

**İlköğretim Okullarında  
Bina-İçi Çevresel Kalitenin Değerlendirilmesi**

**Proje No: 105Y263**

Doç.Dr. Sait C. Sofuoğlu  
Doç.Dr. Aysun Sofuoğlu  
Prof.Dr. Mustafa Odabaşı  
Doç.Dr. Fikret İnal  
Araş.Gör. Pınar Kavcar

HAZİRAN 2010  
İZMİR

## ÖNSÖZ

Bina-içi çevresel kalite, ülkemizde henüz yeni yeni araştırılmaya başlanmış bir konudur. Özellikle, okullarımızdaki çevresel kalite konusunda şimdiye kadar sadece birkaç çalışma yapılmıştır. Çocukların, evlerinden sonra en çok zamanlarını geçirdikleri, belki de ikinci bina-içi çevre olan okullardaki hava kalitesi ve konfor değişkenleri, gerek onların sağlıklarını daha iyi koruyabilmek gerekse akademik başarılarını artırmak için en iyi şekilde araştırılmalıdır. Bu proje, İzmir’de seçilen üç ilköğretim okulunda bina-içi çevresel kaliteyi ve öğrencilerin semptomatik durumlarını belirlemeyi amaçlamıştır. Bina-içi çevresel kalite ölçümleri çerçevesinde bina-içi hava kalitesi ve çevresel konfor değişkenlerinin seviyeleri ölçülmüştür. Ölçülen bina-içi hava kirleticileri arasında CO, O<sub>3</sub>, boyut ayırmalı partikül madde, partiküllerde metaller, PCB, PBDE, SKB ve UOB’ler yer almıştır. Okul içinde öğrencilerin vakitlerini geçirdikleri üç ana mikroçevrede (derslik, anasınıfı, açık hava oyun bahçesi) örnekleme ve ölçümler yapılmıştır.

Türkiye’de okullara odaklanan ilk kapsamlı bina-içi çevresel kalite çalışması olan projemize finansal destek sağlayan TÜBİTAK’a müteşekkirimiz. Okullarda çalışma yapmamız için izinlerini esirgemeyen İzmir İl Milli Eğitim Müdürlüğü’ne ayrıca teşekkür ederiz. Örnekleme yapılan okulların yöneticilerine ve öğretmenlerine de çalışmamıza destek oldukları için müteşekkirimiz. Toplanan örnek analizlerinin büyük bir kısmı İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü (İYTE) Çevre Ar-Ge Merkezinde yapılmıştır. Uzman ve teknisyenlerine candan çabaları ve emekleri için özel bir şükran borçluyuz. Bazı ölçüm cihazlarını sağlayan İYTE Jeotermal Enerji Araştırma ve Uygulama Merkezine teşekkürü bir borç biliriz. Ek olarak, her türlü talebimize destek olmaya çalışarak karşılık veren İYTE Kimya Müh. bölüm başkanımız Prof.Dr. Devrim Balköse’den ve projenin eş yürütücüsü düzeyinde katkıda bulunan araştırmacı Doç.Dr. Aysun Sofuoğlu’ndan bahsetmeden geçemeyiz.

Doç.Dr. Sait C. Sofuoğlu  
Proje Yürütücüsü

## İÇİNDEKİLER

1. GİRİŞ .....	9
2. MALZEME VE YÖNTEMLER .....	12
2.1 Örneklem ve Yerleri.....	12
2.2 Uçucu Organik Bileşikler.....	14
2.2.1 Örneklem .....	14
2.2.2 Analitik .....	15
2.2.2.1 Uçucu Organik Bileşikler .....	15
2.2.2.2 Formaldehit .....	16
2.2.2.3 Kalite Kontrol / Kalite Güvence.....	16
2.3 Partikül Madde .....	18
2.3.1 Örneklem .....	18
2.3.2 Analitik .....	19
2.3.3 Kalite Kontrol / Kalite Güvence.....	19
2.4 Yarı Uçucu Organik Bileşikler .....	20
2.4.1 Poliklorlu Bifeniller.....	20
2.4.1.1 Kalite Kontrol / Kalite Güvence.....	22
2.4.2 Polibromlu Difenil Eterler .....	22
2.4.2.1 Kalite Kontrol / Kalite Güvence.....	23
2.4.3 Sentetik Koku Bileşikleri.....	23
2.5 Anket Uygulaması .....	24
2.6 Sağlık ve Risk Değerlendirmesi.....	25
2.7 İstatistiksel Yöntemler .....	27
3. UÇUCU ORGANİK BİLEŞİKLER.....	30
3.1 Giriş .....	30
3.2 Bulgular ve Tartışma.....	32
3.2.1 Derişimler .....	32
3.2.1.1 Derslikler .....	32
3.2.1.2 Anasınıfları .....	36
3.2.1.3 Açık hava Oyun Bahçesi .....	38
3.2.2 Sağlık ve Risk Değerlendirmesi.....	39
3.3 Sonuç.....	42
4. YARI UÇUCU ORGANİK MADDELER .....	51
4.1 Poliklorlu Bifeniller .....	51
4.1.1 Giriş .....	51
4.1.2 Bulgular ve Tartışma.....	54
4.1.3 Sonuç.....	57
4.2 Polibromlu Difenil Eterler.....	57
4.2.1 Giriş .....	57
4.2.2 Bulgular ve Tartışma.....	59
4.2.3 Sonuç.....	62
4.3 Sentetik Koku Bileşikleri .....	63
4.3.1 Giriş .....	63
4.3.2 Bulgular ve Tartışma.....	65
4.3.3 Sonuç.....	67
5. PARTİKÜL MADDE (PM) VE İZ ELEMENTLER .....	68
5.1 Giriş .....	68
5.2 Bulgular ve Tartışma.....	70
5.2.1 Partikül Madde Dane Sayısı – Boyut Dağılımları.....	70
5.2.2 Partikül Madde Kütle – Boyut Dağılımları.....	71

5.2.3 Partikül Maddede Elementel Derişimler.....	77
5.2.4 Elementel Kütle-Boyut Dağılımları.....	81
5.2.5 Tartışma ve Sonuç.....	82
6. İNORGANİK GAZLAR .....	109
6.1 Giriş .....	109
6.2 Bulgular ve Tartışma.....	111
6.2.1 Karbon Monoksit .....	111
6.2.2 Ozon.....	112
6.3 Sonuç.....	116
7. BİNA-İÇİ ÇEVRESEL KONFOR DEĞİŞKENLERİ .....	120
7.1 Giriş .....	120
7.2 Bulgular ve Tartışma.....	122
7.2.1 Sıcaklık.....	122
7.2.2 Nispi Nem .....	123
7.2.3 Indoor Discomfort Index Değerleri .....	124
7.2.4 Işık Şiddeti .....	125
7.2.5 Karbon Dioksit .....	126
8. BİNA-İÇİ HAVA KALİTESİ İLE İLGİLİ SEMPTOM VE HASTALIK YAYGINLIKLARI .....	129
8.1 Giriş .....	129
8.2 Bulgular ve Tartışma.....	130
8.3 Sonuç.....	135
9. GENEL DEĞERLENDİRME ve ÖNERİLER .....	136
KAYNAKLAR .....	140

## TABLO LİSTESİ

Tablo 1. Bina Özellikleri .....	13
Tablo 2. Derslik Özellikleri .....	14
Tablo 3. Kalite Güvence / Kalite Kontrol Sonuçları.....	17
Tablo 4. ICP-MS İşletim Şartları .....	19
Tablo 5. Metod Verimliliği ve Metod Tespit Sınırı Değerleri .....	20
Tablo 6. Monte Carlo Simulasyonu Girdi Değişkenleri En İyi Uyan İhtimal Dağılımları.....	28
Tablo 7. Derslik Bina-İçi Hava Ortalama Toluen/Benzen ve Toluen/TUOB <sub>51</sub> Oranı Değerleri ve TUOB <sub>51</sub> ve Formaldehit Derişimleri.....	48
Tablo 8. Anasınıfı Bina-İçi Hava Ortalama Toluen/Benzen ve Toluen/TUOB <sub>51</sub> Oranı Değerleri ve TUOB <sub>51</sub> ve Formaldehit Derişimleri.....	48
Tablo 9. Dış hava Ortalama Toluen/Benzen ve Toluen/TUOB <sub>51</sub> Oranı Değerleri ve TUOB <sub>51</sub> ve Formaldehit Derişimleri .....	49
Tablo 10. Koku, Duyusal Tahriş ve Kronik-Toksik Etkiler için HQ Düzeyleri .....	50
Tablo 11. PBDE izomerlerinin bina içi hava örneklerinde tespit edilme yüzdeleri.....	60
Tablo 12. Örnekleme yerlerinin istatistikleri .....	60
Tablo 13. PM <sub>2,5</sub> ve PM <sub>1</sub> Kütleli Derişimleri.....	73
Tablo 14. Herbir katman için Okul-3 / Okul-2 Derişim Oranları .....	76
Tablo 15. Okul-1 Derslik Partikül Maddede Element Derişimleri.....	84
Tablo 16. Okul-2 Derslik Partikül Maddede Element Derişimleri.....	85
Tablo 17. Okul-3 Derslik Partikül Maddede Element Derişimleri.....	86
Tablo 18. Kış Örnekleme Genel Ortalama İç/Dış Oranları.....	86
Tablo 19. Okul-1 Anasınıfı Partikül Maddede Element Derişimleri .....	87
Tablo 20. Okul-2 Anasınıfı Partikül Maddede Element Derişimleri .....	88
Tablo 21. Okul-3 Anasınıfı Partikül Maddede Element Derişimleri .....	89
Tablo 22. İnsan ve Yerküre Kaynaklı Elementlere Göre İç/Dış Oranları .....	90
Tablo 23. Ozon Derişimi ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) Betimleyici İstatistikleri.....	113
Tablo 24. Güz dönemi ozon derişimi – sıcaklık – nispi nem kategorik ilişkisi.....	115
Tablo 25. Dersliklerde Konfor Aralığı Dışında Bulunan Ölçümlerin Oranları (%).....	123
Tablo 26. Indoor Discomfort Index Değerleri .....	125
Tablo 27. Öğrencilerin sağlık problemlerinin yaygınlık oranları.....	132
Tablo 28. Semptomların gözlemlenme sıklıkları (%) .....	134

## ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1. Dersliklerde bina-içi hava UOB derişimi okul-mevsim matrisi .....	43
Şekil 2. Anasınflarında bina-içi hava UOB derişimi okul-mevsim matrisi .....	44
Şekil 3. Dış hava UOB derişimi okul-mevsim matrisi .....	45
Şekil 4. Ortalama İç/Dış UOB Derişimi Oranları (barlar 10. ilâ 90. yüzdilik aralığını göstermektedir)..	46
Şekil 5. Kronik-toksik risk: (a) Benzen, (b) Naftalin ve Kanserojenik Risk: (c) Benzen, (d) Formaldehit	47
Şekil 6.Derslik ve ana sınıfında bina-içi havasında PCB izomerleri .....	55
Şekil 7. PCB derişimlerinin mevsimsel değişimi.....	55
Şekil 8. PCB derişimlerinin yersel değişimi .....	56
Şekil 9. Derslik ve ana sınıflarında PBDE 28/33 derişimleri .....	60
Şekil 10. PBDE 28/33 derişimlerinin mevsimsel değişimi .....	61
Şekil 11. PBDE 28/33 derişimlerinin yersel değişimi .....	62
Şekil 12. Sınıfta tespit edilen partikül faz derişimleri .....	66
Şekil 13. Sınıfta tespit edilen gaz faz derişimleri .....	66
Şekil 14. Derslikler için bahar dönemi ortalama partikül dane sayısı – boyut dağılımları.....	71
Şekil 15. Derslikler için sonbahar ve kış ortalama partikül dane sayısı – boyut dağılımları .....	72
Şekil 16. Okul-2 kış dönemi partikül kütle – boyut dağılımları .....	74
Şekil 17. Okul-3 kış dönemi partikül kütle – boyut dağılımları .....	76
Şekil 18. Okul-1-Kış-Derslik İz Element Kütle-Boyut Dağılımları.....	91
Şekil 19. Okul-1-Bahar-Derslik İz Element Kütle-Boyut Dağılımları.....	92
Şekil 20. Okul-2-Kış-Derslik İz Element Kütle-Boyut Dağılımları.....	93
Şekil 21. Okul-2-Bahar-Derslik İz Element Kütle-Boyut Dağılımları.....	94
Şekil 22. Okul-3-Kış-Derslik İz Element Kütle-Boyut Dağılımları.....	95
Şekil 23. Okul-3-Bahar-Derslik İz Element Kütle-Boyut Dağılımları.....	96
Şekil 24. Okul-1-Kış-Anasınıfı İz Element Kütle-Boyut Dağılımları.....	97
Şekil 25. Okul-1-Bahar-Anasınıfı İz Element Kütle-Boyut Dağılımları.....	98
Şekil 26. Okul-2-Kış-Anasınıfı İz Element Kütle-Boyut Dağılımları.....	99
Şekil 27. Okul-2-Bahar-Anasınıfı İz Element Kütle-Boyut Dağılımları.....	100
Şekil 28. Okul-3-Kış-Anasınıfı İz Element Kütle-Boyut Dağılımları.....	101
Şekil 29. Okul-3-Bahar-Anasınıfı İz Element Kütle-Boyut Dağılımları.....	102
Şekil 30. Okul-1-Kış-Açık Hava İz Element Kütle-Boyut Dağılımları.....	103
Şekil 31. Okul-1-Bahar-Açık Hava İz Element Kütle-Boyut Dağılımları.....	104
Şekil 32. Okul-2-Kış-Açık Hava İz Element Kütle-Boyut Dağılımları.....	105
Şekil 33. Okul-2-Bahar-Açık Hava İz Element Kütle-Boyut Dağılımları.....	106
Şekil 34. Okul-3-Kış-Açık Hava İz Element Kütle-Boyut Dağılımları.....	107
Şekil 35. Okul-3-Bahar-Açık Hava İz Element Kütle-Boyut Dağılımları.....	108
Şekil 36. Ölçülen saatlik ortalama ozon derişimlerinin değişkenliği.....	113
Şekil 37. Saatlik Ortalama Ozon Derişimleri Okul – Mevsim Matrisi ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).....	118
Şekil 38. Ozon derişimi ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) – sıcaklık – nispi nem değişkenliği.....	119
Şekil 39. Dersliklerde ve Anasınflarında Konfor Değişkenlerinin Okul-Örnekleme Dönemi Değişkenlikleri.....	128
Şekil 40. Öğrencilerin yaş gruplarının dağılımı (%).....	131
Şekil 41. Öğrencilerin servis kullanma oranları .....	131

