

BİR METAL KAPLAMA TESİSİ KAPALI ORTAMINDA İNCE PARTİKÜLLERİN KONSANTRASYONU VE BOYUT DAĞILIMININ BELİRLENMESİ

Nevran ÇALIŞKAN¹, Burcu ONAT^{1(*)}, Ülkü ALVER ŞAHİN²

¹Golteks Petrol ve Kimya San. ve Tic. Ltd. Şti. Fahrettin Kerim Gökay Cad. Billur Apt. 172/1
Göztepe, Kadıköy, İstanbul,

²İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 34320 Avcılar,
İstanbul

ÖZET

Partikül madde (PM), kimyasal bileşimi ve fiziksel özellikleri değişiklik gösteren insan sağlığına en zararlı hava kirleticilerden biridir ve Dünya Sağlık Örgütü tarafından kanserojen bir hava kirleticisi olarak kabul edilmiştir. Özellikle partikülün ince ($< 2.5 \mu\text{m}$) fraksiyonu, solunum sisteminde akciğerlerin alveollerine kadar ulaşabilmesi ve buradan dolaşım sistemine karışabilmesinden dolayı insan sağlığına zararlı etkisi daha fazladır. Kapalı ortamlarda çalışanların hava kirleticilerine maruziyeti çalışanların sağlığı açısından dikkate alınması gereken çok önemli bir konudur. Metal işleme tesislerinden kaynaklanan partiküller çeşitli kimyasallar, metal partikülleri, biyolojik kirleticiler (bakteri ve mantar hücreleri ve endotoksin, ekzotoksin gibi biyolojik ürün kaynaklı hücre bileşikleri), öğütme ve işlemede kullanılan materyallerden gelen aerosoller gibi farklı kirleticilerin karışımı şeklindedir.

Bu çalışmada İstanbul'da Pendik- Kurtköy sanayi tesisinde yer alan bir metal kaplama tesisinde PM örnekleme yapılmış ve ince partikül maddenin boyut dağılımı ve partikül maddenin konsantrasyonu tespit edilmiştir. İnce partikül madde konsantrasyonu ve boyut dağılımı 5 farklı boyut aralığında ($\text{PM}_{>2.5}$, $\text{PM}_{1.0-2.5}$, $\text{PM}_{0.5-1.0}$, $\text{PM}_{0.25-0.5}$, $\text{PM}_{<0.25}$) örnekleme yapabilen SKC Sioutas sıralı örnekleme ile belirlenmiştir. PM ortalama konsantrasyonları sırasıyla $117.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $57.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $26.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $60.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ve $89.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak bulunmuştur. $2.5 \mu\text{m}$ altındaki partiküllerin yaklaşık olarak %47'sinin $0.25 \mu\text{m}$ 'nin altındaki partikül boyutunda olduğu belirlenmiştir.

ABSTRACT

Particulate matter is one of the hazardous air pollutants because it has a different chemical and physical characteristics. World Health Organization has declared that particulate matter is a carcinogenic air pollutant in 2013. Particularly, fine particles fraction is more harmful because it ($< 2.5 \mu\text{m}$) penetrates to the pulmonary alveols and gets into the cardiovascular system. The particles sourced from metalworking is a mixture of chemicals, biological pollutants (bacteria and fungi cells, and cell pieces like endotoxin, exotoxin) and the aerosols sourced from blinding and working facilities.

* bonat@istanbul.edu.tr

In this study, to determine the size distribution and metal concentration of fine particulate matter in a metal coating industry. Within this context, particulate matter will be sampled in a metal coating industry which is located in Pendik-Kurtköy industry area in Istanbul. Fine particle concentration and size distribution will be determined by using Sioutas sampling equipment in 5 different fraction ($PM_{>2.5}$, $PM_{1.0-2.5}$, $PM_{0.5-1.0}$, $PM_{0.25-0.5}$, $PM_{<0.25}$). The average total PM concentrations were determined as $117.6\mu g/m^3$, $57.4\mu g/m^3$, $26.6\mu g/m^3$, $60.0\mu g/m^3$ ve $89.0\mu g/m^3$, respectively. We determined that the particles smaller than $0.25\mu m$ is 47% of the $2.5\mu m$ particle fraction.

