

Fotokopi merkezlerinde partikül madde konsantrasyonlarının ve element kompozisyonlarının belirlenmesi

Simge Çankaya^{1*}, Beyhan Pekey²

28.04.2016Geliş/Received, 28.11.2016Kabul/Accepted

doi: <https://doi.org/10.16984/saufenbilder.297003>

ÖZ

Bu çalışmada, Kocaeli’nde seçilen 9 farklı fotokopi merkezinde, fotokopi kullanımından kaynaklı iç ortam partikül madde kirliliğinin belirlenmesi amacıyla partikül madde örneklemeleri gerçekleştirilmiştir. Örnekler, 5 aşamalı Sioutas sıralı örnekleyici kullanılarak toplanmış ve element içerikleri ICP-MS analiz tekniği kullanılarak belirlenmiştir. Toplanan partikül maddelerin kütle konsantrasyonları ve element kompozisyonları, 5 farklı boyut aralığı ($PM_{>2.5}$, $PM_{2.5-1.0}$, $PM_{1.0-0.5}$, $PM_{0.5-0.25}$ ve $PM_{<0.25}$) için belirlenmiş ve çalışmanın sonuçları bu kapsamda değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Partikül madde, fotokopi, Sioutas sıralı örnekleyici, ICP-MS 5

Determination of the concentrations and elemental compositions of particulate matter in photocopy centers

ABSTRACT

In this study, particulate matter sampling was carried out in order to determine the indoor air particle pollution arising from photocopying. For that purpose, 9 different photocopy centers were selected in Kocaeli. The samples were collected with using a 5-stage Sioutas Cascade Impactor and the elemental compositions were analysed with ICP-MS analysis technique. Mass concentrations and elemental compositions of particulate matter collected was determined for 5 different size fractions ($PM_{>2.5}$, $PM_{2.5-1.0}$, $PM_{1.0-0.5}$, $PM_{0.5-0.25}$ ve $PM_{<0.25}$) and the results of this study were evaluated within this context.

Keywords: Particulate matter, photocopy, Sioutas cascade impactor, ICP-MS

* Sorumlu Yazar / Corresponding Author

¹ Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği, Kocaeli - simge.taner@kocaeli.edu.tr

² Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği, Kocaeli - bpekey@kocaeli.edu.tr

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Bilgisayar, yazıcı, fotokopi makinesi, faks gibi elektronik ekipmanların ev, ofis, matbaa ve fotokopi merkezi gibi çeşitli kapalı ortamlarda kullanım alanı bulunmaktadır. Özellikle, bu cihazların sık kullanıldığı çalışma ortamlarında gününün önemli bir kısmını geçiren çalışanlar, bu cihazlardan ortama verilen çeşitli kirleticilere maruz kalmaktadır. Fotokopi makineleri, kuru proses ve ıslak prosesle çalışanlar olmak üzere temel olarak 2 türde olmakla birlikte; kuru proses fotokopi makineleri kirlilik önleme araştırmaları için yüksek öncelikli olarak tanımlanmaktadır [1]. Bu çalışmanın esas konusunu oluşturan ve sıkça kullanılan ofis ekipmanlarından biri olan kuru proses fotokopi makinelerinden ortama verilen kirleticiler arasında uçucu organik bileşikler, ozon, azot oksit, formaldehit ve solunabilir partiküller bulunmaktadır [1]-[5]. Literatürde, fotokopi işleminden kaynaklanan partikül maddeler ile ilgili çeşitli bilimsel çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmalar partikül maddelerin miktarlarının belirlenmesi [2] [3] [6] [7]; oluşum mekanizmaları [8]; çeşitli analizlere dayanarak belirlenen kimyasal kompozisyonları [9] ve toksikolojik etkileri [10]-[12] gibi konular üzerine yoğunlaşmıştır. Kuru proses fotokopi makineleri ve bunlarla benzer teknolojiyi kullanan lazer yazıcılar, yazma işleminin bir parçası olarak toner kullanmaktadır ve tonerin en fazla %7'si karbon siyahından oluşmaktadır [1] [13]. Siyah tonerler karbon siyahı ya da demir oksit içerirken; renkli tonerler çeşitli organik pigmentleri içermektedir. Bu temel bileşenlere ek olarak tonerler, parafin, silis gibi çeşitli katkı maddeleri ve az miktarlarda metal tuzları da içermektedir [14]. Aerosolleşmiş toner tozunun (polimerik bağlayıcılar, karbon siyahı, katkı maddeleri ve pigmentler) fotokopi makinelerinden ortama verilebildiği bilinmektedir [15]. Bello ve diğ. 2013, fotokopi makinelerinin yazıcılara oranla daha yüksek miktarlarda nanopartikül (1-100 nm arasındaki partiküller) oluşumuna neden olabildiğini belirtmişlerdir [16]. Wang ve diğ. 2011 ise yaptıkları çalışmada, nanopartiküllerin ana kaynağının kağıttaki toner tozunun evaporasyonu olabileceğini ifade etmiştir [17].

Uçucu ve yarı uçucu bileşikler ile partiküllerin ayrıca, yazdırma ve kopyalama işlemi sırasında işlenen kağıttan ortama verildiği de belirtilmiştir [15] [18]. Yazıcı, fotokopi makinesi gibi yazılı kopya cihazlarından ortama verilen farklı boyutlardaki partikül maddeler bakım-onarım sırasındaki kağıt ve toner tozlarından da kaynaklanabilmektedir [14] [18] [19]. Emisyonların türü ve miktarı ise, yazılı sayfa sayısı, kağıt ve tonerin çeşidi, cihazın yaşı ve yapısı, toner kartuşunun yaşı gibi parametrelerin çeşitliliğine bağlıdır [20].

Fotokopi makinelerinin sık kullanımıyla ilişkili olarak ofis çalışanlarında göz, solunum yolu ve boğazlarda tahriş gibi spesifik semptomlar ve baş ağrısı, yorgunluk ve mide bulantısı gibi genel semptomlar rapor edilmiştir [21]. Özellikle, toner kartuşlarını değiştiren ve cihazların bakım-onarım işlemlerini gerçekleştiren çalışanların, cilt teması ve solunum yoluyla önemli miktarda toner tozuna maruz kaldıkları belirtilmiştir [12] [22]. Barthel ve diğ. 2011 tarafından yapılmış bir çalışmada, 10 farklı lazer yazıcıdan ortama verilen ince ve ultraince partiküllerin elementel kompozisyonu incelenmiştir. Toner kartuşlarından alınan toner tozlarında Fe elementinin baskın element olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, Mn, Cr, V ve Zn elementlerinin de toner tozunda bulunduğu belirtilmiştir [23]. Bir başka çalışmada, yazıcı toner tozunun temel olarak demir oksit, plastik reçine, karbon siyahı ve diğer katkı maddelerinden (TiO₂ veya SiO₂ gibi) oluştuğu belirtilmiştir. Ayrıca, element analizleri As, Ni, Zn, Mn ve Si elementlerinin varlığını da ortaya koymuştur [19]. Bello ve diğ. 2013, fotokopi işlemi ile ilgili olarak ortama verilen partikül maddelerin ve toner formülasyonunun fizikokimyasal ve morfolojik özelliklerini karakterize etmişlerdir. Demir, Ti, Si ve Mn elementleri iki toner örneğinde tespit edilmiştir. Bunlara ek olarak, Sn, Al, Zn ve Mg gibi çeşitli elementler de toner örneklerinde 100-500 ppm aralığında belirlenmiştir. Kalsiyum, Na ve K elementleri de çıkış filtresi tozunda yüksek konsantrasyonlarda bulunmuştur [16].