## ÖZET

İzmir’de, ikisi kentsel biri yarı kentsel alanda yer alan üç ilköğretim okulunda, bina-içi hava uçucu organik madde, yarı-uçucu organik madde, partikül madde, partikül maddede element ve inorganik gaz kirletici derişimleri ölçülmüştür. Anket uygulaması yapılarak, bina ile ilgili semptomların yaygınlığı çalışılmıştır. Bina-içi konfor değişkenlerinden sıcaklık ve nispi nem kullanılarak hesaplanan Bina-içi Rahatsızlık Göstergesi çok yüksek değerler almamıştır. Bina-içi hava CO<sub>2</sub> derişimleri ölçülerek dersliklerde havalandırmanın yeterli olmadığı görülmüştür. Uçucu organik bileşiklerden formaldehit, benzen, naftalin, toluen ve 1,3-diklorobenzenin yüksek bina-içi derişimlere ulaşabildiği görülmüş, ve formaldehit ve benzenin birincil düzeyde, naftalin ve toluenin de ikincil düzeyde önemli sağlık riski yaratabileceği değerlendirilmiştir. Yarı-uçucu organik bileşiklerden poliklorlu bifeniller (PCB) ve polibromlu difenil eterler (PBDE) grubu kirleticilerin bina-içi havada buldukları ve içeride kaynakları olabileceği görülürken, sentetik koku bileşiklerinin bir derslikte yapılan çalışma ile okul binalarında hem gaz hem de partikül fazda bulunabildikleri ve gaz fazda önemli düzeyde derişimlere eriştikleri belirlenmiştir. İnorganik gazlardan ozon için, bulgular iç hava ozon derişimlerinin, dış hava ozonu ile ilintili olduğunu ve hassas insanlarda sağlık etkisi yaratma sınırının altında kaldığı yönündedir. Karbon monoksit ise neredeyse tüm ölçümlerde ya tespit sınırı olan 1 ppm’in altında ya da oldukça düşük derişimlerde bulunmuştur. Partikül madde için elde edilen dane sayısı – boyut dağılımları, kütle – boyut dağılımları, bina-içi hava ve dış hava derişimi bulguları, partikül madde kaynağının dış hava olduğu ancak çocukların hareketliliği sebebiyle bina-içi mikroçevrelerde derişimlerin dış hava derişimlerinin üzerine çıkabildiğini göstermiştir. Hesaplanan Hava Kalitesi Göstergesi - PM Alt Gösterge değerleri, PM<sub>2,5</sub> derişimlerinin “sağlıksız” sınıfında yer aldığını göstermiştir. Boyut ayrımlı kütleli PM derişimleri göstermektedir ki, ince partiküllerin (PM<sub>2,5</sub>) çoğunluğu ultra ince partiküllerdir (PM<sub>1</sub>) ve ultra ince partiküller ince partiküllere göre sayıca 2-5 kat daha yüksek derişimlerde bulunmaktadır. Partikül maddede Al, Cr, Cu, Fe, Mg, Mn, Ni, Pb, Zn elementleri tespit edilmiş olup kütle-boyut dağılımlarının ultra ince boyutlarında görülen zirveler, hem ağırlıklı yerküre kaynaklı hem de ağırlıklı insan aktiviteleri kaynaklı elementler için ultra ince fraksiyonun önemli olduğunu göstermiştir.

**Anahtar kelimeler:** bina-içi hava kalitesi, konfor değişkenleri, ilköğretim okulu, spesifik olmayan semptomlar

## ABSTRACT

Indoor air volatile organic compound, semi-volatile organic compound, particulate matter, elements in particulate matter, and inorganic gaseous pollutant concentrations were measured in three primary schools in İzmir, Turkey. Prevalence of building related symptoms were determined by a questionnaire survey. Indoor Discomfort Index was calculated using temperature and relative humidity, which did not take high values. CO<sub>2</sub> concentrations were measured, which showed that ventilation in classrooms were not sufficient. Formaldehyde, benzene, naftalin, toluen, and 1,3-diklorobenzene reached at high concentration levels, among which formaldehyde and benzene were classified as the primary, naftalin and toluen were classified as the secondary category volatile organic compounds based on associated health risk levels. Polychlorinated biphenyls and polybrominated diphenylethers were detected in primary school indoor air, which may had sources indoors. Synthetic musk compounds were studied in one school. They were found in both gas and particulate phases. Their gas phase concentrations were at significant levels. One of the studied inorganic gases, ozone was related to outdoors. The ozone concentrations were below the demarcation level for health effects on sensitive population subgroups. Karbon monoxide was detected at very low concentrations or not detected at all in majority of the samples. The number-size and mass-size distributions of particulate matter, indoor and outdoor concentrations point to outdoor air as the source, however, indoor concentrations exceed outdoors possibly due to vigorous movement of the children during the breaks. The PM<sub>2,5</sub> sub-index values of the Air Quality Index showed that indoor air PM levels were classified as “unhealthy for the general population.” Size segregated PM mass concentrations showed that majority of the fine particles (PM<sub>2,5</sub>) is actually ultra fine particles (PM<sub>1</sub>) which were at concentrations that are 2 to 5 times the fine fraction. Al, Cr, Cu, Fe, Mg, Mn, Ni, Pb, and Zn were determined in indoor PM. The peaks in ultrafine section of the elemental mass-size distributions showed that this size fraction is important both in terms of crustal and anthropogenic elements.

**Keywords:** Indoor air quality, comfort variables, primary school, nonspecific symptoms



## 1. GİRİŞ

Göz, burun, boğaz, ve deri tahrişi, solunumda zorluk, başağrısı, yorgunluk, baş dönmesi gibi bina sakinleri tarafından sergilenen ve genellikle binadan ayrılınca iyileşme görülen semptomlar Bina ile İlgili Semptomlar olarak bilinirler, bu durum önceden Hasta Bina Sendromu olarak adlandırılırdı. Bu sağlık etkilerine sendrom adı altında genel bir isim verilmiş olmasının sebebi anlamlı ve yaygın bir şekilde bina-içi çevresel şartlarla ilişkilendirilememeleridir; dolayısıyla spesifik olmayan semptomlar olarak adlandırılırlar. Bu spesifik olmayan semptomlar, genelde kişisel, fizyolojik, ve bina-içi çevresel kalite faktörlerinin etkisiyle ortaya çıkarlar. Özellikle ilköğretim yaşlarında olan çocuklar, kirletici maddelerin olumsuz etkilerinin gerek ortaya çıkması, gerekse etkinin şiddeti konusunda büyüklerden daha dezavantajlı konumda olduklarından toplum içerisindeki 'hassas alt grup'lar arasında yer almaktadırlar. Ayrıca, genel itibarla okullarda bina-içi çevresel kalitenin Batı'lı ülkelerde iyi yönetilmediğinden bahsedilirken, ülkemizde henüz yönetilmesi gereken bir husus olduğu bilinci oluşmamıştır. Bu bilincin oluşturulabilmesi açısından, ülkemizde henüz nereseyse hiç bilgi üretilmemiş olan, çocukların günlük zamanlarının yaklaşık %30'unu geçirdikleri okullarda buldukları çevresel şartlar önem arz etmektedir.

Bina-içi Çevresel Kalite iki ana başlık altında değerlendirilmektedir: ortam havasında bulunan hava kirleticisi seviyelerinin belirlediği Bina-içi Hava Kalitesi ve Çevresel Konfor Değişkenleri seviyelerinin belirlediği bina-içi çevresel konfor. Bina-içi hava kalitesi, partikül ve gaz fazdaki organik ve inorganik kirletici derişimlerini ifade eder. Bu kirleticiler arasında, inorganik gaz faz kirleticileri (ozon, karbon monoksit, vd.), inorganik partikül faz kirleticileri (PM<sub>2.5</sub>, kurşun gibi çeşitli elementler), hem gaz hem de partikül fazda bulunabilen poliaromatik hidrokarbonlar (PAH), poliklorlu bifeniller (PCB), polibromlu difenil eterler (PBDE) gibi Yarı-Uçucu Organik Maddeler (YUOM) ile ağırlıkla gaz fazında bulunan Uçucu Organik Maddeler (UOM) yer almaktadır. Konfor değişkenleri arasında sıcaklık, nispi nem, hava akım hızı, gürültü, titreşim ve ışık şiddeti gibi faktörler yer almaktadır.

Bina-içi çevresel konfor, öğrencilerin ortamdaki rahatlarını belirleyici etkenler arasında yer aldıkları için direkt olarak öğrenme performanslarıyla ilişkilidir. Çevresel konfor değişkenleri değerlerinin belirli sınırlar dahilinde tutulması bu açıdan önem taşımaktadır. Bina-içi hava

kirleticilerinin derişimleri ise direkt olarak öğrencilerin sağlığı, dolaylı olarak da öğrenme performansları ile ilgilidir. Bina-içi hava kirleticilerinin kimi kanserojenik, kimi toksik, kimi de her iki özelliği birden barındıran maddelerdir. Ayrıca, akut etkileri olan allerjik semptomlara yol açan, solunum yolu rahatsızlıklarını tetikleyen ozon ve çeşitli uçucu organikler gibi gaz kirleticiler, çocukların dikkatlerinin dağılmasına, doktora gitmelerine ve en sonunda da okula devamsızlıklarına yol açtığı için başarı ile indirekt yolla da ilintilidirler. Bu sebeplerle, okullarda öğrencilerin buldukları çevresel şartların değerlendirilmesi önem arz etmektedir.

İlgili literatürün kritik değerlendirmesinde Mendell ve Heath (2004) bina-içi çevresel kalitenin bina-içi hava kirleticileri ve sıcaklık şartları için kişilerin başarısına ve devamına etkisi olup olmadığını hem doğrudan hem de dolaylı ilişki için araştırmışlardır. Direk ilişki olarak bakıldığında güçlü tasarım özelliklerine sahip çalışmalar içinde yüksek NO<sub>2</sub> derişimleri ile devamda azalma arasında bir ilişki bulunmuş, diğer çalışmalar içinde de düşük havalandırma oranı ile düşük başarı arasında bir ilişki görülmektedir. Dolaylı ilişkiler incelendiğinde bir çok çalışmanın bina-içi rutubetlilik ve – genellikle evlerde – mikrobiyolojik kirleticiler ile astımın ağırlaşması ve solunum yolu iltihaplanmaları ve dolayısıyla başarı düşmesi ve devamsızlık arasında ilişki rapor ettiği görülmüştür. Ek olarak, bir çok çalışma çocuklar ve yetişkinlerde yetersiz bina-içi çevresel kalite ile olumsuz sağlık etkileri arasında ilişki ortaya koymakta ve okullarda rutubet ve yetersiz havalandırma ile sıkça karşılaşıldığını belirtmektedir. Yazarlar, mevcut literatürü bir bütün olarak değerlendirdiğinde, genelde okullarda bina-içi çevresel kalitenin yetersiz olduğu bunun çocukların başarılarını düşürüp devamsızlıklarını artırdığı kanısına ulaşmışlardır. Bu çocukların, kötü bina-içi hava kalitesi sebebiyle hastalanmaları yoluyla olmaktadır. Sonuçlar, okullarda bina-içi çevresel kalitenin değerlendirilmesi ve sonuçlara göre gerekli tedbirlerin alınması ve kalitenin artırılması gerekliliğini ortaya koymaktadır. Bu sebeple, gerek bina-içi çevresel kalitenin değerlendirilmesi gerekse kalite artırımı için özel araştırmaların yapılması gerekmektedir.

