

METAL ENDÜSTRİSİ İÇ ORTAMINDA PM_{2.5} KONSANTRASYONUN BELİRLENMESİ

Ülkü ŞAHİN
Birgül KURUTAŞ

ÖZET

Hava Kirliliği ile ilgili çalışmalar temelde insan sağlığı üzerine olan etkisi nedeniyle yapılmaktadır. Halk sağlığını korumak amacıyla dış hava kalitesinin belirlenmesi ile ilgili pek çok çalışma yapılmakta ve yönetimler tarafında limit değerler tanımlanmaktadır. Ancak çoğunlukla zamanımızın en az 8 saatini çalışarak iş ortamlarımızda en az 14 saatimizi evde ve kalan ortalama 2 saatimizi dışarıda geçirmekteyiz. Dolayısı ile iç mekânlardaki (çalışma alanları, okullar, hastaneler, alışveriş mekanları ve evler) hava kalitesi halk sağlığı üzerinde en yüksek etkiyi yaratmaktadır.

Çalışma ortamlarında uzun süreli kişisel maruziyet söz konusudur. Solunan hava içerisindeki 2.5 mikronun altındaki partiküller maddelerin varlığı solunum ve dolaşım sistemi ile ilgili ciddi sağlık problemleri yaratmaktadır. Endüstrileşmenin hızla geliştiği ve çalışma hayatının yaşamımızın önemli bir bölümünü işgal ettiği düşünüldüğünde fabrikalarda üretimin olduğu kısımlarda çalışan personelin sağlığının korunması gerekmektedir. Bu çalışmamızda örnek bir metal endüstrisi seçilmiş ve üretim bölümü iç ortam havasındaki PM_{2.5} konsantrasyonu tespit edilmiştir.

Metal endüstrisi içerisinde üretim bölümünde farklı özelliklere sahip 4 nokta tespit edilmiş ve 24 saat sürekli PM_{2.5} ölçümü yapılmıştır. İmalat makinelerinin yoğun olarak bulunduğu KLT, BMV ve HPT ölçüm noktalarında makineler yalıtımsızken ortalama PM_{2.5} konsantrasyon değişimi 271,4µg/m³ ile 609µg/m³ aralığında iken makineler etrafına yalıtım yapıldığında bu konsantrasyonlar 35,1µg/m³ ile 90,1µg/m³ aralığına düşmektedir. Tüm PM_{2.5} ölçüm değerleri OSHA limit değerinin altında ancak EPA ve WHO dış ortam limit değerlerinin çok üstündedir. Fabrika içerisinde makinelerde yapılan izolasyon sistemi PM_{2.5} konsantrasyonlarını azaltmada önemli bir etki göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: iç ortam, hava kalitesi, PM_{2.5}, endüstri, işçi sağlığı.

ABSTRACT

As a whole, the researches related with Air Pollution are aimed to estimate its influence on human health. On purpose to protect a public health, many similar researches based on definition of outside air quality are conducted and limit values by managements are defined. But, usually at least 8 hours of our time pass in workplaces, 14 hours in homes and approximately in average the rest 2 hours pass out of a building. So, on the base of this indoor (workplaces, school, hospitals, trade centers and homes) air pollution creates the highest impact on public health.

The subject is the long-term personal exposure in workplaces. Thereby the long-term inhale of high polluted air included PM_{2.5} is a main reason of the health problems first of all of the respiration system. The exposure time to pollutants and their quantity in workplaces' air also as location are the main factors for determination of health risks and in the verdicts of their decreasing. Thus, in our work we selected as an example the metal industry and aimed to determine PM_{2.5} concentration.

4 places with the different features were determined and continuous 24-hour PM_{2.5} measurements were made inside production department of metal industry. The average of PM_{2.5} concentration registered in a place of the congestion of industrial machines such as KLT (the 7-th point), BMV (the 5-th point) and HPT (the 3-d point) before isolation have been changed between 271,4µg/m³ and 609µg/m³ and after isolation it has decreased to 35.1 µg/m³ and 90.1 µg/m³. All values of PM_{2.5} measurements are below the OSHA limits but exceed WHO air quality limits. The isolation system of the machinery inside the factory showed a significant impact in reducing of PM_{2.5} concentration.

Key Words: Indoor air, air pollution, PM_{2.5}, industry, occupational health

1. GİRİŞ

Türkiye nüfusunun 2008 yılı istatistiklerine göre %32'lik bir kısmı 15 yaş ve üzeri işgücü potansiyelidir. Bu işgücünün %19,5'lük kısmı da sanayide çalışmaktadır [1]. Sanayide çalışan nüfusun da günde ortalama 8 saati işyerinde geçmektedir. İşyeri ortamları da tıpkı evlerinde ve diğer kapalı ortamlarda olduğu gibi (hastane, toplu taşıma, restoran vb eğlence yerleri vs.) kişilerin temel sağlık gereksinimlerini karşılayacak kalitede olmalıdır. Endüstri iç ortam havasında kirleticilerin türü ve konsantrasyonu, üretimin türüne, kullanılan hammaddeye, proses sırasındaki işlemlere bağlı olarak değişir.

İç ortam olarak tanımlanan ve çalışma ve yaşam mekanları olan kapalı ortamlardaki hava kalitesinin tespitine ve iyileştirilmesine yönelik birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmaların genel olarak evlerde, okullarda, hastanelerde ve ofislerde yapıldığı görülmektedir. Evlerde yapılan çalışmalarda temel olarak halk sağlığı uzmanları tarafından Akciğer hastalıklarının etkenleri olarak tanımlanan PM_{2.5}, NO₂, CO₂, CO, SO₂ ve VOC bileşenlerine bakılmıştır. Çalışmalarda partikül maddenin, solunum yolu tahrişine, toksik etkiye ve alerjenleri taşıyıcı özelliğe sahip olduğu gözlenmiştir [2-4]. İç ortam hava kalitesi bakımından evlerden sonra en önemli mekan okullardır. Çocuklar ve hastalar kirleticilerden daha çabuk etkilenmekte ve kalıcı sağlık etkilerinin oluşma ihtimali daha yüksektir. Okullarda yapılan iki farklı çalışma irdelendiğinde sınıflarda düşük havalandırma nedeni ile dış ortama göre yüksek PM konsantrasyonu ve alerji ve astım hastalıkları ile Küf'ün yüksek bağlantısı belirlenmiştir [5],[6].