Fotokopi işlemleri sırasında ortama verilen partiküller orijinal tonerlerden farklı olduğundan ve birçok parametreden etkilendiğinden; toner kompozisyonu, fotokopi kaynaklı partiküllerin tehlikelerini açıklamada tek gösterge olarak kullanılamamaktadır [7]. Bu nedenle, ortama verilen farklı boyutlardaki partiküllerin konsantrasyonlarının ve karakteristiklerinin belirlenmesi büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmanın temel amacı, fotokopi işleminin baskın olarak yapıldığı fotokopi merkezlerinde, iç ortam havasında farklı boyutlardaki partikül maddelerin kütle konsantrasyonlarının ve elementel kompozisyonlarının belirlenmesidir. Bu kapsamda, farklı fotokopi merkezlerinde iç ortam örneklemeleri gerçekleştirilmiş ve ulaşılan sonuçlar literatürde ilgili alanda yapılmış bilimsel çalışmalar ve kabul görmüş standartlar ile karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Fotokopi işlemi sırasında kullanılan toner ile ilgili analizler bu çalışmanın kapsamı dışında olup; çalışmada temel olarak fotokopi merkezlerinde iç ortam havasındaki partikül madde kirliliği için genel bir bakış ve farkındalık yaratması amaçlanmıştır.

2. MATERYAL VE METOT (MATERIAL AND METHOD)

2.1. Örnekleme bölgesi (Sampling site)

Bu çalışmada, Kocaeli ilinin merkez ilçesi olan İzmit'te, Mayıs-2010 tarihinde, 9 farklı fotokopi merkezinde iç ortam partikül madde örneklemeleri gerçekleştirilmiştir. Örneklemelerin gerçekleştirildiği fotokopi merkezlerinin karakteristik özelliklerinin belirlenmesi için anketler

oluşturulmuş ve bu anketlere göre düzenlenmiş bilgiler Tablo 1'de sunulmuştur.

P5 olarak numaralandırılan fotokopi merkezi dışında, diğer fotokopi merkezlerinde sigara içilmemektedir. P1 ve P3 numaralı fotokopi merkezleri dışında, tüm fotokopi merkezleri giriş katta bulunmakta ve doğal yollarla havalandırma sağlanmaktadır. P1 ve P3 numaralı fotokopi merkezleri ise, kapalı alanda bulunmakta, herhangi bir havalandırma sistemine

Tablo 1. Fotokopi merkezlerinin genel özellikleri (General characteristics of photocopy centers).

Örnekleme noktası	Örnekleme hacmi, L	İç ortam alanı, m ²	Bina konumu	Çalışan sayısı	Fotokopi makinesi sayısı	Diğer ofis araçları ve sayısı	Havalandırma	Isıtma sistemi
P1	4251	14	Kapalı alanda. Caddeye 250 m uzaklıkta	2	3	Faks (1)	Doğal	Doğalgaz
P2	5827	30	Caddeye 250 m uzaklıkta	3	2	Faks (1) Yazıcı(1) Bilgisayar(1)	Doğal	Doğalgaz
P3	5711	30	Kapalı alanda. Caddeye 250 m uzaklıkta	6	8	Yazıcı (1)	Doğal	Yok
P4	6930	50	Caddeye 10 m uzaklıkta	5	7	Bilgisayar (2) Yazıcı (2)	Doğal	Elektrikli ısıtıcı
P5	3759	35	Caddeye 10 m uzaklıkta	2	6	Bilgisayar (2) Yazıcı (2)	Doğal	Elektrikli ısıtıcı
P6	3442	45	Cadde üzerinde	2	2	Bilgisayar (1)	Doğal	Doğalgaz
P7	3567	55	Cadde üzerinde	4	6	Bilgisayar (3) Yazıcı (1)	Doğal	Elektrikli ısıtıcı
P8	5243	25	Cadde üzerinde	4	4	Bilgisayar (1) Yazıcı (1)	Doğal, Klima	Doğalgaz
P9	4715	300	Caddeye 20 m uzaklıkta	17	10	Bilgisayar (12) Yazıcı (1) Faks (1)	Doğal, Klima	Doğalgaz

sahip olmamakta ve direkt dış ortam ile teması bulunmamaktadır. Buna bağlı olarak, bu örnekleme noktalarının havalandırmasının yeterli olmadığı düşünülmektedir. Sadece, P1 ve P3 numaralı fotokopi merkezlerinin bulunduğu bölgede, trafik kaynaklı kirlilik yok denecek kadar azdır. Bunlar dışında kalan örnekleme noktalarında ise iç ortamdaki ana kirletici kaynak fotokopi işlemi olmakla birlikte, örnekleme noktalarının birçoğunun kentsel alanda bulunması nedeniyle araç trafiği de diğer bir önemli kirletici kaynağıdır. Özellikle P6, P7 ve P8 numaralı fotokopi merkezleri, trafiğin yoğun olduğu cadde üzerinde bulunması nedeniyle önemlidir. Tüm fotokopi merkezlerinde metal, plastik ve ahşap materyaller bulunmaktadır. Ayrıca bazı örnekleme bölgelerinde fotokopi cihazına ek olarak, lazer yazıcılar da kullanılmakla birlikte, bunların kullanımı kısıtlıdır.

2.2. Örneklemelerin gerçekleştirilmesi (Sampling procedure)

Partikül madde örnekleri, 5 aşamalı Sioutas sıralı örnekleme ve Leland Legacy pompa kullanılarak, teflon (PTFE) filtreler üzerinde toplanmıştır. Pompa akış hızı, BIOS DryCal DC-2 kalibratör (Bios International Corporation, NJ, USA) kullanılarak 9 L/dk olarak ayarlanmıştır. Örneklemede, gözenek boyutu 2.0 µm olan 37 mm çaplı ve gözenek boyutu 0.5 µm olan 25 mm çaplı, 2 farklı boyutta teflon (PTFE - politetrafluoroetilen) filtreler kullanılmıştır. PM_{>2.5}, PM_{2.5-1.0}, PM_{1.0-0.5} ve PM_{0.5-0.25} boyut aralıkları için 25 mm'lik filtreler kullanılırken; PM_{<0.25} boyut aralığı için, 37 mm'lik filtreler kullanılmıştır. Sioutas sıralı örnekleme cihazının aşamaları Şekil 1'de gösterilmektedir.

İç ortam örneklemeleri, 10-12 saat arasında değişen sürelerde, fotokopi merkezlerinin çalışma saatlerine göre düzenlenmiştir. Örnekleme cihazları, kirletici kaynağına en yakın noktaya ve yetişkinler için solunum seviyesi olan 1.5 m yüksekliğe yerleştirilmiştir.



Şekil 1. Sioutas sıralı örnekleyicinin aşamaları (Stages of Sioutas cascade impactor)

2.3. Element analizlerinin gerçekleştirilmesi (Element analysis)

Partikül madde örnekleri, çeşitli element içeriklerinin belirlenmesi amacıyla Cetax ADX-500 otomatik örnekleyici ile donatılmış Perkin-Elmer ELAN DRC-e model indüktif olarak eşleşmiş plazma kütle spektrometresi (ICP-MS; Perkin-Elmer SCIEX Instruments, Concord, Canada) kullanılarak analiz edilmiştir. 18 element analiz edilmiştir: Al, As, Be, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mg, Mn, Mo, Ni, Pb, Se, Ti, V ve Zn.

Her örneklemeden önce ve sonra, teflon filtreler 24 saat desikatörde bekletilmiş, nemi ($55\% \pm 5$) ve sıcaklığı ($19\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1$) kontrol altında olan temiz odada hassas teraziye (Sartorius CP225D - 0.01/0.1 mg duyarlılıkta) tartılmıştır. Son olarak, partikül maddelerin kütle konsantrasyonları Denklem (1)'de verilen formül kullanılarak gravimetrik olarak hesaplanmıştır.

$$PM(\mu\text{g}/\text{m}^3) = \frac{B-A}{V_s} \times 10^6 \quad (1)$$

Denklemden; A filtrenin örneklemeden önceki ağırlığı (mg), B filtrenin örneklemeden sonraki ağırlığı (mg), V_s ise örnekleme hacmidir (L).