Bu proje, İzmir’de seçilen üç ilköğretim okulunda bina-içi çevresel kaliteyi ve öğrencilerin semptomatik durumlarını belirlemeyi amaçlamaktadır. Bina-içi çevresel kalite ölçümleri çerçevesinde bina-içi hava kalitesi ve çevresel konfor değişkenlerinin seviyeleri ölçülmüştür. Ölçülen bina-içi hava kirleticileri arasında CO, O<sub>3</sub>, boyut ayırmalı partikül madde, partiküllerde

metaller, PCB ve PBDE'ler, ve UOB'ler yer almıştır. Örnekleme, okulların açık bulunduğu üç sezonu (sonbahar, kış, ilkbahar) kapsayacak şekilde planlanmış, ancak bu planlama farklı kirleticiler için şartlar çerçevesinde farklı düzeylerde gerçekleşmiştir. Okul içinde öğrencilerin vakitlerini geçirdikleri üç ana mikroçevrede (derslik, anasınıfı, açık hava oyun bahçesi) örnekleme ve ölçümler yapılmıştır. Ayrıca, ek olarak bir okulda, kısa dönemli Sentetik Koku Bileşiklerini belirlemeye yönelik bir çalışma yapılmıştır.

## 2. MALZEME VE YÖNTEMLER

### 2.1 Örnekleme ve Yerleri

Yaklaşık dört milyoluk nüfusuyla Türkiye'nin üçüncü büyük ili olan İzmir'de halkın çoğu (~%70) metropol alanda yaşamaktadır. Buradan itibaren Okul-1, Okul-2 ve Okul-3 olarak isimlendirilecek olan üç devlet ilköğretim okulu, ulaşılabilirlikleri, katılıma gönüllükleri, coğrafi konumları ve bina özellikleri etmenleri dikkate alınarak seçilmiştir. Okul-1 ve -2 metropol alanda yer alırken, Okul-3 merkezden yaklaşık 45 km uzaklıkta bir banliyöde kuruludur. Aşağıda sunulan genel tariflere ek olarak okul binaları ve derslikler ile ilgili bilgiler Tablo 1 ve 2'de listelenmiştir.

Okul-1, Balçova ilçesinde yüksek trafik hacmi olan üç ana cadde arasında konumlanmıştır. Okul, dört binadan oluşmaktadır: iki katlı olan A-Blok'ta derslikler ve yönetici ofisleri bulunmaktadır. Anasınıfı, aynı zamanda dersliklerinde bulunduğu A-Blok ile aynı boyutlarda olan B-Blok'ta bulunmaktadır. Yapışık iki bina olan C ve D-Blokların girişleri ayrı ayrı olup, beş katlı olan binalarda dersliklere ek olarak laboratuvar, müzik ve resim odaları bulunmaktadır. Örnekleme, dört derslik ve tuvaletlerin bulunduğu D-Blok ikinci katında yapılmıştır. Okul-2, Konak ilçesi Güzelyalı semtinde İzmir'in önemli iki ana bulvarı arasında konumlanmıştır. Okul tümü biribiriyle bağlantılı 4 ve 5 katlı üç binadan oluşmuştur. Örnekleme, anasınıfı ve dersliklerin bulunduğu B-Blok'un ikinci katında yapılmıştır. Bu katta beş derslik ve tuvaletler bulunmaktadır. Okul-3, Urla ilçesinde otoyol bağlantılarına yakın konumlanmış iki katlı bir yapıdır. İlk katta, yönetim ofisleri, derslikler ve anasınıfı; ikinci katta ise sadece derslikler bulunmaktadır. Örnekleme birinci kattaki bir sınıfta yapılmıştır.

Özetle, Okul-1 ve -2'nin metropolde trafiğin yoğun olduğu konumları, yapım tarihleri ve kapalı kullanım alanları gibi ortak bazı özellikleri vardır. Okul-3 ise banliyöde bulunması, ve göreceli yeni bir bina olması sebebiyle farklılık göstermektedir. Nüfus yoğunluğu açısından Okul-2 (0,68 kişi/m<sup>2</sup>), Okul-1 ve -3'e göre (0,55 ve 0,62 kişi/m<sup>2</sup>) daha kalabalıktır. Okul-1 ve -3'te örnekleme yapılan sınıflarda öğrenci sayısı 35-40 iken Okul-2'de bu sayı 25-30 arasında kalmıştır.

Örnekleme stratejisi olarak her okulda üç mikro-çevrede örnekleme yapılmıştır: bir derslik, anasınıfı ve açık hava oyun bahçesi (dış hava). Bunlardan derslik ana örnekleme noktasıdır, dolayısıyla her kampanyada dokuz örnek toplanmıştır. Örnekleme güz, kış ve bahar mevsimlerinde hafta içi günlerde 11 – 4 saatleri arasında yapılmıştır. Yan örnekleme noktaları olan diğer iki mikro-çevrede her kampanyada üçer örnek toplanmıştır. Ancak, UOB için son örnekleme kampanyası olan güz mevsiminde örnek sayısı derslikler için altı, anasınıfı ve dış hava içinse ikişer örnek toplanabilmiştir.

Tablo 1. Bina Özellikleri

	<b>Okul 1</b>	<b>Okul 2</b>	<b>Okul 3</b>
Alan tanımlaması	Kentsel	Kentsel	Yarı-kentsel
Okuldaki bina sayısı	4	3	1
Binaların taban alanı (m <sup>2</sup> )	323, 323, 323, 322	930, 130, 350	1744
Toplam nüfus (kişi)	1086	1858	370
Isıtma sistemi	Kalorifer	Kalorifer	Kalorifer
Yakıt tipi	Kömür	Fuel oil	Fuel oil
Kazan dairesinin yeri	B blok zemin kat	A blok zemin kat	Zemin kat
Isıtma periyodu	Kasım - Mart	Kasım - Mart	Ekim - Mart
Binada geçmiş su hasarı	Yok	5 yıl önce	Yok
Binada geçmiş yangın hasarı	Yok	Yok	Yok
Bina-içi badana/boya	Her yıl	Her yıl	Her yıl
En son çatı yenilenmesi	7 yıl önce	3 yıl önce	Yok
Son 1 yılda alınan yeni eşyalar	Yok	250 sıra	Yok
Temizlik sıklığı	Her akşam	Her akşam	Her akşam
Temizlik tipi	Kuru süpürme	Kuru süpürme	Elektrik süpürgesi
	Islak silme	Islak silme	Islak silme
Kullanılan temizlik malzemeleri	Yüzey temizleyici	Klorak	Çamaşır suyu
	Krem yüzey temizleyici	Deterjan	Yüzey temizleyici
		Krem yüzey temizleyici	Kireç / pas sökücü
			Camsil
Pestisit uygulama	Yılda 1-2	Yılda 2-3	Yılda 1
Laboratuvarlar / Özel odalar	1 Fen bilgisi lab	1 Fen bilgisi lab	1 Fen bilgisi lab
	1 Bilgisayar lab	3 Bilgisayar lab	1 Bilgisayar lab
	1 Fotokopi odası	1 Fotokopi odası	1 Fotokopi odası
	1 Müzik odası	1 Müzik odası	
	2 Teknoloji tasarım	1 Teknoloji tasarım	1 Teknoloji tasarım
	1 Çok amaçlı salon	1 Konferans salonu	
	1 Resim odası		1 Resim odası
Kantinin yeri	Bahçe	A blok zemin kat	Bahçe
Motorlu araçlar için park yeri	Bina önünde	Bina önünde	Yok
Aydınlatma	Standart floresan	Standart floresan	Standart floresan

Tablo 2. Derslik Özellikleri

	Okul 1	Okul 2	Okul 3
Pencere alanı (m <sup>2</sup> )	4.8	4.6	3.4
Açılabilir pencere oranı	50%	50%	50%
Taban alanı (m <sup>2</sup> )	62	56	52
Sınıf mevcudu	34	38	32
Kişi başına alan (m <sup>2</sup> /kişi)	1.8	1.5	1.6
Yer döşemesi	Ceramik	Ceramik	Ceramik
Sıra malzemesi	MDF	MDF	MDF
Perde	Doğal kumaş	Doğal kumaş	Sentetik kumaş
Yazı tahtası	Kara tahta	Kara tahta	Beyaz tahta
Havalandırma tipi	Doğal	Doğal	Doğal
Soğutma	–	Split klima	–
Duvar boyası	Plastik boya	Plastik boya	Plastik boya
Oda spreyi	Hayır	Evet	Hayır
Temizlik sıklığı	Günde bir	Günde bir	Günde bir
Temizlik çeşidi	Islak paspas	Islak paspas	Elektrik süpürgesi – ıslak paspas
Elektronik cihazlar	TV	Bilgisayar, TV	Bilgisayar, TV

## 2.2 Uçucu Organik Bileşikler

### 2.2.1 Örneklemeye

UOB ve formaldehit analizi için sırasıyla EPA TO-17 (USEPA, 1999a) ve TO-11 (USEPA, 1999b) metodları uygulanmıştır. UOB örneklemede içinde 100 mg sorbent olan çelik Tenax TA termal desorpsiyon tüpleri kullanılmıştır (SKC 226-340). Formaldehit içinse tek kullanımlık, üç kısımlı toplan 450 mg DNPH kaplı silika jel ve atmosferik ozon girişimini engellemek üzere ozon yıkayıcı olarak 1500 mg potasyum iyodad bulunan tüpler (SKC 226-120) kullanılmıştır. Örneklemeye hava debisi formaldehit için 1300 ml/min, UOB için de 66.7 ml/min olarak uygulanmıştır. Bu debiler ile 1 saatlik örnekleme ile formaldehit ve UOB için toplanan hava hacmi sırasıyla 80 ve 4 litre ( $\pm 10\%$ ) olmuştur.

Çocukların nefes alıp-verdikleri yükseklik olması sebebiyle 1,0 ilâ 1,5 metre arası en uygun örnekleme seviyesi olarak belirlenmiş ancak çocukların aşırı ilgisinden koruyabilmek için 2,0 m yükseklikte yapılabilmektedir. Her örnek öncesinde örnekleyici pompaları bir debi kontrolörü (Defender 510, Bios International Corp.) kullanılarak kalibre edilmiştir. Pompalar, örnekleme sırasında oluşan basınç kaybını otomatik olarak telafi eden cihazlar olmasına rağmen her örnek sonunda debi tekrar ölçülmüş ve aradaki farkın belirlenmiş olan %10'luk seviyeden küçük olduğu teyit edilmiştir.

Termal desorpsiyon tüpleri, ilk kullanım öncesi 350°C'de 30 dk boyunca 50 ml/dk saf helyum taşıyıcı gazı ile şartlandırılmıştır. 300°C'de "purge" süresi 1 dk, desorb süresi 3 dk olarak uygulanmıştır. DNPH tüpleri tek kullanımlık olduklarından ön şartlandırma gerektirmemiştir. Tenax TA tüpleri şartlandırma sonrası tüp ağızları Swagelok® eklentileri kullanılarak teflon ferrulerle kapatılmıştır. DNPH silika jel ve şartlandırılmış Tenax TA tüpleri güneş ışığından korumak üzere sahaya alüminyum folyoya sarılı halde 4°C'de buzluklarda taşınmıştır. Tüpler sahada örnekleme kadar portatif bir buzdolabında saklanmıştır, örnekleme sonrasında da laboratuvarda buzdolabında saklanmıştır. Metotlara göre analize kadar geçen sürenin 2 haftayı aşmaması gerekirken, bu projede bekleme süresi Tenax TA tüpleri için 2 günü, DNPH tüpleri için de ekstraksiyona kadar iki haftayı aşmamıştır. Ekstraksiyon sonrası formaldehit örnekleri en geç iki hafta içinde analiz edilmiştir.

## 2.2.2 Analitik

### 2.2.2.1 Uçucu Organik Bileşikler

Tenax TA tüpleri, bir gaz kromatograf (GC) (Agilent 6890N) ve kütle spektroskopisi (MS) (Agilent 5973Nms) sisteminin enjektör/septum alanı üzerinde oturan bir kısa-yol termal desorpsiyon/cryofocusing sistemi (Unity Markes International Limited) ile analiz edilmiştir. Termal desorpsiyon için cihaz şartları şöyledir: dry purge süresi: 1 min, enjeksiyon süresi: 1 dk, desorpsiyon sıcaklığı: 250 °C, desorpsiyon süresi: 3 dk, cryo-trap sıcaklığı: -10 °C, cryo-heat sıcaklığı: 300 °C, cryo-heat süresi: 3 dk. GC'de bir HP-VOC (60 m.×320 µm.×1.80 µm) kolonu kullanılmıştır. GC-MS, SIM modunda çalıştırılmış ve hedef bileşikler için parametreleri optimize edilmiştir: Taşıyıcı gaz: helyum 1.1 ml/dk, giriş sıcaklığı: 240°C, enjeksiyon modu: splitless, fırın ilk sıcaklığı: 40 °C, fırın ilk durak: 10 dk, fırın rampa hızı-1: 25 °C/dk, fırın ilk rampa son sıcaklığı-1: 160 °C, fırın rampa hızı -2: 10 °C/dk, fırın ilk rampa son sıcaklığı -2: 220 °C, post sıcaklık: 250 °C, post süresi: 3 dk. Bir örnek analizi için geçen toplam süre 24,8 dk olarak gerçekleşmiştir. Bileşikler takip eden üç faktör dikkate alınarak tanımlanmıştır: hedef "target" iyonlar, "qualifier" iyonlar ve bekleme süreleri. Verilerin alınıp nicelleştirilmesinde Chemstation bilgisayar programı kullanılmıştır.

