47
12.Ay	1	19	1	48

**Tablo 2** Kocaeli ili İzmit Merkez ilçesi Araştırma Sahası ölçüm değerleri (Kocaeli İl Sağlık Müdürlüğü 2005 Yılı verileri)

Ölçümün Yapıldığı Gün	Kükürt Dioksit (SO <sub>2</sub> )		Asılı Partiküler Madde (Duman)	
	Ölçümün yapıp yapılmadığı Evet 1 Hayır 2	Ölçüm yapıldı ise ortalama değer $\mu\text{g m}^{-3}$	Ölçümün yapıp yapılmadığı Evet 1 Hayır 2	Ölçüm yapıldı ise ortalama değer $\mu\text{g m}^{-3}$
01	02	0 3	0 6	0 7
1.Ay	2	-	2	-
2.Ay	2	-	2	-
3.Ay	2	-	2	-
4.Ay	2	-	2	-
5.Ay	2	-	2	-
6.Ay	2	-	2	-
7.Ay	2	-	2	-
8.Ay	1	18	1	15
9.Ay	1	13	1	30
10.Ay	1	12	1	17
11.Ay	1	28	1	21
12.Ay	1	16	1	28

**Tablo 3.** Kocaeli İlinde Endüstri Kuruluşlarından Kaynaklanan Hava Kirleticileri (Kocaeli İl Çevre Durum Raporu 2006)

Endüstri	Toz	CO	NH <sub>3</sub>	NO <sub>x</sub>	SO <sub>x</sub>	H <sub>2</sub> S	F	Hidrokarbon	Merkaptan	İs	Duman	Koku	Diğer
Demirçelik	+	+	+	+	+			+		+	+	+	+
Petrokimya	+	+	+	+	+	+		+	+	+	+	+	+
Gübre	+	+	+	+	+	+	+	+				+	+
Çimento	+				+								
Alüminyum	+						+						
Bakır	+	+			+		+						
Deri			+		+							+	+
Kağıt	+		+	+	+	+			+			+	
Şeker	+	+			+					+	+		+
Elektrik	+		+	+		+							+
Kurşun	+												
Çinko													
Boya cila	+							+		+	+	+	+
Tekstil	+	+			+								

**Tablo 4.** 2006 Yılı Ekim Ayında Kocaeli İli Merkez İlçesinde SO<sub>2</sub> ve Partiküler Madde Konsantrasyonları ile İlgili Göstergeler (TÜİK Haber Bülteni, 2006)

	SO <sub>2</sub>			Partiküler Madde (Duman)		
Kocaeli Merkez	Ortalama $\mu\text{g m}^{-3}$	Bir önceki yılın aynı ayına göre değişim oranı %	Hedef sınır değerinin aşıldığı gün sayısı $\geq 150$	Ortalama $\mu\text{g m}^{-3}$	Bir önceki yılın aynı ayına göre değişim oranı %	Hedef sınır değerinin aşıldığı gün sayısı $\geq 150$
	13	-7	0	27	0	0

Yine Kocaeli İl Sağlık Müdürlüğünün 2006 yılı verilerine göre ilde;

Uzun ve kısa vadeli sınır değerler;

SO <sub>2</sub>	UVS	KVS
a-Genel $\mu\text{g m}^{-3}$	150	400(900)
Asılı Partikül		
a-Genel $\mu\text{g m}^{-3}$	150	300

KIŞ SEZONU ORTALAMASI SINIR DEĞERLER	Sınır değerler
SO <sub>2</sub>	250 $\mu\text{g m}^{-3}$
Asılı Partikül	250 $\mu\text{g m}^{-3}$

HEDEF SINIR DEĞERLER	SO <sub>2</sub> ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	PM ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )
Yıllık Aritmetik Ortalama	60	60
Kış sezonu (Ekim-Mart) ortalaması	120	120
Max. 24 saatlik değer	150	150
1 saatlik değer	450	-

olarak belirlenmiştir (Kocaeli İl Sağlık Müdürlüğü 2006 yılı verileri).

Sağlık Bakanlığı tarafından 2006 yılı Ekim ayı verilerine göre SO<sub>2</sub> ortalamalarının bir önceki yıla göre %45, partiküler madde ortalamalarının % 78 arttığı belirtilen (TÜİK Haber Bülteni,

2006) Kocaeli ilinin içinden geçen D- 100 karayolu ve özellikle 1999 depremi sonrası artan yapılaşma, aşırı nüfus artışı ve ilde faaliyet gösteren çeşitli büyüklükteki yaklaşık 7000 adet sanayi tesisi nedeniyle yukarıda da verilen değerler incelendiğinde hava kirliliği sorunuyla mücadele etmekte olan bir kentimiz olduğu açıkça ortadadır.

## **HAVA KİRLİLİĞİNİN MİMARİ YAPILAR ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ**

İnsan, trafik ve sanayileşme kaynaklı hava kirleticileri özellikle binaların strüktürlerini ve kaplamalarını oluşturan malzemeler üzerinde zarar verici etkiler oluşturmaktadır. Özellikle bacalardan çıkan kurum gibi kirleticiler ile  $SO_2$ 'nin sebep olduğu zararlar ve asit yağmurları başta korozyon ve aşınma gibi hasarlara neden olmaktadır (Jacobson, 2002). Birçok yapı malzemesi açısından hava kirliliğinin etkileri dört grupta ele alınmaktadır: Yapı malzemesinin renginin bozulması, malzeme kaybı, strüktür bozulması, kirlenme ve lekelenme.

