



Kahramanmaraş Sütçü İmam University Journal of Engineering Sciences



Geliş Tarihi :20.04.2020
Kabul Tarihi :19.08.2020

Received Date :20.04.2020
Accepted Date :19.08.2020

ENDÜSTRİYEL ALANLARDA İÇ ORTAM HAVA KİRLETİCİLERİNDEN PARTİKÜL MADDENİN ELEKTRON MİKROSKOBU İLE KAYNAK ANALİZİ: TEKSTİL ENDÜSTRİSİ ÖRNEĞİ

SOURCE ANALYSIS PARTICULATE MATTER FROM INDOOR AIR POLLUTANTS IN INDUSTRIAL AREAS USING SEM: CASE OF TEXTILE INDUSTRY

Nihan UYGUR^{1,*} (ORCID: 0000-0003-3356-9407)

Celal BERK¹ (ORCID: 0000-0001-6265-0779)

Sefa KAYA¹ (ORCID: 0000-0002-4186-3385)

¹ Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Kahramanmaraş, Türkiye

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Nihan UYGUR, nuygur@ksu.edu.tr

ÖZET

Günümüzde insanlar bir günün önemli bir bölümünü ya kapalı ya da yarı kapalı ortamlarda geçirmektedirler. Bu nedenle iç ortam hava kalitesi son yıllarda çok önemli bir araştırma konusu haline gelmiştir. İç ortam havası bu ortamlarda yapılan faaliyetin türüne göre değişkenlik göstermektedir. Bu faaliyetler; ısıtma ve soğutma, nüfus sayısı, bina yapı malzemeleri, sigara içilmesi vb. olarak sıralanabilir. Ayrıca dış atmosferden kapalı mekanlara doğru oluşan taşınımlar da iç ortamın bileşenleri üzerinde etkili olmaktadır. En genel hatlarıyla iç ortamlarda bulunması muhtemel olan kirleticiler katı (partikül madde (PM), toz), sıvı (mist, sprey) ve gaz (organik gazlar, karbonmonoksit (CO), Uçucu Organik Bileşikler (VOC)) olmak üzere değişik fazlarda olabilirler. Yapılan çalışmada tekstil endüstrisi iç ortamında tespit edilen PM'in kaynak analizleri yapılmıştır. Kaynak analizleri taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile belirlenmiş, mikroskobik görüntüleme sonucu elde edilen PM'in şekillerine göre kaynakların tahminleri yapılmıştır. Sonuçlar itibariyle, iç ortamdaki PM grubu kirleticinin büyük bir bölümünün, tekstil lifleri kaynaklı olduğu, geri kalan kısmının ise dış ortam kaynaklı trafik etkisinde oluşan PM olabileceği kanısına varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: İç ortam hava kalitesi, Partikül madde, Pasif örnekleme, Taramalı elektron mikroskobu (SEM), Tekstil lifleri

ABSTRACT

Nowadays, people spend a significant part of a day either in closed or semi-closed environments. Therefore, indoor air quality has become a very important research topic in recent years. Indoor air varies according to the type of activity performed in these environments. These activities; heating and cooling, population number, building materials, smoking and so on. In addition, transports from the outdoor atmosphere to the indoor spaces have an effect on the components of the indoor environment. Pollutants, which are most likely to be found indoors, can be in various phases, including solid (particulate matter (PM), powder), liquid (mist, spray) and gas (organic gases, carbon monoxide CO, Volatile Organic Compounds (VOC)). In this study, source analysis of PM, which is determined in textile industry indoor environment, was carried out. Source analyzes were accomplished by SEM electron microscopic method and the source estimations were made according to the shapes of PM obtained by microscopic imaging. According to the results, it is concluded that most of the indoor PM group pollutants are originated from textile fibers and the rest may be PM caused by outdoor traffic.

Keywords: Indoor air quality, Particulate matter (PM), Passive sampling, Scanning electron microscope (SEM), Textile fibers

ToCite: Uygur, N., Berk, C., & Kaya, S. (2020). ENDÜSTRİYEL ALANLARDA İÇ ORTAM HAVA KİRLETİCİLERİNDEN PARTİKÜL MADDENİN ELEKTRON MİKROSKOBU İLE KAYNAK ANALİZİ: TEKSTİL ENDÜSTRİSİ ÖRNEĞİ. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 23, 164-169.