### 2.2.2.2 Formaldehit

Örneklerin ekstraksiyonunda solvent olarak 6 ml %99,9 saflıkta acetonitril (Merck) kullanılmıştır. Acetonitril, tüpten gaz kaçırmaz paslanmaz çelik enjektör (Agilent Gas Tight Luer Lock Valve 5183-4552 ve 4451) kullanılarak geçirilmiştir. Geçirilen solventin 3 mililitresi, 4-ml vialde (National Scientific, Screw Caps with PTFE Septa, C4015-1) toplanmıştır. Ekstaksiyon sırasında kontaminasyonun en muhtemel olduğu bu işlem öncesinde, tüm cam malzeme acetonitrile ile yıkanmış ve 60°C vacumlu fırında en az 30 dk kurutulmuştur. Vialler HPLC analizine kadar 4°C buzdolabında saklanmıştır. HPLC sisteminin (Agilent 1100) çalışma koşulları şöyleydi: Kolon: Zorbax ODS (4.6-mm×25-cm×5 um, GL Sciences), Mobil Faz: %60 acetonitrile/%40 su, isocratic, Dedektör: Ultraviyole, 360 nm, Debi: 1.0 mL/dk, Bekleme süresi: 7,8-8,2 dk (sıcaklığa bağlı olarak), Örnek enjeksiyon hacmi: 20 µL.

### 2.2.2.3 Kalite Kontrol / Kalite Güvence

Kalibrasyon için 60 bileşik içeren bir standart çözelti (LGC Promochem U-DWM-580) satın alınmıştı, ancak sistem 51 bileşik için optimize edilebilmiştir. Kalibrasyon beş noktalı (0.2, 2, 10, 20 ve 40 µg/ml) yapılmıştır. Tüm bileşikler için kalibrasyon eğrisi doğrusal regresyon uyumu yeterliydi ( $R^2 > 0.99$ ). DNPH – formaldehit derivatif sıvı standartları (LGC Promochem CERERF-004S) satın alınmış ve yedi noktalı (0.05, 0.1, 0.2, 0.5, 1, 2 ve 5 µg/ml) bir kalibrasyon yapılmıştır. Her standart noktası üç defa okutulup alanlar enjekte edilen kütle derişimine karşı tablolandı. Kalibrasyon eğrisinin doğrusallığı yeterliydi ( $R^2 > 0.99$ ). Örnekleme ve analiz aşamalarında oluşabilecek kontaminasyonun seviyesini belirlemek için toplam örnek sayısının en az %10'u kadar sayıda kör alan örneği toplandı. Analizi yapılan 51 bileşik içinde 21 adedi kör alan numunelerinde tespit edildi. Formaldehit hariç (10,75%) tüm bileşikler için ortalama kör derişimi ortalama örnek düzeyinin %8'inden daha düşük bir düzeydeydi. Tespit sınırı iki yöntemle hesaplandı: "Limit of Detection (LOD)" ve "Method Detection Limit (MDL)". LOD, beş kör alan numunesinin analizi, MDL ise düşük derişimli bir örneğin 7 tekrarlı analizi yapılarak belirlendi. Üç örnekleme sırasında örnek tüpünün arkasında tıpatıp aynı bir tüp (yedek) daha yerleştirilerek "breakthrough" hacmi analizi yapılarak örnekleme hacminin yeterliliği test edildi. Yedek tüpte belirlenen tüm bileşik miktarları örnek tüpündeki miktarların %5'inden daha küçük kalmıştır. Üç örnekleme de tıpatıp aynı iki tüp paralel kullanılarak "duplicate precision" belirlenmiştir.



Tablo 3. Kalite Güvence / Kalite Kontrol Sonuçları

Bileşik	LOD* ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	MDL ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Paralel Çift Örnekleme (%)	Seri Çift Örnekleme**
kloroform	0.17	0.016	20.6	ND
1,1,1-trikloroetan	–	0.004	10.5	ND
1,2-dikloroetan	–	0.022	3.3	ND
1,1-dikloropropene	–	0.062	7.8	ND
karbondetraklorit	–	0.106	5.5	ND
benzene	1.11	0.097	13.3	0.3
trikloroeten	0.01	0.050	8.7	ND
1,2-dikloropropane	–	0.012	12.6	ND
dibromometan	–	0.041	17.8	ND
bromodiklorometan	–	0.019	8.3	ND
cis-1,3-dikloropropene	–	0.031	4.9	ND
trans-1,3-dikloropropene	–	0.029	5.3	ND
toluen	3.07	0.020	16.4	1.8
1,3-dikloropropane	–	0.014	13.6	ND
dibromoklorometan	–	0.018	9.8	ND
tetrakloroeten	–	0.038	7.1	ND
1,2-dibromoetan	–	0.029	6.8	ND
klorobenzene	0.03	0.026	10.5	ND
1,1,1,2-tetrakloroetan	–	0.012	11.2	ND
etilbenzene	0.07	0.018	9.2	3.3
p-m-ksilen	0.12	0.028	5.9	3.6
stiren	0.34	0.016	1.3	2.9
o-ksilen	0.26	0.018	9.5	ND
bromoform	–	0.010	1.3	ND
1,1,2,2-tetrakloroetan	–	0.014	3.7	ND
isopropylbenzene	–	0.015	6.5	ND
1,2,3-trikloropropane	–	0.008	9.8	ND
bromobenzene	–	0.022	9.5	ND
n-propylbenzene	0.03	0.019	1.1	ND
2-klorotoluen	–	0.019	3.9	ND
4-klorotoluen	–	0.023	7.4	ND
1,3,5-trimetilbenzene	0.02	0.019	1.3	ND
tert-butylbenzene	–	0.012	1.2	ND
1,2,4-trimetilbenzene	0.02	0.022	10.5	ND
sec-butylbenzene	0.01	0.014	4.8	ND
4-isopropyltoluen	0.05	0.016	15.4	ND
1,4-diklorobenzene	0.01	0.022	1.4	ND
1,3-diklorobenzene	0.09	0.014	1.2	3.6
n-butylbenzene	0.05	0.012	1.9	ND
1,2-diklorobenzene	–	0.015	-	ND
dibromokloropropane	–	0.009	8.7	ND
1,2,4-triklorobenzene	0.02	0.018	7.5	ND
naftalin	0.09	0.008	2.9	2.7
hexaklorobutadiene	–	0.012	12.2	ND
1,2,3-triklorobenzene	0.02	0.014	20.4	ND
formaldehit	0.007	0.117	6.8	ND

\*–: Alan kör örneklerinde tespit edilemediği için hesaplanamadı

\*\*Ön ve arka tüpler arasındaki yüzde fark, ND: arka tüpte yada her iki tüpte tespit edilemedi

Paralel tüpler arasındaki farklar tüm bileşikler için %25'ten daha düşük kalmıştır. Hesaplanan LOD ve MDL tespit sınırı değerleri, paralel örnekleme ve ana-yedek tüplü örnekleme sonuçları Tablo 3'te sunulmuştur. Örnekleme pompalarının performansı hem her örnekleme başında hem de her örnekleme sonunda çekilen hava debisi ölçümü yapılarak sürekli kontrol edilmiştir. İlk ve son debiler arasındaki fark hiç bir zaman %10'u geçmemiştir.

## **2.3 Partikül Madde**

### **2.3.1 Örnekleme**

İki farklı tip partikül madde derişimi (dane sayısı ve kütle) belirlenmiştir. Dane sayısı derişimi için CliMet CI-450 lazer optik uçuşan partikül sayacı kullanılmıştır. Bu cihaz dört boyut aralığında ( $>5 \mu\text{m}$ ,  $1,0-5,0 \mu\text{m}$ ,  $0,5-1,0 \mu\text{m}$  ve  $0,3-0,5 \mu\text{m}$ ) sayım yapabilmektedir. Cihaz, ışık saçınımı prensibi ile çalışmaktadır ve ışık kaynağı olarak bir lazer diyot (50 mW) ve katı-faz foto dedektöre odaklanmış eliptik aynadan oluşmaktadır. Dedektör ışık enerjisini elektrik akımına çevirmektedir. Cihazda her sayım için 5 litre hava hacmi kullanılmıştır. Her örnek için sayım işlemi üç defa tekrarlanmış ve her bir boyut aralığı için ortalama değerler hesaplanmıştır. Partikül kütle derişimi içinse bir Sioutas impaktör kullanılmıştır. Bu impaktör ile 9 litre/dak debi ile beş ayrı katmana yerleştirilen filtreler üzerine  $<0,25 \mu\text{m}$ ,  $0,5-0,25 \mu\text{m}$ ,  $1,0-0,5 \mu\text{m}$ ,  $2,5-1,0 \mu\text{m}$  ve  $>2,5 \mu\text{m}$  boyut aralıklarında partiküller toplanabilmektedir. Elementel analiz yapabilmek üzere 25-mm,  $0,5 \mu\text{m}$  nominal pore diameter PTFE membrane filtreler (SKC Cat. No. 225-1708) kullanılmıştır. Ekstraksiyon işleminde kullanılacak falkon, mikrodalga ve HDPE şişeleri sırasıyla çeşme ve ultra-pure deiyonize su (MilliQ Elix-5) ile yıkandıktan sonra %20'lik nitrik asit çözeltisinde en az 2 saat bekletilmiştir. Daha sonra tekrar deiyonize su ile yıkanmış ve kapakları kapatılarak kullanımlarına kadar depolanmadan önce ters konumda kurutulmuşlardır. Filtreler mikrodalga bombalarının içine yerleştirildikten sonra üzerine 8 ml %70'lik ultra-pure nitrik asit eklenmiştir. Örnekler mikrodalgada 15 dakikada 180 psi basınca çıkartılmış, bu basınçta 15 dakika bekletilmiş ve 5 dakika soğutma periyodunun ardından ekstraksiyon işlemi tamamlanmıştır. Örnekler, ICP-MS analizine kadar karanlık ve serin bir yerde bekletilmiştir.

### 2.3.2 Analitik

Mikrodalgada asit ekstraksiyonu ile elde edilen ekstraktlar ICP-MS (Agilent 7500ce series) cihazında element içerikleri için analiz edilmiştir. Her element için beş noktalı bir kalibrasyon uygulanmıştır. Kalibrasyon doğrusunun  $R^2$  değeri ancak  $>0.99$  ise kabul edilmiştir, değilse kalibrasyon tekrarlanmıştır. ICP-MS cihazının işletim şartları Tablo 4’te sunulmuştur. Cihazda okumalar iki tekrarlı olarak alınmıştır.

Tablo 4. ICP-MS İşletim Şartları

Parametreler	
Kalibrasyon tipi	Eksternal Kalibrasyon
İntegrasyon süresi	0,1 sn
Örnekleme süresi	0,31 sn
Edinme süresi	22.76 sn
<b>Plazma Şartları</b>	
RF Gücü	1550 W
RF Eşleştirme	1.78 V
Taşıyıcı gaz debisi	0.9 L/dk
Bütünleyici gaz debisi	0.18 L/dk
Nebulizer pompası	0.12 rps
He gaz debisi	4 mL/dk
H <sub>2</sub> gaz debisi	4 mL/dk

### 2.3.3 Kalite Kontrol / Kalite Güvence

Filtre alan kör numuneleri (n=5) toplandı ve birer örnek gibi ekstraksiyon ve analiz süreçlerinden geçirildi. Herbir element için ortalama alan kör düzeyi hesaplandı ve tüm örnek derişimleri, kör değeri çıkarılmak suretiyle örnek işlemleri sırasında oluşan kontaminasyon etkisi için düzeltildi. Rapor edilen tüm derişimler alan körü düzeltilmiş değerlerdir. İlaveten, düşük seviyeli bir örneğin 7 defa analiz edilmesi suretiyle Metod Tespit Sınırı (Method Detection Limit) düzeyleri her bir element için belirlenmiştir. Bu değerlerin altında kalan alan körü düzeltilmiş derişimler Tespit Sınırının Altında şeklinde bildirilmiştir. Ayrıca, ekstraksiyon sürecinin verimliliğini belirlemek üzere Standart Referans Malzeme, SRM (NIST-2583) mikrodalga ekstraksiyon sürecinden geçirilerek analizi yapılmış ve sertifikalı derişimleri ile karşılaştırılarak analitik geri kazanım oranları hesaplanmıştır. SRM, bina-içi

tozda As, Cd, Cr ve Pb içermektedir. Elde edilen geri kazanım düzeyleri ve Metod Tespit Sınırı değerleri Tablo 5'te sunulmuştur.

Tablo 5. Metod Verimliliği ve Metod Tespit Sınırı Değerleri

	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Mg	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
Metod Tespit Sınırı (ppb)	0,23	0,05	0,002	0,006	0,02	0,007	0,17	0,30	0,008	0,02	0,01	0,40
Geri Kazanım Oranı (%)	-	85	66	-	67	-		-	-	-	73	-

## 2.4 Yarı Uçucu Organik Bileşikler

### 2.4.1 Poliklorlu Bifeniller

Programlanabilir ve akış kontrollü bir pompa ünitesi (Air Diagnostics and Engineering Inc., SP-280) ile 10 L/dakika akış hızı ile 8 saatlik örnekler toplanmıştır. Poliüretan köpük (PUF) kartuşları (SKC, çapı: 22 mm; 100 mm uzunluk) cam silindirlere içine yerleştirilerek gaz örnekleme için kullanılmıştır. Örnekleme öncesinde pompanın Defender 510-H (Bios International Corp) akış ölçer kullanılarak kalibrasyonu yapılmıştır. Örnekleme tamamlandıktan sonra akış hızı tekrar ölçülerek basınç düşüşü kontrol edilmiş ve ortalama akış hızı her bir örnekleme için hesaplanmıştır. Bina-içi hava örnekleme için: Okul-1 anasınıfında kış, Okul-2 derslikte ve anasınıfında kış, ilkbahar ve Okul-3 kış için derslik ve anasınıfı örnekleme programı geçerlilik kazanmıştır.