Günümüzde yapı malzemelerinin hava kirliliği nedeniyle renginin bozulmasına ilişkin ölçmeye dayalı çalışmalar olmamakla birlikte, bu durum gözlem metodu aracılığıyla tespit edilmektedir. Hava kirleticilerden kaynaklı strüktürel bozulmalar ise hem binanın tasarımında hem de korunması aşamasında büyük ölçüde göz ardı edilmektedir. Mimari yapının hava kirliliği etkisi altında strüktür bozulmasına uğraması ise özellikle asit yağmuru etkisiyle yapıların taşıyıcı elemanlarını oluşturan metal malzemeler üzerindeki korozyon şeklinde karşımıza çıkmakta olup; korozyon tahribatının ve bina taşıyıcılığı üzerindeki etkilerinin ölçülmesi için günümüzde çeşitli analiz yöntemleri geliştirilmiş bulunmaktadır. Özellikle de günümüzde asit yağmurlarının mimari yapılar üzerindeki etkisi gün geçtikçe artmaktadır. 1856 yılında asit yağmuru terimini kullanan Robert Angus Smith asit yağmurunun taş ve tuğla yapı malzemesinden inşa edilen ve ısınma amacıyla yakıt olarak kömür kullanılan büyük kentlerdeki binalarda bu yapı malzemelerinin yüzeylerinde parçalanmalar görüldüğünü belirtmiştir (Gibson vd., 1974). Bilhassa, günümüzde tüm dünyada sülfür dioksit ve nitrojen oksit emisyonlarının asit yağmurlarına etkisi dikkati çekmektedir. Asit yağmurlarının kireçtaşı, mermer, küfeki taşı, harç, beton gibi yapı malzemelerine kolayca zarar vererek bünyelerinde parçalanmalara sebep olurken, granit gibi doğal taşların bu asit yağmurlarına karşı daha fazla mukavemet gösterdikleri tespit edilmiştir (Bravo vd, 2006). Özellikle doğal taşlar asit yağmuru etkisiyle taşın bünyesinde bulunan  $CaCO_3$ 'ün çözünerek  $CaSO_4$ 'e ve  $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ 'e dönüşmesi ile zarar görmektedir. Taş yüzeyler üzerinde 0.3 mikron büyüklüğünde smog birikmesi zamanla yüzeyin tahrip olmasına ve renginin değişmesine neden olmaktadır (Kocaeli İl Çevre Durum Raporu, 2006). Özellikle,  $SO_x$  (kükürtoksitler),  $NO_x$  (azotoksitler) gibi birinci derecede önemli olan ve atmosferik ortamda çok yüksek oranlarda bulunan kirleticiler ile kimyasal etkilerin sonucunda meydana gelen kireçtaşı hasar oluşumları, kirleticilerin, taşın yüzeyine gaz şeklini içeren “kuru çökeltme mekanizması” ve sulu (asitik) şekli içeren “ıslak çökeltme mekanizması” olarak iki farklı yoldan ulaşması sonucunda gelişim göstermektedir. “Kuru Çökeltme” olarak adlandırılan etkide atmosferik kirleticilerin gaz biçiminde taş yüzeyine ulaşmasında ve (kalsiyum sülfat/alçıtaşı gibi) hasar ve bozulmaların oluşumunda; yağışsız sürenin uzunluğu, güneş ışığının parlaklığı, rüzgar hızı, çiy, sis ve bağılnemlilik gibi atmosferik faktörler, biyolojik faktörler,  $O_2$  (oksijen) ve  $O_3$  (ozon) gibi katalizörler, taşın karakteristik özellikleri, yüzeyin doğal yapısı (pürüzlülük/pürüzsüzlük, gözeneklilik/gözeneksizlik), yüzeyin ya da taşın bünyesinin nemliliği ve  $PH$ 'ı, taşın absorpsiyon oranı, atmosferik kirletici konsantrasyonunun durumu ve miktarı son derece önemlidir. Islak çökeltme etkisinde ise  $SO_x$  (kükürtoksit)'ler ve  $NO_x$  (azotoksit)'ler gibi kirleticilerin kimyasal bir reaksiyon sonucu dönüşüme uğraması ile meydana gelen  $H_2SO_4$  (sülfirik asit) ve  $(HNO_3)$  (nitrik asit), taş yüzeyine damlacıklar halinde

etki ederek veya çok ince bir su tabakasının bulunduğu yüzey üzerinde biçimlenerek, kireçtaşlarının bünyesinde hasar ve bozulmaların gelişimini başlatır (Gökaltun, 1999; Rugemer, 2007). Bunun yanı sıra havadaki aerosol partiküllerinin binaların taş cephe kaplamalarının yüzeylerinde kirlenmeye ve aşınmaya yol açtığı tespit edilmiştir (Sabbioni, 2000).