GİRİŞ

İç ortam denilince yerleşim alanları (evler), işyerleri, hastaneler vb. yerler akla gelmektedir. Bu ortamlardaki ihtiyaçların ve aktivitelerin türüne göre ortamlardaki kirleticilerin miktarları ve türleri şekillenmektedir. İç ortamların hava kalitesi ve maruziyet dereceleri, bu ortamlardaki kirleticilerin türüne ve miktarlarına göre değişkenlik göstermektedir. Özellikle işyerleri ve bu alanlarda iş kolunun türüne göre, çok yoğun olarak iç ortam kirletici miktarlarının bulunması muhtemeldir. Yapılan bir çalışmada bir sanayi kolu iç ortam havasında bu kirleticilerin üretimin türüne, kullanılan malzemeye, üretim içerisindeki harekete, yapının özelliğine bağlı olarak değişkenlik gösterdiği belirtilmiştir (Akal, 2013).

İş yerlerindeki iç ortam hava kalitesi özellikle buralarda çalışan insanlar için önemli bir kriter olmaktadır. Bu anlamda çalışma verimi ve iç hava kalitesi şartları optimum düzeylerde olmalıdır. Örneğin bir insanın çalışma ortamında, iç ortam hava kalitesinin önemli bileşenlerinden nem ve sıcaklık değişkenleri sırasıyla; %30-50 izafi nem ve 19-20 °C sıcaklık aralığında olması gerektiği belirtilmiştir (Akal, 2013). İç ortam için sıcaklık ve nem dışında daha birçok parametre bulunmaktadır. Bu parametrelerin uygun olmayan sıcaklık ve nem değerleriyle birlikte bulunması iç ortamda bulunan kişilerin olumsuz etkilenmesine sebep olması mümkündür. Bu nedenle işyerlerinde iç ortam havası, çalışanların gereksinimlerini karşılayacak kalite de olmak durumundadır. Ancak birçok sanayi kuruluşunda sanayinin türüne göre proses süreçlerinde farklı hava kirleticileri ortaya çıkmakta ve kontrol imkânı çok zor olmaktadır. Öte yandan enerji politikaları, ekonomik düzenlemeler nedeniyle, ısı kayıplarının önüne geçmek için yeterli havalandırma yapılmaması bu kontrolü zorlaştıran bir diğer sorun olarak karşımıza çıkmaktadır (Akal, 2013).

İç ortam hava kirleticileri arasında partiküler maddelerin (PM) varlığı, iç ortam hava kalitesini etkileyen önemli bir kriterdir. PM'in kaynağı ve iç ortam havasındaki bileşim yüzdesi bir işletme için oldukça önemlidir. Çünkü PM, belirli fiziksel parametrelere (şekil, çap, elektrik yükü, çözünürlük, partiküllerin yüzeyi gibi) ve kimyasal parametrelere (organik ve inorganik bileşikler) sahip, çeşitli kaynaklardan gelen kompleks bir yapı olarak kabul edilmektedir. Kaynaklar, oluşum mekanizmaları, meteorolojik koşullar, kaynaktan uzaklık ve diğer koşullar; fiziksel ve kimyasal parametreleri belirleyen önemli faktörlerdir (USEPA, 2004a, 2004b). Bu nedenle, özellikle endüstriyel alanlarda PM emisyonları endüstri bacalarından hem de kaçak kaynaklardan atmosfere yayıldığı için PM'in kimyasal ve fiziksel özelliklerini ve bunun kaynaklarla ilişkisini incelemek önemlidir (Štrbová, Raclavská, & Bílek, 2017).

PM analizlerinde fiziksel ve kimyasal özelliklerin çok iyi bilinmesi oldukça önemlidir. Çünkü bu özelliklerin iyi tanımlanması; kaynak tahminleri, sağlık etkileri gibi çıktıların temelini teşkil etmektedir. Bu bağlamda, PM'in içerik ve boyutlarına bağlı olarak sağlık ve çevresel etkileri, atmosferik yaşam döngüleri de değişkenlik göstermektedir. PM'in çapı ve şekli konuyla ilgili olarak en çok tartışılan parametrelerdir, çünkü bu özellikler PM'in tehlikelilik özelliğini belirlemektedir.