Bütün temizleme, ekstrakt etme ve fraksiyonlara ayırma işlemlerinde yüksek saflıkta çözenler ve iz miktarda organik ve kimyasaldan arıtılmış Milli-Q (Millipore Elix 5) su kullanılmıştır. Bütün cam malzemeler sıcak su ve Alconox laboratuvar deterjanı (Alconox) ile yıkandıktan sonra aseton ve hekzan (Merck, Suprasolve) ile yıkanmış 110°C'lik bir fırında 4 saat kurutulmuştur. PUF kartuşları, sokslet ekstraksiyonu ile seri halinde kullanılan çözen ile ekstrakt edilerek temizlenmiştir. Önce diklorometan sonra ise aseton–hekzan karışımı ile 8 saat ekstrakte edilmiştir. Ekstraksiyon işleminden sonra kartuşlar alüminyum folyolara sarılıp 60°C fırında 3 saat kurutulduktan sonra cam silindirlere yerleştirilerek folyolara sarılıp teflon kapaklı kavanozlarda kullanım zamanına kadar saklanmışlardır.

Kolon temizleme işleminde kullanılan cam yünü (Supelco) ve susuz sodyum sülfat (Fluka) 450°C kül fırınında herhangi bir organik kontaminasyondan kurtulmak için 1 gece bekletilmiştir. Silisik asitin (Sigma), 100 °C'de kurutmak suretiyle nemi giderilmiştir. Alumina (Merck) ise 450°C'de 3 saatlik bir bekletme ile nem ve organik kalıntılardan arındırılmıştır. Daha sonra malzemeler bir desikatörde saklanmıştır.

Temizlenerek hazırlanmış kartuşlar örnekleme alanlarına hava girmesi mümkün olmayacak şekilde taşınıp örnekleme sonrasında yine folyoyla sarılarak bu kavanozlarda buzluk içinde getirilip laboratuvarda ektarksiyona kadar -20 °C de bekletilmiştir. PUF kartuşları aseton-hekzan ile (1:1 oranında) 1 saatlik ultrasonik ekstraksiyon işlemine tabi tutulmuştur. Ekstraksiyon işleminin başında doğada bulunmayan ve metodun geri kazanım oranını tespit edebilmek için kullanılan PCB-14, -65, ve -166 (Dr. Ehrenstorfer GmbH) içeren 25 ng/µL karışım eklenmiştir. Ekstraksiyondan sonra hacim azaltmak için ekstrakt yüzeyine hafifçe azot gazı verilerek ekstrakt hacmi 40 mL'den ~5 mL'ye düşürülmüş, daha sonra ekstrakt çözgeni hekzana dönüştürülmüş ve hacim ~2 mL'ye kadar azot ile uçurma işlemi ile düşürülmüştür.

Konsantre edilen örnekler girişim yapabilecek organikleri uzaklaştırmak ve örnek matrisini zenginleştirmek ve fraksiyonlarına ayırmak üzere alumina ve silisik asit kolonundan geçirilmiştir. Bu işlem için hazırlanan kolonlar 3 gram silisik aside %4.5 ultra saf su eklenerek, 2 gram aluminaya %6 ultra saf su ilave edilerek de-aktive edildikten sonra cam yünü üzerine cam bir kolonda sırasıyla konulup üzerine ise yaklaşık 1 cm yüksekliğe ulaşan bir miktarda susuz sodyum sülfat eklenerek hazırlanmıştır. Kolonun içindekiler, önce 20 mL diklorometan (DCM) arkasından 20 mL petroleum eter (PE) ile yıkanmıştır. Arkasından, örnek bu kolondan geçirilmiş ve üzerine 5 mL PE ilave edilmiştir. Eluent saniyede 2 damla toplanacak şekilde ayarlanıp bu kolonu geçtikten sonra 30 mL PE daha eklenip aynı şişeye örnek eluent toplanmıştır. Daha sonra bu örnekte hacim azaltması azot gazı verilerek yapılmış, çözgen ise tekrar hekzana değiştirilmiştir. Son hacim 1 mL kadar düşürülerek örnek Teflon kapaklı gaz kromatografi şişelerine alınarak analize kadar -20 °C depolanmıştır.

PCB'ler, Gaz Kromatografi (Thermo, Trace GC Ultra) cihazına bağlı MS (Thermo, DSQII) dedektörü olan bir sistem ile elektron iyonizasyon (EI) modu kullanılarak analizlenmiştir.

Örnekler (5 µL) sıcaklık programlı buharlaştırıcı (PTV) enjeksiyon portunda bir defada enjekte edilmiştir. Analiz HP5-MS kapiler kolonda (Agilent, 30m x 0.25 mm x 0.25 µm) 1.5 mL/dakika sabit akış hızında yapılmıştır. Fırın 50°C'de 1 dakika bekletme ile başlayarak, 200°C sıcaklığa 20°C/dakika sıcaklık artış hızında ve daha sonra ise 8°C/dakika bir eğimle 300°C'ye çıkartılmıştır. Enjeksiyon bloğunun sıcaklığı 100°C, MS transfer hattı ise 300°C'de tutulmuştur. Seçici iyon izleme (SIM) programı uygulanarak cihazın bu maddeler için duyarlılığı artırılmıştır. Kullanılan standart çözelti 28 PCB izomerini içeren WHO/NIST/NOAA Congener List (Accustandard, C-WNN) ismiyle nitelendirilen bir standarttır.

#### 2.4.1.1 Kalite Kontrol / Kalite Güvence

GC-MS sisteminin doğru ve kesin sonuçlar üretmesi için sürekli bir kalibrasyon kontrolü, alan örnekleri ve laboratuvar kontrol örnekleri rutin olarak analizlendi. Standard PCB çözeltisi, hekzan çözgeni ile 0.5, 1, 5, 10, 25 ve 50 ppb derişimlerinde hazırlanarak kalibrasyon eğrileri oluşturuldu. Laboratuvar kontrol örnekleri laboratuvarında çözgenden gelecek herhangi bir kontaminasyonu ölçmek için kullanılırken alan örnekleri, taşıma ve alanda örnekleme hazırlıkları sırasındaki kontaminasyonu belirlemek için kullanıldı. Hiç bir PCB izomeri (congener) bu kontrol örneklerinde belirlenmedi. Tüm örnek derişimleri, ortalama alan örnekleri düzeyinin ham değerlerden çıkarılmasını takiben kalan miktarın derişime dönüştürülmesi sonucu hesaplandı. Bütün bu analizlerin başından itibaren metod kayıplarını ölçmek üzere kullanılan ve doğada bulunmayan bir PCB karışımı ekstraksiyon sırasında örneğe eklenerek örnek hazırlama aşamaları sonucunda analitik geri kazanım değerleri raporlandı. Geri kazanım değerleri, PCB 14 için %94 ± 9 (ortalama ± standard sapma), PCB 65 için %86 ± 6, ve PCB 166 için ise %96 ± 4 olarak bulundu. İki paralel örnekte ise fark (n=10) %0.8 ± 2.26 olarak gerçekleşti.

#### 2.4.2 Polibromlu Difenil Eterler

PBDE'ler için uygulanan tüm örnek toplama, ekstrakt etme, fraksiyonlara ayırma ve konsantre etme işlemleri PCB'ler için uygulanan yöntemlerle aynı şekilde yapılmıştır. PBDE'ler, Gaz Kromatografi (Thermo, Trace GC Ultra) cihazına bağlı MS (Thermo, DSQII) dedektörü olan bir sistem ile negatif kimyasal iyonizasyon (NCI) modu kullanılarak analizlenmiştir. Örnekler (5 µL) sıcaklık programlı buharlaştırıcı (PTV) enjeksiyon portunda bir defada enjekte edilmiştir. Analiz HP5-MS kapiler kolonda (Agilent, 30m x 0.25 mm x 0.25 µm) 1.8 mL/dakika sabit akış

hızında yapılmıştır. Fırın 90°C'de 1 dakika bekletme ile başlayarak 20°C/dakika sıcaklık artışıyla 250°C sıcaklığa çıkartılmış; daha sonra 5°C/dakika ile 280°C'ye çıkartılarak 5 dakika bekletilmiştir. Enjeksiyon portunun sıcaklığı PTV kullanılarak 100°C'den 280°C'ye kadar programlanmış, MS transfer hattı ise 280°C'de tutulmuştur. Metan akışı 0.8 mL/dakika'dır. Seçici iyon izleme (SIM) programı uygulanarak cihazın bu maddeler için duyarlılığı artırılmıştır. Kullanılan standart çözelti 7 PBDE izomerini içeren PBDE Congeners common to California Environment (Accustandard, BDE-CAE-1) ismiyle nitelendirilen bir standarttır.

#### 2.4.2.1 Kalite Kontrol / Kalite Güvence

GC-MS sisteminin doğru ve kesin sonuçlar üretmesi için günlük kalibrasyonlar ile alan örnekleri ve laboratuvar kontrol örneklerinin rutin analizleri yapıldı. Standard PBDE çözeltisi, hekzan çözücü ile 0.5, 1, 5, 10 ve 25 ppb derişimlerinde hazırlanarak kalibrasyon eğrileri oluşturuldu. Laboratuvar kontrol örnekleri laboratuvarında çözücünden gelecek herhangi bir kontaminasyonu ölçmek için kullanılırken alan örnekleri, taşıma ve alanda örnekleme hazırlıkları sırasındaki kontaminasyonu belirlemek için kullanıldı. Tüm örnek derişimleri, ortalama alan örnekleri düzeyinin ham değerlerden çıkarılmasını takiben kalan miktarın derişime dönüştürülmesi sonucu hesaplandı. Bütün bu analizlerin başından itibaren metod kayıplarını ölçmek üzere kullanılan ve doğada bulunmayan bir PBDE izomeri ekstraksiyon sırasında örneğe eklenerek örnek hazırlama aşamaları sonucunda analitik geri kazanım değerleri raporlandı. Geri kazanım değeri, BDE 77 için %98.1 ± 1.9 (ortalama ± standard sapma) olarak bulundu.

#### 2.4.3 Sentetik Koku Bileşikleri

Çalışmada ultra saflıkta kimyasal içermeyen MiliQ (Milipore Elix-5) su analitik prosedür aşamalarının hepsinde kullanılmıştır. Kullanılan çözücülere gelince, gaz kromatografi analizlerinde kullanmaya göre sınıflandırılmış etil asetat, aseton ve hekzan (Merck, Suprasolve) ekstraksiyon ve diğer aşamalarda kullanılmıştır. Polyüretan köpük kartuşlar (PUF) ekstrakte edilerek örnek alımından önce temizlenmiş ve daha sonra alüminyum folyolara sarılarak Teflon kapaklı kavanozlarda kullanım zamanına kadar saklanmıştır. Partikül için kullanılan filtreler (GFF) (Pall, Type A/E, Ø 37 mm, gözenek 1 µm) 450°C fırında bekletilerek herhangi girişim yapabilecek diğer organiklerden arındırılmıştır.

10 tane gündüz çalışma saatlerini kapsayan gaz ve partikül faz örneği (PM<sub>2.5</sub>) Harvard impactor ve ona bağlı gaz fazın toplanacağı PUF kartuşunu içeren bir sistemle toplanmıştır. Hacim olarak günlük yaklaşık 4.8 m<sup>3</sup> hava örneği toplanmıştır.

Örneklerde partikül ve gaz faz olmak üzere ayrı ayrı geri kazanım oranını belirlemek için yardımcı standart, ekstraksiyonun başında enjekte edilerek aseton ve hekzan karışımı ile ultrasonic ekstraksiyona tabi tutulup florosil içeren kolondan geçirilmiş ve sonra nitrojen gazı ile konsantre edilip hacmi 1 mL'ye indirilmiştir. Analiz zamanına kadar buzlukta tutulup daha sonra bir gaz kromatograf (Thermo, Trace GC Ultra) kütle dedektörü (Thermo DSQII) ile elektron etkisiyle iyonlaşma bağlantılı seçici iyon izleme (SIM) modunda analizlenmiştir (Kıymet, 2009).

## **2.5 Anket Uygulaması**

Bina-içi hava kalitesi algıları ve gözlemlenen sağlık semptomlarının yaygınlığının anlaşılmasına yönelik sorular içeren anketler, 2008 yılında seçilen bölgelerdeki ilkokullarda öğrencilerin aileleri aracılığıyla doldurulmuştur. Seçilen okulların tümü kış aylarında kaloriferle ısıtılmakta, her yıl badana/boya ve haşerelere karşı pestisit uygulaması yapılmaktadır. Sınıfların temizlik sıklığı ve kullanılan temizlik malzemeleri tüm okullar için benzer olmakla birlikte sadece Okul 3'te elektrik süpürgesi kullanılmaktadır.

Üç okulda toplam 15 sınıf seçilmiş olup bu sınıfların tamamında havalandırma doğal yollarla sağlanmaktadır. Sınıfların çoğunda, soğutma sistemi olarak klima tertibatı bulunmakta ve açılabilir pencere oranı sınıflardaki mevcut pencerelerin % 50'sini oluşturmaktadır.