Asit yağmuru karşısında mukavemeti az olan diğer yapı malzemeleri arasında ise karbon çeliği, nikel, çinko, bakır, boya, plastikler, kâğıt, deri ve dokumadan oluşan malzemeler gelmektedir. Paslanmaz çelik ve alüminyum ise asit yağmurları karşısında diğer metallere oranla daha mukavemetlidir. Deniz tuzu ve deniz suyu dışında esasen kentlerde sülfür dioksit ile birlikte nitrojen oksit ve ozon esasen korozyona neden olan ana kirletici olarak tespit edilmiştir. Bilimsel araştırmalar nitrojen dioksit ile sülfür dioksitin bir arada bulunmasının yapı malzemeleri üzerindeki korozyon miktarını arttırdığını ortaya çıkarmıştır. Çeşitli SO<sub>2</sub> konsantrasyonlarında ve sürelerde metal korozyonunun 1,5 ila 5 kat arttığı gözlenmiştir (Kocaeli İl Çevre Durum Raporu, 2006). Metallerin korozyonunda, SO<sub>2</sub>'nin etkisi yanında, sıcaklık ve nemin de etkisi bulunmaktadır. Örneğin Alüminyum SO<sub>2</sub>'e karşı oldukça dayanıklı olmasına karşın, yüksek SO<sub>2</sub> konsantrasyonlarında (280 ppm ) ve nispi nem %70'in üzerine çıktığında korozyon hızı önemli ölçüde artmaktadır (Kocaeli İl Çevre Durum Raporu, 2006). Sülfür dioksitin bir başka zararı da malzeme yüzeyindeki nemin içinde yer alan sülfürik asidin okside olmasıyla oluşan kuru tortu oluşumudur. Bu tortu metal yapı malzemesinde korozyona sebebiyet vermektedir. Atmosferde bulunan NO<sub>2</sub>'nin ise yapı malzemeleri üzerindeki zararlı etkisi henüz belirlenmemiş olmakla birlikte, NO<sub>2</sub>'nin SO<sub>2</sub> ile birlikte bulunduğu ortamlarda güçlü bir zararlı etkisinin bulunduğu laboratuvar çalışmalarında tespit edilmiş ancak yine de yapı malzemeleri üzerindeki etkisi henüz belirlenmemiştir (Watkiss vd., 2000). Ozonun ise özellikle polimer esaslı boya, plastik ve kauçuk esaslı yapı malzemeleri üzerinde etkisi bulunmaktadır. Bunların içerisinde özellikle de kauçuk üzerindeki zararlı etkisi önemlidir. Bilhassa ozonun SO<sub>2</sub> ile birlikte etkileşimi kauçuk yapı malzemeleri üzerinde etkili olmaktadır (Watkiss vd., 2000). Ozon, kauçuk ve lastik malzemenin çatlamasına neden olmaktadır. Kauçuk gerilim altında iken ozon karbon atomları arasındaki çift bağları parçalar. Bunu diğer bağların zincirleme bir şekilde parçalanmaları takip eder. Ayrıca yapılan gözlemler, SO<sub>2</sub>'nin 1-2 ppm konsantrasyon arasında boya filmlerinin kuruma sürelerini %50-100 arasında arttırdığını göstermiştir. 7-10 ppm arasında ise bu süre 3 güne kadar çıkmaktadır. Bu ortamlarda kuruyan yüzeylerin ise daha az dayanıklı oldukları belirlenmiştir (Kocaeli İl Çevre Durum Raporu, 2006). Günümüz modern yapılarında kullanılan cam yapı malzemelerinin ise özellikle fiziksel etkilere karşı mukavemeti yüksek olarak planlanması öncelikli olarak ele alındığından asit yağmurlarına karşı etkisi daha az araştırılmaktadır. Genelde hava kirleticilerinin tekstil, kumaş ve dokumalar üzerinde yapısal bağları zayıflatıcı ve germe kuvvetini düşürücü etkileri vardır. SO<sub>2</sub>'nin selüloz elyaflar, naylon, pamuk ve rayon iplik üzerinde zarar verici etkileri bulunmaktadır.

Asit yağmurlarının sadece mimari yapıları oluşturan yapı malzemeleri üzerinde değil, aynı zamanda mimari yapıların işlevselliğini tamamlayan ve yeraltındaki tesisat kablo ve boruları üzerinde de zararlı etkisi olmaktadır. Görüldüğü üzere yapı malzemeleri ile hava kirleticiler arasındaki etkileşim çok karışık ve çeşitlidir. Asit yağmurlarının mimari yapılar üzerindeki etkisi esasen uzun yıllar aldığından modern yapılar üzerindeki etkilerinin gözlemlenmesi tarihi anıtlar üzerindeki etkilerinin gözlemlenmesine oranla daha azdır. İngiltere'de kireçtaşı ve karbonat esaslı taşların kullanıldığı birçok mimari anıta asit yağmurunun malzemelerde yüzey parçalanmasına neden olduğu görülmektedir. Orta Avrupa'da sanayinin yoğun olduğu kentlerde tarihi binaların yüzey kaplama taşlarını birbirine bağlayan metal bağlantılarının

hava kirliliği nedeniyle aşındığı tespit edilmiştir. York Minster ve Westminster katedrallerinde son yıllarda çeşitli aşınmalar tespit edilmiştir. Atina kentinde oluşan hava kirliliği tabakasının Akropol'e kadar yükselerek Parthenon tapınağı taş bağlantılarının kullanılmaz duruma geldiği tespit edilmiş ve 1965'de bu bağlantılar değiştirilmiştir (Ayberk, 2001). Hindistan'da Taj Mahal, Roma'da Colosseum, Polonya'da Krakow anıtlarında taş yapı malzemeleri üzerinde asit yağmurunun zarar verici etkileri tespit edilirken; İsveç'te Ortaçağ dönemine ait yapılardaki pencere camlarının asit yağmurundan etkilendiği görülmüştür. Su kanallarıyla ünlü Venedik'te ise motorlu su taşıtlarından çıkan SO<sub>2</sub> gazının kanal kenarındaki binaların taş cephelerini bozduğu tespit edilmiştir. İngiltere'nin bazı bölgelerinde de hava kirliliği problemlerinin 13.yüzyıldan bu yana belgelendiği ve bu belgelerde kömür ve odun yakımından kaynaklı hava kirliliğinin taş yapı malzemelerine zarar verdiği ifade edilmektedir (Sabbioni, 2000)