Boyut dağılımlarına bağlı olarak incelendiğinde PM'ler temel olarak aerodinamik çaplarına göre "PM₁₀", (10 µm' dan küçük aerodinamik çaplara sahip PM) ve "PM_{2,5}" veya "ince PM", (2,5 µm'dan küçük aerodinamik çaplara sahip PM); "kaba PM" (PM₁₀ ila PM_{2,5} arasında kalan kısım) olarak üç farklı grupta incelenirler (ASHRAE, 2003). Ancak adı geçen bu üç partikül grubundan PM_{2,5} sağlık boyutu ve güneş radyasyonunu etkilemesi yönüyle öne çıkan bir gruptur. Atmosferde kalma süreleri haftalar ile ifade edilebilen bu grup, küçük ölçekteki etkilerinin yanı sıra, büyük ölçekli yani global etkilere de sahiptir. Buna karşılık atmosferde 10 µm'den daha büyük parçacıkların ömürleri saatler mertebesinde ve hızlıca çökme eğilimindedirler. Solunamayacak kadar büyük olmaları da sağlık riskini biraz daha azaltmaktadır.

PM'in büyüklüklerinin yanı sıra şekilsel durumları da bir diğer önemli fiziksel özelliklerindedir. Solunabilir özellikteki partiküllerin şekilsel olarak incelendiğinde oldukça karmaşık bir yapıya sahip oldukları görülmüştür. PM'in şekilsel durumu PM'in çapıyla da kısmen ilişkili bir özellik olarak bazı çalışmalarda ifade edilmiştir (Ličbinský, Frýbort, Huzlík, Adamec, Effenberger, Mikuška & Krůmal, 2010). Bu durumla ilgili olarak PM₁₀

grubunda incelenen partikül şeklinin küresel olduğu varsayılmaktadır. Ancak bu küresel olma özelliği daha ziyade sıvı fazda bulunan partiküler yapı için önerilmektedir. Yapılan deneysel çalışmalarda, PM'in toplandığı özel bölgelerde trafik kaynaklı bir yoğunluk varsa (antropojenik) şekillerinin dairesel formlarda olduğu görülmüştür. Daireselliğin yanı sıra trafik kaynaklı oluşumlarda dizel ve benzinli araç türüne bağlı olarak PM'in boyutunun değişiklik gösterdiği belirtilmiştir (Ličbinský et al., 2010). Ayrıca bu partiküller karbonca zengin olup, kaynakları dizel motorlar, fosil yakıtlar ve biyokütle yanması olarak sıralanabilir (Wang, Hu, Chen, Chen, Xu, 2013). Öte yandan keskin kenarlı ve daha amorf bir yapıya sahip partiküllerin organik ve muhtemelen bitkisel orijinli olabilecekleri belirtilmiştir (Ličbinský et al., 2010). Bu PM fraksiyonu 50 µm'nin üzerindedir.

Partikül şekilleri ve faz durumları özellikle sağlık etkisi bakımından önemli olmaktadır. Şöyle ki; partiküllerin solunum sistemi üzerindeki etkileri şekilleri bakımından incelendiğinde, hücre duvarında görülme durumları; çapları bakımından incelendiğinde ise solunum sisteminin hangi kısmında yer aldıkları sorularının cevapları bulunmaktadır (Weijers, Even, Kos, Groot, Erisman, & Brink, 2001). Bu duruma ilişkin bir örnekte, kaba partiküllerin ve ince partiküllerin bir kısmı (2-10 µm) ekstra-torasik ve trakea-bronşiyal kısımlara birikebilirken, 1 µm'den küçük partiküllerin pulmoner alveollere nüfuz edebildiği ve burada birikebildiği belirtilmiştir (Ličbinský et al., 2010). Bu veriler ışığında 1 µm boyutu sağlık etkileri bakımından önemli bir grup olarak düşünülebilir. Avustralya'nın ulusal araştırma kuruluşu Ulusal Sağlık Bilimsel ve Endüstriyel Araştırma Organizasyonu (CSIRO), 1 µm'den büyük münferit partiküllerin kompozisyonu ve boyutu hakkında nicel bilgi sağlayabilmek amacıyla yansıyan ışık optik mikroskopi kullanan Kömür Tanesi Analizi (CGA) sistemini geliştirmiştir. CGA fotomikrografikleriyle ile havadaki partiküllerin çeşitli boyutları ve şekilleri saptanmıştır (Koval, Krahenbuhl, Warren, & O'Brien, 2018).