PM örneklerinin analize hazırlanması için, mikrodalga asitle çözündürme sistemi kullanılmıştır (Ethos D; Milestone, US). PTFE filtreler, 5 mL HNO_3 (65% Merck, Suprapure, Germany), 1 mL HCl (30% Merck, Suprapure, Germany) ve 0.5 mL HF (40% Merck, Analytical grade, Germany) eklenerek kapalı kaplara konulmuştur. 2 aşamalı çözündürme prosedürü uygulanmıştır [24]. Çözündürme prosedürüne ait detaylar Tablo 2'de verilmiştir. Tabloda verilen ısı güç (W) parametresi, mikrodalga asitle çözündürme ünitesinde çözüldürülecek filtre örneği sayısına göre ayarlanmıştır. 10 örnek için 1000 watt seçilirken; daha az sayıda örnek için farklı değerlerde ısı güç tercih edilmiştir. Çözündürme işleminden sonra, kapların oda sıcaklığına kadar soğuması beklenmiş ve 25 mL deiyonize su

(Millipore Synergy 185, Millipore, Billerica, MA, USA) ile seyreltilmiştir. Son olarak, örnekler polietilen kaplara aktarılarak ICP-MS analizi öncesi $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de bekletilmiştir. Filtre ve asit için şahit örnekler de aynı metot ile hazırlanmıştır [24] [25].

Tablo 2. Mikrodalga çözündürme prosedürü (Microwave acid digestion procedure)

Aşama	Süre (dk)	Sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$)	Isıl Güç (W)
1	5	25 \rightarrow 180	1000
2	10	180	1000
Havalandırma	30	0	1000

Analizlerin doğruluğunun tespit edilmesi için, Amerika Ulusal Standartlar ve Teknoloji Enstitüsü'nden temin edilen standart referans madde 1648a (SRM - 1648a) kentsel partikül madde örneği kullanılmıştır. Yapılan analize göre, elementlerin geri kazanım değerleri %67 (Cr) ve %121 (Co) arasında değişmektedir. Elementlerin metot belirleme limitleri ise Ca için 100 ppb; Fe ve Mg için 10 ppb; Al, V, Ni, Cu, Zn ve Se için 1 ppb; Cr, Pb ve Ti için 0.1 ppb; Be, Mn, As ve Mo için 0.01 ppb; Co ve Cd için ise 0.001 ppb olarak belirlenmiştir.

3. BULGULAR (RESULTS)

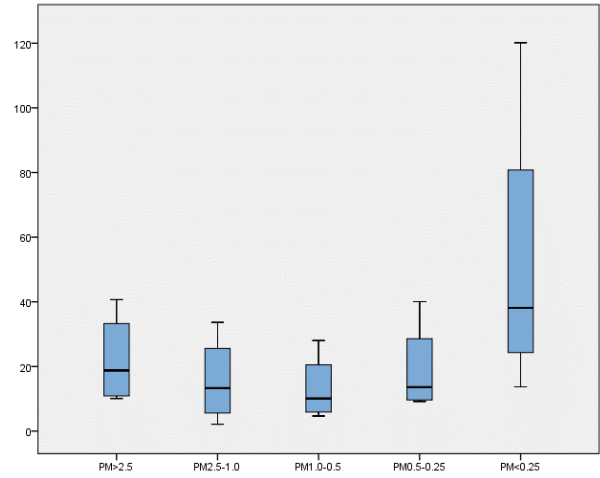
3.1. Kütle konsantrasyonları (Mass concentrations)

Dokuz farklı örnekleme noktasında ölçülen partikül maddelerin kütle konsantrasyonları Tablo 3' de verilmiştir. Tabloda da görüldüğü gibi, $\text{PM}_{2.5}$, $\text{PM}_{0.5-0.25}$ ve $\text{PM}_{<0.25}$ için en yüksek kütle konsantrasyonları P8 olarak isimlendirilen fotokopi merkezinde ölçülmüştür (sırasıyla; $184.4\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$, $40.05\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ ve $120.2\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$). Diğer boyut aralıkları dikkate alındığında ise, en yüksek $\text{PM}_{2.5-1.0}$ ve $\text{PM}_{1.0-0.5}$ konsantrasyonlarının P7'de ($33.64\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ ve $28.03\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$); $\text{PM}_{>2.5}$ konsantrasyonunun ise P6 olarak isimlendirilen fotokopi merkezinde ölçüldüğü gözlenmiştir ($40.67\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$). Her bir fotokopi merkezinde ölçülen $\text{PM}_{2.5}$ konsantrasyonları değerlendirildiğinde, konsantrasyonların $38.18\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ ile $198.4\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ arasında değiştiği belirlenmiştir. Konsantrasyonların örnekleme noktasına göre bu kadar geniş bir aralıkta değişmesi; iç ortam havasının çeşitli faktörlerden etkilenmesi ile ilişkili olabildiğini düşündürmektedir. Çekilen fotokopi sayısı, hava değişim hızı ve diğer emisyon faktörleri gibi çeşitli faktörler iç ortam havasını etkileyebilen faktörlerdendir [7]. Bu çalışmada da, örnekleme için seçilen fotokopi merkezleri, gerek havalandırma şartları gerekse aktif olarak kullanılan fotokopi makinesi sayısı olarak birbirinden farklı özellikler taşımaktadır.

Tablo 3. Beş farklı boyut için belirlenen partikül madde ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) kütle konsantrasyonları (Mass concentrations of particulates for five different size fractions).

Örnekleme Noktası	$\text{PM}_{>2.5}$	$\text{PM}_{2.5-1.0}$	$\text{PM}_{1.0-0.5}$	$\text{PM}_{0.5-0.25}$	$\text{PM}_{<0.25}$	$\text{PM}_{2.5}$	$\text{PM}_{<0.25}/\text{PM}_{>2.5}$	*TSP
P1	32.93	14.11	4.70	11.76	70.57	101.2	2.14	134.1
P2	10.30	17.16	8.58	12.01	13.73	51.48	1.33	61.78
P3	35.02	14.01	15.76	12.26	22.76	64.79	0.65	99.81
P4	10.10	11.54	15.87	10.10	14.43	51.95	1.43	62.05
P5	21.28	15.96	7.98	15.96	45.22	85.13	2.13	106.4
P6	40.67	26.15	14.53	20.34	31.96	92.97	0.79	133.6
P7	16.82	33.64	28.03	16.82	39.25	117.8	2.33	134.6
P8	38.15	22.89	15.26	40.05	120.2	198.4	3.15	236.5
P9	27.57	2.12	6.36	14.85	14.85	38.18	0.54	65.75

Şekil 2’de, tüm fotokopi merkezlerinde ölçülen 5 farklı boyuttaki partikül maddelerin ortalama, minimum ve maksimum konsantrasyonları ile standart sapmaları gösterilmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi, 250 nm’den küçük partiküllerin ($\text{PM}_{<0.25}$ boyut aralığı), en yüksek konsantrasyonlarda bulunduğu belirlenmiştir (ortalama $41.44 \mu\text{g}/\text{m}^3$). $\text{PM}_{>2.5}$, $\text{PM}_{2.5-1.0}$, $\text{PM}_{1.0-0.5}$ ve $\text{PM}_{0.5-0.25}$ boyut aralıklarındaki ortalama konsantrasyonlar ise sırasıyla; $25.87 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $17.51 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $13.01 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ve $17.13 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak ölçülmüştür. Ayrıca 250 nm’den küçük partiküllerin, toplam partiküllerin %76’sını oluşturduğu belirlenmiştir. Her bir fotokopi merkezinde ölçülen ince partiküller kaba partiküller ile oranlandığında, $\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{>2.5}$ oranının tüm fotokopi merkezlerinde 1’in üstünde olduğu belirlenmiştir. Örnekleme noktalarında en yüksek konsantrasyonlarda tespit edilen 250 nm’den küçük partiküller ile kaba partiküller arasındaki oran incelendiğinde ise P3, P6 ve P9 numaralı fotokopi merkezleri dışında kalan tüm fotokopi merkezlerinde 250 nm’den küçük boyutlu partiküllerin kaba partiküllere oranının 1’in üstünde olduğu tespit edilmiş; ayrıca bu oranın 1.33 ile 3.15 arasında değiştiği göze çarpmıştır. Bu sonuçlar, daha önce partikül boyut karakterizasyonu sonucunda, fotokopi makinesi ve lazer yazıcı gibi cihazlardan kaynaklanan partiküllerin daha çok 10 - 200 nm boyut aralığındaki nanopartiküllerden oluştuğu bulgusu ile desteklenmektedir [4] [7]. Dolayısıyla bu üç fotokopi merkezi dışındaki örnekleme noktalarında baskın partikül madde kaynağının fotokopi ve yazıcı faaliyetleri olduğu söylenebilir.

