

# FARKLI TÜRDEKİ İÇ ORTAMLARDA GÖZLENEN İNCE PARTİKÜLER MADDE KONSANTRASYONLARI, BOYUT DAĞILIMLARI VE MEVSİMSEL DEĞİŞİMLERİ

Gülen GÜLLÜ  
Sibel MENTEŞE

## ÖZET

Bu çalışmada farklı türdeki iç ortamlarda; ev, işyeri, okul ve kreş, yaz ve kış aylarında, günün farklı saatlerinde ve haftanın değişik günlerinde iç ve dış ortamda PM2.5 seviyeleri ve ortalama parçacık boyutları ölçülmüştür. Kış döneminde ölçülen ortalama PM2.5 konsantrasyonları hemen hemen tüm ortamlarda yaz dönemine kıyasla daha yüksek olarak tespit edilmiştir. Kış döneminde iç ortamda gözlenen en yüksek PM2.5 konsantrasyonu 53.82  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  ile bir işyerinin toplantı odasında, en düşük ise 25.92  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  ile kreşin uyku odasında ölçülmüştür. Yaz döneminde gözlenen en yüksek konsantrasyon 36.06  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  ile ev içinde, en düşük konsantrasyon ise 5.52  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  ile aynı kreşin yemekhanesinde ölçülmüştür. Eş zamanlı olarak dış ortamlarda ölçülen PM2.5 konsantrasyonları kullanılarak hesaplanan partiküllerin iç/dış oranı havalandırmanın daha etkin yapıldığı yaz aylarında yüksek (>1), kış aylarında ise düşük (<1) olarak tespit edilmiştir. Kış aylarında iç ortamda tespit edilen partiküler madde ortalama çapı, yaz aylarına göre daha yüksek bulunmuştur. Her iki mevsimde de iç ortamda toz yayıcı aktivitelerin (öğrencilerin koşması, sigara içilmesi), dış ortamda ise inversiyon olması durumunda toz konsantrasyonlarında artış; dış ortamda yağmur veya kar yağması olması durumunda toz konsantrasyonlarında önemli ölçüde azalma tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** PM2.5, iç ortam havası, parçacık boyutu

## ABSTRACT

In this study, diurnal PM2.5 levels and average particle sizes were determined for several days in different types of environments, house, workplace, school and kindergarten, during summer and winter seasons along with their outdoor environments. In almost all environments, average PM2.5 concentrations monitored in the winter were higher than those observed in the summer. The highest PM2.5 concentration in the winter was 53.82  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ , seen in an office, while the lowest one was 25.92  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ , seen in a classroom of the kindergarten. The highest PM2.5 concentration in the summer was 36.06  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ , observed in the house, while the lowest one was 5.52  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ , observed in a dining hall of the kindergarten. Indoor/outdoor ratios, calculated using simultaneous indoor and outdoor

particulate matter monitoring data, were found higher in the summer ( $>1$ ), while it was lower in the winter ( $<1$ ). Average particle diameter was higher in the winter, compared to summer value. It was found that some activities cause increase in particle concentration in indoors (e.g., movement of students and smoking) and inversion at outdoors, while raining and snowing cause decrease in outdoor particle concentrations.

**Key Words:** PM2.5, indoor air, particle diameter

## 1. GİRİŞ

Bugüne kadar gerçekleştirilmiş birçok epidemiyolojik çalışma ile partiküler maddeden kaynaklanan hava kirliliği seviyesi ile solunum yolları hastalıkları, akciğer, kardio ve solunum yolu problemleri nedeniyle hastanelere başvuru ve ölüm vakaları arasında ilişki tespit edilmiştir [1,2]. Dış ortamda gözlenen partiküler madde (PM), farklı parçacık boyutuna ve kimyasal kompozisyona sahip partiküllerin karışımından oluşmaktadır. Kaba parçacıklar ( $>2.5 \mu\text{m}$ ) daha çok mekanik prosesler sonucu oluşurken, ince partiküller ( $<2.5 \mu\text{m}$ , PM2.5) ve ultra ince partiküller ( $<0.1 \mu\text{m}$ ) diesel yakıtların yanması gibi direk ortama atılabildikleri gibi gazların kimyasal reaksiyonları sonucu ikincil kirletici olarak da oluşabilmektedir [1].

İç ortamdaki partiküllerin, iç ortam aktiviteleri ve dış ortam olmak üzere genel olarak iki kaynağının olduğu bilinmektedir; Hangi kaynağın daha baskın olduğunu belirleyen faktörler; hava-değişim oranı, dış ortam PM seviyesi, iç ortam aktiviteleri, ortama atılan partiküllerin aerodinamik çapları olarak sıralanabilir [3-5]. İç ortamda sigara içimi veya ısıtma veya yemek pişirme gibi toz yayıcı bir aktivitenin gerçekleşmediği durumda kişilerin aktiviteleri (yürümek, temizlik yapmak gibi) toz, toprak, deri döküntüleri, mantar sporları, kağıt ve kumaş fiberlerinden oluşup çökelen tozların tekrar ortama yayılmasına sebep olmaktadır [6-8].

Partiküllerin yarattığı sağlık etkileri ile ilgili epidemiyolojik çalışmaların birçoğu, şehrin merkezinde yapılan dış ortam ölçümlerine dayalı olarak gerçekleştirilmektedir. Ancak, farklı türdeki iç ve şehrin değişik bölgelerindeki dış ortam PM konsantrasyonlarının değişkenliği bu çalışmaların sonuçlarının genellenemeyeceğini ortaya koymaktadır. Bu nedenle, farklı türdeki iç ortamlarda ve hemen dış ortamlarında yapılan çalışmalara ihtiyaç duyulmuştur. Son yıllarda gerçekleştirilen bir çok çalışma, farklı türdeki iç ortamlar ve hemen dışında yer alan dış ortamlarında PM2.5 seviyelerin ölçümüne yönelik olmuştur [3,9-11]. Bu çalışmalarda iç ortamda ölçülen partiküller ile dış ortamlardaki partikül seviyeleri arasında kuvvetli bir korelasyon olduğu gösterilmektedir.

Okullar, hassas grup olan çocukların gün boyu vakitlerini geçirdikleri ortamlar olduğu için, iç ortam hava kalitesinin belirlenmesinde öncelik verilen ortamların başında gelmektedir. Her ne kadar, okullar genel olarak sigara içilmesine müsaade edilmeyen, ve yemek pişirilmesi gibi aktivitelerin olmadığı yerler olsa da, yüksek PM konsantrasyonlarının gözlemlendiği ortamların başında gelmektedir [6,12-13]. Ancak, iç ortam kaynaklı PM'in sağlık etkilerinin içerdiği kimyasal kompozisyondan ötürü dış ortam PM'lerine göre daha az toksik etkisinin olduğu öne sürülmektedir [14].

Partiküllerin iç ortam yüzeylerine çökme hızını etkileyen en önemli faktörün havalandırma olduğu birçok çalışma ile belirlenmiştir [15-16]. Ofis ortamlarında, havalandırmanın etkisi ile submikron partikül konsantrasyonlarında azalma sağlandığı tespit edilmiştir [16]. Fromme vd. [6] tarafından Almanya'da sınıflarda yapılan çalışmada kışın artan PM seviyesinin yetersiz havalandırma sonucu oluştuğu; öğrencilerin fiziksel aktivitelerinin çökelen tozların havalanmasında önemli rol oynadığı tespit edilmiştir.