ANAHTAR SÖZCÜKLER

Metal kaplama, kapalı ortam, ince partikül madde, boyut dağılımı

1.GİRİŞ

Hava kirliliği sanayi, ısınma ve ulaşım kaynaklı emisyonların artışıyla son yıllarda en önemli çevre sorunlarından biri haline gelmiştir. Dış ortam hava kalitesinin bozulması iç ortam hava kalitesini de etkilemiştir. Endüstri dışı kapalı ortamlarda karbon monoksit, karbon dioksit, kükürt dioksit, azot oksitler, formaldehit, sigara dumanı, radon, asbest, kurşun, uçucu organik moleküller, partiküller, çeşitli mikroorganizma ve alerjenler gibi kirleticiler kapalı ortam kirliliğini oluşturur (Soysal ve Demirel, 2007).

Endüstrilerin kapalı ortamlarındaki hava kirleticiler kullanılan hammadde ve prosese bağlı olarak farklılık göstermektedir. Metal kaplama endüstrisi, kaplama, renklendirme malzemelerinin hazırlanması, banyo hazırlıkları, metal yüzeylerin kaplanması (eloksall, elektroliz, plastik, beton ve sıcak daldırma) gibi faaliyetleri içermektedir. Kaplama işlemleri sırasında iş parçalarının özelliklerine göre askılanması veya konumlandırılması, kimyasallar ve asitlerin sıcaklık, karışım ayarlarının işleme uygun şekilde ayarlanması gibi işlemler yapılmaktadır. Bu işlemler sırasında çeşitli metal işleme sıvısı aerosollerini tesis içine yayılır. Çok farklı kimyasalları içeren aerosollerin solunması çalışanlarda olumsuz sağlık etkilerine neden olmaktadır (Gordon, 2004).

Literatürde metal işleme sıvıları (MWF, metalworking fluid) için farklı mesleki maruziyet limit değerleri belirlenmiştir (Cohen ve White, 2006; Park, 2012). NIOSH 1998 yılında MWF için maruziyet değerini $0,4\text{ mg}/\text{m}^3$ (10 saatlik maruziyet ortalaması) olarak önermiştir, ancak bu resmi olmayan limit değer olarak literatürde yer almaktadır. Bu değer MWF nedeni ile meydana gelen solunum rahatsızlıklarının oluşmasını engellemek için önerilen limit değerdir. NIOSH mesleki MWF kaynaklı toplam aerosol maruziyetini ise (OEL, occupational exposure limit) $0,5\text{ mg}/\text{m}^3$ olarak belirlemiştir.

Ülkemizde endüstrilerin kapalı ortamlarında çalışanların maruz kaldığı hava kalitesinin belirlenmesi konusunda çalışmalar yapılmış olsa da bu çalışmaların sayısı oldukça azdır. Şimdiye kadar yapılmış çalışmalarda endüstrilerin kapalı ortamlarında partikül madde (PM_{10} , $PM_{2.5}$ ve maruziyet tozları), uçucu organik bileşikler (UOB) ve iz elementler gibi parametrelerin ölçümleri yapılmıştır (Bağlarbunarı, 2010; Şahin ve Kurutaş, 2009). Endüstrilerde çalışanların hava kirleticilerine maruziyetinin belirlenmesi, risk değerlendirme çalışmalarının yapılmasına olanak sağlamaktadır. Özellikle metal kaplama sektöründe metalin işlenmesi sırasında oluşan aerosollerin çalışanların sağlığına ciddi olumsuz etkileri

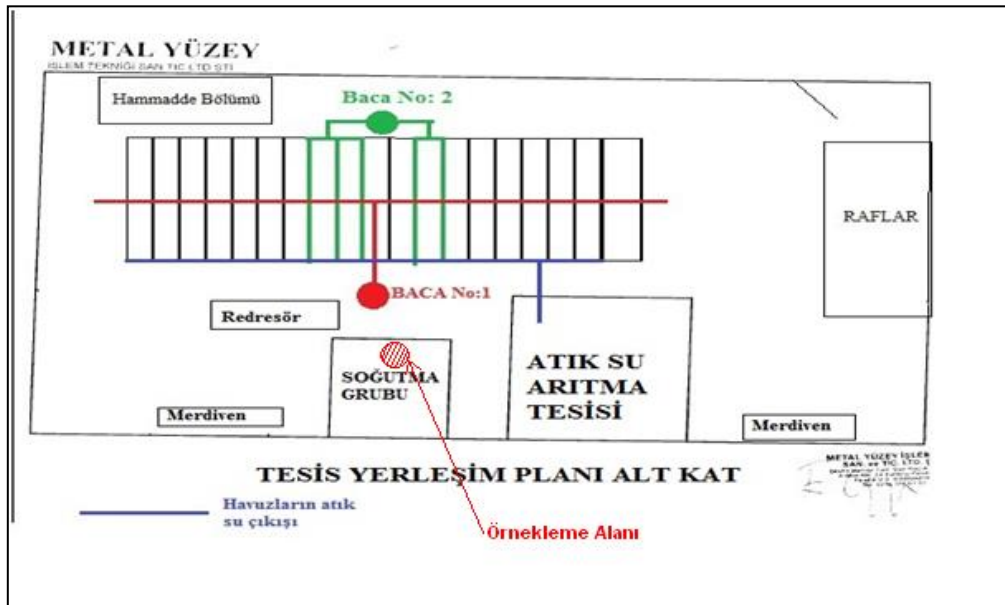
olduğundan bu tesislerin kapalı ortamlarında yapılacak çalışmaların sayısının artması önem arz etmektedir.