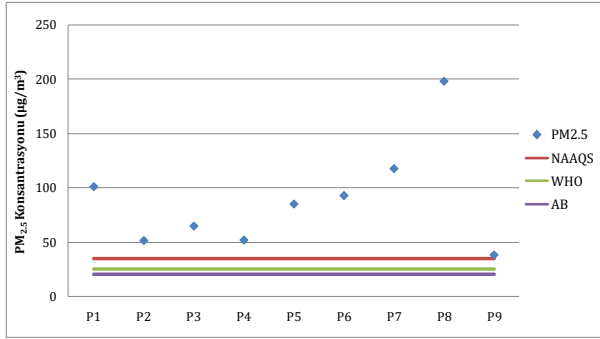


Şekil 2. Farklı boyut aralıklarındaki ortalama, minimum ve maksimum konsantrasyonlar ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ve standart sapmalar (Mean, minimum and maximum concentrations and standard deviations in different size fractions)

Literatürde, fotokopi işleminden kaynaklanan partikül maddeler ile ilgili çalışmalar da insan sağlığı üzerindeki önemli etkilerinden dolayı, genellikle ince ve ultraince partikül boyutları üzerine yoğunlaşmıştır [7] [27] [28]. Lee ve Hsu 2007 tarafından yapılmış bir çalışmada, 12 farklı fotokopi merkezinde ölçülen $\text{PM}_{2.5}$ değerleri $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ile $83 \mu\text{g}/\text{m}^3$ arasında değişirken, ortalama $\text{PM}_{2.5}$ değeri $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak belirlenmiştir [7]. Elango ve diğ. ise, 2013 yılında yapmış oldukları çalışmada 5 farklı fotokopi merkezinde iç ortam hava kalitesini belirlemiş ve ortalama $\text{PM}_{2.5}$ konsantrasyonunu $78.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak bulmuştur [26]. Bu çalışmada ise 9 farklı fotokopi merkezinde ölçülen $\text{PM}_{2.5}$ konsantrasyonları $38 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ile $198 \mu\text{g}/\text{m}^3$ arasında değişirken; ortalama $\text{PM}_{2.5}$ konsantrasyonu $89 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak hesaplanmıştır.

İç ortamlarda bulunan ince partiküller ($\text{PM}_{2.5}$), o ortamlarda günün büyük kısmını geçiren kişilerin sağlığı açısından büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle,

bu çalışmada belirlenen PM_{2.5} kütle konsantrasyonları, uluslararası standartlar ile karşılaştırılmış ve sonuç grafik olarak Şekil 3’de sunulmuştur. Şekil 3’de görüldüğü gibi, örnekleme yapılan fotokopi merkezlerinin tümünde ölçülen PM_{2.5} konsantrasyonları, EPA NAAQS (Avrupa Çevre Koruma Ajansı-Ulusal Hava Kalitesi Standardı), WHO (Dünya Sağlık Örgütü) ve AB (Avrupa Birliği) tarafından kabul edilen limit değerleri, 1 ile 10 kat arasında değişen oranlarda aşmaktadır. Ayrıca, bu limit değerlerin 24 saatlik PM örnekleme için kabul edilen limit değerler oldukları; bizim çalışmamızda ise örnekleme sürelerinin 10-12 saat arasında değiştiği dikkate alındığında, ölçülen konsantrasyonların yüksekliği bir kez daha göze çarpmaktadır.



Şekil 3. PM_{2.5} konsantrasyonlarının standartlar ile karşılaştırılması (Comparison of PM_{2.5} concentrations with standards)

3.2. Element içerikleri (Elemental compositions)

Beş farklı boyut aralığındaki partikül maddelerde analiz edilen 18 elemente ait konsantrasyonlar (ng/m³) Ek A’ da verilmiştir. Nikel, Cu, Zn ve Mo elementleri, tüm örnekleme noktalarında özellikle ultraince partiküllerde belirlenmiştir (PM_{1.0-0.5}, PM_{0.5-0.25} and PM_{<0.25}). P1 ve P2 numaralı fotokopi merkezlerinde, Ni, Cu ve Zn elementleri sadece 250 nm’ nin altındaki partiküllerde tespit edilmiştir. P3 numaralı fotokopi merkezinde ise Cu ve Zn elementleri, 250 nm’ den küçük partikül boyutlarında tespit edilmiştir. Arsenik ve Se elementleri, bazı örnekleme noktalarında (P1, P2, P5, P6 ve P7), kaba partiküllerde (PM_{>2.5}) tespit edilmemiştir.

Kalsiyum, Fe ve Al elementleri, tüm örnekleme noktalarında hem kaba hem ince partiküllerde en yüksek konsantrasyonlarda bulunan elementlerdir. Özellikle Ca, bu çalışmada seçilen fotokopi merkezlerinin çoğunda en yüksek konsantrasyonlarda tespit edilen elementtir. Örnekleme yapılan tüm fotokopi merkezleri arasında 5 farklı boyut aralığında, Ca elementinin konsantrasyonu 176 ng/m³ ile 7185 ng/m³ değişmekle birlikte, maksimum konsantrasyon P7 numaralı fotokopi merkezinde, PM_{2.5-1.0} boyut aralığında tespit edilmiştir. Tespit edilen yüksek konsantrasyonlar, literatürde genellikle toprak elementi olarak tanımlanan Ca

elementinin [29]-[31], bizim çalışmamızda antropojenik kaynağının da olabileceğine işaretler. Morawska ve diğ. 2009, yazıcı partiküllerinin mikroanalizlerini gerçekleştirmiş ve bizim çalışmamızdaki sonuç ile benzer şekilde Ca elementinin partiküllerde en çok bulunan element olduğunu gözlemlemiştir. Aynı çalışmada bu durum, partiküllerde belirlenen Ca ve Fe elementlerinin çoğunlukla, kalsiyum karbonatla kaplı olan kağıt ve tonerden kaynaklanan demir oksitlerle ilişkili olduğu şeklinde açıklanmıştır. Ayrıca çalışmada gerçekleştirilen toner tozunun mikroanalizi, toner partiküllerinin ultraince (50-150 nm boyutundaki) demir oksit partiküllerinden oluştuğunu göstermiştir [8]. Barthel ve diğ. 2011’de, Ca varlığının büyük ihtimalle mineral dolgu olarak kullanılan CaCO₃’tan dolayı olabileceğini belirtmiştir. Ayrıca, özellikle Fe elementi, kartuşlardan alınan toner tozu örneklerinde en baskın element olarak bulunmuştur. Bunun nedeni, çoğu tonerin temel olarak demir (III) oksit (Fe₂O₃), polimer reçineleri, pigmentler ve katkı maddelerinden oluşması şeklinde açıklanmıştır [23].

As, V, Se, Cd, Ni, Pb, ve Zn gibi iz elementler, ince partiküllerde kaba partiküllere oranla daha yüksek konsantrasyonlarda bulunmuştur. Literatürde de bu elementler genellikle antropojenik kaynaklarla ilişkilendirilmiştir [32]-[34]. Barthel ve diğ. 2011, 4 farklı toner örneğinin element içeriklerini belirledikleri çalışmalarında, toner örneklerinde Ca, Sn, Si, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Ni ve Zn elementlerini tespit etmiştir. Cr, Mn ve V elementleri ayrıca, toner tozu örneklerinde de tespit edilmiştir [19] [23]. Bu elementler, tonerlerde kullanılan polimerlerin oksidasyon ve polimerizasyon reaksiyonları için katalitik özelliklerinden dolayı eklenmektedir [23] [35]. Ayrıca, Gminski ve diğ. 2011’de, As ve Pb elementlerinin karbonlu kısım ile ilişkili olduğuna dair şüphelerinin olduğundan bahsetmişlerdir [12].