Trafiğe yakın evlerde iç ortam PM2.5 konsantrasyonlarına ev içi aktivitelerin dış ortamdaki trafikten daha fazla katkısı olduğu, trafik katkısını belirleyen faktörün evin yola olan mesafesi değil, evin havalandırma şekli olduğu belirlenmiştir [11].

Yunanistan'da bir üniversitenin farklı iç ortamlarında gerçekleştirilen ince partikül madde ölçümleri, hem PM10 hem de PM2.5 fraksiyonları için sigara içiminin PM için en belirgin kaynak olduğu gösterilmiştir [17].

Avrupa'nın dört şehrinde, Atina, Prag, Helsinki ve Basel, sigara içilmeyen evlerde dış ortamdaki içeriye taşınan ve iç ortamdan kaynaklanan PM2.5 seviyelerinin tespitine yönelik gerçekleştirilen çalışmada, ortalama infiltrasyon hızı tüm şehirlerde benzer bulunmuştur [18]. İç ortamdan kaynaklanan partiküllerin yapı malzemesi, iç ortamdaki fiziksel aktiviteler ve aile karakterizasyonu ile ilişkili olduğu tespit edilmiştir.

Bu çalışmada, ev, üniversitenin laboratuvar ve ofisleri, ilkököl ve kreşin farklı iç mekanlarında yaz ve kış mevsimlerinde birbirini takip eden hafta içi 5 gün boyunca gün içi solunabilir/ince partiküller (PM2.5) ile sıcaklık, nem değişimleri incelenerek, iç ortamda gözlenen partikül madde değişimleri ile partikül emisyonlarının kaynakları tespit edilmeye çalışılmıştır.

## 2. MATERYAL VE METOTLAR

### 2.1 Örneklemeye

İnce partikül madde ölçümleri yaz (Mayıs-Haziran 2007) ve kış (Şubat-Mart 2008) döneminde 4 farklı iç ortamda (ev, ilkököl, kreş, Üniversitenin laboratuvar ve ofisleri), PM2.5 seviyelerinin gün içi ve daha uzun süreli değişimini belirlemek üzere 5 gün boyunca gerçekleştirilmiştir. Yaz ve kış dönemlerinde PM2.5 ölçümleri yapılan ortamlarda ev hariç örneklemeye yapılan ortamlar aynıdır. Bu ortamların özellikleri Tablo 1'de verilmektedir.

**Tablo 1.** Örneklemeye İstasyonlarının Özellikleri.

İstasyon	Hali varlığı	Ahşap varlığı	Duvar boyama zamanı	Yakıt	Trafiğe yakınlık	Sigara içimi	Bina yaşı	Kişi sayısı
<i>Çevre Mühendisliği Bölümü</i>								
Laboratuvar	Yok	Çok	4 yıl	Doğalgaz	Az	Hayır	5 yıl	0-5*
Çalışma odası	Yok	Çok	4 yıl	Doğalgaz	Az	Hayır	5 yıl	0-10
Toplantı odası	Yok	Orta	4 yıl	Doğalgaz	Az	Hayır	5 yıl	8**
<i>İlkokul</i>								
3-a	Yok	Çok	8 yıl	Doğalgaz	Az	Hayır	10 yıl	37
3-b	Yok	Çok	8 yıl	Doğalgaz	Az	Hayır	10 yıl	39
4-e	Yok	Çok	8 yıl	Doğalgaz	Az	Hayır	10 yıl	33
<i>Kreş</i>								
Yemekhane	Yok	Orta	5 yıl	Doğalgaz	Az	Hayır	10 yıl	8
Uyku odası	Az	Çok	5 yıl	Doğalgaz	Az	Hayır	10 yıl	30
Oyun odası	Orta	Çok	5 yıl	Doğalgaz	Az	Hayır	10 yıl	30
<i>Ev</i>								
Salon	Orta	Orta	-	Doğalgaz	Çok	Evet	30 yıl	3
Mutfak	Orta	Çok	-	Doğalgaz	Çok	Evet	30 yıl	3
Oda1	Az	Orta	2 yıl	Doğalgaz	Çok	Evet	30 yıl	3
Oda2	Orta	Çok	2 yıl	Doğalgaz	Çok	Evet	30 yıl	1

\* Kişi sayısı değişken

\*\* Çok sıklıkla kullanılmayan alan

\*\*\* Sürekli personel sayısı 8, ancak günde 3 kez 100'ün üstünde kişi toplam 3 saat ortamda bulunuyor.

## 2.2 PM Ölçümü

İç ve dış ortamda bulunan parçacıkların çapını, PM1, PM2.5 ve PM10 başlıkları kullanarak otomatik olarak tayin edebilen, ışık saçılımı prensibine dayanan bir cihaz kullanılmıştır DATARAM 4 (Thermo Electron). Cihazın PM2.5 başlığı kullanılarak 2.5 mikron çapın altındaki partikül maddelerin hem konsantrasyonu, hem de ortalama çapı anlık olarak kaydedilmiştir. Örnekleme öncesinde kapı ve penceresi kapalı olarak tutulan ve herhangi bir şekilde kullanılmayan bir odada cihaz her üç başlık takılarak 24 saat boyunca çalıştırılmış, farklı başlıkların kullanılması ile ortamdaki toz seviyesinin değişip değişmediği takip edilmiştir. Yapılan tespit sonucu, iç ortam havasında bulunan parçacıkların çapının  $<2.5 \mu\text{m}$  olduğu görülmüş ve bu başlığın kullanılması durumunda en doğru şekilde ortam havasındaki PM2.5 seviyesinin tespit edileceği sonucuna varılmıştır. Elimizde mevcut olan bu cihazdan tek bir adet olduğundan, örnekleme sırasında, cihaz aynı anda örnekleme gerçekleştirilen her ortamda her 1 saatlik periyodun en az 15 dakikası boyunca sabit bırakılmış, daha sonra dönüşümlü olarak tüm ortamların zaman içindeki toz değişimi kayıt edilmiştir.

## 3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

### 3.1. Yaz ve Kış Mevsimi İnce Partikül Madde Sonuçları

Yaz ve kış döneminde sabah 9:00-akşam 17:00 saatleri arasında yaz döneminde, Bahçelievler semtinde yer alan bir evin salon ve mutfağında; kış döneminde Dikimevi semtinde yer alan bir evin, salon ve 2 oturma odasında; Hacettepe Üniversitesinin içinde yer alan kreşin, oyun odası, uyku odası ve yemekhanesinde; Çevre Mühendisliği Bölümü laboratuvar, çalışma odası ve toplantı odasında ve yine kampüs içinde yer alan ilkokulun aynı kat ve cephesinde bulunan 3 farklı sınıfta ve eş zamanlı olarak dış ortamlarında PM2.5 ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Her iki dönemde de gün içi saatlerde ve haftanın 5 günü boyunca gerçekleştirilen PM2.5 ölçümlerinin aritmetik ve geometrik ortalamaları Tablo 2'de verilmektedir.