Burada unutulmaması gereken bir diğer önemli husus, PM'in kimyasal özelliklerinin belirlenmesinin de fiziksel özellikler kadar gerekli olduğudur. Çünkü daha derin sağlık ve çevresel etki değerlendirme aşamalarında kimyasal özelliklerde gerekli parametrelerdir. Ancak bu çalışma kapsamında sadece fiziksel özellikler incelenmiştir.

Yapılan bu çalışma kapsamında öncelikli amacımız PM yoğunluğunu belirlemek ve şekilsel özelliklerini araştırmak olmuştur. Bu kapsamda bir iç ortam hava kirleticisi olan PM'in tekstil endüstrisi iç ortamındaki miktar yoğunluğu ve şekilsel durumu analiz edilmiştir. Çünkü tekstil sanayi PM bakımından kaba (PM_{2,5}-PM₁₀) ve ince partikül yapılarının bir arada bulunduğu kompleks bir iç ortam olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu sanayinin PM bakımından her bir departmanında farklı özellikler göstermesi de bu yönde bir araştırmanın yapılmasının uygun olabileceğini ortaya koymaktadır. Örnekleme yerinde yoğunluk parametresi için pasif örnekleme metodu kullanılmış ve şekilsel özellikler ise mikroskobik olarak analiz edilmiştir.

MATERYEL METOD

PM Örnekleme Yöntemi ve Örnekleme Bölgeleri

Bu çalışmada hedef endüstri olan Tekstil sanayinde, pasif PM örnekleme ile PM örnekleri toplanmıştır. Örnekleme Kahramanmaraş şehir merkezinde bulunan farklı iki tekstil fabrikasının (1 ve 2 nolu Fabrika) ring iplik eğirme işletmelerinin iplik eğirme makinalarının üzerine yerleştirilmiş numune kaplarında Şekil 1'de görülen petri kapları içerisinde, iç ortam toz örneği olarak birer haftalık süreler boyunca 2019 yılı Nisan ayında toplanmıştır.



Şekil 1. a) 1 Nolu Fabrikadan Alınan PM Örneği b) 2 Nolu Fabrikadan Alınan PM Örneği

İç ortam örneklerinin toplandığı bu fabrikaların bulunduğu konumlar açısından incelendiğinde, 1 nolu fabrika Kahramanmaraş-Kayseri Karayolu ve 2 nolu fabrika Kahramanmaraş-Gaziantep Karayolu üzerinde bulunmaktadır ve buraları araç trafiğinin yoğun olduğu bölgelerdir. Bu konumlarda baskın hava kirliliği kaynağı taşıt trafiğidir. Öte yandan söz konusu anayollar üzerinde kurulmuş, başta tekstil olmak üzere, farklı sanayi kolları da yoğun olarak bulunmaktadır. Gaziantep bağlantılı karayolu üzerindeki Çimento Fabrikası da bir diğer önemli dış ortam kirletici kaynağıdır.

Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Analizleri

Günümüzde özellikle son 25 yılda ortam partiküllerini karakterize etmek için çok sayıda çalışmada elektron mikroskopi teknikleri kullanılmıştır. SEM, vakum altındayken örnek boyunca odaklanmış bir elektron ışınının taranmasına izin verir. Elektron ışınının numune ile etkileşimi, uygun detektörlerle izlenebilen çeşitli etkiler üretir. Diğerlerinin yanı sıra, karakteristik X-ışınları ile birlikte ikincil ve geri saçılmış elektronları içeren sonuç sinyalleri, son derece ayrıntılı uzamsal ve bileşimsel bilgi sağlamak için ışının konumu ile senkronize olarak toplanabilir (Casuccio et al., 2004). SEM, ince toz parçacıklarının daha ayrıntılı araştırma ve karakterizasyonunda ve tozun bileşiminde yarı niceliksel ve kalitatif enformasyona ihtiyaç duyulduğunda kullanılabilir (Koval et al., 2018).