Özellikle 250 nm’den küçük boyutlardaki partiküllerde yüksek miktarlarda bulunan elementlerin daha iyi tespit edilmesi için, Ek A’da verilen tabloda ayrıca, elementlerin PM_{<0.25}/PM_{>2.5} oranları verilmiştir. Tabloda, Cd, Ni, Pb ve Zn elementlerinin PM_{<0.25}/PM_{>2.5} oranlarının tüm örnekleme noktalarında 1’in üstünde olduğu göze çarpmaktadır. Cd elementine ait PM_{2.5}/PM_{>2.5} oranları, 32 ile 2488 arasında değişmektedir. P4, P5 ve P7 numaralı fotokopi merkezlerinde, bu oran 1000’in üstündedir. İlk anda, Cd elementinin bahsedilen örnekleme noktalarında baskın kaynak olan fotokopi işleminden kaynaklanabileceği düşünülse de; P4, P5 ve P7 olarak numaralandırılan bu fotokopi merkezlerinin birbirlerine oldukça yakın konumda oldukları (yaklaşık 100 m mesafede) ve Kocaeli’nde trafiğin oldukça yoğun olduğu bir merkezde buldukları göz önünde bulundurulması gereken önemli bir noktadır. Cd elementinin 250 nm’den küçük

partiküllerde bulunma oranı genel olarak tüm örnekleme bölgelerinde yüksek çıkmakla birlikte; ultraince partiküllerdeki Cd elementinin fotokopi işleminden kaynaklandığını söyleyebilmek için, konu ile ilgili daha fazla araştırma gerekmektedir. Literatürde konu ile ilgili yapılan ve Cd elementinin de analiz edildiği çalışmalarda, bu element genellikle metot belirleme limitinin altında bulunmuştur. [12] [19]. Ni ve Zn elementlerinin de toner örneklerinde bulunduğu literatürde belirtilmiştir [12]. Cd elementine ek olarak;

Ca, V, Cr, Co, Cu, As, Se ve Mo elementlerinin $PM_{<0.25}/PM_{>2.5}$ oranlarının da bazı fotokopi merkezlerinde yüksek olduğu belirlenmiştir. Mg ve Ti elementlerine ait $PM_{<0.25}/PM_{>2.5}$ oranı ise tüm fotokopi merkezlerinde 1'in altındadır. Morawska ve diğ. 2009 tarafından yapılmış çalışmada da, Ti elementinin ortam havasında bulunduğu ve çevresel kaynaklı olduğu belirtilmiştir [8].

Tablo 4. İnce partiküllerdeki ($PM_{2.5}$) element konsantrasyonlarının standartlar ile karşılaştırılması (Comparison of elemental concentrations in $PM_{2.5}$ with standards)

Elementler	Standartlar ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			$PM_{2.5}$ boyut aralığında ölçülen değerler ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)								
	^a OSHA	^b WHO	^c HSE	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
Al	5000	-	4000	1.336	2.359	0.686	1.164	1.261	2.559	1.848	0.508	0.972
Cr	1000	-	500	0.079	0.077	0.221	0.056	0.085	0.072	0.073	0.235	0.076
Mn	5000	-	500	0.016	0.011	0.044	0.006	0.024	0.021	0.037	0.030	0.018
Fe	-	-	1000	2.085	1.980	2.272	0.816	1.690	1.897	1.942	2.849	1.466
Co	100	-	-	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.002	0.001	0.001
Ni	1000	-	100	0.012	0.017	0.038	0.023	0.030	0.126	0.032	0.022	0.023
Cu	1000	-	1000	0.018	0.012	0.006	0.266	0.019	0.013	0.033	0.071	0.019
Zn	5000	-	1000	0.078	0.052	0.026	0.066	0.155	0.161	0.173	0.045	0.098
As	10	-	100	0.042	0.035	0.840	0.048	0.067	0.041	0.085	1.195	0.102
Se	200	-	100	0.132	0.108	2.842	0.165	0.215	0.121	0.284	4.053	0.350
Cd	0.2	0.005	25	0.002	0.006	0.010	0.031	0.050	0.012	0.030	0.003	0.027
Pb	50	0.5	-	0.022	0.017	0.009	0.006	0.018	0.022	0.022	0.020	0.019

İnce partiküllerde ($PM_{2.5}$) belirlenen elementlerin konsantrasyonları, İngiliz Sağlık ve Güvenlik Dairesi (HSE –Health and Safety Executive), A.B.D. İş Sağlığı ve Güvenliği Dairesi (OSHA – Occupational Safety and Health Administration) ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO – World Health Organisation) tarafından kabul edilen sınır değerler ile karşılaştırılmış ve sonuçlar Tablo 4’de verilmiştir. Tablodan da görüldüğü gibi, elementlere ait konsantrasyonların genelinde HSE ve OSHA standartlarındaki limit değerlerden oldukça düşük olduğu göze çarpmaktadır. Fakat bu çalışmada örnekleme yapılan iş yerlerinde herhangi bir üretim faaliyetinin olmadığı, baskın kaynağın sadece fotokopi işlemi olduğu; bahsedilen standartların ise lastik, kauçuk, boya endüstrisi gibi çeşitli üretim faaliyetlerinin gerçekleştirildiği büyük ölçekli iş yerleri için geliştirildiği göz önünde bulundurulmalıdır. Bu nedenle, çalışmamız kapsamında

yapılan örneklemelemlerden elde edilen sonuçların çoğunun limit değerlerin altında kalması beklenen bir sonuçtur. Buna rağmen, ince partiküllerde ($PM_{2.5}$) belirlenen Cd konsantrasyonunun, P1 ve P8 dışındaki tüm fotokopi merkezlerinde WHO tarafından belirlenen limit değer olan $5 \text{ ng}/\text{m}^3$ ’ü aştığı göze çarpmıştır.

4. TARTIŞMALAR (DISCUSSIONS)

Literatürde, fotokopi makinelerinden kaynaklanan iç ortam partikül madde kirliliğiyle ilgili fazla çalışmaya ulaşılamamakla birlikte, fotokopi makineleriyle benzer teknolojiyi kullanan lazer yazıcılarla ilgili çalışmalar derlenmiş ve bu çalışmadaki sonuçlarla karşılaştırılarak yorumlanmıştır.

Çalışmanın sonucunda en yüksek kütle konsantrasyonlarının 250 nm ’den küçük partiküllerde

olduğu ve bu partiküllerin toplam partiküllerin %76'sını oluşturduğu tespit edilmiştir. 10 µm'den küçük partiküller solunabilir partiküller olarak dikkate alınır, 2.5 µm'den küçük partiküller akciğerlere nüfuz ederek alveollere kadar ulaşır; 100 nm'den küçük partiküllerin (ultraince partiküller) ise kan dolaşımına katılıp beyine ve diğer organlara ulaştığına dair şüpheler vardır [12]. İnsan sağlığı açısından önemli olduğu literatürde belirtilen PM_{2.5} boyutundaki partiküllerin kütle konsantrasyonları, uluslararası standartlardaki limit değerler ile karşılaştırılmış ve tüm örnekleme noktalarında limit değerinin aşıldığı görülmüştür. Nitekim, belirtilen standartlar özellikle üretim faaliyetlerinin gerçekleştirildiği işletmeler için geliştirilmiş ve kabul edilmiştir. Fotokopi merkezleri gibi küçük ölçekli çalışma alanlarında, PM_{2.5} konsantrasyonu ile ilgili henüz bir standart olmadığı dikkat çekmektedir.

Farklı boyutlardaki partiküllerin element içerikleri değerlendirildiğinde ise, Ca, Fe ve Al elementlerinin hem ince hem de kaba partiküllerde oldukça yüksek konsantrasyonlarda olduğu belirlenmiştir. As, V, Se, Cd, Ni, Pb ve Zn gibi iz elementlerin ise ince partiküllerde, kaba partiküllere oranla yüksek konsantrasyonlarda olduğu tespit edilmiştir.