Kapalı mekanlardaki hava kalitesi belirleme çalışmalarında yaşam alanları dışında çalışma ortamlarının hava kalite değerleri de önemlidir. İşçi sağlığı ve güvenliği kapsamında işverenin çalışanlarının sağlık risklerini ortadan kaldırması gerekir. Bu kapsamda yapılan bilimsel çalışmalar incelendiğinde genellikle ofislerde yapılan çalışmalara rastlanmaktadır. Amerika ve Meksika'da yapılan iki farklı çalışmada ofislerde VOC' lar ve PM seviyeleri belirlenmiştir. Ölçüm sonuçlarına bakıldığında fotokopi makinesi ve yazıcıların çalışır konumda olması halinde yüksek PM seviyesi belirlenmiştir. İç ortamda Si, S, K, Ca, V, Ti, Cr, Mn, Fe, Si, Cu, Mo ve Zn konsantrasyonlarına maruz kalma seviyeleri dış ortam çalışanlarından daha yüksek bulunmuştur [7],[8]. Gazete baskı merkezlerinde ve Radyo istasyonlarında yapılan iki farklı çalışmada da; PM_{2.5} konsantrasyonunun dış ortam havasından direk etkilendiği ve daha yüksek değerler aldığı bulunmuştur [9],[10].

İşçi sağlığı ve güvenliği konusu düşünülerek endüstriyel iç ortam hava kalitesinin belirlenmesine yönelik çok sayıda çalışma bulunmamıştır. Hsu ve ark., [11] yaptıkları çalışmada fosfat üretim tesislerinde çalışanlar üzerindeki etkisini değerlendirmek için 8 boyutta PM örnekleri toplamışlar ve PM boyut dağılımı ve PM asidik içerik analizi yapmışlardır. Asit buharlarının kaba PM içeriğinde yüksek konsantrasyonlarda olduğu görülmüştür. Çalışma sonunda solunan PM'in üst solunum yolundan çökebileceği ve epidemiyolojik çalışma sonuçlarına göre de kansere neden olacağı görüşü belirtilmiştir. Sivulka ve ark., [12] Nikel endüstrisinde işçilerin soludukları PM içeriğindeki Ni konsantrasyonu konusunda bir literatür çalışması yapmışlardır. Kuo ve ark., [13] yaptıkları çalışmada alüminyum ergitme tesisi içinde 3 farklı noktada PM_{2.5} ölçümleri yapmışlar ve metal içeriklerine bakmışlardır. Tesis içinde ve çevresinde yapılan ölçüm sonuçları tüm parametreler için üretim olduğunda 40,3 ile 18,5, üretim olmadığında 7,8-5,7 arasında tespit edilmiştir. Ergitme prosesi boyunca tesiste yüksek miktarlarda Cr, Cd, Cu, As, Pb, Se, Al ve Zn gözlenmiştir. Ivacoli ve ark., [14] terephalic acid dimethyle ester üretim tesisinde solunan kimyasal kirleticiler üzerine bir çalışma

yapmışlardır. Swan ve ark., [15] fabrikalarda çalışan işçilerin soluduğu endotoksin konsantrasyonu belirlemesine yönelik yapılmış çalışmaları derlemişlerdir. Tekstil endüstrisi çalışanlarının 1-400 EU/m³ hava değerine maruz kaldıkları belirtilmiş ve endotoksin konsantrasyonları tesislerde sürekli takip edilmesi gerektiği vurgulanmıştır.

Türkiye’de işçi sağlığı ve güvenliği konusu kapsamında değerlendirilebilecek kısıtlı sayıda çalışmaya rastlanmaktadır. Atımtay ve ark. [16] tarafından yapılan çalışmada trafik polislerinin maruz kaldığı CO seviyeleri ölçülmüş ve değerlendirilmiştir. Diğer bir çalışma ise İstanbul Metrosunda tren içi ve peronlarda solunan havanın PM konsantrasyonu ve metal içeriğinin belirlenmesi için yapılmıştır. Metro çalışanlarının ve yolcuların maruz kaldığı PM₁₀ ve PM_{2.5} seviyeleri dış ortam PM seviyelerinde her metro istasyonunda yüksek çıkmıştır [17]. Vaizoğlu ve ark. [18],[19] tarafından yapılan çalışmalarda Mobilya üretimi çalışma alanlarında ve kahvehanelerde Formaldehit düzeyleri belirlenmiştir. Mobilya üretim alanlarında yapılan ölçümlerin %24’ünün OSHA Limit değerinin (0,75 ppm) üzerinde olduğu gözlenmiş ve çalışanların formaldehit maruziyeti sonucu risk altında olduğu belirtilmiştir. Yapay havalandırmaların olduğu kahvehanelerde ortalama formaldehit düzeyi 0,2 ppm olarak tespit edilmiştir.