Tamamına yakınının zemin malzemesi mozaik taş olan sınıflarda genel olarak MDF sıralar tercih edilmiştir. Bunların yanı sıra, sınıfların yarısına yakınında beyaz tahta kullanılmaktadır. Ayrıca, tamamı yağlı boya ile boyanmış olan sınıfların hiçbirinde oda parfümü kullanılmamaktadır.

Çalışmanın amacı doğrultusunda hazırlanan anketler, seçilen sınıflardaki toplam 356 ilkokul öğrencisinin velilerine sınıf öğretmenleri vasıtasıyla doldurtulmuştur. Velilerin çocukları ile



ilgili olarak doldurdıkları anketlerde, son 4 hafta içerisinde okuldaki havayı tanımlayan ve bina-içi hava kalitesiyle ilişkili sağlık semptomlarının gözlenme sıklıkları ve bu semptomların kaynaklarını konu alan sorular bulunmaktadır. Ankette, çocukların okul içindeki havayı ne şekilde değerlendirdikleri sorulmuş ve “çok sıcak”, “çok soğuk”, “çok nemli”, “çok kuru”, “fazla cereyanlı” ve “havasız” tanımlamalarından bir veya birkaçının işaretlenmesi istenmiştir. Ayrıca, çocukların okul içindeki hava için “koku”, “aşırı toz” ve “aşırı nem” gibi durumlardan birini/birkaçını belirtip belirtmedikleri sorulmuştur. Sonrasında bina-içi hava kalitesiyle ilişkilendirilebilecek sağlık semptomları verilmiş olup; son 4 hafta içinde “her gün”, “4-12 gün”, “1-3 gün” ve “görülmedi” seçenekleri yardımıyla semptomların gözlenme sıklıkları tespit edilmiştir. Semptomların nedenleri ile ilgili sorular yardımıyla da ailelerin bu semptomlara neleri kaynak olarak gösterdikleri, okuldaki hava kalitesi ile ne ölçüde ilişkilendirdikleri ve bu semptomların çocukların başarısı üzerine etkileri incelenmiştir. Bunların yanı sıra, çocukların mevcut sağlık problemlerini belirleme amaçlı sorular da ankette bulunmaktadır. Ayrıca, benzer içerikli öğretmen anketleri de okullardaki toplam 10 öğretmen tarafından cevaplanmıştır.

## **2.6 Sağlık ve Risk Değerlendirmesi**

Koku alma, duyuşal tahriş ve kronik-toksik etkiler için Hodgson ve Levin (2003) tarafından geliştirilen yöntem kullanılarak UOB için bir sağlık değerlendirmesi yapılmıştır. Böylece, sağlık etkileri bazlı bir UOB sınıflandırması yapılabilmektedir. Ek olarak, Monte-Carlo simulasyon tekniği kullanılarak risk faktörleri USEPA tarafından Integrated Risk Information Database (IRIS)'de yayınlanmış olan kirleticiler için bir risk değerlendirmesi yapılmıştır. Günlük solunum yoluyla maruziyet aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır.

$$CDI_i = \frac{C_i \times IR_i \times ED_i}{BW} \quad (1)$$

Eşitlikte,  $C$  kirletici derişimi ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ),  $IR$  solunum hızı ( $\text{m}^3/\text{sa}$ ),  $ED$  maruziyet süresi (sa),  $BW$  vücut ağırlığı (kg) ve  $CDI$  bir okul günü için günlük kronik dozu ( $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{gün}$ ) üç farklı mikro-çevre ( $i$ ): anasınıfı, derslik ve açık hava oyun bahçesi, için ifade etmektedir.  $IR$  ve  $BW$  ihtimal dağılımlarını oluşturmak için veriler literatürden toplanmıştır.  $BW$  dağılımı, Neyzi ve arkadaşlarının (2008) güncelledikleri Türk çocukları için yayınlanmış referans verilerden

(Neyzi vd., 1973) elde edilmiştir. Türk çocukları için yayınlamış veri elde edilemediği için Amerikalı çocuklar için USEPA tarafından beş değişik aktivite seviyesi için tavsiye edilen ortalama solunum hızı değerleri (USEPA, 1997a) kullanılarak oluşturulmuştur. Çalışmamıza konu üç mikro-çevrede çocukların geçirdikleri günlük süre derslik ve anasınıfı için 4 saat (altı 40 dakikalık ders), açık hava için de 1 saat (1 adet 20 dakikalık ve 4 adet 10 dakikalık teneffüs) olarak alınmıştır. Solunum yoluyla maruziyet sonucu oluşan kanser riski

$$R = \sum_{i=1}^l \frac{CDI_i \times SF}{AT} \quad (2)$$

eşitliği kullanılarak hesaplanmıştır. Burada,  $R$  fazladan kanser riski ihtimalini,  $SF$  kirletici risk faktörünü ( $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{d}$ )<sup>-1</sup>,  $AT$  ortalama süresini ve  $l$  üç farklı mikro-çevreyi temsil etmektedir. Risk hesabında kullanılacak maruziyet hesaplanırken  $ED$  anasınıfı için 1 yıl, derslik için 8 yıl ve ortalama süresi, standart ömür olan 70 yıl (25.500 gün) alınmıştır. Bir okul yılı 150 gün olarak kabul edilmiştir; ki bu durumda anasınıfı için  $ED=150$  gün, ilköğretim içinse  $ED=1.200$  gün değeri ile sonuçlanmaktadır.

Kronik-toksik etkiler için risk göstergesi olarak, aşağıda hesabı için kullanılan eşitlik verilen, Hazard Quotient (HQ) kullanılmıştır.

$$HQ = \frac{CDI}{RfD} \quad (3)$$

Eşitlikte,  $RfD$  referans doza ( $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{gün}$ ) karşılık gelmektedir.  $SF$  ve  $RfD$  değerleri, USEPA-IRIS veri tabanında (IRIS, 2009) yayınlanmış olan birim risk ve referans derişim değerlerinden, standart yetişkin solunum hızı ve ömrü olan  $20 \text{ m}^3/\text{gün}$  ve 70 yıl kullanılarak, geri doğru hesapla bulunmuştur. Bu yapılarak, risk hesabında sadece derişimlerin kullanılması yerine doz değişkenleri de eklenmiş olmaktadır. Monte-Carlo simülasyonunda kullanılan kirletici derişimi, solunum hızı ve vücut ağırlığı ihtimal dağılımları ve bunların parametre değerleri Tablo 6'da sunulmuştur.

## **2.7 İstatistiksel Yöntemler**

Bu projede kullanılan istatistiksel testler SPSS (v.10) yazılımı ile yapılmıştır. İki bağımsız örneğin aynı kitleden gelip-gelmediği (yani, ortanca değerleri arasındaki farkın anlamlı olup-olmadığı) Mann-Whitney U testi kullanılarak test edilmiştir. Tüm istatistiksel testlerde anlamlılık seviyesi  $p=0,05$  olarak uygulanmıştır. Risk modelinin simulasyonunda kullanılan Monte Carlo uygulaması Crystal Ball (v. 4.0e) ile yapılmıştır. Monte Carlo, matematiksel bir eşitliğin veya modelin çözümüne probabilistik yaklaşımın istatistiksel örnekleme tekniği ile elde edildiği bilgisayar tabanlı bir analiz yöntemidir (USEPA, 1997b). Simulasyonda kullanılan model değişkenlerine en iyi uyan ihtimal dağılımları yine simulasyon yazılımı ile bulunmuştur. Bu dağılımlar girdi değişkenler olarak kullanılıp, çıktı değişken olan risk göstergeleri de frekans veya ihtimal dağılımları olarak ifade edilmiştir. Bunu yapmak için her dağılımdan ihtimal dağılımını dikkate alan bir şekilde rastlantısal olarak her değişken için bir değer seçilmekte, çıktı değişkenin değeri hesaplanmakta ve bu işlem çok defa tekrarlanmaktadır. Temisliyeti yüksek olan bir risk ihtimal dağılımı oluşturabilmek için tekrar sayısı 10.000 olarak kullanılmıştır, yani 10.000 adet risk tahmini yapılarak, muhtemel değerler elde edilmiştir.

Tablo 6. Monte Carlo Simulasyonu Girdi Değişkenleri En İyi Uyan İhtimal Dağılımları

<b>SOLUNUM HIZI</b>	<b>Classroom</b>	<b>TOLUEN</b>	<b>Classroom</b>
Triangular Dağılım		Lognormal Dağılım	
Minimum	0.30	Mean	20.30
Likeliest	0.40	Standard Dev.	22.33
Maximum	1.00	<b>ISOPROPYLBENZENE</b>	<b>Derslik</b>
<b>SOLUNUM HIZI</b>	<b>Oyun Bahçesi</b>	Lognormal Dağılım	
Triangular Dağılım		Mean	0.08
Minimum	1.00	Standard Dev.	0.09
Likeliest	1.20	<b>BENZENE</b>	<b>Derslik</b>
Maximum	1.90	Lognormal Dağılım	
<b>SOLUNUM HIZI</b>	<b>Anasınıfı</b>	Mean	10.13
Triangular Dağılım		Standard Dev.	23.72
Minimum	0.30	<b>KLOROFORM</b>	<b>Derslik</b>
Likeliest	1.00	Lognormal Dağılım	
Maximum	1.20	Mean	0.78
<b>VÜCUT AĞIRLIĞI</b>	<b>Derslik</b>	Standard Dev.	1.08
Gamma Dağılım		<b>KARBONTETRAKLORIT</b>	<b>Derslik</b>
Location	16.34	Logistic Dağılım	
Scale	9.64	Mean	0.38
Shape	2.032	Scale	0.16
<b>VÜCUT AĞIRLIĞI</b>	<b>Oyun Bahçesi</b>	<b>BROMOFORM</b>	<b>Derslik</b>
Gamma Dağılım		Extreme Value Dağılım	
Location	15.07	Mode	0.02
Scale	10.14	Scale	0.02
Shape	1.875	<b>1,1,1-TRIKLOROETAN</b>	<b>Derslik</b>
<b>VÜCUT AĞIRLIĞI</b>	<b>Anasınıfı</b>	Logistic Dağılım	
Weibull Dağılım		Mean	0.04
Location	14.12	Scale	0.02
Scale	7.96	<b>BENZENE</b>	<b>Anasınıfı</b>
Shape	1.760	Lognormal Dağılım	
<b>ETILBENZENE</b>	<b>Derslik</b>	Mean	9.95
Lognormal Dağılım		Standard Dev.	13.03
Mean	1.00	<b>TOLUEN</b>	<b>Anasınıfı</b>
Standard Dev.	1.26	Lognormal Dağılım	
<b>P-M-KSILEN</b>	<b>Derslik</b>	Mean	37.76
Lognormal Dağılım		Standard Dev.	40.36
Mean	1.18	<b>ETILBENZENE</b>	<b>Anasınıfı</b>
Standard Dev.	1.31	Lognormal Dağılım	
<b>STIREN</b>	<b>Derslik</b>	Mean	1.83
Lognormal Dağılım		Standard Dev.	2.28
Mean	0.55	<b>HCHO</b>	<b>Anasınıfı</b>
Standard Dev.	0.32	Logistic Dağılım	
<b>O-KSILEN</b>	<b>Derslik</b>	Mean	84.66
Extreme Value Dağılım		Scale	13.87
Mode	0.50	<b>P-M-KSILEN</b>	<b>Anasınıfı</b>
Scale	0.33	Lognormal Dağılım	
<b>NAFTALIN</b>	<b>Derslik</b>	Mean	2.23
Gamma Dağılım		Standard Dev.	2.60
Location	0.00	<b>O-KSILEN</b>	<b>Anasınıfı</b>
Scale	1.36	Extreme Value Dağılım	
Shape	1.523	Mode	0.83

<b>HCHO</b>		<b>Derslik</b>	Scale	0.64	
Weibull Dağılım			<b>NAFTALIN</b>		<b>Anasınıfı</b>
Location	6.49		Lognormal Dağılım		
Scale	34.13		Mean	1.78	
Shape	1.646		Standard Dev.	1.29	
<b>STIREN</b>		<b>Anasınıfı</b>	<b>P-M-KSILEN</b>		<b>Oyun Bahçesi</b>
Normal Dağılım			Extreme Value Dağılım		
Mean	0.63		Mode	0.60	
Standard Dev.	0.29		Scale	0.46	
<b>ISOPROPYLBENZENE</b>		<b>Anasınıfı</b>	<b>STIREN</b>		<b>Oyun Bahçesi</b>
Lognormal Dağılım			Weibull Dağılım		
Mean	0.22		Location	0.06	
Standard Dev.	0.31		Scale	0.35	
<b>KLOROFORM</b>		<b>Anasınıfı</b>	Shape	1.250	
Extreme Value Dağılım			<b>O-KSILEN</b>		<b>Oyun Bahçesi</b>
Mode	0.30		Logistic Dağılım		
Scale	0.32		Mean	0.55	
<b>BROMOFORM</b>		<b>Anasınıfı</b>	Scale	0.20	
Extreme Value Dağılım			<b>NAFTALIN</b>		<b>Oyun Bahçesi</b>
Mode	0.02		Lognormal Dağılım		
Scale	0.02		Mean	0.59	
<b>KARBONTETRAKLORIT</b>		<b>Oyun Bahçesi</b>	Standard Dev.	0.64	
Lognormal Dağılım			<b>HCHO</b>		<b>Oyun Bahçesi</b>
Mean	0.63		Beta Dağılım		
Standard Dev.	0.55		Alpha	1.45	
<b>BENZENE</b>		<b>Oyun Bahçesi</b>	Beta	2.56	
Gamma Dağılım			Scale	16.43	
Location	0.69		<b>KLOROFORM</b>		<b>Oyun Bahçesi</b>
Scale	11.72		Lognormal Dağılım		
Shape	0.514		Mean	0.43	
<b>TOLUEN</b>		<b>Oyun Bahçesi</b>	Standard Dev.	0.73	
Lognormal Dağılım			<b>ISOPROPYLBENZENE</b>		<b>Oyun Bahçesi</b>
Mean	12.69		Extreme Value Dağılım		
Standard Dev.	15.77		Mode	0.03	
<b>ETILBENZENE</b>		<b>Oyun Bahçesi</b>	Scale	0.02	
Lognormal Dağılım			<b>BROMOFORM</b>		<b>Oyun Bahçesi</b>
Mean	0.72		Weibull Dağılım		
Standard Dev.	0.90		Location	0.00	
<b>1,1,1-TRIKLOROETAN</b>		<b>Oyun Bahçesi</b>	Scale	0.02	
Extreme Value Dağılım			Shape	0.874	
Mode	0.03		<b>BENZENE</b>		<b>Slope Factor</b>
Scale	0.03		Uniform Dağılım		
			Minimum	7.7E-06	
			Maximum	2.7E-05	