Çalışmamızın esas amacı fotokopi işlemlerinin baskın olduğu fotokopi merkezlerindeki iç ortam partikül madde kirliliğine genel bir bakış ve farkındalık yaratmak olmakla birlikte; bu sonuç daha fazla araştırma ve farklı ölçüm metodları kullanılarak geliştirilmesi gereken önemli bir çalışma konusudur. Literatürde bu amaçla yapılmış bilimsel çalışmalarda elde edilen sonuçlara göre, fotokopi işlemlerinden kaynaklanan partikül maddelerin boyutlarının genellikle 100 nm'den küçük ve özellikle 50 nm civarında olduğu belirtilmiştir [4] [7]. Bir başka çalışmada, yazdırma işlemi sırasında, 5.6-100 nm boyutundaki partiküllerin sayı konsantrasyonlarında ciddi artış olduğu gözlenmiştir [36]. Özellikle 50-100 nm boyutlarındaki partiküllerin kütle ve sayı konsantrasyonlarının belirlenmesi, fotokopi kaynaklı partikül madde kirliliğinin araştırılması açısından önem taşımaktadır. Bu amaçla, bundan sonra gerçekleştirilecek olan çalışmalarda farklı bir metod belirlenerek 100 nm ve daha küçük partiküllerin kütle ve/veya sayı konsantrasyonlarının belirlenebileceği bilimsel yolların izlenmesi, literatüre önemli katkı sağlayacaktır.

KAYNAKÇA (REFERENCES)

- [1] R. Hetes, M. Moore, C. Northeim, "Office Equipment: Design, Indoor Air Emissions, and Pollution Prevention Opportunities". *U.S.EPA*, EPA/600/SR-95/045, 1995.
- [2] S.K. Brown, "Assessment of Pollutant Emissions from Dry-Process Photocopiers". *Indoor Air*, vol. 9, pp. 259-267, 1999.
- [3] J.H. Byeon, J.-W. Kim, "Particle Emission From Laser Printers With Different Printing Speeds". *Atmos. Environ.*, vol. 54, pp. 272-276, 2012.
- [4] H. Jiang, L. Lu, "Measurement of the surface charge of ultrafine particles from laser printers and analysis of their electrostatic force". *Atmos. Environ.*, vol. 44, pp. 3347-3351, 2010.
- [5] K.W. Leovic, L.S. Sheldon, D.A. Whitaker, R.G. Hetes, J.A. Calcagni, J.N. Baskir, "Measurement of Indoor Air Emissions from Dry-Process Photocopy Machines," *J Air Waste Manage*, vol. 46:9, pp. 821-829, 1996.
- [6] D. Saraga, S. Pateraki, A. Papadopoulos, C. Vasilakos, T. Maggos, "Studying The Indoor Air Quality in Three Non-Residential Environments of Different Use: A Museum, a Printery Industry and an Office," *Build Environ*, vol. 46, pp. 2333-2341, 2011.
- [7] C.-W. Lee, D.-J. Hsu, "Measurements of fine and ultrafine particles formation in photocopy centers in Taiwan," *Atmos Environ*, vol. 41, pp. 6598-6609, 2007.
- [8] L. Morawska, C. He, G. Johnson, R. Jayaratne, T. Salthammer, H. Wang, E. Uhde, T. Bostrom, R. Modini, G. Ayoko, P. McGarry, M. Wensing, "An Investigation into the Characteristics and Formation Mechanisms of Particles Originating from the Operation of Laser Printers," *Environ Sci Technol*, vol. 43, pp.1015-1022, 2009.
- [9] G. Sangiorgi, L. Ferrero, B.S. Ferrini, C.L. Porto, M.G. Perrone, R. Zangrando, A. Gambaro, Z. Lazzati, E. Bolzacc, "Indoor airborne particle sources and semi-volatile partitioning effect of outdoor fine PM in offices," *Atmos Environ*, vol. 65, pp 205-214, 2013.
- [10] M. Khatri, D. Bello, A.K. Pal, S. Woskie, T.H. Gasset, P. Demokritou, P. Gaines, "Toxicological effects of PM_{0.25}-2.0 particles collected from a photocopycenter in three human cell lines," *Inhal Toxicol*, vol. 25(11), pp. 621-632, 2013.
- [11] O. Hanninen, I. Brüske-Hohlfeld, M. Loh, T. Stoeger, W. Kreyling, O. Schmid, A. Peters, "Occupational and Consumer Risk Estimates for

- Nanoparticles Emitted by Laser Printers,” *J Nanopart Res*, vol. 12, pp. 91–99, 2010.
- [12] R. Gminski, K. Decker, C. Heinz, A. Seidel, M. Könczöl, E. Goldenberg, B. Grobety, W. Ebner, R. Giere, V. Mersch-Sundermann, “Genotoxic Effects of Three Selected Black Toner Powders and Their Dimethyl Sulfoxide Extracts in Cultured Human Epithelial A549 Lung Cells In Vitro,” *Environ Mol Mutagen*, vol. 52, pp. 296–309, 2011.
- [13] The University of Edinburgh, Health and Safety Department (2010, April). Photocopiers and Laser Printers Health Hazard. [Online]. Available: <http://www.docs.csg.ed.ac.uk/Safety/general/photocopiers.pdf>.
- [14] U. Ewers, D. Nowak, “Health hazards caused by emissions of laser printers and copiers?,” *Gefahrstoffe– Reinhaltung der Luft*, vol. 66, pp. 203–210, 2006.
- [15] P. Wolkoff, “Photocopiers and indoor air pollution,” *Atmos Environ*, vol. 33, pp. 2129–2130, 1999.
- [16] D. Bello, J. Martin, C. Santeufemio, Q. Sun, K.L. Bunker, M. Shafer, P. Demokritou, “Physicochemical and Morphological Characterisation of Nanoparticles from Photocopiers: Implications for Environmental Health,” *Nanotoxicology*, vol. 7(5), pp. 989–1003, 2013.
- [17] Z.-M. Wang, J. Wagner, S. Wall, “Characterization of Laser Printer Nanoparticle and VOC Emissions, Formation Mechanisms, and Strategies to Reduce Airborne Exposures,” *Aerosol Sci Tech*, vol. 45, pp. 1060–1068, 2011.
- [18] H. Destailat, R.L. Maddalena, B.C. Singera, A.T. Hodgsona, T.E. Mckona, “Indoor Pollutants Emitted by Office Equipment: A Review of Reported Data and Information Needs,” *Atmos Environ*, vol. 42, pp. 1371–1388, 2008.
- [19] M. Könczöl, A. Weißa, R. Gminski, I. Merfort, V. Mersch-Sundermann, “Oxidative Stress and Inflammatory Response to Printer Toner Particles in Human Epithelial A549 Lung Cells,” *Toxicol Lett*, vol. 216, pp. 171–180, 2013.
- [20] E. Uhde, C. He, M. Wensing, “Characterization of Ultra-fine Particle Emissions from a Laser Printer”. *Proceedings of Healthy Buildings*, pp. 479–482, 2006.
- [21] H. Jiang, L. Lu. “Measurement of the Surface Charge of Ultrafine Particles from Laser Printers and Analysis of Their Electrostatic Force,” *Atmos Environ*, vol. 44, pp. 3347–33517, 2010.
- [22] Occupational Safety and Health Council (OSHC), “A Simple Guide to Health Risk Assessment; Photocopying”. *Office Environment Series*, OE 3/2005; 5/2005-3-OHB52: 2005.
- [23] M. Barthel, V. Pedan, O. Hahn, M. Rothhardt, H. Bresch, O. Jann, S. Seeger, “XRF-Analysis of Fine and Ultrafine Particles Emitted from Laser Printing Devices,” *Environ Sci Technol*, vol. 45, pp. 7819–7825, 2011.
- [24] S. Yenisoy-Karakaş, E.O. Gaga, O. Cankur, D. Karakaş, “Uncertainty of high resolution inductively coupled plasma mass spectrometry based aerosol measurements”. *Talanta*, vol. 79, pp. 1298–1305, 2009.
- [25] S. Taner, B. Pekey, H. Pekey. “Fine particulate matter in the indoor air of barbeque restaurants: Elemental compositions, sources and health risks,” *Sci Total Environ*, vol. 454–455, pp. 79–87, 2013.
- [26] N. Elango, V. Kasi, B. Vembhu, J.G. Poornima, “Chronic exposure to emissions from photocopiers in copy shops causes oxidative stress and systematic inflammation among photocopier operators in India,” *Environ Health*, vol. 12, pp. 1–12, 2013.
- [27] M. Wensing, T. Schripp, E. Uhde, T. Salthammer, “Ultra-fine particles release from hardcopy devices: Sources, real-room measurements and efficiency of filter accessories,” *Sci Total Environ*, vol. 407(1), pp. 418–427, 2008.
- [28] D.E. Saraga, L. Volanis, T. Maggos, C. Vasilakos, K. Bairachtari, C.G. Helmis, “Workplace personal exposure to respirable PM fraction: a study in sixteen indoor environments,” *Atmos Pol Res*, vol. 5, pp. 431–437, 2014.
- [29] Y.-Z. Tian, J.-H. Wu, G.-L. Shi, J.-Y. Wu, Y.-F. Zhang, L.-D. Zhou, Y.-C. Feng. “Long-term Variation Of The Levels, Compositions And Sources Of Size-Resolved Particulate Matter in a Megacity in China,” *Sci Total Environ*, vol. 463–464, pp. 462–468, 2013.
- [30] R. Zhang, J. Cao, Y. Tang, R. Arimoto, Z. Shen, F. Wu, Y. Han, G. Wang, J. Zhang, G. Li, “Elemental Profiles And Signatures Of Fugitive Dusts From Chinese Deserts,” *Sci Total Environ*, vol. 472, pp. 1121–1129, 2014.
- [31] L. Xu, Y. Yu, J. Yu, J. Chen, Z. Niu, L. Yin, F. Zhang, X. Liao, Y. Chen Y, “Spatial distribution and sources identification of elements in PM2.5