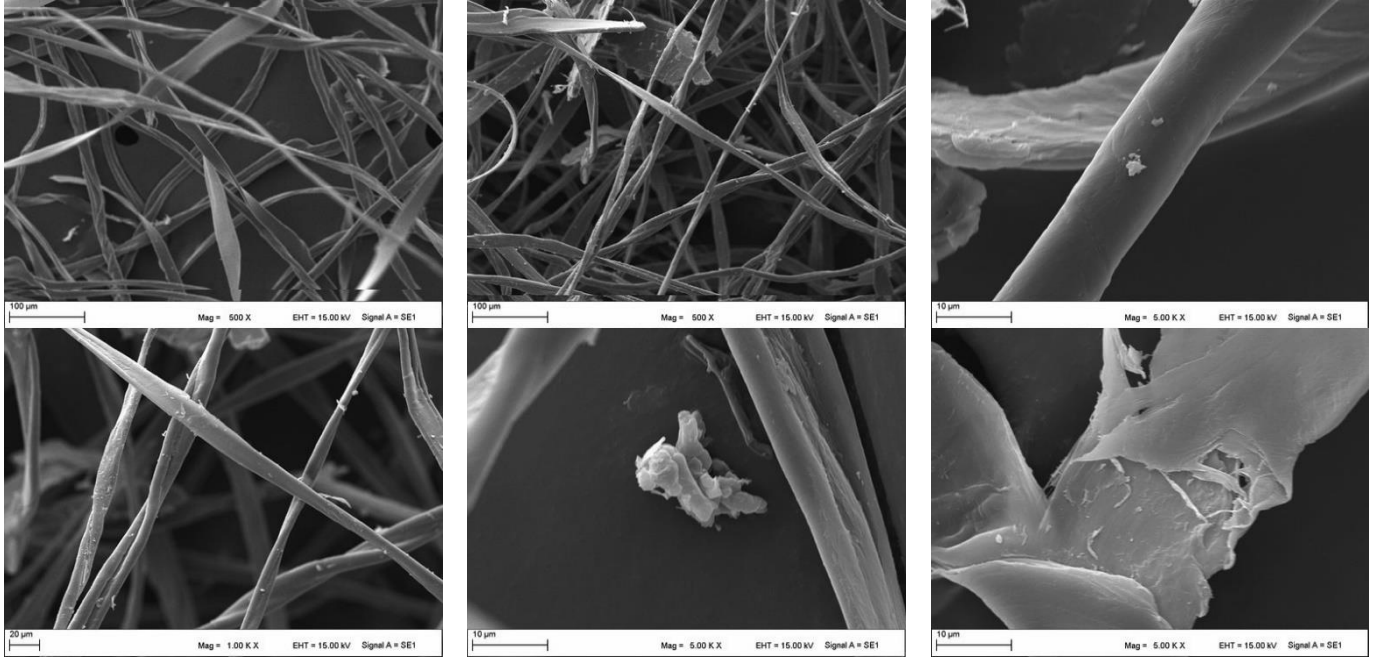
Bu çalışmada da bu yöntem tercih edilmiş ve PM görüntüleme, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi bünyesindeki Üniversite-Sanayi-Kamu İş Birliği Merkezi (ÜSKİM)'de bulunan EVO-LS10 taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile yapılmıştır. SEM analizlerinde numuneler inorganik ve organik olarak iki grupta toplanmakta, sonrasında inorganik numuneler metal ve metal-olmayanlar şeklinde iki gruba ayrılmaktadır. Temelde iletkenlik durumu baz alınarak numuneler kaplama işlemine tabi tutulmaktadır. Metal olmayan yalıtkan numunelerin yüzeyleri iletkenliği sağlayıcı altın veya karbonla kaplandıktan sonra işleme alınmaktadır. ÜSKİM bünyesinde her iki kaplama ünitesi de kullanılmaktadır. Yapılan bu çalışmada tekstil endüstrisi iç ortamından alınan toz numuneleri altın ile kaplandıktan sonra işleme alınmıştır.

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bir tekstil endüstrisi iç ortam havasında incelenen PM'in kaynak analizlerinin yapıldığı bu çalışmada şekilsel olarak farklı nitelikteki partiküller yapılar rastlanmıştır. Bu farklılıklar ölçümlerin yapıldığı konumların sadece tek bir PM kaynağı etkisinde olmamasıyla yakından ilgilidir. Özellikle dış ortam karakteristiklerinin de bu partiküller yapının şekilsel farklılıklarını desteklemesi söz konusu olmaktadır. SEM analizleri şekil ve boyut farklılıklarını ortaya koyarak, söz konusu endüstrinin ring iplik eğirme bölümü iç ortamındaki partikül yapısı ve kaynağı hakkında yorum yapabilmemize imkân sağlamıştır.