## **KOCAELİ İLİNDE HAVA KİRLİLİĞİNİN MİMARİ YAPILAR ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN GÖZLEMLENMESİ**

Kocaeli ilinde tüm Türkiye genelinde de yaygın olduğu üzere betonarme iskelet strüktürde yapılmış binalar çoğunlukta olup; özellikle 1999 depremi sonrasında uygulanan yeni yapılanma politikası kapsamında betonarme tünel kalıp sisteminde yapılar da yaygınlaşmıştır. Ancak, Kocaeli İzmit merkez ilçesinde betonarmenin yaygın bir inşaat teknolojisi olarak kullanılmakta olduğu, bu inşaatlarda doğal taşların, pişmiş toprak malzeme, beton, sıva ve harç gibi yapay taş malzemeler, boya ve plastik esaslı malzemeler ile metallerin yoğun bir şekilde yapı malzemesi olarak mimari tasarımlarda kullanıldığı dikkati çekmektedir. Kocaeli ili merkez ilçesinde mimari yapılarda en fazla kullanılan yapı malzemelerine göre hava kirliliğinin etkilerinin gözlemlenmesi amacıyla öncelikle hava kirliliğinin yoğun görüldüğü D-100 karayolu yakın çevresinde bulunan Yeni Cuma Camii (1568), İzmit Saat Kulesi (1902), Redif Dairesi (1863), Abdülaziz Av Köşkü (1874), defterdarlık ek binası olarak hizmet veren Üssü Bahri ve Müstahkem Mevki Komutanlığı (1894), Halk Evi binası (1942) ve en az 20 yıllık binalar gözlemlenmiş bulunmaktadır.

### **Doğal Taşlar**

Bu ilde yapı sektöründe ve mimari anıtlarda en fazla kullanılmakta olan doğal taş yapı malzemeleri granit, kumtaşı, kireçtaşı, küfeki taşı, kandıra taşı, mermer, traverten ve arduazdır (Şekil 1). Bu konuda araştırmalar yapan Harter (Harter, 1986) ve Lipfert (Lipfert, 1989) gibi araştırmacılar özellikle silis esaslı taşlar üzerinde hava kirliliğinin etkilerini önemsemez iken, kalker esaslı olup Kocaeli bölgesinde oldukça fazla kullanılan mermer, traverten ve kireçtaşı üzerinde hava kirliliğinin tehlikeli etkisine dikkat çekmektedir. Bu taşların hava kirliliği etkisinde bozulmasının bünyelerindeki CaCO<sub>3</sub>'ün çözülmesi ile oluştuğu gözlemlenebilmektedir. Özellikle SO<sub>2</sub> gibi gaz kirleticilerin etkisi ve asit yağmurunun taş bünyesine etki etmesiyle taşın bünyesinden çözülme ve kopmalar görülmektedir. Yapılan çeşitli bilimsel çalışmalarda doğal taşların hava kirliliğinin etkisiyle bünyelerinden 4 mm.ye kadar varan büyüklükte parça kopmaları olduğu tespit edilmiştir (Watkiss vd., 2000). Özellikle Kocaeli'nde Redif dairesi ve Abdülaziz Köşkü incelendiğinde bu durumun izleri tespit edilmiş, ayrıca asit yağmuru etkisi altında kalan doğal taşların ıslanma ve kuruması sonucu yüzeylerinde kir ve kurumun oluşturduğu siyah kabuklaşmalar gözlemlenmiştir (Şekil 3 ve Şekil 4).



**Şekil 1.** Kocaeli İzmit merkezde moloz taş duvar ve küfeki taşı kaplamada hava kirliliğinin yarattığı deformasyonlar.

### **Pişmiş Toprak Malzeme**

Araştırmacıların genel kanısına göre pişmiş toprak malzeme olarak isimlendirilen tuğla ve kiremitler  $SO_2$ 'nin etkisi altında kaldığında yüzeyden parça kopmalar gözlenmemektedir. Ancak tuğla duvarların örülmesinde ya da kaplama tuğlalarının duvara yapıştırılmasında bağlayıcı olarak kullanılan çimento esaslı harç yapı malzemesi bünyesinde bulunan kum,  $Ca(OH)_2$  ve diğer karbonat esaslı malzemelerden ötürü bu gazdan etkilenmektedir. Harç yapı malzemesinden parça kopmalar asit etkisi altında özellikle kireç esaslı çimento bağlayıcılarda görülmektedir (Lipfert, 1987). Tuğlanın ise gözeneklerine giren su ve tuz bir tepki reaksiyonu başlatmakta ve bu tuz hava kirliliği ve mikrobiyolojik etkilerle tuğlanın yüzeyinde birikmektedir. Esasen pişmiş toprak malzemelerin asit yağmuru etkisi altında yüzeylerinde çiçeklenme olayı görülmektedir. Ayrıca tuğlanın içine giren su don etkisiyle tuğlaya zarar vermektedir (Bajore, 2000). Bu durumda Kocaeli merkezinde yer alan mimari yapılarda tespit edilmiştir (Şekil 5).