### 3. UÇUCU ORGANİK BİLEŞİKLER

#### 3.1 Giriş

Yedi – 14 yaş arası çocuklar ilköğretim okullarında günde 5-8 saat vakit geçirmektedirler. Bu, ilköğretim okullarını çocuklar açısından evlerinden sonra gelen en önemli ikinci bina-içi çevre yapmaktadır. Bina-içi hava kirleticilerine maruziyet düşünüldüğünde, bu durum ilköğretim okullarının önemini maruziyetin zaman bileşeni açısından açıklamaktadır. Diğer bileşen kirletici derişimleridir. Uçucu Organik Bileşikler (UOB) çok çeşitli kaynakları bulunması sebebiyle çevrede yaygın olarak karşımıza çıkan kirleticilerdir. Kaynakları arasında dış hava kaynakları olarak trafik ve endüstri emisyonları, iç hava kaynakları olarak da bina yapı malzemeleri, dekorasyon malzemeleri, hobi malzemeleri, temizlik malzemeleri, ve kişisel bakım malzemeleri bulunmaktadır (Shendell vd., 2004; Sexton vd., 2007). Ek olarak, okullar genelde nüfusun yoğun havalandırmanın zayıf olduğu, bakımın ve temizliğin yetersiz yapıldığı ortamlardır (Smedje vd., 1997; Daisey vd., 2003). Yetişkinlere göre çocuklar kirleticilere karşı daha hassastırlar çünkü vücut ağılıklarına göre solunum hızları daha yüksektir ve büyümeleri devam etmektedir (Faustman vd., 2000). Bu durumda, sağlık etkileri açısından çocuklar yetişkinlere göre daha yüksek bir risk altındadırlar; ki UOB'lerin bilinen birçok sağlık etkileri bulunmaktadır (Shendell vd., 2004; Sax vd., 2006). Ayrıca yapılan literatür taramaları, öğrenci performansı ile okuldaki düşük çevresel kalite (Mendell and Heath, 2005) ve çocuklarda sağlık semptomları ile zayıf yetersiz havalandırma (Daisey vd., 2003) arasında ilişki bulunduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Allerji semptomları ve hastalıkları çocuklar arasında yaygın olarak görülmektedir. Amerika Birleşik Devletlerinde (ABD) yaklaşık 6,8 milyon çocuğun astım hastası olduğu belirtilmiştir (ALA, 2007); ki bu hastalık, çocukların okula devamsızlığının ana sebeplerinden birisi olarak görülmekte ve ilköğretim okulları ve liselerde kayıp okul günlerinin %20'sine tekabül ettiği tahmin edilmektedir (Bayer vd., 2000). Türkiye'de, Demir ve ark. (2005) Ankara'da bir ilkokulda 1992, 1997 ve 2002 yıllarında yaptıkları inceleme ile astım yaygınlığını sırasıyla %8,3; %9,8 ve %6,4 olarak belirlemişlerdir. Aynı anketin Edirne'de uygulaması yapıldığında benzer bir astım yaygınlık oranı (%5,6) bulunmuştur (Selçuk vd., 1997). Ancak burada aynı zamanda çocukların %34'ünün hayatlarının herhangi bir safhasında allerji problemi

yaşadıklarını da göstermiştir. Başka bir çalışma ise Türkiye’de çocukluk astım yaygınlığının %3,8 ilâ %12,9 arasında değiştiği bildirilmiştir (Öneş vd., 2005). En son yapılan ve 14 farklı şehirde 25000 çocuğun dahil olduğu büyük çaplı bir çalışma astım, alerjik rinit, hırıltılı solunum ve egzema yaygınlığı ortanca değerlerini sırasıyla %13, %13, %17 ve %5 olarak bildirmiştir (Kurt vd., 2007). Sonuç olarak veriler astım vb. hastalıkların ülkemizde çocuklar arasında yaygınlaştığını göstermektedir.

Aldehitler, birer uçucu organik madde olmalarına rağmen UOB olarak gruplandırılmış bileşiklerden farklı örnekleme ve analiz prosedürleri gerektirmektedirler. Tespit edilme sıklığı ve derişimleri bakımından en önde yer alan formaldehite ayrı bir önem atfedilmiştir. Norback ve ark. (1990) İsveç’te 6 derslikte UOB ve formaldehit derişimlerini ölçmüştür. Ortalama formaldehit derişimi tespit sınırının ( $< 10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) altında kalırken, ortalama Toplam UOB (TUOB) derişimi 70 ilâ  $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$  arasında değişmiştir. Smedje vd. (1997) 38 devlet ilköğretim okulunda yaptıkları çalışmada formaldehiti yine tespit sınırının ( $< 5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) altında bulurken, tespit ettikleri 14 bileşiğin derişimlerini toplamak suratiyle elde ettikleri TUOB ortalamasını  $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$  olarak bildirmişlerdir. Bu 14 bileşik arasında en yüksek derişimlere sahip olanlar sırasıyla limonene, n-decane, toluen ve ksilen’dir. Hong Kong’da mekanik havalandırma yapılan 10 okulda yapılan ölçümlerde formaldehit derişimleri  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  olan ülke standart değerini aşmamış, benzen, toluen, etilbenzen, p/m-ksilen ve o-ksilen sırasıyla 3,13; 17,7; 4,20; 3,30 ve  $1,66 \mu\text{g}/\text{m}^3$  derişimleriyle en bol ve sık rastlanan UOB olmuşlardır (Lee vd., 2002). Daisey ve arkadaşlarının (2003) yaptığı literatür taramasına göre ABD ve Avrupa’da farklı şartlarda farklı okullarda ortalama TUOB derişimlerinin 100 to  $1600 \mu\text{g}/\text{m}^3$  arasında, ortalama formaldehit derişimlerinin ise 10 to  $430 \mu\text{g}/\text{m}^3$  arasında değişmektedir. Avustralya’da üç ilkokulda bir yıl boyunca derişimler takip edilmiş ve TUOB  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  düzeyini geçmeyecek şekilde 10 UOB (benzen, toluen, klorobenzen, m,p-ksilen, o-ksilen, etilbenzen, stiren, 1,2-diklorobenzen, 1,3-diklorobenzen, and 1,4-diklorobenzen) sık olarak tespit edilmiştir (Zhang vd., 2006). Godvin ve Batterman’ın (2007) ABD Michigan eyaletinde trafiğin ve diğer dış hava UOB kaynaklarının yoğun olmadığı dış mahallelerde yer alan okulların 64 dersliğinde yapılan ölçümlerde en sık ve bol rastlanan UOB, benzen, etilbenzene, toluen, ksilen ve limonene olarak belirlenmiş ancak TUOB derişimleri Avustralya’da olduğu gibi düşük olarak bulunmuştur (ortalama derişim  $58 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

Literatürde yer alan çalışmalar göstermektedir ki, UOB derişimleri yaz mevsimine göre kış mevsiminde, dış havaya nazaran iç havada, ve dersliklere göre anasınıflarında daha yüksek derişimlerde karşımıza çıkmaktadır.

Türkiye için şimdiye kadar çeşitli tipte binalarda iç hava formaldehit derişimleri rapor edilmiştir (Vaizoğlu vd., 2003; Menteşe ve Güllü, 2006). Çeşitli UOB için derişimlerin rapor edildiği (Pekey ve Arslanbaş, 2008) bir çalışmada ise çeşitli tipte binalar arasında okullara yer verilmiştir. Bununla birlikte, ülkemizde okullarda bina-içi UOB derişimlerinin incelenmesine hasredilmiş bir çalışma bulunmamaktadır.

### **3.2 Bulgular ve Tartışma**

#### **3.2.1 Derişimler**

Bina-içi ve dış hava UOB ve formaldehit derişimleri İzmir’de ikisi metropolde biri de bir banliyöde bulunan üç ilköğretim okulunda, üç mevsimde (sonbahar, kış, bahar) ölçülmüştür. Takip eden kısımlarda sırasıyla dersliklerde, ana sınıflarında ölçülen bina-içi hava ve bahçelerde ölçülen dış hava derişimleri ile ilgili bulgular ve tartışmaları sunulacaktır.

##### **3.2.1.1 Derslikler**

En az bir örnekte tespit edilmiş olan UOB sayısı 25 (Güz, Okul-2) ilâ 37 (Bahar, Okul-3) arasında değişirken, tüm örneklerde tespit edilen UOB sayısı oldukça yüksektir (ortalama 16, değişim aralığı 12-19). En sık ve yüksek derişimlerde tespit edilen UOB derişimleri okul-mevsim matrisi olarak Şekil 1’de sunulmuştur. Şekilde noktalar ortalama değeri, barlar ise bir standart sapmayı temsil etmektedir. Benzen, kloroform, 1,3-diklorobenzen, 1,4-diklorobenzen, naftalin, toluen, trikloroeten ve ksilenler (o-ksilen, m/p-ksilen ve etilbenzen) genellikle göreceli yüksek derişimlerde sıkça ölçülen bileşiklerdir. Toluen ve benzen sırasıyla  $18,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ve  $10,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$  genel ortalama derişimleriyle sürekli en yüksek derişimli ilk üç bileşik içinde yer almıştır. Bu derişim düzeyi, genel ortalama derişimleri  $8,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$  olan 1,4-diklorobenzen ilâ  $0,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$  olan trikloroeten ve o-ksilen arasında değişen takip eden 6 UOB’den 10 veya daha fazla kat yüksektir.



Toluen ve benzen için metropoldeki iki okulda ölçülen derişimler hem kış hem de baharda benzer seviyede idi; toluen için Okul-1/Okul-2 oranı kışın 1,0; yazın ise 1,1; benzen içinse kışın 1,5; yazın 0,7 idi. Sonbaharda ise bu oran daha yüksekti; hem toluen hem de benzen için 1.8 olarak hesaplandı. Derişimler banliyöye göre metropolde yalnızca sonbaharda daha yüksekti (Okul-2/Okul-3 ve Okul-2/Okul-3 oranları toluen için sırasıyla 3,0 ve 2,1; benzen içinse sırasıyla 5,7 ve 3,1 olarak hesaplandı). Ancak durum kış ve bahar mevsimlerinde daha farklıydı; ki bu oranlar 0,3 (Okul-2/Okul-3, benzen) ilâ 0,8 (Okul-1/Okul-3, toluen) arasında kaldı. Bu tip yersel bir karşılaştırma, trafik ve evsel ısınmanın ürettiği UOB emisyonları sebebiyle dış havanın bir iç hava kirletici kaynağı olarak gücünü tahlil etmede kullanılabilir. Toluen ve benzen literatürde trafik emisyonları için kullanılması önerilen birer ölçüt olmuştur. Toluen / benzen oranının (T/B) metropollerde trafik emisyonlarından uzaklığın tahmininde kullanılabileceği gösterilmiştir (Gelencsér vd., 1997); ki bu çalışmaya göre trafiğin en yoğun olduğu yerlerde 2,0 değerini alan oran uzaklaştıkça azalmakta ve kırsal alanda birim değere ulaşmaktadır. Aslen, 2,0 değerinden her iki yönde uzaklaşma başka kaynakların gücüne işaret etmektedir. Aslında, Müezzinoğlu ve arkadaşlarının (2001), İzmir’de trafiğin yoğun olduğu iki noktada yaptıkları ölçümlere göre T/B değeri 2,3 ve 1,6 olarak hesaplanmıştır. Projemizde ölçülen derişimlerden hesaplanan T/B değerleri Tablo 7’de sunulmaktadır. Bu değerlerden, genel itibarla dersliklerdeki iç hava UOB derişimleri üzerinde bir miktar trafik etkisi olduğu çıkarımı yapılabilir.