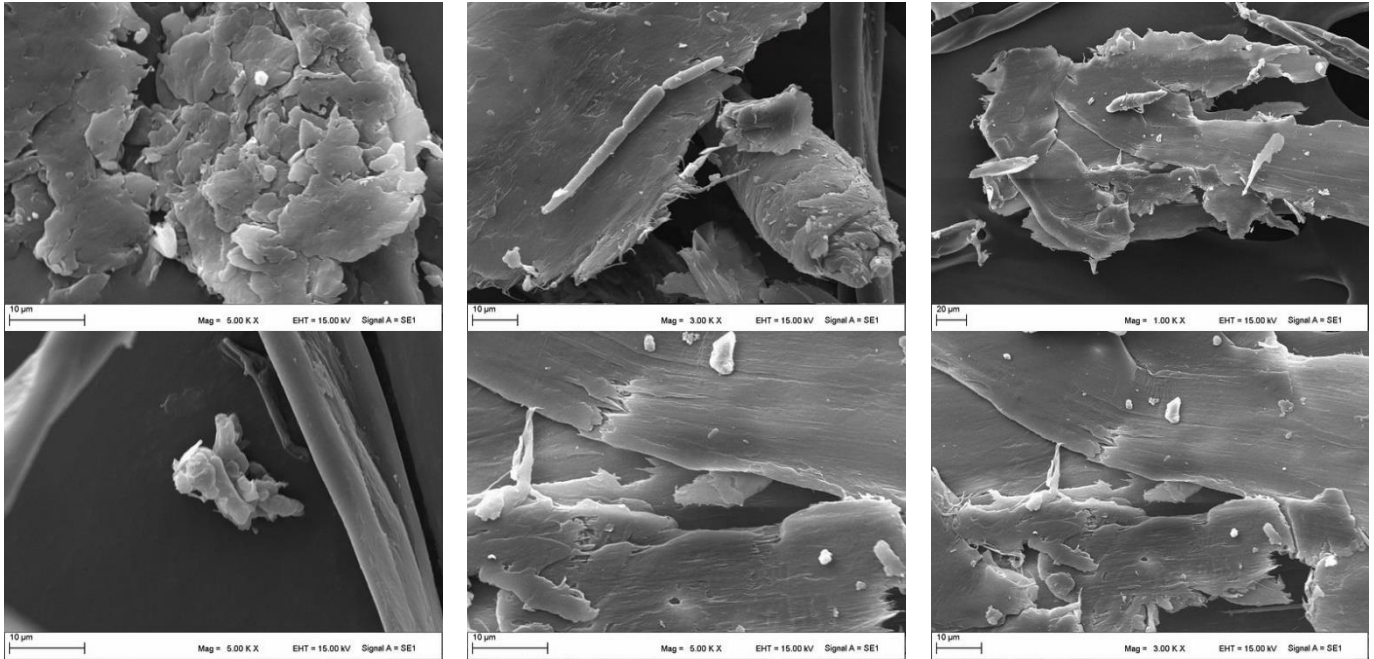
SEM analizleri neticesinde iki fabrikada toplanan numunelerde çubuk (organik orijinli) ve keskin kenarlı yuvarlak yapılarda (inorganik), 10 ile 100 µm partikül boyut aralığında PM örneklerine rastlanmıştır. Genel olarak baskın

PM şekli çubuk şeklinde tespit edilmiştir Şekil 2. Çubuk özelliğindeki PM'in boyutu 20-200 µm aralığında değişkenlik göstermiştir. Bu partiküllerin tekstil endüstrisinde kullanılan bitkisel orijinli selülozik lif yapılarından geldiği tahmin edilmektedir.



Şekil 2. Tekstil Endüstrisi Kaynaklı Lifli 20-200 µm Aralığındaki PM'in SEM görüntüleri

Trafik kaynaklı partiküller daha yuvarlak özellikte parçacıklardır. Yuvarlak parçacıklar genelde nanometre boyutundaki çok küçük partiküllerin yoğunlaşması ile meydana gelirler. Bu çalışmada trafik kaynaklı olduğu düşünülen parçacıklar çok nadir gözlemlenmiştir. Boyut bakımından incelendiğinde selülozik kaynaklı PM'den çok küçük olmaları da şekilsel olarak incelenmelerini biraz daha zor kılmaktadır. Ancak yoğun bir yoğunlaşmaya uğramış yuvarlak PM yapıları Şekil 3'te de görüleceği üzere daha net gözlemlenebilirler.