### **Beton, Sıva ve Harç**

Çimento harcında en önemli hasar etkilerinden biri sülfat etkisidir. Yapılan çeşitli bilimsel çalışmalar sonucunda hava kirliliği etkisiyle sıva ve harçların yüzeyinden 4 mm. ye varan büyüklükte parça kopmaları tespit edilmiştir (Watkiss, 2000). Harçların sülfat etkisine mukavemetini arttırmanın en iyi yöntemi harcın gözenekliliğini azaltmaktır. Kocaeli ilinde mimari yapı inşaatlarında kullanılan betonun bünyesinde yer alan portland çimentosu bir alkaline malzeme olup asit yağmurdan etkilendiği bilinmektedir. Asit yağmurunun beton yüzeyler üzerindeki etkisi içinde yer alan demir donatının korozyonunun da etkisiyle arttırdığı parçacık kopma, yüzey aşınması, solma gibi etkileri beton malzemede gözlemlenmektedir. Ancak uzmanlar yüzey aşınması dışında, oluşan tüm etkilerin  $SO_2$  gibi kirleticilerin etkisinden ziyade klorür iyonlarının betonun bünyesine girmesi ve doğal karbonlamanın ortaya çıkışının etkili olduğunu belirtmektedirler (Watkiss vd., 2000). Ancak, hava kirliliğinin beton yapı malzemesine en önemli etkisi içinde yer alan ve betonun rijitliğini ve mukavemetini sağlayan demir donatı elemanlarının asit yağmuru etkisiyle korozyona uğramasıdır. Bu durumun oluşmasında betonun yeterli kalınlıkta ve kalitede dökülmemesi etkili olmaktadır. Demir donatıyı çevrelemesi gereken ve pas payı olarak isimlendirilen beton yüzey gerekli kalınlıkta ve yeterli kalitede dökülür ise asidik kirleticilerin sadece betonun yüzeyinde iz bıraktığı görülmektedir. Bu durumda betonda görülen yüzey kopmaları binanın strüktürel bütünlüğünü ve betonun dayanımını çok büyük ölçüde etkilememektedir. Ancak, gerekli koşulların yerine getirilmediği kötü dökülmüş beton yapı malzemesinde asit yağmuru etkisiyle oluşan karbonlaşmanın beton içindeki demirin korozyonuna sebep olduğu ve beton ile mimari strüktürün mukavemetini etkilediği açıkça görülmekte olup; bu olayın sebep olduğu acı sonuçlar 1999 depreminde ortaya çıkmıştır. Korozyon ile betonun içinde yer alan demir donatının hacminin çoğalması, iç basınç ve dolayısıyla çevresinde çatlamalara neden olmuştur. Ancak, beton malzemenin üzerinde hava kirliliğinin en önemli etkilerinden biri yine



1999 depremi sonrası yapılan tetkiklerde ortaya çıkmıştır. Beton yapı malzemesi içinde bulunan demir donatının binalarda kükürtlü kömürlerin yakıt olarak kullanılması sonucu ortaya çıkan SO<sub>2</sub> gazlarının kalorifer dairelerinin nemli ortamında sülfürik aside dönüşmesi ve zamanla kalorifer dairelerindeki kolon donatılarında korozyona neden olduğu ve depremde 25–30 yıllık binalarda yıkıma neden olduğu ispatlanmıştır (Demirtaş, 2000).

### **Boya ve Plastik Esaslı Malzemeler**

Boylar polimerler, pigmentler, katkı maddeleri ve diğer kimyasal katkı malzemelerinin bileşiminden oluşmaktadır. Boya ve polimer esaslı yapı malzemeleri üzerindeki hasar asit yağmuru ve fotokimyasal oksitleyiciler bilhassa da ozondan kaynaklanmaktadır. Hava kirliliğinin bu malzemeler üzerindeki etkisi genellikle renk solması, aşınma, polimer yüzeylerden parça kopma, boyanın sürüldüğü yüzeye tutunma özelliğinin kaybolması şeklinde görülmektedir. Yapılan çeşitli bilimsel araştırmalar sonucu boya yüzeyinden 50 µm parça kopabildiği ve bu ölçünün de yapıya zarar verici etkide olduğu tespit edilmiştir (Watkiss, 2000). Esasen boya içinde yer alan pigment ve katkı maddelerinin direk olarak asidik kirlleticilerle reaksiyona girmesi sonucu boyanın yüzeyinden kopmalar meydana gelmektedir. En ciddi etki CaCO<sub>3</sub> katkılı boyalarda SO<sub>2</sub>'in etkisidir. Nitrojen oksitlerin ise boya malzemeleri üzerinde oldukça küçük bir etkisi olmaktadır. Kocaeli merkez ilçesindeki örneklerde de boya ve plastik esaslı yapı malzemelerinin yüzeylerinden parça kopma ve renk solması etkileri tespit edilmiştir (Şekil 5).