**Tablo 2.** Yaz ve Kış Dönemi İç ve Dış ortam PM2.5 seviyeleri ( $\mu\text{g m}^{-3}$ ).

Ortam	YAZ DÖNEMİ SONUÇLARI			KIŞ DÖNEMİ SONUÇLARI		
	n	Ort±std	Geo. Ort.	n	Ort±std	Geo. Ort.
<i>Ev</i>						
Salon	724	22.90±38.80	12.39	655	46.09±42.74	34.4
Mutfak	665	36.06±53.55	18.77	-	-	-
Oturma odası	-	-	-	542	40.81±44.13	31.3
Oda	-	-	-	544	27.29±28.45	20.17
Dış	692	10.94±8.51	8.80	520	32.81±38.02	19.41
<i>Çevre Mühendisliği Bölümü</i>						
Laboratuvar	741	8.01±7.05	6.29	615	51.04±48.12	45.11
Çalışma odası	606	8.45±7.34	6.48	586	44.41±20.09	40.30
Toplantı odası	696	7.81±5.30	6.09	595	53.82±35.71	45.72
Dış	492	11.51±17.13	7.02	586	65.41±58.08	55.95
<i>İlkokul</i>						
3-A Sınıfı	398	30.90±17.72	22.09	348	32.29±20.67	26.51
3-B Sınıfı	401	26.62±14.30	22.62	342	36.08±19.36	31.75
4-E Sınıfı	399	28.31±15.95	24.71	318	45.61±21.14	40.90
Dış	348	25.22±12.77	22.09	434	40.35±25.23	31.95
<i>Kreş</i>						
Yemek salonu	507	5.52±4.69	3.86	656	26.00±19.61	21.91
Uyku odası	472	11.67±14.26	7.14	611	25.92±17.89	22.19
Oyun odası	510	10.14±15.20	6.51	543	39.93±28.49	33.96

Dış	507	3.83±4.21	2.46	493	22.41±16.51	17.65
-----	-----	-----------	------	-----	-------------	-------

Tablo 2'den de görülebileceği gibi, kış döneminde hem iç hem de dış ortamda gözlenen ince toz konsantrasyonları yaz dönemine kıyasla genel olarak daha yüksek gözlenmiştir. En düşük PM2.5 konsantrasyonlarına, yaz döneminde dış ortamda yapılan ölçümlerde rastlanmıştır. Kreş ölçümlerinin gerçekleştirildiği 22-28 Mayıs 2007 döneminde kreşin dış ortamında gözlenen ortalama PM2.5 konsantrasyonu  $3.83\pm 4.21 \mu\text{g m}^{-3}$ 'dür. Eş zamanlı olarak kreşin iç ortamında gözlenen ortalama PM2.5 değeri ise 5.52 ila  $11.67 \mu\text{g m}^{-3}$  arasında değişmektedir. İçerisinde herhangi bir toz tutucu halı, perde v.b eşyaların bulunmadığı ve günde sabah, öğlen ve akşam olmak üzere 3 kere temizlik yapılan yemekhane bölümünde en düşük ortalama PM2.5 değeri gözlenmiştir. Bu dönemde uyku ve oyun odasında gözlenen ortalama PM2.5 konsantrasyonları  $11.67$  ve  $10.14 \mu\text{g m}^{-3}$  civarındadır. Bu ortamlarda zaman zaman havalandırma sıklığına ve içerdeki aktivitelere bağlı olarak anlık olarak  $90-120 \mu\text{g m}^{-3}$  PM2.5 konsantrasyonları da gözlenmiştir.

Çalışma boyunca gözlenen en yüksek PM2.5 ortalamasının ölçüldüğü ortam kış döneminde işyeri ölçümlerinin gerçekleştirildiği periyotta, dış ortam olmuştur. İşyeri olarak tanımlanan Çevre Mühendisliği Bölümünün çalışma odası, toplantı odası ile laboratuvarında 4-8 Şubat 2008 tarihleri arasında kış dönemi örneklemeleri gerçekleştirilmiştir. İşyeri örnekleme örnekleme yapılan laboratuvar, çalışma odası ve toplantı odasında gözlenen ortalama PM2.5 konsantrasyonları, sırasıyla  $51.04\pm 48.12$ ,  $44.41\pm 20.09$  ve  $53.82\pm 35.71 \mu\text{g m}^{-3}$  civarındayken, bu mekanların dış ortamlarında gözlenen ortalama PM2.5 değerleri  $65.41\pm 58.08 \mu\text{g m}^{-3}$ 'dür. Kış dönemi örnekleme sırasında dış ortamda en düşük İ/D toz oranlarına bu ortamda rastlanmıştır. İ/D oranları genel olarak kirletici kaynağın iç ortamdandır mı, yoksa dış ortamdandır mı kaynaklandığını belirlemek için kullanılmaktadır. Oran, 1'den daha düşük olduğunda, kaynağın dış ortamdandır kaynaklandığını, 1'den büyük olduğu durumda ise toz kaynağının iç ortam aktivitelerinden kaynaklandığını söylenebilir. Kış döneminde gözlenen iç/dış oranları kaynağın dış ortam olabileceğini gösterir şekilde, genel olarak 1'den daha düşük olarak tespit edilmiş olup, en düşük İ/D oranlarına bu ortamda (0.68-0.82) rastlanmıştır. İşyeri ortamında yaz döneminde gözlenen PM2.5 seviyeleri ise kış döneminde kıyasla oldukça düşük olarak tespit edilmiş olup, bu ortamın yaz dönemindeki dış ortam toz seviyesinin de düşük olması, kış döneminde gözlenen yüksek değerlerin, dış ortamdandır içeri toz taşınımını gösterdiğine inanılmaktadır.

Kış döneminde, kaynağın iç ortam aktiviteleri olduğunu gösterir şekilde İ/D oranının en yüksek gözlendiği ortam kreş olmuştur. Kreş ölçümlerinin gerçekleştirildiği kış döneminde kreşin dış ortamında gözlenen ortalama PM2.5 konsantrasyonu  $22.41\pm 16.51 \mu\text{g m}^{-3}$ 'dür. Eş zamanlı olarak kreşin iç ortamında gözlenen ortalama PM2.5 değeri ise  $25.92$  ila  $39.93 \mu\text{g m}^{-3}$  arasında değişmektedir. En yüksek konsantrasyonlar oyun odasında gözlenmiştir. Yemek salonu ve uyku odasında gözlenen ortalama ve temel PM2.5 konsantrasyonları birbirine çok benzer olarak gözlenmiştir. Bu ortamlarda gözlenen ortalama PM2.5 konsantrasyonları sırasıyla  $26.00$  ve  $25.92 \mu\text{g m}^{-3}$  civarındadır. Bu ortamlarda zaman zaman havalandırma sıklığına ve içerdeki aktivitelere bağlı olarak  $192-278.6 \mu\text{g m}^{-3}$  PM2.5 konsantrasyonları da gözlenmiştir. Kreş için gözlenen İ/D oranları  $1.16-1.78$  arasında değişmektedir. Bu oran kreş için, PM2.5 kaynağının iç ortam olduğunu göstermektedir.