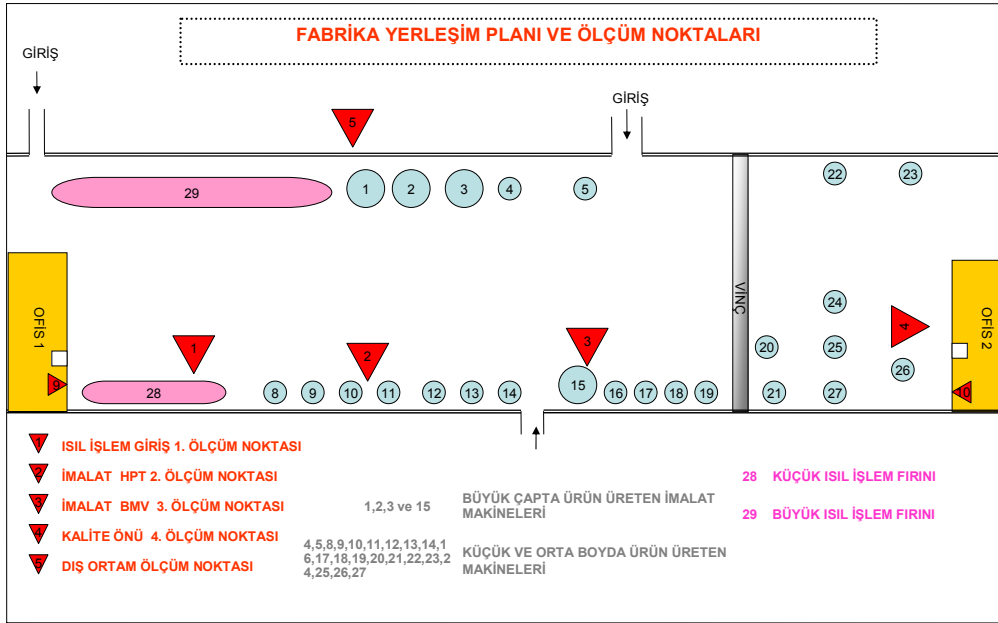
Amerika’da iş sağlığı ve güvenliği, OSHA (Occupational Safety and Healty Administration) kanunu ile denetlenmekte ve PM_{2.5} limit değerleri 5000 µg/m³ olarak tanımlanmaktadır [20]. Ülkemizde 2003 yılında güncellenip yayınlanmış olan 4857 sayılı İş Kanunu yürürlüktedir ve İş sağlığı ve Güvenliği tüzüğü mevcuttur. WHO iç ortam hava kalitesi konusunda bir çok çalışma yapmıştır fakat iç ortam hava kalitesi konusunda limit değerler belirlememiştir. Bununla birlikte iç ortam hava sınır değerlerinin dış ortam sınır değerlerin altında olması gerektiğini öngörmüştür [21].

Ülkemizde endüstriyel iç ortamın yani işçi çalışma ortamının hava kalitesinin belirlenmesine yönelik bir çalışmaya rastlanamamıştır. Bu bakımdan çalışmamızda ulaşacağımız sonuçların literatür için faydalı bir kaynak olacağı düşünülmektedir.

2. MATERYAL VE METOD

Çalışmamızda seçilen örnek endüstri, İstanbul ilinde faaliyet gösteren, otomotiv sektörüne yedek parça üreten bir metal işleme fabrikasıdır. Hammadde işlenmemiş halde fabrikaya gelip, soğuk şekillendirme, ısıtma işlem ve kaplama işlemlerinden geçerek müşteriye sevk edilmektedir. Tesiste 2 mm çapından 30 mm çapına, 5 mm uzunluktan 200 mm uzunluğa kadar ortalama 1000 çeşit ürün üretilmektedir. Soğuk şekillendirme ünitesinde bulunan makineler 2 mm-8 mm (küçük çap) ve 8 mm-30 mm (büyük çap) çaplarında ürün üretmektedir. Fabrikada esas üretim, soğuk şekillendirme bölgesinde yapılmaktadır ve iç hava kalitesi açısından en fazla kirlilik problemi olan bölüm bu bölgedir.

Şekil 1’de soğuk şekillendirme bölümü üretim kısmı genel görünüşü ve ölçüm noktalarının konumları verilmiştir. 2. ve 3. ölçüm noktaları olan İmalat HPT ve İmalat BMV olarak tanımlanan bölümde toplam 19 makine mevcuttur ve bunların 4 tanesi büyük çapta ürün üretmektedir. Daha sonra üretilen ürünler 4. ölçüm noktasının bulunduğu Kalite (KLT) bölümündeki dış çekme makinelerine gelmektedir. Bu bölgede aynı işlemi yapan toplam 8 adet makine bulunmaktadır. Dış çekme işlemi biten cıvata, istenilen sertliğin verilmesi için 1. ölçüm noktası olan Isıl İşlem Giriş (İİG) ölçüm bölümüne gelmektedir. Bu bölgede 1 adet yüksek kapasitede (29 numaralı fırın), bir adet düşük kapasitede (28 numaralı fırın) 2 adet Isıl İşlem Fırını bulunmaktadır. 2. ve 3. ölçüm noktalarının bulunduğu bölümde 40 kişi 4. ölçüm noktasının bulunduğu bölümde 24 kişi 1. ölçüm noktasının bulunduğu bölümde ise 7 kişi çalışmaktadır. Tesis 24 saat 3 vardiya faaliyet göstermektedir.



Şekil 1. Fabrika Soğuk Şekillendirme Bölümü Yerleşim Planı ve Ölçüm Noktaları.

Çalışmada tesis içindeki $PM_{2.5}$ miktarını standartlara uygun koşullarda belirlemek ve cihazların güvenliğini sağlayabilmek için sabit bir platform yapılmıştır. Cihazlar 1,5 m yükseklikte 80x80cm ebatlarında yapılan bu platforma yerleştirilmiştir. $PM_{2.5}$ ölçümleri Temmuz-Ağustos 2008, Ekim-Kasım 2008 ve Ocak-Şubat 2009 dönemlerinde her noktada yapılmıştır. Tesis içinde 4 farklı noktada ölçümler yapılmıştır. Tesis dışında 5. nokta olarak tanımlanan noktada dış ortam ölçümleri 2 gün yapılmıştır. Ölçümler, tesis içinde teknik koşullar elverdiği ölçüde her bir nokta için 3 veya 6 gün 24 saat boyunca 10 dakikalık ortalama olarak yapılmıştır. $PM_{2.5}$ konsantrasyonlarının ölçümünde ışık kırınımı yöntemine göre çalışan MIE DataRAM 2000 (Thermo A.Ş.) portatif toz ölçüm cihazı kullanılmıştır. Ölçümlerin doğrulaması referans yöntemine göre örnekleme yapabilen Partisol FRM Air Sampler (Model 2000, Thermo Inc., USA) cihazı ile yapılmıştır.