- among the coastal city group in the Western Taiwan Strait region, China,” *Sci Total Environ*, vol. 442, pp. 77–85, 2013.
- [32] X. Wang, X. Bi, G. Sheng, J. Fu, “Hospital indoor PM10/PM2.5 and associated trace elements in Guangzhou, China,” *Sci Total Environ*, vol. 366, pp. 124–135, 2006.
- [33] N. Daher, N.A. Saliba, A.L. Shihadeh, M. Jaafar, R. Baalbaki, M.M. Shafer, J.J. Schauer, C. Sioutas, “Oxidative potential and chemical speciation of size-resolved particulate matter (PM) at near-freeway and urban background sites in the greater Beirut area,” *Sci Total Environ*, vol. 470–471, pp. 417–426, 2014.
- [34] S. Castillo, J.D. de la Rosa, A.M. Sanchez de la Campa, Y. Gonzalez-Castanedo, J.C. Fernandez-Caliani, I. Gonzalez, A. Romero, “Contribution of mine wastes to atmospheric metal deposition in the surrounding area of an abandoned heavily polluted mining district (Rio Tinto mines, Spain),” *Sci Total Environ*, vol. 449, pp. 363–372, 2013.
- [35] M. Rozic, M. Rozmaric Macefat, V. Orescanin, “Elemental Analysis of Ashes of Office Papers by EDXRF Spectrometry”, *Nucl Instrum Meth B*, vol. 229, pp. 117-122, 2005.
- [36] R. Betha, V. Selvam, D.R. Blake, R. Balasubramanian, “Emission Characteristics of Ultrafine Particles and Volatile Organic Compounds in a Commercial Printing Center,” *J Air Waste Manage*, vol. 61, pp. 1093–1101, 2011.

S. Çankaya ve B. Pekey / Fotokopi merkezlerinde partikül madde konsantrasyonlarının ve element kompozisyonlarının belirlenmesi

Ek A – Farklı boyut aralıklarındaki partiküllerin element kompozisyonları; ng/m³(Elemental compositions of different particle size fractions).

SP / SD	Al	Be	Mg	Ca	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Se	Mo	Cd	Pb	
P1	PM>2.5	333.2	0.037	171.8	654.4	67.54	bla	7.697	8.523	466.7	0.177	bla	bla	bla	bla	bla	0.032	0.554	
	PM2.5-1.0	346.6	0.041	265.3	2907	66.36	60.73	31.16	2.336	566.7	0.243	bla	bla	16.48	50.52	bla	0.034	2.924	
	PM1.0-0.5	533.2	0.017	561.7	795.5	81.06	67.79	26.05	2.718	719.6	0.180	bla	bla	17.65	59.93	bla	0.044	2.066	
	PM0.5-0.25	409.7	0.041	399.4	3060	87.53	46.62	6.579	3.312	625.5	0.328	bla	bla	3.539	9.944	bla	0.196	4.983	
	PM<0.25	46.24	0.016	121.2	3260	bla	10.16	15.34	7.994	172.7	0.347	12.30	18.20	78.40	4.127	11.12	0.046	1.622	12.33
	PM2.5	1336	0.116	1348	10021	234.9	185.3	79.13	16.36	2085	1.099	12.30	18.19	78.40	41.79	131.5	0.046	1.896	22.31
	PM<0.25/>PM2.5	0.14	0.43	0.71	4.98	<1	>1	1.99	0.94	0.37	1.96	>1	>1	>1	>1	>1	>1	50.69	22.26
P2	PM>2.5	157.3	bla	92.29	bla	34.68	bla	4.113	0.816	91.66	0.032	bla	bla	bla	bla	bla	0.011	0.868	
	PM2.5-1.0	235.4	0.035	302.5	1215	41.55	30.58	19.17	1.794	344.8	0.160	bla	bla	4.298	13.26	bla	0.034	0.765	
	PM1.0-0.5	252.5	0.024	251.5	936.5	43.69	52.03	21.10	1.365	413.4	0.118	bla	bla	13.31	42.44	bla	0.041	1.627	
	PM0.5-0.25	1788	0.050	469.8	1584	146.2	35.73	21.02	3.601	1049	0.442	bla	bla	6.443	14.98	0.196	0.101	4.665	
	PM<0.25	83.93	0.025	74.71	1880	bla	22.86	16.08	4.158	173.2	0.264	14.94	12.46	51.62	11.16	37.29	0.080	5.761	10.29
	PM2.5	2360	0.134	1099	5617	231.5	141.2	77.38	10.92	1980	0.985	16.79	12.46	51.62	35.21	107.9	0.276	5.938	17.34
	PM<0.25/>PM2.5	0.53	>1	0.81	>1	<1	>1	3.91	5.10	1.89	8.25	>1	>1	>1	>1	>1	>1	523.7	11.85
P3	PM>2.5	580.7	0.042	180.8	2435	55.96	613.4	70.56	15.98	1170	0.600	6.927	bla	bla	247.4	848.3	3.404	0.021	3.972
	PM2.5-1.0	163.5	0.036	3.557	320.8	40.20	617.8	50.86	7.176	820.2	0.155	bla	bla	305.9	1041	bla	bla	bla	
	PM1.0-0.5	155.4	0.039	bla	176.3	17.66	670.3	126.6	12.34	1197	0.539	16.25	bla	bla	377.4	1255	2.743	0.026	bla
	PM0.5-0.25	83.36	0.018	bla	bla	11.70	412.6	25.53	3.421	bla	0.054	6.028	bla	bla	138.4	481.7	0.721	0.023	1.342
	PM<0.25	283.5	0.029	118.2	1997	7.458	32.95	18.42	21.01	255.5	0.316	15.51	5.973	25.52	18.39	63.87	0.056	9.555	7.517
	PM2.5	685.7	0.122	121.8	2494	77.02	1734	221.4	43.95	2272	1.064	37.79	5.973	25.52	840.2	2842	3.520	9.604	8.860
	PM<0.25/>PM2.5	0.49	0.69	0.65	0.82	0.13	0.05	0.26	1.31	0.22	0.53	2.24	>1	>1	0.07	0.08	0.02	455.0	1.89
P4	PM>2.5	392.0	0.032	110.8	bla	49.00	44.83	15.91	2.090	369.2	0.080	bla	bla	16.24	56.97	bla	0.015	bla	
	PM2.5-1.0	265.7	0.011	105.7	bla	42.15	59.26	18.29	1.274	376.5	0.239	bla	42.69	20.21	65.62	0.360	bla	bla	
	PM1.0-0.5	223.5	0.040	120.5	bla	45.76	55.65	15.91	0.870	318.8	0.163	bla	bla	16.96	57.34	2.080	0.009	bla	
	PM0.5-0.25	174.1	bla	96.00	bla	36.02	bla	9.736	1.076	bla	0.206	8.847	211.2	30.42	bla	bla	1.287	bla	1.902
	PM<0.25	500.2	0.013	54.16	2093	10.98	19.94	12.41	2.811	120.4	0.350	13.93	11.85	35.47	11.19	42.54	0.038	30.64	4.030
	PM2.5	1164	0.063	376.4	2093	134.9	134.9	56.33	6.032	815.6	0.958	22.78	265.7	65.89	48.36	165.5	3.764	30.65	5.933
	PM<0.25/>PM2.5	1.28	0.41	0.49	>1	0.22	0.44	0.78	1.34	0.33	4.38	>1	>1	>1	0.69	0.75	>1	2043	>1
P5	PM>2.5	868.9	0.033	668.5	6287	110.3	bla	4.514	15.82	926.9	0.632	bla	bla	63.39	bla	bla	0.093	0.020	1.518
	PM2.5-1.0	476.6	0.081	468.9	3599	77.71	59.37	24.13	6.247	667.5	0.350	bla	bla	3.204	11.98	29.20	0.244	0.036	1.066
	PM1.0-0.5	384.8	0.028	582.0	2902	85.02	107.9	20.28	3.746	707.4	0.303	bla	bla	6.264	31.94	102.4	bla	0.026	0.487
	PM0.5-0.25	235.8	bla	383.1	4817	55.09	bla	1.654	4.498	bla	0.318	7.332	6.016	80.02	bla	bla	0.144	0.075	5.169
	PM<0.25	163.4	bla	111.8	2223	bla	44.07	39.23	9.705	315.0	0.404	22.63	13.13	65.39	23.29	83.07	0.650	49.77	11.22
	PM2.5	1261	0.110	1546	13541	217.8	211.3	85.30	24.19	1690	1.375	29.96	19.15	154.9	67.21	214.6	1.037	49.9	17.94
	PM<0.25/>PM2.5	0.19	<1	0.17	0.35	<1	>1	8.69	0.61	0.34	0.64	>1	>1	1.03	>1	>1	6.99	2489	7.39
P6	PM>2.5	1712	0.080	882.5	5485.7	145.1	6.735	16.19	16.92	1216	0.792	1.761	bla	bla	bla	bla	bla	0.085	4.701
	PM2.5-1.0	731.1	0.041	424.9	851.8	102.3	67.75	41.25	8.420	910.5	0.438	88.27	bla	bla	15.99	50.05	0.688	0.136	5.936
	PM1.0-0.5	716.6	0.118	471.5	1128	158.20	78.64	13.57	4.447	845.2	0.491	0.962	bla	bla	15.99	39.16	bla	0.038	2.166
	PM0.5-0.25	437.7	0.008	308.8	1273	73.24	bla	7.763	5.050	bla	0.224	14.69	6.497	128.8	bla	Bla	bla	0.103	8.696
	PM<0.25	673.9	0.006	98.99	1813	3.758	25.31	8.944	3.272	140.9	0.260	21.62	6.684	32.57	9.001	32.22	0.179	11.25	5.691
	PM2.5	2559	0.173	1304	5065	337.5	171.7	71.53	21.18	1897	1.412	125.5	13.18	161.36	40.99	121.4	0.867	11.53	22.49
	PM<0.25/>PM2.5	0.39	0.08	0.11	0.33	0.03	3.76	0.55	0.19	0.12	0.33	12.28	>1	>1	>1	>1	>1	132.35	1.21
P7	PM>2.5	614.4	0.058	454.9	2378	95.91	26.82	9.523	9.176	801.5	0.357	bla	bla	bla	bla	bla	bla	0.019	1.298
	PM2.5-1.0	614.4	0.091	1055	7186	109.2	63.97	21.23	7.634	787.5	0.497	bla	bla	57.69	11.93	40.59	bla	0.106	2.371
	PM1.0-0.5	579.4	0.077	830.6	4347	93.10	106.0	22.98	8.615	766.5	0.432	bla	bla	12.98	29.45	98.06	bla	0.044	1.523