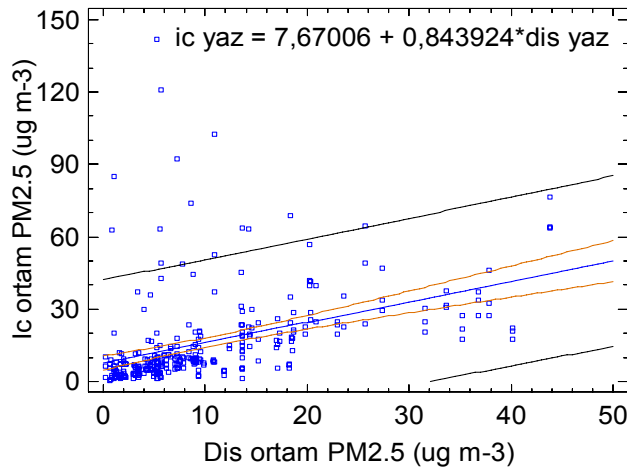
Yaz dönemi örnekleme sırasında gözlenen en yüksek anlık PM2.5 konsantrasyonu,  $514.9 \mu\text{g m}^{-3}$  değeri ile Ev istasyonunda örnekleme yapılan evin salon ve mutfak bölümlerinde rastlanmıştır. Özellikle sigara içilmesi ve yemek pişirilmesi sırasında ölçülen PM2.5 konsantrasyonlarının hızla artarak  $300 \mu\text{g m}^{-3}$ 'ün üstünde seyrettiği tespit edilmiştir. Sabah 9:00-öğleden sonra 17:00 saatleri arasında hafta içi günlerde ev içi rutin aktivitelerin sürdürüldüğü örnekleme dönemlerinde, sigara içimi, temizlik yapılması ile yemek pişirilmesi en çok toz yayılımına sebep olan aktiviteler olarak gözlenmiştir. Ev içi ölçümlerinde en yüksek ortalama PM2.5 konsantrasyonları  $36.06\pm 53.55 \mu\text{g m}^{-3}$  değeri ile mutfakta ölçülmüştür. Salonda yapılan ölçümlerin ortalaması  $22.90\pm 38.80 \mu\text{g m}^{-3}$  dür. Eş zamanlı olarak dış ortamda yapılan ölçümlerde tespit edilen ortalama PM2.5 konsantrasyonu ise  $10.94\pm 8.51 \mu\text{g m}^{-3}$  dür.

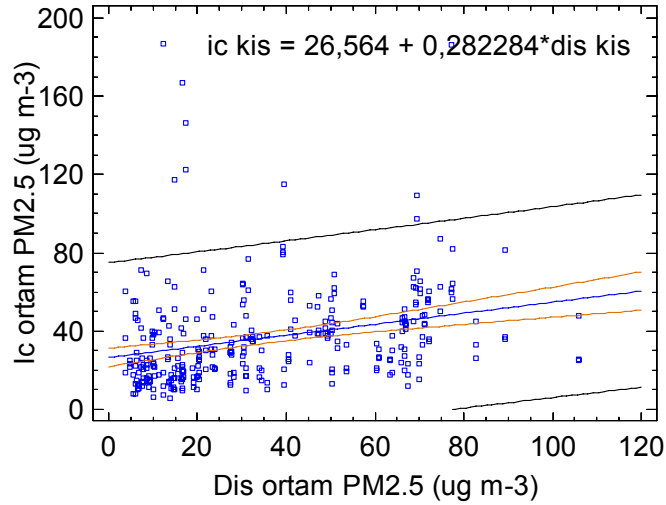
İlkokul ortamında aynı kat seviyesinde ve aynı bakıya sahip 3 farklı sınıfta ve dış ortamda ölçümler gerçekleştirilmiştir. Sınıfların öğrenci sayıları 33, 37 ve 39 dur. Bu sınıflarda birbirini takip eden beş hafta içi gün boyunca sabah 9:00'dan okul çıkış saati olan 15:30'a kadar ölçümler gerçekleştirilmiştir.

Sınıflarda gözlenen ortalama PM2.5 konsantrasyonları  $26.62 \pm 14.30$ ,  $28.31 \pm 15.95$  ve  $30.90 \pm 17.72 \mu\text{g m}^{-3}$ ; aynı periyotta dış ortamda gözlenen ortalama konsantrasyon ise  $25.22 \pm 12.77 \mu\text{g m}^{-3}$ 'dür.

Yaz ve kış dönemi örnekleme süresince iç ve dış ortamda eş zamanlı olarak ölçülen PM2.5 konsantrasyonlarının gün içi saatlerde ölçülen medyan değerlerinin korelasyonları incelendiğinde istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki (yaz dönemi için:  $r = 0.41$ ,  $p < 0.0001$ , kış dönemi için:  $r = 0.28$ ,  $p < 0.0001$ ) tespit edilmiştir. Yaz dönemi dış ortam konsantrasyonlarından iç ortamda gözlenebilecek PM2.5 düzeyinin belirlenebilmesi için kullanılabilecek olan ilişki modellenmiş ve aralarındaki bağıntı  $PM2.5_{iç} = 7.67 + 0.84 PM2.5_{dış}$  olarak bulunmuştur (Şekil 1). Bu denklemin sabiti, 7.67 değeri iç ortamda üretilen PM2.5 seviyesini, 0.84 olarak tespit edilen eğim ise infiltrasyon hızını göstermektedir. Şekil 1'den görülebileceği gibi dış ortam konsantrasyonlarının seviyesinin düşük olduğu dönemde iç ortamda PM2.5 seviyesinin artmasına neden olan aktivitelerden kaynaklanan konsantrasyon artışları olmuştur. Bu durum özellikle ev ve ilkökul örnekleme sırasında gözlenmiştir. İç ortamda sigara içilmesi, yemek pişirilmesi ve ilkökulda olduğu gibi çocukların koşması sonucu tozların tekrar havalanması iç ortamda konsantrasyonların zenginleşmesine sebep olmuştur. Başka şehirlerde iç-dış ortam konsantrasyonlarının ölçüldüğü çalışmalarda benzer sonuçlara ulaşılmıştır [9,19-20]. İç ortamda toz yayıcı herhangi bir aktivitenin olmadığı ortamlarda iç-dış PM2.5 korelasyonun arttığı tespit edilmiştir. Almanya, Erfurt'ta boş hastane odalarında iç-dış PM2.5 korelasyonu 0.88 [19], Boston'da sigara içilmeyen evlerde gerçekleştirilen çalışmada korelasyonun 0.52 [20], Utah'da bir okulda korelasyonun 0.37 ile 0.57 arasında [21] olduğu bildirilmiştir. Avrupa'da ve Amerika'da evlerde gerçekleştirilen bir çok çalışmada iç-dış PM2.5 konsantrasyonlarının korelasyonu yüksek, mekanik havalandırma gerçekleştirilen ortamlarda infiltrasyon hızının düşük (0.05-0.13), doğal havalandırma yapılan ortamlarda ise yüksek (0.8-1.0) olduğu rapor edilmiştir [9,22-23].