3. SONUÇLAR

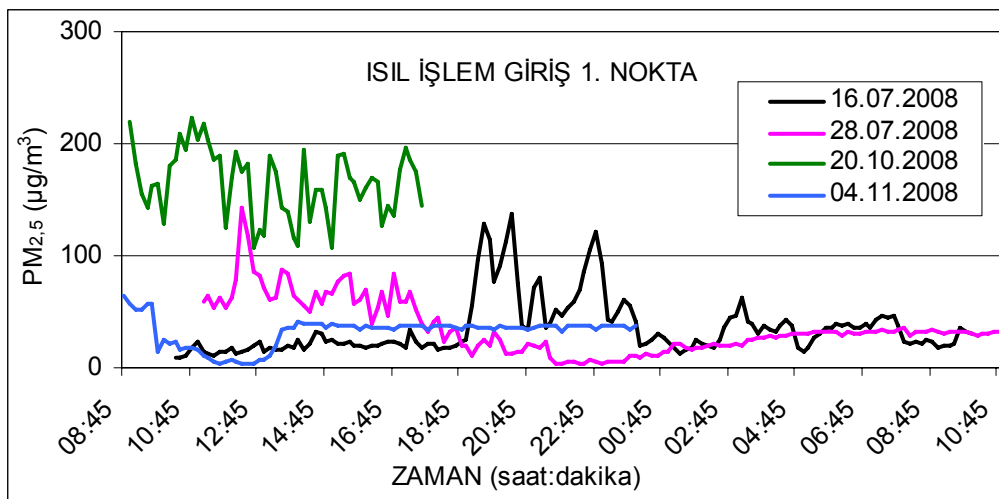
Üretim bölümündeki 4 noktada yapılan $PM_{2.5}$ ölçümleri her bir nokta için ayrı ayrı Şekil 2 – 5’de verilmiştir. Tüm grafikler genel olarak değerlendirildiğinde, üretim ortamında oluşan $PM_{2.5}$ konsantrasyonunun kullanılan hammaddenin çapına, üretim hızına, hammadde üzerinde çekilen dış oranına göre değişiklik gösterdiği gözlenmiştir. Oluşan bu farklılıklar ve konsantrasyon değişimlerinin nedenleri her bir grafik için detaylı olarak açıklanmıştır.

Isıl İşlem Giriş olarak tanımlanan 1. Nuktada yapılan 4 günlük $PM_{2.5}$ ölçüm sonuçları Şekil 2’de verilmiştir. Temmuz 2008’de yapılan iki günlük ölçüm sonuçlarının da konsantrasyon değişiminin yüksek olduğu görülmektedir. Bu günlerdeki oluşan pik değerlerin nedeni fabrikadaki üretim sürecinden kaynaklanmaktadır. 16 Temmuz tarihinde yapılan ölçümlerde aksam 18:30’a kadar 10 ile 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ arasında değişen $PM_{2.5}$ konsantrasyonları oluşurken 18:30’dan gece saat 24:00’a kadar 140 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ’e ulaşan ve yüksek salınım gösteren değerler ölçülmüştür. Bu yükselişin nedeni ısıl işlem fırınının çalışması, 1 numaralı imalat makinesinin büyük çapta ürün üretmesi ve aynı zaman diliminde fırında yıkanmamış ve tortusu çok olan parça taşınmasıdır. Gece 24:00 sonrasında fırında büyük çapta ürün taşınmıştır. Yine 28 Temmuz öğle saatlerinde fırında küçük ürünler taşınmış dolayısı ile pik bir konsantrasyon oluşmuştur. Fırında büyük ürünler küçük ürünlere göre taşıma esnasında daha az tortu

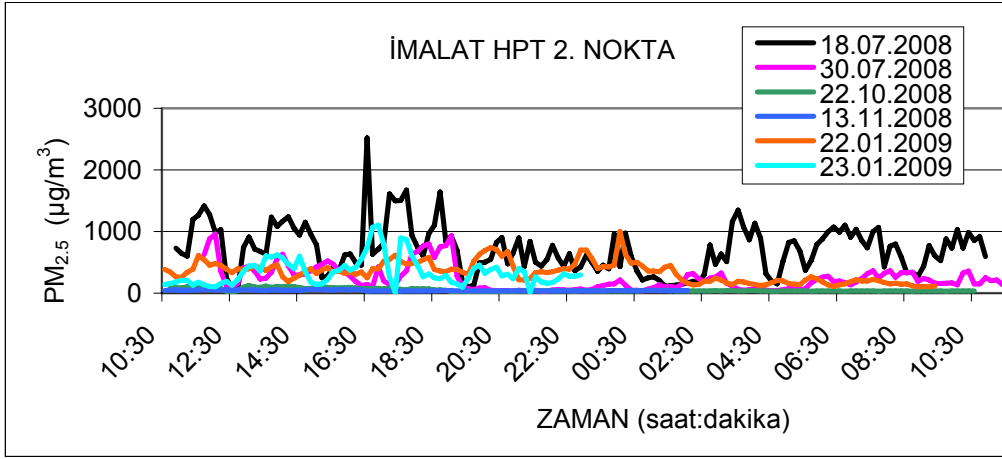
oluşturur ve bu nedenle PM_{2.5} değerleri daha düşüktür. 3. ölçüm günü olan 20 Ekim 2008 tarihinde teknik nedenler dolayısı ile 17.30 saatinde ölçüm bitirilmiştir. Bu tarihte PM_{2.5} konsantrasyonları 100 ile 220 µg/m³ arasında değişim göstermiştir. Bunun nedeni iki ısıtım işlem fırınının birlikte çalışıp küçük çapta ürün taşımalarıdır. Ayrıca 2 numaralı imalat makinesi bütün gün büyük çapta ürün üretmiştir. En son ölçüm günü olan 4 Kasım 2008 tarihinde gün boyu PM_{2.5} konsantrasyonları 50 µg/m³'ün altında kalmıştır. Bunun nedeni 21 Ekim-01 Kasım 2008 tarihleri arasında tüm makinelerin izolasyon sistemi ile kaplanmasıdır.