Bu çalışmada Kurtköy-Pendik, İstanbul'da yer alan bir metal kaplama tesisinde PM örnekleme yapılmış ve ince partikül maddenin boyut dağılımı ve partikül maddenin konsantrasyonu tespit edilmiştir.

2.MATERYAL VE METOD

2.1.Örnekleme noktası

Çalışmanın yapıldığı işletme İstanbul'da Pendik-Kurtköy sanayi sitesinde yer alan bir metal kaplama tesisidir. Tesiste eloksall ve kromat kaplama yapılmaktadır. Kaplama işlemi için ürünler yağlama, nötralizasyon, krom kaplama, eloksall kaplama, durulama gibi farklı havuzlarda işleme tabi tutulmaktadır. Bu işlemler sırasında ürünlerin rengini, dayanıklılığını ve pürüzsüzlüğünü sağlayabilmek için kostik, kobalt sülfat, magnezyum sülfat, +3 veya +6 değerlikli kromat gibi kimyasalların yanında nitrik asit, sülfürik asit ve borik asit gibi asidik kimyasallar da bol miktarda kullanılmaktadır. Tesisin genel vaziyet planı Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Metal Kaplama Tesisi yerleşim planı ve örnekleme noktası

2.2. Örnekleme ve Gravimetrik Analiz

Tesiste ince partikülün boyut dağılımı ve konsantrasyonunu belirleyebilmek için SKC partikül madde örnekleme sistemi kullanılmıştır. SKC PM örnekleme sistemi, 5-12 L/dk hava çekebilen SKC Leland Legacy Pompa ve farklı PM boyutlarında ($PM_{>2.5}$, $PM_{1.0-2.5}$, $PM_{0.5-1.0}$, $PM_{0.25-0.5}$, $PM_{<0.25}$) örnekleme yapabilen toplam 5 kademedan oluşan sıralı örnekleyiciden oluşmaktadır. Kaskatlı örnekleme, kapalı ortamlarda partiküllerin boyut dağılımının belirlenmesinde tercih edilen bir sistemdir (Taner vd., 2011). Bu örnekleme sistemi kapalı ortamlarda ince partiküllerin boyut dağılımının belirlenmesinde kullanılan bir sistekapalı

6. Ulusal Hava Kirliliği ve Kontrolü Sempozyumu-2015 7-9 Ekim 2015, İZMİR

örnekleyicide hava akışı giriş plakasından son filtrenin bulunduğu çıkış plakasına doğrudur. Toplayıcı plakaları arasında hızlandırıcı plakalar bulunmaktadır. Hızlandırıcı plakadan geçen hava toplayıcı plaka üzerinde bulunan filtreye çarpıp, plakanın yanlarında bulunan boşluklar (orifizler) vasıtası ile 2. kademeye gelir, bu işlem son kademeye kadar sürer ve en son tozdan arınmış hava ortamdan ayrılır. Örneklemede ara plakalar için 25 mm çapında PTFE filtre (Zefluor Supported PTFE, 0,5 µm) ve çıkış plakası için 37 mm çapında PTFE filtre (Support Pad, 2,0µm) kullanılmıştır.