Kış dönemi dış ortam konsantrasyonlarından iç ortamda gözlenebilecek PM2.5 düzeyinin belirlenebilmesi için kullanılabilecek bağıntı ise  $PM2.5_{iç} = 26.56 + 0.28 PM2.5_{dış}$  olarak bulunmuştur (Şekil 2). Bu denklemin sabiti olan 26.56 değeri iç ortamda üretilen PM2.5 seviyesini, 0.28 olarak tespit edilen eğim ise infiltrasyon hızını göstermektedir. Yaz dönemine göre kıyaslama yapıldığı durumda kış döneminde gerçekleştirilen iç-dış PM2.5 ölçümlerinin hem korelasyonu, hem de infiltrasyon hızı daha düşüktür. Bu duruma, yaz aylarında etkin havalandırmanın yapılması nedeniyle dış ortamdan iç ortama tozların infiltrasyonun daha çok olması; kış döneminde havalandırmanın daha az olması nedeniyle infiltrasyonun azalması neden olmaktadır. Havalandırma yapılmadığı durumda iç ortamda toza neden olan aktiviteler olduğu durumda konsantrasyonların seyrelmesi gerçekleşmemekte veya tam tersi olarak kış aylarında özellikle sabah saatlerinde sıcaklık terselmesinden ötürü PM2.5 konsantrasyonlarının dış ortamda artması sonucu iç ortama infiltrasyonun az olması gerçekleşmektedir. Şekil 2'den görülebileceği gibi dış ortam konsantrasyonlarının seviyesinin düşük olduğu dönemde iç ortamda PM2.5 seviyesinin artmasına neden olan aktivitelerden kaynaklanan konsantrasyon artışları ve dış ortamda konsantrasyonlar yükseldiği durumda iç ortam konsantrasyonlarının aynı oranda artmadığı tespit edilmiştir. Helsinki, Atina, Amsterdam ve Birmingham'da ev içi ve dış ortamında gerçekleştirilen çalışmada, kış döneminde benzer korelasyonlara ve düşük infiltrasyon hızına rastlanmıştır [9].



**Şekil 1.** Yaz Dönemi İç Ve Dış Ortam PM2.5 Konsantrasyonları Regresyon Analizi.**Şekil 2.** Kış Döneminde İç-Dış Ortam PM2.5 Konsantrasyonlarının Regresyon Analizi.

### 3.2. Yaz ve Kış Dönemi PM2.5 Konsantrasyonlarının Günlük Değişimleri

Kapalı ortamlarda toz emisyon kaynaklarında meydana gelebilecek değişimlerle; kapalı ortamların havalandırması, ısınma veya soğutma aktiviteleri, yemek pişirilmesi, sigara içilmesi, dış ortamda karışım yüksekliği, rüzgar hızı, sıcaklık ve nem gibi meteorolojik şartlara bağlı olarak, ölçülen PM2.5 konsantrasyonlarında örnekleme yapılan günlere bağlı olarak değişim gözlenmiştir (Şekil 3). Ölçülen günlük PM2.5 ortalamaları US EPA tarafından önerilen, günlük ortalama PM2.5 konsantrasyonları için  $35 \mu\text{g m}^{-3}$  sınır değeri ile kıyasladığımızda dış ortamda gerçekleştirilen ölçümlerin kış döneminde sıklıkla sınır değeri aştığı, yaz döneminde ise sınır değer civarında gözlem yapılan ilkökul hariç genel olarak sınır değerinin altında olduğu tespit edilmiştir.

Yaz döneminde, evde yapılan örnekleme gözlenen iç/dış oranı 1.7 ile 8.3 arasında değişmekte olup, dış ortamdaki PM2.5 konsantrasyon değeri düştükçe oranın arttığı söylenebilir. Bu durumda ev içinde gözlenen PM2.5 konsantrasyonlarının kaynağının içerdeki aktivitelerden kaynaklandığı söylenebilir. Örnekleme yapılan bu dönem boyunca dış ortamdaki toz konsantrasyonlarının günlük ortalamalarının  $4.95 \mu\text{g m}^{-3}$  ile  $18.52 \mu\text{g m}^{-3}$  arasında değiştiği gözlenmiştir. Kış döneminde evde yapılan örnekleme gözlenen günlük ortalama PM2.5 konsantrasyonları değişimi Şekil 3'de verilmektedir. En yüksek PM2.5 konsantrasyonlarının gözlemlendiği salonda, günlük ortalama konsantrasyonlar 30 ila  $70 \mu\text{g m}^{-3}$  arasında değişmektedir. Örnekleme yapıldığı tüm 5 gün boyunca salonda ve sık kullanılan oturma odasında gözlenen I/D oranı 1'den büyük olarak gözlenmiştir. Buna göre salonda ve oturma odasında gözlenen PM2.5 konsantrasyonunun kaynağı salondaki aktiviteler (sigara içimi başta olmak üzere) olarak görülmektedir. Kullanım sıklığı düşük olan odanın iç-dış oranı 1'den küçük olarak tespit edilmiştir. Bu durum odada insan aktivitelerinin olmaması nedeniyle, toz kaynağının dış ortam olduğunu göstermektedir. Ev örnekleme yapılan bu dönem boyunca dış ortamdaki toz konsantrasyonları  $20-45 \mu\text{g m}^{-3}$  arasında değişmektedir. Başka bölgelerde gerçekleştirilen çalışmalarda da kış döneminde benzer PM2.5 konsantrasyon düzeylerine rastlanmaktadır [18].

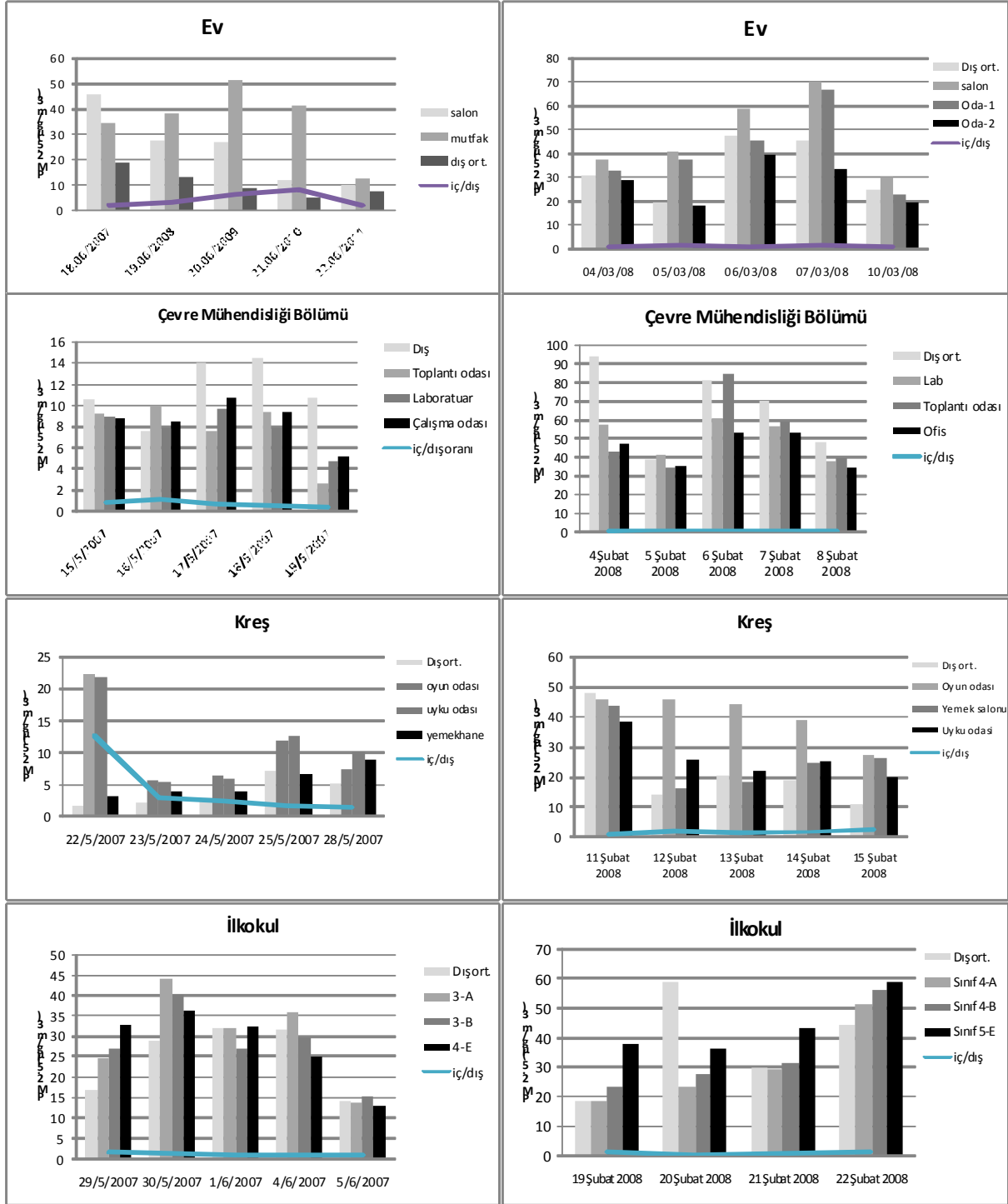
29 Mayıs-5 Haziran 2007 tarihleri arasında ilköğretim okulunda sınıflarda gözlenen günlük ortalama toz konsantrasyonları  $12.99$  ile  $44.33 \mu\text{g/m}^3$  arasında değişmektedir. Aynı dönemde eş zamanlı olarak dış ortamda gerçekleştirilen toz ölçümleri de  $14.5$  ile  $32.3 \mu\text{g/m}^3$  arasında değişmektedir. Örnekleme ilk 2 günü iç/dış ortam oranı 1.5 olduğundan PM2.5 konsantrasyonlarının kaynağının iç ortam aktiviteleri olduğu, son 3 gün ise I/D oranı 1'e eşit olduğundan PM2.5 kaynağının dış ortam olduğu söylenebilir. Yaz dönemi ilkökul örnekleme periyodu süresince dış ortamda gözlenen PM2.5 seviyesi WHO'nun önerdiği  $25 \mu\text{g m}^{-3}$  değerinin hemen üstünde yer aldığı tespit edilmiştir. İç ortamdaki seviyelerin ise örnekleme süresince sıklıkla istenilen sınır değerlerin üstünde seyrettiği