Şekil 3. Tekstil Endüstrisi Kaynaklı Lifli Yapılar ve Üzerindeki 0,1-10 µm Aralığındaki PM'in SEM görüntüleri

Yoğunlaşma ile meydana gelen PM 'ler kimyasal olarak ta çok farklı bileşimlere sahip olabilirler, ancak bu çalışmada şu an için herhangi bir kimyasal bileşen analizi yapılmamıştır. Gözlemlenen keskin kenarlı yapılar için fabrikaların

dış ortamlarından taşınmış olma ihtimalleri oldukça yüksektir denilebilir. İç ortam örnekleme olması bu durumu destekler niteliktedir.

Tekstil endüstrisi ring işletmesi birimi iç ortamında tespit edilen PM yapılan SEM analizlerinden de anlaşılacağı üzere büyük oranda tekstil lifi orijinli selülozik yapılardan kaynaklanmaktadır. Bu yapılara ilaveten antropojenik özellikteki fosil yakıt yanması ile oluşması muhtemel küresel veya amorf yapılarda analizler ile önemli ölçüde görülmüştür. Aslında PM'in kaynak tespitine ilişkin birçok analiz yöntemi mevcuttur, fakat tek tek parçacıkların boyutu, morfolojisi ve elementel bileşimi hakkında ek bilgi sağlamak için elektron mikroskopisi teknikleri de önemli bir katkı sağlamaktadırlar (Casuccio, Schlaegle, Lersch, Huffman, Chen, & Shah, 2004). İç ortam hava kalitesi değerlendirilmesi bakımından bu bulgular oldukça önemli olmaktadır. Bunun nedeni ortam havası içerisindeki PM'in fiziksel özelliklerinin sağlık etkileri ile yakından ilişkili olmasıdır. Daha önce de belirtildiği üzere PM 'in boyut ve şekil özelliklerine bağlı olarak orijini hakkında fikir sahibi olunup, olası sağlık etkilerini tahmin etmek mümkün olabilmektedir.

KAYNAKLAR

- Akal, D. (2013). İç Ortam Hava Kirliliği ve Çalışanlara Olumsuz Etkileri. *ÇSGB Çalışma Dünyası Dergisi*, 1(1), 112–119.
- ASHRAE. (2003). *Indoor Environmental Health*. Atlanta, USA: ASHRAE Handbook CD, Fundamentals-2001.
- Casuccio, G. S., Schlaegle, S. F., Lersch, T. L., Huffman, G. P., Chen, Y., & Shah, N. (2004). Measurement of fine particulate matter using electron microscopy techniques. *Fuel Processing Technology*.
<https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2003.11.026>
- Koval, S., Krahenbuhl, G., Warren, K., & O'Brien, G. (2018). Optical microscopy as a new approach for characterising dust particulates in urban environment. *Journal of Environmental Management*.
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.06.038>
- Ličbinský, R., Frýbort, A., Huzlík, J., Adamec, V., Effenberger, K., Mikuška, P., ... Křůmal, K. (2010). Usage of Scanning Electron Microscopy for Particulate Matter Sources Identification. *Transactions on Transport Sciences*. <https://doi.org/10.2478/v10158-010-0019-8>
- Štrbová, K., Raclavská, H., & Bílek, J. (2017). Impact of fugitive sources and meteorological parameters on vertical distribution of particulate matter over the industrial agglomeration. *Journal of Environmental Management*. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.06.001>
- USEPA. (2004a). Air Quality Criteria for Particulate Matter. *Air Quality Criteria for Particulate Matter*, I(October), 900. Retrieved from <http://cfpub.epa.gov/ncea/risk/recordisplay.cfm?deid=87903#tab-3>
- USEPA, U. S. E. P. A. (2004b). Air Quality Criteria for Particulate Matter October 2004, Volume 2. *Air Quality Criteria for Particulate Matter, II*(October), 1148. Retrieved from file:///C:/Users/Laissa/Downloads/VOL_II_FINAL_PM_AQCD_OCT2004.PDF
- Wang, J., Hu, Z., Chen, Y., Chen, Z., & Xu, S. (2013). Contamination characteristics and possible sources of PM10 and PM2.5 in different functional areas of Shanghai, China. *Atmospheric Environment*.
<https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2012.10.070>
- Weijers, E., Even, A., Kos, G., Groot, A., Erisman, J. W., & Brink, H. M. (2001, August 1). Particulate matter in urban air: health risks, instrumentation and measurements, and political awareness, *Urban Air Quality*.