Tesis içinde belirlenen bir noktada tesis çalışma saatleri 08:00-17:00 saatleri arasında 8 saat süre ile 15 örnekleme yapılmıştır. Her örneklemede pompanın debi ayarı 9 L/dk olarak ayarlanmıştır. Örnekleme sonunda toplam debiye bakılarak enerji kesintisi olup olmadığı kontrol edilmiştir. Örnekleme süresince tesis içinde sıcaklık 18.1-23.1°C arasında değişmiştir. Örnekleme öncesi ve sonrası filtreler plastik petri kaplarına konarak laboratuvarında 48 saat süre ile 21±1°C sıcaklık ve %30-40 nem koşullarında şartlandırma işlemine tabi tutulmuştur. Filtrelerin tartımı örnekleme öncesi ve sonrası 0,00000 gr hassasiyetli terazi (Mettler Toledo model elektronik tartı) ile yapılmıştır. Filtreler üzerinde toplanan toz miktarı belirlenmiş ve kütleli konsantrasyonları hesaplanmıştır.

Tesis içinde örneklemenin uygun koşullarda yapılabilmesi ve güvenliği sağlayabilmek için cihaz 1,5 m yükseklikteki bir platform üzerinde uygun boyutta koruyucu kabin içine yerleştirilmiştir. SKC Leland Legacy marka pompanın kalibrasyonu BIOS DryCal DC-2 model kalibratör ile yapılmıştır.

3. SONUÇLAR ve DEĞERLENDİRME

Tesis içinde alınan örneklemler sonucu beş farklı boyutta örneklenen partikül maddenin kütleli konsantrasyonları Tablo 1’de verilmiştir. Tesiste 15 örnekleme yapılmış, teknik sorunlardan dolayı (basınç kaybı ve enerji kesintisi) 10 örnekleminin sonuçları kütleli konsantrasyon hesabında kullanılmıştır.

Tablo 1. Tesis içi örnekleme noktasında farklı boyutlardaki partikül madde konsantrasyonları ($\mu\text{g m}^{-3}$)

Örnek no	PM _{>2.5}	PM _{1.0-2.5}	PM _{0.5-1.0}	PM _{0.25-0.5}	PM _{<0.25}	PM _{2.5} (ince)	PM _{>2.5} (kaba)	Toplam PM	% PM _{2.5}	% PM _{>2.5}
1	128,9	37,5	16,1	35,1	79,2	167,9	128,9	296,8	56,5	43,5
2	119,9	32,4	15,4	30,0	46,1	123,9	119,9	243,8	50,8	49,2
3	137,1	50,5	29,9	43,9	61,3	185,6	137,1	322,7	57,5	42,5
4	208,7	63,8	24,6	61,8	70,9	221,1	208,7	429,8	51,4	48,6
5	125,2	223,7	16,5	185,0	112,5	537,7	125,2	662,9	81,1	18,9
6	109,7	31,4	44,6	67,1	121,7	264,8	109,7	374,5	70,7	29,3
7	172,4	75,9	48,3	90,7	150,6	365,5	172,4	537,9	67,9	32,1
8	28,1	6,2	10,8	15,7	89,8	122,5	28,1	150,6	81,3	18,7
9	74,0	23,7	23,7	28,9	52,6	128,9	74,0	202,9	63,5	36,5
10	72,9	29,4	36,2	42,5	105,3	213,4	72,9	286,3	74,5	25,4

6. Ulusal Hava Kirliliği ve Kontrolü Sempozyumu-2015 7-9 Ekim 2015, İZMİR

Toplam PM konsantrasyonunun $150,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ve $662,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ arasında değiştiği belirlenmiştir (Tablo 1). Park ve diğerleri (2009a, 2009b) tarafından yapılmış çalışmalarda metal sektörü kaynaklı partikül konsantrasyonları $140\text{-}3160 \mu\text{g}/\text{m}^3$ aralığında değiştiği tespit edilmiştir. Waskie ve diğerleri (1994) tarafından yapılan bir çalışmada da 2 kademeli (partikül kesme noktası-cut point- $9,8 \mu\text{m}$ ve $3,5 \mu\text{m}$) kaskatlı impaktör ile bir metal işleme tesisinde metal işleme sıvılarıyla çalışılan bölümünde örnekleme yapılmış ve ortalama toplam aerosol maruziyeti $706\pm 21 \mu\text{g}/\text{m}^3$ bulunmuştur. Aynı tesiste metal işleme sıvılarının kullanılmadığı bölümlerde yapılan örneklemlerde ise ortalama toplam aerosol maruziyeti $187\pm 10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak tespit edilmiştir. Lilienberg ve diğerleri (2008) tarafından metal kaplama sıvılarının kullanıldığı bir tesiste yapılan çalışmada solunabilir aerosol fraksiyonunun $190\text{-}250 \mu\text{g}/\text{m}^3$ arasında değiştiği belirtilmiştir. Bu çalışmada tespit ettiğimiz konsantrasyonların literatürdeki sonuçlarla uyumlu olduğu görülmektedir.