### **Metaller**

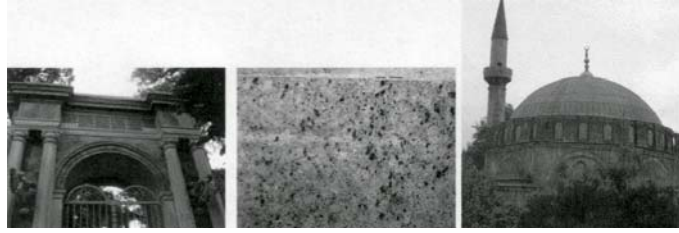
Metallerin atmosferik korozyona uğraması genellikle yüzey nemli olduğunda oluşan elektrokimyasal bir süreç olup mimari yapının içinde yer aldığı ortamın nemlilik oranı, sıcaklık ve yağış oranları ile hava kirleticilerinin oranı bu süreçte etkili olmaktadır. Bu atmosferik kirleticiler içinde en fazla SO<sub>2</sub> metal yapı malzemeleri üzerinde etkili olmaktadır. Ancak, kıyı bölgelerinde kloridler de önemli bir rol oynamakta olup; hiç kuşkusuz bir kıyı kenti olan Kocaeli'nde de kloridler SO<sub>2</sub> kadar korozyonda etkili olmaktadır. NO<sub>x</sub> ile ozonun metal korozyonu üzerindeki etkisi henüz belirsiz olmakla birlikte günümüzdeki bazı araştırmalar ozonun metal malzeme üzerinde bazı reaksiyonlara neden olabileceğini göstermektedir (Kocaeli İl Çevre Durum Raporu, 2006). Metal malzemeyi korozyona karşı korumak için demir ve çelik malzemeyi galvanize olarak isimlendirdiğimiz çinko ile kaplama ya da boyayarak hava ile temasını önlemek mümkündür. Günümüzde özellikle tüm dünyada olduğu gibi Kocaeli ve çevresinde de alüminyum doğrama malzemesi, cephe kaplama malzemesi olarak en yaygın biçimde kullanılan metaldir. Atmosfer koşullarında alüminyum ince, yoğun bir oksit tabakası ile kaplanır ve böylece <pH 2,5 olacak şekilde yüksek bir koruma sağlamaktadır. Temiz atmosfer koşulu altında alüminyum yapı malzemesi uzun yıllar görünümünü ve mukavemetini korumaktadır. Çinko ise daha çok çeliğin korozyona karşı galvanize edilmesinde ve çatı kaplamalarında kullanılmaktadır. Çinko korozyona karşı dayanımı olan bir metal olmasına rağmen atmosferdeki kirleticilerle reaksiyona girdiğinde çinko oksit ve çinko hidroksit oluşumu gerçekleşirse, bu film tabakaları yavaşça metalin yüzeyinden ayrılacağı için korozyona karşı tamamen koruyucu olmazlar. Hava kirliliğinin etkisiyle galvanize çelik ve çinko yüzeyinde meydana gelen parça kopmalarının da çeşitli bilimsel araştırmalar sonucu 50 µm olduğu tespit edilmiştir (Watkiss, 2000). Araştırma kapsamında incelenen örneklerde ve bilhassa da İzmit saat kulesine ait metal yapı malzemelerinde daha 2 yıl önce yeni restore edilmiş olmasına rağmen korozyon tespit edilmiş bulunmaktadır (Şekil 2).



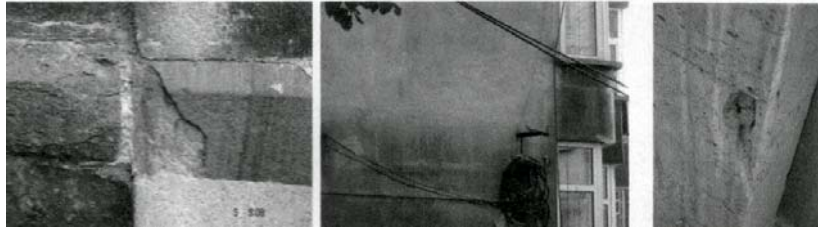
**Şekil 2.** 2 yıl önce restore edilen İzmit Saat Kulesinde taş yıpranması ve korozyon



**Şekil 3.** Üssü Bahri ve Müstahkem Mevki Komutanlığı ve Redif Dairesi taş duvar örgüsünde kirlenme ve yüzey erozyonu



**Şekil 4.** Abdülaziz Av Köşkü mermer kaplamalarında aşınma ve Yeni Cuma Camiinde taş ve kurşun çatı örtüsü aşınması



**Şekil 5.** D- 100 kenarında en az yıllık binalardan tuğla aşınması, boya ve sıva aşınması ve traverten kaplamada erozyon tespiti

Aşağıda Tablo 5’de Kocaeli’ndeki mimari yapılarda en fazla kullanılan yapı malzemelerinin hava kirliliği karşısındaki duyarlılıkları özet şeklinde verilmiştir.