İmalat HPT olarak tanımlanan 2. Noktada yapılan PM_{2.5} ölçüm sonuçları Şekil 3'de verilmiştir. Tüm ölçüm sonuçlarında vardiya değişimleri ve yemek saatlerinde ayrıca makinelerin tel değişimi ve kalıp ayarı yapması nedeniyle çalışmadığı anlarda pik düşüşler olduğu görülmektedir. 18 Temmuzda yapılan ölçümde en yüksek değerler kaydedilmiştir. Fabrikanın en büyük makinesi olan 1 ve 2 numaralı makineler aynı anda imalata başlamıştır ve büyük çapta ürün üretilmiştir ve diğer orta büyüklükteki makinelerde imalat yapmaktadır. Makinelerin ilk açılma anlarında pik değerler (2400 µg/m³) oluşmuştur. 30 Temmuzda yapılan ölçümlerde 19:00 sonrasında değerlerin çok düştüğü (<50 µg/m³) gözlenmektedir. Bunun nedeni ölçüm noktasının çevresindeki makinelerden sadece 10 numaralı makinenin çalışmasıdır. 22 Ekim tarihinde ve 13 Kasım tarihinde görülen düşüşlerin nedeni makineler üzerinde yapılan izolasyon sistemidir. Daha sonra 22 ve 23 Ocak 2009'da yapılan ölçümlerde tekrar yüksek PM_{2.5} ölçümleri alınmıştır. Çünkü imalat makineleri etrafına yapılan yalıtım sistemi devre dışı bırakılarak üretim yapılmıştır.

İmalat BMV olarak tanımlanan 3. Noktada yapılan ölçüm sonuçları Şekil 4'te verilmiştir. 1. ölçüm tarihi olan 22 Temmuz 2008'de tatil olması nedeniyle makinelerin sadece ikisi çalışmakta ve küçük çapta üründen düşük kapasitede üretim yapılmıştır. Öğle saatlerine kadar 50 µg/m³ ile 100 µg/m³ arasında PM_{2.5} ölçülürken öğleden sonra tüm ölçümler 50 µg/m³'ün altındadır. Bu noktada yapılan 5 günlük ölçüm sonuçlarının görüldüğü grafikte en büyük PM_{2.5} değişiminin (10 ile 2000 µg/m³ arasında) 4 Ağustos 2008 ve 27 Ocak 2009 (izolasyon devre dışı) tarihlerinde yapılan ölçüm sonuçlarında olduğu gözlenmiştir. Her iki ölçüm gününde de benzer pikler gözlenmiştir. Yemek saatlerinde ani düşüşler (<50) ve gece vardiyası olmaması dolayısı ile 24:00 sonrası minimum PM_{2.5} değerleri gözlenmiştir. Bunun dışında oluşan farklı pikler makinelerin tel değişimi ve kalıp ayarı yapması nedeniyle çalışmadığı anlar, makinelerin ilk çalıştığı anlar ve farklı ürün üretiminden oluşmaktadır. Sabah vardiyası başlangıcı ile (08:00) makinelerin açılması nedeni ile ani bir yükseliş oluşmaktadır. 23 Ekim 2008 ve 11 Kasım 2008 tarihlerindeki düşük değerlerin nedeni makinelerin üzerinde izolasyon sisteminin devrede olmasıdır. Ancak 23 Ekimde izolasyon sisteminde oluşan problem nedeni ile bir miktar yükselme oluşmuştur. Değerlerin küçük iniş ve çıkışlarının nedeni bu noktada sürekli çalışan forklift bulunmasıdır.

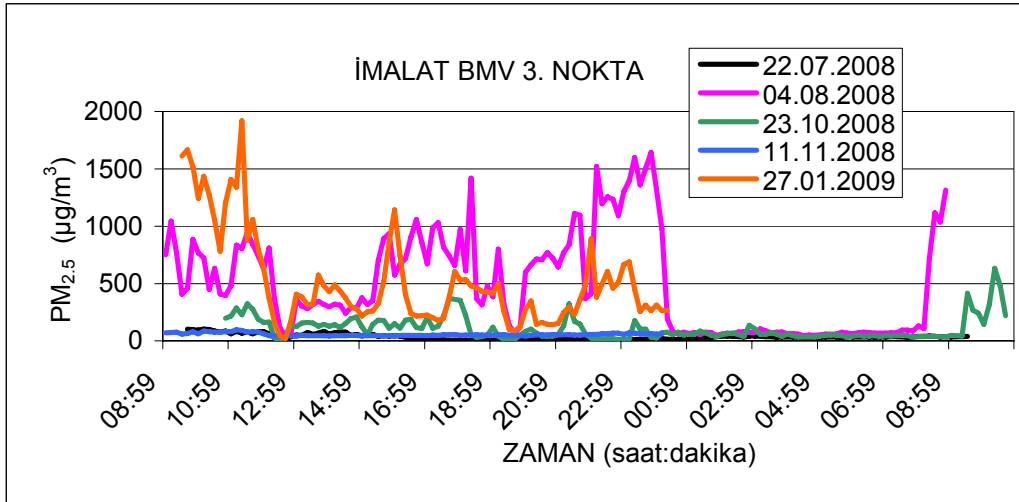


Şekil 2. Isıl İşlem Giriş 1. Nokta PM_{2.5} Konsantrasyonunun Zamanla Değişimi.