görülmektedir. Kış dönemi örneklemesine başlanması düşünülen 18 Şubat 2008 Pazartesi gününde Ankara'da gözlenen yoğun kar yağışı nedeniyle okulların tatil olması nedeniyle örnekleme yapılamamıştır. Örneklemeye başlanan 19 Şubat günü atmosferin bir gün önceki kar yağışı ile temizlenmesinden ötürü dış ortam toz konsantrasyonu  $15 \mu\text{g m}^{-3}$  'lere kadar inmiştir. 20 Şubat 2008 tarihi tüm yurttan aşırı soğukların gözlemlendiği bir tarih olmuştur. O gün için gözlenen en düşük hava sıcaklığı Ankara için  $-5^\circ\text{C}$  olmuştur. O gün için dış ortamda gözlenen toz konsantrasyonu  $58.85 \pm 27.93 \mu\text{g m}^{-3}$ 'e ulaşmıştır. 20 Şubat tarihi oldukça soğuk bir gün olmuştur gün boyu sıcaklık  $0^\circ\text{C}$  civarında gözlemlendiğinden, ısınma için yakılan yakıtların miktarının artması söz konusu olabilir, bu da PM2.5 konsantrasyonlarının artmasına sebep olmuş olabilir. 20 Şubat 2008 tarihi ölçümler hariç, kış dönemi ilkokulun sınıflarında gözlenen İ/D oranı 1'e yakın veya daha büyüktür. Bu durum iç ortamdaki PM2.5 konsantrasyonlarının kaynağının iç ortamdaki öğrencilerin koşması ile yerdeki tozların tekrar havalandırılmadan kaynaklandığını göstermektedir. Soğuk hava nedeniyle bu ortamların yeteri derecede havalandırılmaması da içerdeki toz konsantrasyonlarının artmasına sebep olmaktadır.

22-28 Mayıs 2007 tarihleri arasında Kreşte gerçekleştirilen ölçümler sırasında gözlenen en düşük toz konsantrasyonları ( $1.7-7.1 \mu\text{g/m}^3$ ) dış ortamda ölçülmüştür. Yaz döneminde herhangi bir toz taşınımının olmadığı, havanın açık ve rüzgar hızının yüksek olduğu durumda ortalama PM2.5 konsantrasyonunun  $5 \mu\text{g/m}^3$ 'den küçük olduğu görülmektedir. Her ne kadar, ölçülen düzeyler oldukça düşük olarak gözlenmiş olsa da, aynı dönemde iç ortamda gözlenen toz konsantrasyonlarının dış ortamdaki genel olarak 2-2.5 kat civarında daha yüksek olduğu görülmektedir. 22 Mayıs 2007 tarihinde gözlenen iç ortam konsantrasyonları yaklaşık 12 kat daha yüksek olarak tespit edilmiştir. Bu durum yaz döneminde PM2.5 kaynağının kreş içi aktivitelerden kaynaklandığını göstermektedir. Kış döneminde kreş örnekleme çalışmalarına başlanan 11 Şubat 2008 tarihinde dış ortam PM2.5 konsantrasyonu  $48.18 \pm 11.05 \mu\text{g m}^{-3}$  olarak ölçülmüştür. 11 Şubat 2008 akşamı gözlenen yoğun kar yağışı sonrasında ise PM2.5 konsantrasyonları takip eden günlerde  $10-15 \mu\text{g m}^{-3}$ 'e kadar inmiştir. Takip eden günlerde gözlenen yüksek karışım yüksekliği de dış ortamdaki toz seviyesinin azalmasına sebep olmuştur. Bu nedenle 11 Şubat günü ölçümleri ile diğer günler arasında önemli farklılıklar gözlenmiştir. İç ortam toz kaynağının dış ortam olduğu 11 Şubat günü İ/D oranı 1'den küçükken; diğer günlerde bu oran 1'in üstünde seyretmiş, iç ortamdaki tozların kaynağının iç ortamdaki fiziksel aktiviteler olduğunu göstermiştir. Kreş öğrencilerinin aktivitelerinin en yoğun olduğu Oyun odasında en yüksek toz konsantrasyonları gözlenmiştir. Yemek salonu ve uyku odasında gözlenen PM2.5 konsantrasyonları ise birbirine benzer olarak tespit edilmiştir.