S. Çankaya ve B. Pekey / Fotokopi merkezlerinde partikül madde konsantrasyonlarının ve element kompozisyonlarının belirlenmesi

	PM0.5-0.25	96.12	0.023	223.7	1785	20.20	bla	1.471	2.222	bla	0.136	3.405	2.885	35.81	bla	bla	0.016	0.014	2.417
	PM<0.25	558.3	0.044	110.8	2869	13.27	96.21	27.61	18.49	388.0	0.533	28.47	30.45	66.11	43.47	145.0	0.586	29.46	16.03
	PM2.5	1848	0.234	2220	16186	235.8	266.2	73.28	36.97	1942	1.598	31.88	33.34	172.6	84.84	283.7	0.603	29.62	22.34
	PM<0.25/>PM2.5	0.91	0.76	0.24	1.21	0.14	3.59	2.90	2.02	0.48	1.49	>1	>1	>1	>1	>1	>1	1551	12.35
P8	PM>2.5	842.4	0.055	262.3	3592	64.29	677.7	57.79	21.55	1542	0.902	bla	81.70	37.34	330.5	1119	6.855	0.073	4.707
	PM2.5-1.0	248.3	0.036	64.43	935.9	39.98	653.9	66.85	8.055	1075	0.294	bla	55.00	1.248	362.9	1224	0.189	0.029	1.422
	PM1.0-0.5	131.4	0.036	13.41	bla	4.357	720.6	83.53	6.529	1113	0.358	bla	bla	bla	430.1	1453	5.234	0.038	bla
	PM0.5-0.25	68.48	bla	10.55	bla	33.30	730.2	63.51	6.624	335.5	0.155	4.446	0.212	bla	373.4	1282	0.049	0.181	5.900
	PM<0.25	59.42	0.001	71.58	1165	4.452	54.01	20.97	9.056	325.9	0.336	17.61	15.81	43.54	29.09	93.42	0.203	2.398	12.34
	PM2.5	507.6	0.073	159.9	2101	82.09	2159	234.9	30.26	2849	1.143	22.05	71.01	44.79	1195	4053	5.675	2.645	19.66
	PM<0.25/>PM2.5	0.07	0.02	0.27	0.32	0.07	0.08	0.36	0.42	0.21	0.37	>1	0.19	1.17	0.09	0.08	0.03	32.85	2.62
P9	PM>2.5	607.9	0.019	318.2	2520	83.68	83.92	25.29	12.67	855.6	0.386	bla	bla	bla	28.64	96.98	bla	0.097	4.916
	PM2.5-1.0	289.3	0.030	265.2	208.2	68.84	72.26	17.86	3.909	457.9	0.115	bla	bla	bla	20.16	65.70	bla	0.039	1.825
	PM1.0-0.5	302.0	0.033	275.2	176.4	59.83	113.1	21.41	3.485	680.6	0.129	bla	bla	bla	38.19	127.7	bla	0.064	2.032
	PM0.5-0.25	233.6	0.004	222.2	897.5	55.06	220.7	24.70	4.927	123.9	0.168	9.133	5.008	19.79	39.78	139.9	0.104	0.145	7.249
	PM<0.25	147.2	0.030	252.5	3527	bla	12.87	11.82	5.457	203.4	0.355	13.38	14.29	78.11	4.251	16.39	0.026	27.16	8.257
	PM2.5	972.2	0.097	1015	4809	183.7	418.9	75.80	17.78	1466	0.768	22.51	19.29	97.89	102.4	349.8	0.130	27.4	19.4
	PM<0.25/>PM2.5	0.24	1.58	0.79	1.40	<1	0.15	0.47	0.43	0.24	0.92	>1	>1	>1	0.15	0.17	>1	280.0	1.68
Minimum	46.24	0.001	3.557	176.3	3.758	6.735	1.471	0.816	91.658	0.032	0.962	0.212	1.248	3.539	9.944	0.016	0.009	0.487	
Maksimum	1788	0.118	1055	7186	158.2	730.2	126.6	21.55	1542	0.902	88.26	211.2	128.8	430.1	1453	6.855	49.77	16.03	

*bla: belirlenme limitinin altında