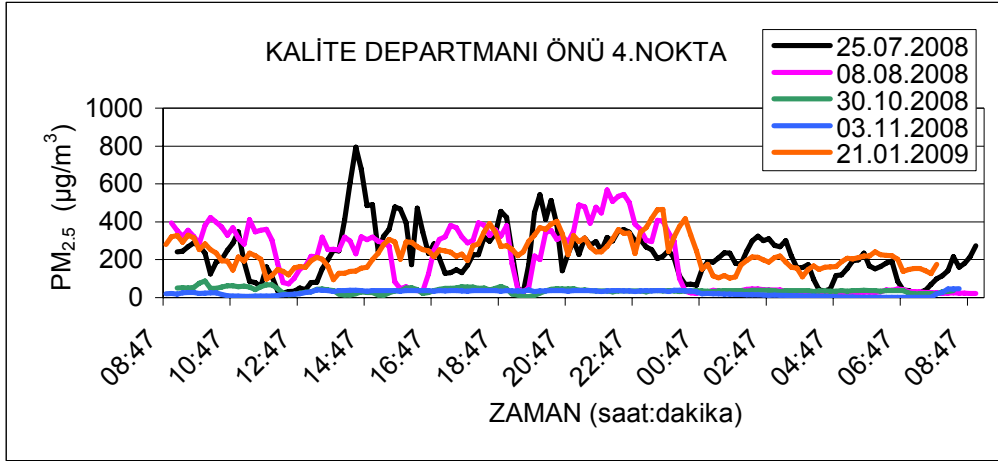


Şekil 3. İmalat HPT 2. Nokta PM_{2.5} Konsantrasyonunun Zamanla Değişimi.

Kalite Departmanı Önü olarak tanımlanan 4. Nuktada yapılan ölçüm sonuçları Şekil 5’de verilmiştir. Bu noktada yapılan 5 günlük ölçüm sonuçlarının görüldüğü grafikte en yüksek değerler 25 Temmuz, 08 Ağustos 2008 ve 21 Ocak 2009 tarihlerinde gözlenmiştir. Vardiya değişimleri yemek saatleri ve makinelerin bakımı işlemlerinin olduğu saatlerde PM_{2.5} konsantrasyonlarının 50 µg/m³ ‘ün altına düştüğü buna karşın üretimin devam ettiği durumlarda 200 µg/m³ ile 600 µg/m³ arasında konsantrasyonlar oluştuğu gözlenmektedir. Üretim aşamasında makinelerin ilk çalıştığı anlarda pik yükselmeler oluşmuştur. 30 Ekim 2008 ve 3 Kasım 2008 tarihlerinde ölçülen değerler çoğunlukla 5 µg/m³ ile 50 µg/m³ arasında küçük salınımlar göstermiştir. Bunun nedeni makinelerde yapılan izolasyon sistemidir.



Şekil 4. İmalat BMV 3. Nokta PM_{2.5} Konsantrasyonunun Zamanla Değişimi



Şekil 5. Kalite Departmanı Önü 4. Nokta PM_{2.5} Konsantrasyonunun Zamanla Değişimi

Metal endüstrisi imalat bölümünde 4 farklı noktada ve dış ortamda yapılan hava kalitesi ölçümlerinde her bir noktadaki ve her bir ölçüm tarihindeki ortalama PM_{2.5} konsantrasyon değerleri hesaplanmış ve Tablo 1'de özetlenmiştir. Dış ortamda Kasım 2008 ve Şubat 2009 tarihlerinde 8 saat boyunca yapılan ölçümlerde, PM_{2.5} konsantrasyonu ortalama 111,7 µg/m³ bulunmuştur. 1. ölçümde akşam saatlerinde fan seperatörü arızalanması ve sorunun giderilmesi sırasında seperatörde temizlik yapılması ve dolayısı ile seperatör üzerinde toplanan tozların çevreye yayılması nedeni ile bir miktar yüksek değerler oluşmuştur. Arıza giderilip temizlik yapıldıktan sonra değerler normale dönmüştür.

PM_{2.5} konsantrasyonları ölçüm noktaları ve ölçüm zamanına göre yüksek değişim sergilemiştir. Ölçümün yapıldığı günler arasında önemli farklılıklar olması fabrika imalatındaki farklılıklarından ileri gelmektedir. Bunun yanında birçok ölçüm noktasında Temmuz 2008 ölçümlerinin Ekim ve Kasım 2008 ölçümlerine göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Eylül 2008'de başlayan ve Kasım 2008'de sona eren bir yalıtım çalışması yapılmıştır. Bu kapsamda imalat makinelerinin tamamının etrafı çelik sac levha ile kapatılıp, makinelerden ortama yayılan tozun havalandırma ile dışarı atılması sağlanmıştır. Bu yapılanma nedeni ile PM emisyonlarında Ekim ve Kasım aylarında ciddi azalmalar gözlenmiştir. İmalat makinelerinin yoğun olarak bulunduğu HPT ve BMV simgeli ölçüm noktalarında yalıtımsızken ve tüm makineler çalışırken 1500 µg/m³ PM_{2.5} değerlerinin üzerlerinde ölçümler yapılmıştır. Ancak yalıtım sonrası tüm makineler çalışır pozisyonda yapılan ölçümlerin genel olarak 10-100 µg/m³ aralığında değişim göstermiştir.

İzolasyon sisteminin yapılmadığı kısım olan ve İİG olarak tanımlanan Isıl İşlem Fırını bölümünde PM_{2.5} konsantrasyonlarına bakıldığında, üretim makinelerinde yapılan izolasyonların etkisi burada da görülmektedir. İzolasyon öncesinde İİG simgeli ölçüm bölgesinde PM_{2.5} konsantrasyonu ortalama 37 µg/m³ ile 165 µg/m³ arasında değişirken, Kasım ayında izolasyon sonrasında 32 µg/m³ ölçülmüştür.