Yaz döneminde, Çevre mühendisliği bölümünde ortamında gözlenen günlük ortalama PM2.5 konsantrasyonları  $2.62-14.56 \mu\text{g/m}^3$  arasında değişmektedir (Şekil 3.29). Örnekleme yapılan günlerde gözlenen ortalama iç/dış oranı (İ/D) ilk iki gün için ortalama 1.0 civarındayken, örnekleme son 3 günü dış ortamda artan toz miktarına paralel olarak 0.6'ya kadar inmiştir. İşyeri örneklemesinin gerçekleştirildiği dönemde dış ortamda gözlenen PM2.5 seviyesi ortalama olarak  $11.51 \pm 17.13 \mu\text{g m}^{-3}$  olarak gözlenmiştir. Kış dönemi ölçümleri sırasında ise dış ortamda gözlenen en yüksek ortalama PM2.5 konsantrasyonlarına rastlanmıştır ( $65.41 \pm 58.08 \mu\text{g m}^{-3}$ ) (Şekil 3). Bu periyotta gerçekleşen meteorolojik faktörler incelendiğinde. 4 Şubat 2008 tarihinde sabah saatlerinde sıcaklığın  $-2.5^\circ\text{C}$ , rüzgarın  $2.3 \text{ m/s}$  ve karışım yüksekliğinin  $62 \text{ m}$  olduğu, öğlen saatlerinde  $554 \text{ m}$ 'ye çıktığı görülmüştür [24]. Bu durum özellikle sabah saatlerinde kuvvetli sıcaklık terselmesini işaret etmektedir. Hafta boyunca yüksek seyreden dış ortam PM2.5 konsantrasyonlarının kaynağı karışım yüksekliğinin azalması sonucu kirleticilerin yere yakın tabakada yoğunlaşmasıdır. Kış döneminde özellikle sabah saatlerinde sıcaklık terselmesi Ankara'da yoğun olarak gözlenmektedir. Yaz aylarında karışım yüksekliği ortalama olarak  $3000 \text{ m}$  civarında iken kış aylarında  $500-1000 \text{ m}$  seviyesine inmekte, özellikle sabah saatlerinde  $20-30 \text{ m}$  civarına dahi düşmektedir [24]. Bu nedenle kış dönemi örnekleme çalışmaları sırasında gözlenen PM2.5 konsantrasyonları seviyesi yaz dönemine göre daha yüksektir. Çevre Mühendisliği Bölümünde gözlenen toz konsantrasyonlarının dış ortam konsantrasyonları ile uyumlu olduğu görülmektedir ( $r=0.47$ ,  $p<0.0001$ ). Dış ortamda artan PM2.5 seviyesi ile orantılı olarak iç ortamda değerler artmış, sınır değerlerin üstünde seyretmiştir. Bu periyotta hesaplanan infiltrasyon hızı, kış dönemi için hesaplanan genel değerden daha yüksek olarak ( $0.58$ ) tespit edilmiştir. Kış dönemi boyunca Çevre Mühendisliği Bölümü İ/D oranları 1'den küçük olarak tespit edilmiştir. Bu durum, kış dönemi için bu ortamdaki PM2.5 kaynağının dış ortam olduğunu göstermektedir.





Şekil 3. Yaz ve Kış Dönemlerinde Gözlenen Günlük PM<sub>2,5</sub> Konsantrasyonları ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )

### 3.3. Ortalama Parçacık Çap Boyutu

PM<sub>2.5</sub> ölçümlerinin gerçekleştirildiği cihaz ile aynı zamanda ortalama parçacık çap boyutu da ölçülmüştür. Ölçüm yapılan ortamlarda, yaz ve kış dönemlerinde ortalama parçacık çapında bir farklılık olup olmadığının incelenmesi için tek faktör anova testi uygulanmıştır. Tüm örnekleme noktalarında, yaz ve kış aylarında gözlenen ortalama parçacık çap boyutu mevsimsel olarak farklılık göstermektedir ( $p < 0.05$ ). İlkokul ölçümleri hariç, diğer ortamların tümünde kış döneminde gözlenen

ortalama parçacık çapı, yaz döneminde ölçülenlerden yüksek çıkmıştır. Ev ölçümlerinde kış dönemi ortalama parçacık çap boyutu 0.589  $\mu\text{m}$ , yaz döneminde ise 0.440  $\mu\text{m}$ , iş yeri için kış dönemi 0.422  $\mu\text{m}$ , yaz dönemi 0.348  $\mu\text{m}$ ; kreş için, kış dönemi 0.589  $\mu\text{m}$ , yaz dönemi 0.440  $\mu\text{m}$ , ilkokul için ise, kış dönemi 0.377  $\mu\text{m}$ , yaz dönemi 0.586  $\mu\text{m}$ 'dir. Kış döneminde ortalama parçacık çap boyutunun artması, bu dönemde evsel ısıtma için yakılan fosil yakıtların etkisi sonucu olabileceği gibi; özellikle sıcaklık terselmesinin yaşandığı dönemlerde, oluşan sis sonucu parçacık çap boyutunun büyümesi ile de açıklanabilir.

#### 4. GENEL SONUÇLAR

Yaz ve kış döneminde örnekleme noktalarında ölçülen ince partikül madde sonuçlarına göre iç ortamın PM2.5 konsantrasyonlarının, dış ortama göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. İç ortamda tozun oluşmasına sebep olan sigara içilmesi, yemek pişirilmesi ve ilkokulda olduğu gibi çocukların koşması sonucu tekrar tozların havalanması gibi nedenlerle anlık olarak PM2.5 seviyesinin hızla arttığı gözlenmiştir. İç ve dış ortamda gözlenen PM2.5 seviyelerinde dış ortamdan iç ortam taşınan tozun infiltrasyon oranı hesaplanmış, bu oranın yaz döneminde doğal havalandırma olan ortamlarda gözlenen hız aralığında, kış döneminde ise azalarak havalandırmanın yetersiz olduğu tespit edilmiştir.

Kış döneminde gözlenen PM2.5 konsantrasyonlarının yaz dönemine göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Ortama bağlı olarak bu fark, Çevre Mühendisliği Bölümünde 5-7 kata, kreşte 2-6 kata, ilkokulda 1-1.5 kata ve evde 2 kata kadar değişmektedir. En belirgin kış-yaz farkına kış döneminde dış ortam konsantrasyonlarının yüksek olduğu dönemde Çevre Mühendisliği Bölümünde ve yaz döneminde en düşük toz konsantrasyonlarının ölçüldüğü kreşte rastlanmıştır. Ev ve ilkokulda ise ortalama olarak 1.5-2 kat arasında kış-yaz farkı tespit edilmiştir.

Tüm örnekleme noktalarında, yaz ve kış aylarında gözlenen ortalama parçacık çap boyutu kış döneminde daha yüksek olarak gözlenmiştir. Yaz döneminde 0.44  $\mu\text{m}$  civarında olan ortalama parçacık çapı, kış döneminde 0.59  $\mu\text{m}$ 'ye çıkmaktadır. Kış döneminde ortalama parçacık çap boyutunun artması, bu dönemde evsel ısıtma için yakılan fosil yakıtların etkisi sonucu olabileceği gibi; özellikle sıcaklık terselmesinin yaşandığı dönemlerde, oluşan sis sonucu parçacıkların higroskopik büyümesi ile de açıklanabilir.

Genel olarak, iç ortamda gözlenen PM2.5 seviyesi literatürde yer alan benzer çalışmalar ile kıyaslandığında, ölçülen değerlerin literatürdeki ölçümlerle uyumlu olduğu gözlenmiştir. Kış aylarında yaz dönemine göre yüksek PM2.5 konsantrasyonları çıkan başka çalışmalarda da rastlanmıştır. Bunun nedeni olarak iç ortamda toz kaynağının olmadığı durumda özellikle yetersiz havalandırma olduğu söylenebilir.