**Tablo 5.** Mimari Yapılarda Kullanılan Yapı Malzemelerinin Hava Kirliliğine Duyarlılığı

<b>Yapı Malzemesi</b>	<b>Hava Kirliliğine Karşı Gösterdiği Duyarlılık</b>	<b>Yapı Malzemesinin Kocaeli genelinde kullanımı</b>
Pişmiş toprak malzeme (tuğla, kiremit vb.)	Oldukça düşük	Yoğun bir şekilde betonarme iskelet yapı sisteminde duvar örgüsü ya da çatı kaplama malzemesi olarak kullanılmaktadır.
Harç, sıva	Ortadan yükseğe doğru	Yoğun bir şekilde yapı malzemelerinin özellikle birbirine bağlanmasında ya da yüzey oluşturulmasında kullanılmaktadır.
Beton	Düşük	Yoğun bir şekilde betonarme iskelet yapı sisteminde ve son yıllarda artan tünel kalıp yapı sisteminde ana yapı malzemesi olarak kullanılmaktadır.
Doğal taşlar (kumtaşı, kireçtaşı, mermer, traverten)	Özellikle SO <sub>2</sub> etkisi altında çok yüksek.	Yoğun bir şekilde özellikle cephe kaplama malzemesi olarak kullanıldığı görülmektedir.
Demir	Özellikle SO <sub>2</sub> etkisi altında çok yüksek.	Betonarme yapı sistemi içerisinde donatı elemanı olarak ve mimari yapılarda korkuluk, parmaklık gibi tamamlayıcı yapı elemanı olarak kullanılmaktadır.
Alaşım olmayan çelik	Özellikle SO <sub>2</sub> etkisi altında çok yüksek.	Mimari yapılarda korkuluk, parmaklık gibi tamamlayıcı yapı elemanı olarak kullanılmaktadır.
Paslanmaz çelik	Çok düşük	Yoğun bir şekilde mimari yapılarda kapı yapımında, cephe kaplamalarında kullanılmaktadır.
Çinko ve galvanize çelik	Özellikle SO <sub>2</sub> etkisi altında çok yüksek.	Az yoğun olarak mimari yapılarda cephe ve çatı kaplamalarında ve tesisatta kullanılmaktadır.
Alüminyum	Çok düşük	Yoğun bir şekilde mimari yapılarda doğrama yapımında, giydirme cephe kaplamalarında kullanılmaktadır.
Bakır	Düşük	Az yoğun olarak çatı kaplamalarında kullanıldığı görülmektedir.
Kurşun	Çok düşük.	Az yoğun olarak çatı kaplamalarında kullanıldığı görülmektedir.

## SONUÇ VE ÖNERİLER

Mimari yapı makrokozmostan mikrokozmosa kadar uzanan hiyerarşik açılım sistemi içinde yer almaktadır. Makrokozmos, dünya, ülke, kent, çevre, bina kompleksi, bina, mekân, yapı malzemesi ve mikrokozmos. Dolayısıyla bu hiyerarşik açılım içerisinde mimari yapılar çevre ve çevrenin çeşitli etkileri göz ardı edilerek tasarlanmamalıdır. Kocaeli ili bugün Türkiye'nin

hava kirliliği sorununu yaşayan önde gelen kentlerinden birisi olup; hava kirliliğinin mimari yapılardaki en büyük etkisi özellikle de yapıların cephelerinde aşırı kirlenme şeklindedir. Bu durum da sık aralıklarla binaların cephelerinin boyanmasına ya da kaplama malzemelerinin sürekli olarak değiştirilmesine yol açmaktadır. Bu durum ise tamamen ülke ekonomisine yük getirmekte; ancak esas olarak mimari yapıların başta tasarım özgünlüklerini kaybetmelerine neden olmaktadır. Bina ve anıtların onarımı ise çok pahalıdır. İngiltere’de 10 milyon pound civarında bir harcama ile asit yağışı hasarları onarılmıştır. 1990’da ABD, boya hasarına 35 milyar dolar, 1985’te Almanlar bir katedral onarımı için 20 milyon dolar, Romenler anıtları için 200 milyon dolar harcamıştır (Özdemir, 2005). Özellikle hava kirliliği Kocaeli ilinde yer alan İzmit Saat Kulesi, Redif Dairesi, Mimar Sinan’ın eseri olan Yeni Cuma Camii, İzmit Garı gibi mimari anıtlarda ise tahribata yol açmakta, yapılan restorasyon çalışmaları da yine çevre faktörü dikkate alınmadığı ve durum sadece mimari açıdan ele alındığı için yetersiz kalmaktadır. Bu çalışma kapsamında mimari yapılar üzerinde hava kirliliğinin etkisinin bulunduğu ancak, bu etkinin zamana bağlı olarak yapıların bina ve yapı bilgisi kavramları ışığında yanlış tasarımı ya da özellikle de yapıların inşasında yapı malzemelerinin fiziksel ve kimyasal özelliklerinin göz ardı edilerek inşa edilmesiyle yanlış inşaat uygulamalarının yapılmasının hava kirliliğinin etkisinin Kocaeli ilinde mimari yapılar üzerindeki etkisini artırmış olduğu tespit edilmiştir. Hava kirliliğinin mimari yapılar üzerindeki etkisi karşısında dünyada günümüze dek uygulanan yöntemler;