4. DEĞERLENDİRME

Çalışmamızda İstanbul ilinde faaliyet gösteren otomotiv sektörüne yedek parça üreten bir tesisin imalat iç ortamı ile dış ortamında PM_{2.5} ölçümleri yapılmıştır. Toplam 26 adet makine ve 2 adet ısıtım fırınının bulunduğu imalat bölümünde her bir noktada 3 veya 6 farklı günde PM_{2.5} ölçümleri alınmıştır. PM_{2.5} konsantrasyonları ölçüm noktaları ve ölçüm zamanına göre yüksek değişim sergilemiştir. Tüm ölçüm sonuçları genel olarak değerlendirildiğinde, üretim bölümü hava ortamında oluşan PM_{2.5} konsantrasyonunun kullanılan hammaddenin çapına, üretim hızına, hammaddenin üzerindeki çökülen dış oranına göre değişiklik gösterdiği gözlenmiştir. Bunun yanında birçok ölçüm noktasında Temmuz 2008 ölçümlerinin Ekim ve Kasım 2008 ölçümlerine göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Eylül 2008'de başlayan ve Kasım 2008'de sona eren bir yalıtım çalışması yapılmıştır. Bu kapsamda

imalat makinelerinin tamamının etrafı çelik sac levha ile kapatılıp, makinelerden ortama yayılan tozun havalandırma ile dışarı atılması sağlanmıştır. Bu yapılanma nedeni ile PM emisyonlarında Ekim ve Kasım aylarında 6 ile 8 kata varan ciddi azalmalar gözlenmiştir. İmalat makinelerinin yoğun olarak bulunduğu KLT (4. nokta), BMV (3. nokta) ve HPT (2. nokta) simgeli ölçüm noktalarında yalıtımsızken ve tüm makineler çalışırken 600 ve 1500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ $\text{PM}_{2.5}$ değerlerine ulaşan ölçümler yapılmıştır. Ancak yalıtım sonrası tüm makineler çalışır pozisyonda yapılan ölçümlerin genel olarak 10-100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ aralığında değişim gösterdiği gözlenmiştir.

İmalat bölümü iç ortamında ölçülen $\text{PM}_{2.5}$ konsantrasyonu irdelendiğinde makinelerin yalıtım öncesi değerlerin yüksek olduğu ve OSHA limit değeri olan 5000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 'ün neredeyse yarısı kadar değerler kaydedilebildiği gözlenmektedir. Yalıtım sonrası ise $\text{PM}_{2.5}$ konsantrasyonu anlamlı şekilde düşürülebilmiş ve işçi sağlığı açısından risk oluşturmayan bir imalat çalışma alanı yaratılabilmektedir. WHO halk sağlığı açısından iç ortam limit değerlerinin, dış ortam limit değerlerinin altında olması gerektiğini belirtmektedir. İşçi sağlığı açısından $\text{PM}_{2.5}$ konsantrasyonu standartlara uyum gösterirken, WHO'nun tanımladığı halk sağlığı standartlarının (günlük ortalama 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) üzerinde çıkmıştır. Fabrika içerisinde makinelerde yapılan izolasyon sistemi $\text{PM}_{2.5}$ konsantrasyonlarını azaltmada önemli bir etki gösterirken, bu sistem geliştirilip, tüm imalat iç ortam kalitesini daha da iyileştirecek bir merkezi havalandırma sistemi kurulmalıdır. Bu çalışma devam etmektedir ve izolasyon sisteminin verimliliği detaylı verilerle başka yayınlarımızda desteklenecektir.

Tablo 1. Fabrika Üretim Alanında Tüm Ölçüm Noktalarındaki İzolasyon Öncesi ve İzolasyon Sonrası Saat 24:00'a Kadar Ortalama $\text{PM}_{2.5}$ Konsantrasyonları

Ölçüm noktası	Ölçüm noktası Simgesi	İzolasyon yok				İzolasyon var			
		1. ölçüm	2. ölçüm	3. ölçüm	4. ölçüm	ORT	1. ölçüm	2. ölçüm	ORT
1. nokta Isıl İşlem Giriş	İİG	37,8 (9,5-137,2)	41,8 (3,5-142,7)	165,2 (107,1-223,9)	-	81,7	32,0 (3,7-65,1)	-	32,0
2. nokta İmalat	İ-HPT	764,4 (70-2517,7)	283,3 (33,6-957,3)	427,9 (186,3-998,3)	358,8 (3,6-1103,9)	458,6	61,8 (7,6-122,3)	43,0 (32,8-63,1)	52,4
3. nokta İmalat	İ-BMV	35,3 (2,3-104,4)	693,4 (47,1-1642,8)	524,7 (19,3-1917,9)	-	609,0	124,6 (9-370,3)	55,6 (40,8-96,8)	90,1
4. nokta Kalite	KLT	262,8 (24,1-794,1)	296,3 (30,3-568,2)	255,3 (95,1-465,2)	-	271,4	39,4 (5,8-87)	30,7 (6,4-40,2)	35,1
5. nokta	DIŞ ORTAM	151,2 (87,9-312,6)	72,2 (53-98,6)	-	-	111,7	-	-	-

: yaz tatili günü yapılan ölçüm olduğundan ORT hesabına katılmamıştır.