#### KAYNAKLAR

- [1] US EPA, "Particulate Matter", [www.epa.gov/particles](http://www.epa.gov/particles), erişim tarihi: 14.11.2008
- [2] BRUNEKREEF B., HOLGATE S., "Air Pollution and Health", *Lancet*, 360, 1233-42, 2002.
- [3] BRANIŠ M., ŘEZÁČOVÁ P., DOMASOVÁ M., "The Effect of Outdoor Air and Indoor Human Activity on Mass Concentrations of PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>1</sub> in a Classroom", *Environmental Research*, 99,143-49, 2005.
- [4] LONG C.M., SULH H.H., KOUTRAKIS P., "Characterization of Indoor Particle Sources Using Continuous Mass and Size Monitors", *Journal of the Air&Waste Management Association*, 50, 1236-1250, 2000.
- [5] WALLACE L., "Indoor Particles: A Review", *Journal of the Air&Waste Management Association*, 46, 98-126, 1996.
- [6] FROMME H., DIETRICH S., TWARDELLE D., HEITMANN D., SCHIERT R., LIEBL B., RÜDEN H., "Particulate Matter in The Indoor Air of Classrooms-Exploratory Results From Munich and Surrounding", *Atmospheric Environment*, 41, 854-66, 2007.

- [7] LUOMA M., BATTERMAN S.A., "Characterization of Particulate Emissions from Occupant Activities in Offices", *Indoor Air*, 11, 35–48, 2001.
- [8] MONN C., FUCHS A., HOGGER D., JUNKER M., KOGELSCHATZ D., ROTH N., WANNER H.U., "Particulate Matter Less Than 10 $\mu$ m (PM 10) and Fine Particles Less Than 2.5 $\mu$ m (PM2.5): Relationships between Indoor, Outdoor and Personal Concentrations", *Science Total Environmental*, 208, 15-21, 1997.
- [9] HOEK G., KOS G., HARRISON R., HARTOG J., KEEA M., et al., "Indoor-Outdoor Relationships of Particle Number and Mass in Four European Cities", *Atmospheric Environment*, 42, 156-69, 2008.
- [10] PARK D.U., HA K.C., "Characteristics of PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, CO<sub>2</sub> and CO Monitored in Interiors and Platforms of Subway Train in Seoul, Korea", *Environmental International*, 34, 629-34, 2008.
- [11] MARTUZEVICIUS D., GRINSHPUN S.A., LEE T., HU S., BISWAS P., REPONEN T., LEMASTERS G., "Traffics-related PM<sub>2.5</sub> Aerosol in Residential Houses Located Near Major Highways: Indoor Versus Outdoor Concentrations", *Atmospheric Environment*, 42, 6575-85, 2008.
- [12] STRANGER M., POTGIETER-VERMAAK S.S., VAN GRIEKEN R., "Comparative Overview of Indoor Air Quality in Antwerp, Belgium", *Environmental International*, 33,789-97, 2007.
- [13] JANSSEN N.A.H., VAN KLIET P.H.N., AARTS F., HARSSEMA H., BRUNEKREEF B., "Assessment of Exposure to the Traffic Related Air Pollution of Children Attending Schools Near the Motorways", *Atmospheric Environment*, 35, 3875-84, 2001.
- [14] FROMME H., DIEMER J., DIETRICH S., CYRYS J., HEINRICH J., LANG W., KIRANOGLU M., TWARDELLE D., "Chemical and Morphological Properties of Particulate Matter (PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>) in School Classrooms and Outdoor Air", *Atmospheric Environment*, 42, 6597-6605, 2008.
- [15] WALLACE L., EMMERICH S.J., HOWARD-REED C., "Effect of Central Fans and In-duct Filters on Deposition Rates of Ultrafine and Fine Particles in An Occupied Townhouse", *Atmospheric Environment*, 38, 405–13, 2004.
- [16] JAMRISKA M., MORAWASKA L., CLARK B.A., "Effect of Ventilation and Filtration on Submicrometer Particles in an Indoor Environment", *Indoor Air*, 10, 19-26, 2000.
- [17] GEMENETZIS P., MOUSSAS P., ARDITSOGLU A., SAMARA C., "Mass Concentration and Elemental Composition of Indoor PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub> in University Rooms in Thessaloniki, northern Greece", *Atmospheric Environment*, 40, 3195-3206, 2006.
- [18] HÄNNINEN O.O., LEBRET E., ILACQUA V., KATSOUYANNI K., KÜNZLI N., SRAM R.J., JANTUNEN M., "Infiltration of Ambient PM<sub>2.5</sub> and Levels of Indoor Generated non-ETS PM<sub>2.5</sub> in Residences of Four European Cities", *Atmospheric Environment*, 38, 6411-6423, 2004.
- [19] CYRYS J., PITZ M., BISCHOF W., WICHMANN H.E., HEINRICH J., "Relationship between Indoor and Outdoor Levels of Fine Particle Mass, Particle Number Concentrations and Black Smoke Under Different Ventilation Conditions", *Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology*, 144, 275-83, 2004.
- [20] ABT E., SUH H.H., ALLEN G., KOUTRAKIS P., "Characterization of Indoor Particle Sources: A Study Conducted in the Metropolitan Boston Area", *Environment Health Perspect*, 108, 35-44, 2000.
- [21] POLIDORI A., ARHAMI M., DELFINO R.J., ALLEN R., SIOUTAS C., "Indoor-outdoor relationships, trends and carbonaceous content of fine particulate matter in retirement communities of the Los Angeles basin", *J Air Waste Manage Assoc*, 57, 366–379, 2007.
- [22] SARNAT-EBELT S., COULL B.A., RUIZ P.A., KOUTRAKIS P., SUH H.H., "The Influences of Ambient Particle Composition and Size on Particle Infiltration in Los Angeles, CA, Residences", *Journal of the Air and Management Association*, 56,186-96, 2006.
- [23] LUNDEN M.M., THATCHER T.L., HERING S.V., BROWN N.J., "Use of the time and Chemically Resolve Particulate Data To Characterize The Infiltration of Outdoor PM<sub>2.5</sub> into a Residence in the San Joaquin Valley", *Environmental Science Technology*, 37, 4724-32, 2003.
- [24] DMİ, "Ankara için 2008 yılı meteorolojik verileri", 2008.

## ÖZGEÇMİŞ

### Gülen GÜLLÜ

1965 yılı Ankara doğumludur. 1987 yılında Orta Doğu Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. Aynı üniversiteden 1989 yılında Yüksek Mühendis ve 1996 yılında Doktor ünvanını almıştır. Orta Doğu Teknik Üniversitesinde 1987-1996 yılları arasında Araştırma Görevlisi, 1996-1999 yılları arasında uzman olarak görev yapmıştır. Doçentlik ünvanını 1999 yılında Hacettepe Üniversitesinde Öğretim Üyesi iken alan, Dr. Güllü, 2006 yılından bu yana Hacettepe Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümünde Prof. Dr. olarak görev yapmaktadır. Dr. Güllü, iç ve dış ortam hava kirliliği konularında çalışmaktadır.

### Sibel MENTEŞE

1981 doğumlu Menteşe, 2002 yılında Dokuz Eylül Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümünden mezun olmuştur. 2004 yılında Hacettepe Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümünde Yüksek Mühendis ünvanını almıştır. 2004 yılından beri aynı üniversitede Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktadır ve İç Ortam Hava Kirliliği üzerine doktora çalışmasını sürdürmektedir. Sosyal Çevre konuları üzerine de ilgisi olan Menteşe, 2007 yılında Ankara Üniversitesi Sosyal Çevre Bilimleri Bölümünden ikinci Yüksek Lisans derecesini almıştır.