Beş farklı boyut aralığındaki partikül maddenin istatistiksel değerleri Tablo 2’de verilmiştir. $\text{PM}_{>2,5}$, $2,5\text{-}1,0$, $1,0\text{-}0,5$, $0,5\text{-}0,25$ ve $<0,25 \mu\text{m}$ boyutlarındaki partikül maddelerin ortalama konsantrasyonları ve standart sapma değerleri sırasıyla, $117,6\pm 51,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $57,4\pm 61,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $26,6\pm 12,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $60,0\pm 49,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $89,0\pm 33,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ bulunmuştur. Tüm örneklerde toplam askıda partiküllerin %50,8 ile %81,3’ünden fazlasını $2,5 \mu\text{m}$ ’den küçük boyutlu partiküller ($\text{PM}_{2,5}$) oluşturmaktadır. En yüksek $\text{PM}_{2,5}$ ($537,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ve toplam PM ($662,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$) konsantrasyonu 5 nolu örnekte gözlenmiştir. Tesiste metal kaplama işlemi sırasında kullanılan kimyasallar kaplanacak parçaların çeşidine ve rengine göre farklılık göstermektedir. Tesiste 1, 2, 3 ve 4 nolu örneklemler sırasında otobüs bagaj kapağı ve aktülatör (küresel vana kapağı), 5 nolu örnekleme sırasında siyah renk fırın başlığı, 6, 7, 8, 9 ve 10 nolu örneklemler sırasında ise araç parçalarının kaplaması yapılmıştır. 5 nolu örneklemedeki yüksek $\text{PM}_{2,5}$ konsantrasyonunun kaplanan malzemenin, kullanılan kimyasallar ve uygulanan prosesin farklılığından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Tablo 2. Farklı boyut fraksiyonlarındaki partikül konsantrasyonlarının istatistiksel değerleri

Partikül boyut aralığı, μm	N	Minimum konsantrasyon, $\mu\text{g m}^{-3}$	Maksimum konsantrasyon, $\mu\text{g m}^{-3}$	Ortalama $\pm$ standart sapma, $\mu\text{g m}^{-3}$
$>2,5$	10	28,1	208,7	$117,6\pm 51,4$
$2,5\text{-}1,0$	10	6,2	223,7	$57,4\pm 61,7$
$1,0\text{-}0,5$	10	10,8	48,3	$26,6\pm 12,9$
$0,5\text{-}0,25$	10	15,7	185,0	$60,0\pm 49,0$
$<0,25$	10	46,1	150,6	$89,0\pm 33,3$
$\text{PM}_{2,5}$	10	122,5	537,7	$233,1\pm 130,5$

N: Örnek sayısı

Tablo 2’den görüldüğü gibi $0,25 \mu\text{m}$ ’den küçük ve $0,25\text{-}0,50 \mu\text{m}$ fraksiyonundaki ince partiküllerde yüksek konsantrasyon değerleri belirlenmiştir. $0,50 \mu\text{m}$ ’den küçük partiküller ortalama $\text{PM}_{2,5}$ konsantrasyonunun yaklaşık %64’ünü, ortalama toplam PM konsantrasyonunun ise %42’sini oluşturmaktadır. Dolayısıyla metal işleme sıvılarından kaynaklanan aerosollerin çalışanlar için sağlık riskinin önemli boyutlarda olabileceği göz önünde bulundurulmalıdır.

NIOSH (1998) metal işleme sıvılarının tüm tipleri için toplam partikül maruziyeti limit değerini (OEL, occupational exposure limit) $0,5 \text{ mg}/\text{m}^3$, torakik fraksiyon için limit değeri ise

0,4 mg/m³ olarak belirlemiştir. Bu çalışmada yapılan örneklemelerden 4 tanesinin toplam partikül konsantrasyonu 0,4 mg/m³'lük limit değer üstündedir. Ülkemizde yürürlükte olan İş Sağlığı ve İş Güvenliği Genel Müdürlüğü, Tozla Mücadele Yönetmeliği'ne (2013) göre çalışanlar için solunabilir partikül sınır değeri 5 mg/m³'tür. Bu çalışmada tespit edilen konsantrasyonların tümü 5 mg/m³'lük sınır değer altındadır.

4. TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Metal sektöründe metalin işlenmesi sırasında çok çeşitli kimyasallar kullanılmakta, bu kimyasallar aerosol halinde ortama yayılarak çalışanlarda olumsuz sağlık etkilerine neden olmaktadır. Aerosollerin boyut dağılımı ve karakterizasyonu çalışanların maruziyetinde dikkate alınması gereken faktörlerdir. Her ne kadar bu çalışmada tespit edilen Toplam PM konsantrasyonları İş Sağlığı ve İş Güvenliği Tüzüğü, Tozla Mücadele Yönetmeliği'ndeki sınır değer altındadır kalsa da metal kaplama sektöründe kullanılan kimyasalların çeşitliliği dikkate alındığında metal sektöründe çalışanların sağlığı bakımından maruz kaldıkları partiküllerin karakterizasyonu da üzerinde önemle durulması gereken bir konudur. Bundan sonra yapılacak çalışmalarda örneklenen partiküllerin karakterizasyonunun belirlenerek sağlık riski çalışmalarının yapılması çalışanların maruziyetinin daha ayrıntılı belirlenmesini sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

- Bağlarbunarı, P., 2010. *Air quality in workplace of an aluminum wheel production plant*", Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, Türkiye.
- Cohen, H., White, E.M. 2006. Metalworking Fluid Mist Occupational Exposure Limits: A discussion of Alternative Methods. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene* 3, 501-507.
- Gordon, T., 2004. Metalworking Fluid-The Toxicity of a Complex Mixture. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A*: 67- 3, 209-219.
- Lillienberg, L., Burdorf, A., Mathiasson, L., Thorneby, L., 2008. Exposure to Metalworking Fluid Aerosols and Determinants of Exposure. *Ann. Occup. Hyg.*, 52-7, 597-605.
- National Institute for Occupational Safety and Health. Criteria for a recommended standard occupational exposure to metalworking fluids. Cincinnati (OH): National Institute for Occupational Safety and Health (US); 1998. DHHS Publication No: 98-1002
- Park, D., Stewart, P.A., Coble, J.B., 2009a. Determinants of exposure to metalworking fluid aerosols: a literature review and analysis of reported measurements. *Annual Occupational Hygiene*, 53:271-288.
- Park, D., Stewart, P.A., Conle J.B., 2009b. A comprehensive review of the literature on exposure to metalworking fluids. *Journal of Occupational Environmental Hygiene*, 6:530-541.
- Park, D., 2012. The Occupational Exposure Limit for Fluid Aerosol Generated in Metalworking Operations: Limitations and Recommendations. *Safety and Health at work*. 3: 1, 1-10.

6. Ulusal Hava Kirliliği ve Kontrolü Sempozyumu-2015
7-9 Ekim 2015, İZMİR

Soysal, A., Demirel, Y., 2007. Kapalı Ortam Hava Kirliliği. *TSK Koruyucu Hekimlik Bülteni*, 221 – 226.

Şahin, Ü., Kurutaş, B., 2009. Metal endüstrisi iç ortamında PM2.5 konsantrasyonunun belirlenmesi, *IX Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, 647-655.

Taner, S., Pekey, B., Arslanbaş, Demet., Pekey, H., 2011. Restoranlarda farklı boyut aralıklarındaki partikül madde konsantrasyonlarının belirlenmesi. *9. Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi*, 5-8 Ekim, Samsun.

Tozla Mücadele Yönetmeliği, 2013. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, İş Sağlığı ve İş Güvenliği Genel Müdürlüğü. URL 1: <http://www.csgeb.gov.tr/csgebPortal/isggm.portal?page=mevzuat&id=3> Erişim tarihi: 2 Eylül 2015.

Woskiea, S.R., Smitha, T.J., Hallocka, M.F., Hammonda, K.S., Rosenthala, F., Eisena, E.A., Kriebela, D., Greavesb., I.A., 1994. Size-Selective Pulmonary Dose Indices for Metal-Working Fluid Aerosols in Machining and Grinding Operations in the Automobile Manufacturing Industry. *American Industrial Hygiene Association Journal* 55, 1, 20-29.