KAYNAKLAR

- [1] Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK), www.tuik.gov.tr (Ziyaret tarihi: 28.11.2008)
- [2] BERNSTEIN, J.A., ALEXIS, N., et al. 2008. The health effects of nonindustrial indoor air pollution, J Allergy Clin Immunol, 121, 585-591.
- [3] OSMAN, L. M., DOUGLAS, J. G., GARDEN, C., REGLITZ, K., LYON, J., GORDON S. and AYRES, J. G., 2008, Indoor air quality in homes of patients with chronic obstructive pulmonary disease, American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine, Vol 176, 465-472.
- [4] HUANG, H., LEE S.C., CAO, J.J., ZOU C.W., CHEN X.G., FAN, S.J., 2006, Characteristics of indoor/outdoor $\text{PM}_{2.5}$ and elemental components in generic urban, roadside and, industrial plants areas of Guangzhou City, China, Journal of Environmental Science, 19, 35-43.
- [5] SMEDJE, G; Mİ, Y; ELFMAN, L; NORBACK, D, 2006. Ambient pollution and indoor air quality at school, ISEE/ISEA 2006 Conference Abstract.
- [6] YURTSEVEN, E., 2008, İki farklı bölgedeki ilköğretim okullarında iç ortam havasının insan sağlığına etkileri yönünden incelenmesi, Doktora Tezi, İ.Ü. Sağlık Bilimleri Enstitüsü.
- [7] DESTAILLATS, H., MADDALENA, R. L., SINGER, B. C., HODGSON, A. T., MCKONE, T. E., 2007, Indoor pollutants emitted by office equipment: A review of reported data and information needs, Atmospheric Environment 42, 1371-1388.
- [8] AHUMADA H. T., WHITEHEAD, L., BLANCO S., 2007, Personal exposure to $\text{PM}_{2.5}$ and element composition—A comparison between outdoor and indoor worker from two Mexican cities, Atmospheric Environment 41, 7401-7413.

- [9] CASELLI, M., GENNARO, G., SARACINO, M. R., TUTINO, M., 2008, Indoor contaminants from newspapers: VOCs emissions in newspaper stands, www.elsevier.com/locate/envres.
- [10] MORAWSKA, L., JAMRISKA, M., GUO, H., JAYARATNE, E.R., CAO, M., SUMMERVILLE, S., 2008, Variation in indoor particle number and PM_{2.5} concentrations in a radio station surrounded by busy roads before and after an upgrade of the HVAC system, *Building and Environment* 44, 76–84.
- [11] HSU, Y., CHANG-YuWu, LUNDGREN, A., BIRKY, B. K., 2008, Size distribution, chemical composition and acidity of mist aerosols in fertilizer manufacturing facilities in Florida, *Aerosol Science*, 39, 127 – 140.
- [12] SIVULKA, D. J., CONARD, B. R., HALL, G. W., VINCENT, J. H., 2007, Species-specific inhalable exposures in the nickel industry: A new approach for deriving inhalation occupational exposure limits, *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 48, 19–34.
- [13] KUO, S-C, HSIEH, L-Y, TSAI, C-H, TSAI, Y. I., 2007, Characterization of PM_{2.5} fugitive metal in the workplaces and the surrounding environment of a secondary aluminum smelter, *Atmospheric Environment*, 41, 6884–6900.
- [14] IAVICOLI, I., LAURINI, C., CARELLI, G., 2005, Occupational exposure to low levels of organic and inorganic substances in a chemical plant for the production of terephthalic acid dimethyl ester, *Microchemical Journal*, 79, 399– 404.
- [15] SWAN, J.R.M., BECKETT, P., et all. 2002, A review of the use of CD14: A biomarker for workplace airborne endotoxin exposure?, *International Biodeterioration & Biodegradation*, 50, 127 – 134.
- [16] ATIMTAY, A., EMRİ, S., BAGCI, T., DEMİR, A.U., 2000, Urban CO exposure and its health effects on traffic policeman in Ankara, *Environmental Research*, 9, 222-230.
- [17] ONAT B., ve ŞAHİN Ü., 2008, İstanbul metrosunda çalışanların ve yolcuların maruz kaldığı partikül madde'nin konsantrasyon, boyut dağılımı ve kimyasal özelliklerinin belirlenmesi, İ.Ü. Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Araştırma Raporu.
- [18] VAİZOĞLU, S.A., AYCAN, S., AKIN, L., KOÇDOR, P., PAMUKÇU, G., MUHSİNOĞLU, O., ÖZER, F., EVCİ, E.D., GÜLER, Ç., 2005, Determination of Formaldehyde Levels in 100 Furniture Workshops in Ankara, *Tohoku J., Exp. Med.* 207, 157-163.
- [19] EVCİ, D., VAİZOĞLU, S., ÖZDEMİR, M., AYCAN, S., GÜLER, Ç., 2005, Ankara'da 46 Kanvehanede Formaldehit Düzeylerinin Belirlenmesi, *TSK Koruyusu Hekimlik Bülteni* 4(3). 129-135.
- [20] OSHA (Occupational Safety and Healty Administration; www.osha.gov.tr (Ziyaret tarihi; 06.01.2009)
- [21] World Healty Organisation (WHO); www.who.int (Ziyaret tarihi; 06.01.2009)

ÖZGEÇMİŞ

ÜLKÜ ŞAHİN

1975 yılı Ordu doğumludur. 1996 yılında İÜ Çevre Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. Aynı üniversiteden 2001 yılında Yüksek Mühendis, 2005 yılında Doktor ünvanı almıştır. 1998-2007 yılları arasında İstanbul Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak görev yapmıştır. 2007 yılından beri İÜ Çevre Mühendisliği Bölümünde Yrd. Doç. Dr. olarak görev yapmaktadır. Hava Kirlenmesi, Yapay sinir ağları, Partikül madde, Ağır metaller konularında çalışmaktadır.

BİRGÜL KURUTAŞ

1981 Amasya doğumludur. 2004 yılında “İstanbul Atmosferinde Partikül Maddedeki Ağır Metal İçeriğinin İncelenmesi” konulu tezle İstanbul Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. 2005 yılında İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalında yüksek lisans kazanmıştır ve halen devam etmektedir. 2004-2006 yıllarında çeşitli ofis işlerinde çalıştıktan sonra 2006 yılının Eylül ayında otomotiv sektöründe faaliyet gösteren bir fabrikada Çevre ve İş Güvenliği Mühendisliği görevini yürütmektedir.