- Hava kirliliğini azaltıcı mühendislik önlemlerinin alınması,
- Hasarın boyanarak ya da onararak giderilmesi,
- Ya da bu etkinin özellikle estetik açıdan ele alındığı için sadece kentlerin görünümünü bozan zararsız bir etken olarak kabul edilmesi şeklinde olmuştur. Ancak günümüzde makrokozmostan mikrokozmosa kadar uzanan geniş çerçevede mimari yapının çevre ile olan ilişkisinin önemi giderek artmaktadır. Yapıların hava kirliliğinin mimari yapılarda yapı malzemeleri üzerindeki etkisinin;
- Sadece bir mühendislik sorunu olarak görülmemesi, özellikle çevre mühendisleri ile ortak çalışmalar yapılarak kentteki mimari tasarımlarda hava kirliliğine dayanım gösteren uygun yapı malzemeleri kullanılması ve detaylandırılması,
- Yapı detaylarının onarıma ve ileride yapılacak restorasyon çalışmalarına uygun tasarlanması,
- Yapı, strüktür malzeme ilişkisinde bilimsel olarak öngörülen tüm verilerin dikkate alınarak binaların inşa edilmesi,
- Ve periyodik aralıklarla yapıların kontrolden geçirilerek hava kirliliği etkisinin kontrol altında bulundurulması,
- Dayanıklı, uzun ömürlü, onarımı ve yenilenmesi kolay, zaman içindeki değişimlere göre yeniden değerlendirme ya da yeni işlevler yüklenebilme ve uyum yeteneği yüksek binalar tasarlanması,
- Binaların ve çevrelerinin tasarım, yapım, işletim, kullanım, bakım, onarım, yıkım yada yeni işlev kazandırma aşamalarında ekolojik sistemlerin korunmasına yönelik olarak enerji, su, malzeme, arsa, ve sermaye gibi tüm kaynakların etkin kullanımı,
- Mimari yapı tasarımında yapı fiziğinin yanı sıra yapı biyolojisi kavramının da sürdürülebilirlik açısından ele alınması gerekmektedir. Böylece mimari yapıların artan çevre kirliliği koşulları içerisinde sürdürülebilirliği sağlanmış olacaktır.

Kocaeli ili merkez ilçesinde yapılan gözlemler ve araştırmalar sonucuna göre ise; bina yapım teknolojisi açısından betonarme iskelet ya da tünel kalıp sisteminin hava kirliliğinin etkileri açısından çelik yapılara oranla daha uygun olduğu, ancak detaylandırma ve yapım aşamasında

gerekli verilere kesinlikle dikkat edilmesi önerilmektedir. Doğal taşların, boya ve plastik esaslı malzemelerin, cam mozaiklerin bina cephe kaplamalarında zamanla aşınmaya uğraması nedeniyle İzmit merkez ilçesinde kullanımlarının tercih edilmemesi, paslanmaz çelik, cam, kompozit veya pişmiş toprak esaslı malzemelerden giydirme cephe tasarımı yapılması öngörülmelidir. Binaların dikey ya da yatay dış yüzeylerinde doğal taş kullanımı mimari tasarım açısından bir zorunluluk getirmekte ise de mutlaka granit çeşitlerinin kullanılması doğru olacaktır. Yine özellikle çağdaş binaların dış cephelerinde kendi kendini temizleme özelliği bulunan boyalar tercih edilmeli ancak, bu boyaların da asit yağmuru etkisi altındaki durumu ayrıca gözlemlenmelidir.

## KAYNAKLAR

Allaby, Micheal, Basics of Environmental Sciences, 2nd edition, Routledge London, 2002.

Ansiklopedik Çevre Sözlüğü, Türkiye Çevre Vakfı Yayını No:142, Ankara, 2001.

Ayberk, S., Hava Kirliliği ve Meteorolojik Olaylar, KOU, Kocaeli, 2001.

Bajare, D., Restoration of the historical brick masonry, 9th International Congress on Deterioation and Conservation of Stone. Ed. Vasco Fassina, Elsevier, June 19-24, 2000.

Bravo, H., Soto, A., Rosa, E., Sanchez, A., Alarkon, J. ve Ruiz, B., Effect of acid rain on building material of the El Tají'n archaeological zone in Veracruz, Mexico. *Environmental Pollution*, 144,655–660,2006.

Demirtaş, R., 17 Ağustos 1999 İzmit Körfezi Depremi Raporu, TC. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü Deprem Araştırma Genel Müdürlüğü,Ankara 2000.

Gibson,A. ve Farar,W.V. Robert Angus Smith, F.R.R., and Sanitary Science. *The Royal Society*, Vd.28, No:2 April, 235-245, 1974.

Gökaltun, E. Atmosferik kirleticilerin kuru ve ıslak çökelme mekanizmalarının kireçtaşlarındaki parlaklık kaybına etkisi, *BAÜ Fen Bil. Enst. Dergisi*. (1999). 1 (1),1999.

Jacobson, M., Atmospheric pollutions history, science, and regulation, Cambridge University Pres, 2002

Kocaeli İl Çevre Raporu 2006.

Kocaeli İl Sağlık Müdürlüğü 2006 yılı verileri.

Kuetoslav R. Spurny. Bölüm 16, 327-344, CRC Pres, 2000.

Özdemir, O. Görünmeyen tehlike asit yağışları, *Sağlık ve Toplum Dergisi*, Yıl: (15) 2005, Sayı:1.

Rugemer, C. Stone viruses, Research EU, European Commission, No.54, s.16, 2007.

- Sabbioni,C. Aerosol Stone Monuments, Aerosol Chemical Processes in the Environment, ed.
- T.C. Başbakanlık Türkiye İstatistik Kurumu Haber Bülteni, Sayı:11 28 Aralık 2006.
- Vezzoli, C. ve Manzini, E. Design for Environmental Sustainability.Springer, 2008.
- Watkiss, P. ve Eyre, N. Holland M. Impacts of air pollution on building materials, 1 September 2000.