Toluen ve benzen toplam UOB’in çoğunluğunu oluşturmakla beraber diğer yukarıda bahsi geçen bazı bileşikler de önem arz etmektedir ve ayrı ayrı birçok bileşiği ele almak zor olacağından TUOB üzerinden bir değerlendirme yapmak daha doğru olacaktır. Üç örnekleme kampanyasında ölçülen TUOB<sub>51</sub> derişimlerini değerlendirdiğimizde, kışın en yüksek sonbaharda en düşük olduğu görülmektedir. Toluen ve benzen de olduğu gibi TUOB<sub>51</sub> derişimleri metropoldeki okullarla ile banliyödeki okul arasında bir ayırım göstermemektedir; ki bu bina-içi kaynakların etkinliği hakkında bir işaret olarak kabul edilebilir. Örnekleme kampanyaları sırasında yapmış olduğumuz önemli bir gözlem tüm okullarda iç duvarların yaz aylarında su bazlı boyalar ile boyandığı halde Okul-1’de Şubat tatilinde yerden 1,5 metre yüksekliğe kadar bir bant halinde bu sefer solvent bazlı yağlı boya boyanmış olduğudur. Yağlı boya uygulaması duvarlarla sınırlı kalmamış, kalorifer peteklerine de uygulanmıştır. Bunun

sonucu olarak da, bu okulda –özellikle– kış örneklemeğinde olmak üzere güçlü bir koku hissedilmişti. Bu metropolde yer alan iki okul arasındaki kayda değer farkın sebebi olarak düşünülebilir. Ortanca TUOB<sub>51</sub> derişimleri Kruskal-Wallis testi kullanılarak üç okul karşılaştırıldığında her mevsimde en az birinde derişimin anlamlı biçimde farklı olduğu görülmüştür ( $p<0.02$ ). Mevsimsel ortanca derişimler karşılaştırıldığında ise Okul-1’de güz ile bahar ( $p<0.01$ ) ve güz ile kış ( $p<0.002$ ), Okul-3’te güz ile bahar ( $p<0.007$ ) ve güz ile kış ( $p<0.006$ ) farklılıklarının anlamlı olduğu görülmüştür. Geriye kalan tüm mevsimsel karşılaştırmalar istatistiksel olarak anlamlı değildir.

Projemizde ölçülen TUOB derişimleri başka ülkelerde okullarda ölçülmüş bazılarında (İsveç, Smedje vd. 1997, ortalama  $6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ; Minnesota, ABD, Adgate vd. 2004, ortanca  $14 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ; Avustralya, Zhang vd. 2006, maksimum  $94 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ; Michigan, ABD, Godwin ve Batterman 2007, ortalama  $58 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) ya yüksek ya da benzer düzeyde iken, bazılarında (Güney Kore, Yang vd. 2009, ortalama  $374 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) düşük kalmıştır. Bununla birlikte literatürdeki çalışmalarda farklı farklı TUOB tanımlamaları kullanıldığını belirtmeliyiz. Buna, Zhang ve diğerlerinin (2006) kullandığı TVOC<sub>10</sub> ve Godwin ve Batterman’ın (2007) kullandığı tüm hedef ve hedef olmayan piklerin toluen eşdeğerine normalize edilmiş toplamı tanımlarını örnek olarak verebiliriz.

Bu projede analizi yapılan UOB arasında diklorobenzen (1,3- ve 1,4-) ve naftalin, formaldehit, toluen ve benzen ek olarak sık karşılaşılan bileşikler oldu. Naftalin ve 1,4-diklorobenzenin bina-içi kaynakları ortaktır: güve kovucular ve tuvalet koku gidericiler (Godwin and Batterman, 2007; Mendell, 2007). Diklorobenzen yukarıda bahsedilen iki izomeri ayrıca temizlik maddelerinden havaya salınabilmektedir (Stellman, 1998). Bilindiği üzere naftalin ülkemizde geçmişte popüler bir ürün olup günümüzde de güve kovucular ile birlikte bina-içi kullanımının sürdüğü gözlemlenmektedir. Bu projede incelenen her üç okulda da tuvalet koku giderici kullanılmaktaydı. Naftalin ayrıca daha önceki TÜBİTAK araştırma projemizde (Kavcar vd., 2006) tespit ettiğimiz üzere İzmir içme suyunda benzen ve toluen ile benzer, kayda değer seviyelerde bulunmaktaydı (ortanca derişim =  $0.03 \mu\text{g}/\text{L}$ , 90. yüzdilik =  $0.11 \mu\text{g}/\text{L}$ ); ki bu yaygın olarak kullanıldığının bir işareti olarak alınabilir. Okul-2’de tüm mevsimlerde, Okul-3’te ise baharda 1,4-diklorobenzen derişimleri tespit sınırının altında

kalırken ortalama naftalin ve 1,3-diklorobenzen, bir durum hariç (Okul-1, bahar) tespit sınırının üzerinde bulunmuştur. Sonuç olarak, 1,4-diklorobenzen bir okulda çok güçlü bir kayanağa sahipken 1,3- izomerinin zayıf ancak sürekli kaynağı vardı. 1,3- and 1,4-diklorobenzen ve naftalin için genel ortalama ve maksimum derişimler sırasıyla 3 ve 52  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 9 ve 142  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , ve 2 ve 8  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  olmuştur. Bu projede ölçülen 1,3-diklorobenzen derişimleri trafik ve önemli dış hava kaynaklarından uzakta banliyölerde bulunan Michigan okullarında ölçülenlerden (Godvin ve Batterman, 2007) en az 10 kat daha yüksek, naftalin derişimleri benzer seviyelerdedir; kaldı ki, 1,4- izomeri Michigan'da tespit sınırın altında kalmıştır. Bununla birlikte, projemizde belirlenen diklorobenzen düzeyleri Rumchev ve diğerlerinin (2004) Amerikan evlerinde belirlediği bina-içi düzeylerden (ortanca=55  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , maksimum=622  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) oldukça düşük bulunmuştur.

Bina-içi hava kirleticilerinden formaldehit en çok çalışılan ve tehlikeli olanlarından birisidir çünkü güçlü bina-içi kaynakları vardır. Şekil 2'de görüldüğü üzere formaldehit çalışmamızda analiz edilenler arasında ya en yüksek derişimde ya da benzen ve toluen ile benzer derişimlerde tespit edilmiştir. Ortalama ve ortanca derişimler hep birbirine yakın belirlenmiş olup güzün Okul-2'de ölçülen 19  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ilâ yine güzün Okul-1'de ölçülen 55  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  arasında değerler almıştır. Okullar arasındaki en büyük formaldehit derişim farkı güzün Okul-1 ile -3 arasında 36  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  olarak bulunurken, farklar kışın (14  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) ve baharda (8  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) çok daha küçük bulunmuştur. Kış ve bahar kampanyalarının gözlenen ortak özelliği Okul-2 ve -3 derişimlerinin benzer ve Okul-1'den daha düşük, güzün ise Okul-1'de yine diğerlerinden yüksek ancak bu sefer Okul-2 ve -3'te de farklı seviyelerde olmasıydı (bkz. Tablo 7). Tüm ölçümlerin genel ortalaması alındığında 47  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ile Okul-1 diğer iki okuldan daha yüksekte kalmıştır (32  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , Okul-2 ve 31  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , Okul-3). Aslen, formaldehitteki yersel değişimler, en yüksek seviyenin Okul-1'de bulunmuş olması haricinde TUOB için görülenlerden daha farklı olmuştur. Yine de, metropoldeki bir okul ile banliyödeki bir okulda benzer ve metropoldeki iki okulda farklı derişimler ölçülmüş olması formaldehitin dış havaya göre görece güçlü iç kaynakları olduğuna işaret etmektedir.

Yersel değişimlerde olduğu gibi mevsimsel değişimlerde de bir tutarlılık görülmemiştir (bkz. Tablo 7); ki ölçülen en yüksek ve en düşük formaldehit derişimleri arasındaki fark Okul-1, -2

ve -3 için sırasıyla %21, %19 ve %48 olurken bu farklar TUOB<sub>51</sub> için %75, %48 ve % 89 idi. Bu farklılık, formaldehitin kaynaklarının daha düzenli, UOB kaynaklarının ise daha değişken olduğunu göstermektedir. Projemizde ölçülen formaldehit derişimleri, literatürde yayınlanmış olanların değişim aralığı (10-400 µg/m<sup>3</sup>, Daisey vd., 2003) içinde kalmaktadır. Çalışmamızda ölçtüğümüz derişimler, başka ülkelerin okullarında ölçülenlerden daha yüksek (İsveç, Norback vd., 1990 ve Smedje vd., 1997; Hong Kong, Lee vd., 2002; Avustralya, Zhang vd., 2006), ev ve ofislerde ölçülenlerden daha düşük (Vaizoglu vd., 2003; Khoder, 2006; Menteşe and Güllü, 2006; Park vd., 2006), kütüphanelerde ölçülenlerle benzer (Hanoune vd., 2006; Righi vd., 2002) düzeylerde bulunmuştur.

### 3.2.1.2 Anasınıfları

Bu projede çalışılan her üç okulda da birer anasınıfı vardı. Buralardan her üç mevsimde örnekler (n=3) toplanmış ve UOB ve formaldehit analizi yapılmıştır. Örnek sayısı düşük olduğu için bu kısımda yapılacak tüm değerlendirmeler sadece örneklerin tümünde tespit edilen UOB için olacaktır. Bu kritere uyan bileşik sayısı 16 (Okul-3, bahar) ilâ 24 (Okul-2, güz) arasında değişmiş ve ortalama sayı 20 olmuştur. Neredeyse tüm örnekleme kampanyalarında toluen ve benzen en yüksek derişimlerde bulunan bileşikler olurken, sadece bu ikisi iki haneli derişimlerde belirlenmiştir. Şekil 2, ölçülen derişimleri okul-mevsim matrisi olarak sunmaktadır. En yüksek derişimli iki bileşiğe ek olarak sık ve yüksek derişimlerde ( $\geq 1$  µg/m<sup>3</sup>) belirlenen diğer bileşikler şunlardır: 1,3-diklorobenzen, etilbenzen, o-ksilen, p,m-ksilen, naftalin, and 1,2,4-trimetilbenzen. Okul-1 ve -3'te kış örneklemesinde meydana gelen örnek kayıpları sebebiyle örnek sayısının üçün altına inmesi bu kampanyaların veri analizinden çıkartılmasıyla sonuçlanmıştır. Derslik ve anasınıflarında karşımıza çıkan farklı UOB profilleri bu iki mikro-çevrede farklı iç kaynaklar olduğuna işaret etmektedir. Tablo 8, anasınıfı ortalama toluen/benzen ve toluen/TUOB<sub>51</sub> oranı değerlerini ve TUOB<sub>51</sub> derişimlerini listelemektedir. Genel itibarla, dersliklere nazaran anasınıfı TUOB<sub>51</sub> derişimleri ve toluen/TUOB<sub>51</sub> oranları daha yüksektir (sırasıyla p=0,046 ve 0,028), bu durum toluen/benzen oranı için yedi örnekleme kampanyasının dördünde oluşmuştur; ancak aradaki fark anlamlı değildir. Buna ek olarak, anasınıflarında tespit edilen ortalama bileşik sayısı (20) dersliklerde tespit edilenden daha fazlaydı (17). Sonuç itibarıyla, dominant UOB profillerindeki, TUOB<sub>51</sub> derişimindeki, toluen/benzen ve toluen/TUOB<sub>51</sub> oranlarındaki, ve

son olarak tespit edilen bileşik sayılarındaki farklılıklar anasınıfları ile dersliklerde farklı iç kaynakların bulunduğunu göstermektedir. Aslen, dersliklerde sıkça tespit edilen 1,4-diklorobenzen, hiç bir anasınıfı örneğinde bulunmamıştır. BTEX bileşikleri için yapılan bir kaynak karakterizasyonu çalışmasında (Guo vd., 2003) okullarda iki kaynak faktörü belirlenmiştir: (1) benzen, toluen, etilbenzen, ve *m,p*-ksilen dominant, (2) *o*-ksilen dominant. Projemizde *o*-ksilen anasınıflarında göreceli sıklıkla tespit edilirken, dersliklerde benzer düzeyde bulunmamıştır. Derslikler ile anasınıfları arasında yer kaplama malzemesi (taş döşeme – halı veya polimerik malzeme), anasınıfında aktivitelerde kullanılan çok çeşitli kırtasiye ve aktivite malzemeleri, anasınıfında ara öğünler için kullanılan mutfak bulunması, temizlik uygulamaları, vs. arasındaki farklılıklar, bahsedilen UOB kaynakları farklılıklarına yol açabilir.

Bir literatür taramasında Daisey ve arkadaşları (2003) İtalyan kreş ve anasınıflarında (ortanca derişim  $3600 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) ortaokul dersliklerine (ortanca derişim  $2600 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) göre daha yüksek bina-içi TUOB derişimleri bulunduğunu; İsveç'te yapılan bir çalışmada ise anasınıflarında ortalama TUOB derişiminin  $90 \mu\text{g}/\text{m}^3$  olarak ölçüldüğünü aktarmışlardır. Kotzias (2005) İtalya ve Hollanda'daki anasınıflarında yaptığı ölçümlerde UOB derişimlerinin sırasıyla  $25-53 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ve  $19-36 \mu\text{g}/\text{m}^3$  arasında değiştiğini bildirirken, Yang ve arkadaşları (2009) Güney Kore anasınıflarında TUOB derişimlerini oldukça yüksek bir aralıkta ( $264-1024 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) değiştiğini bulmuşlardır (ortalama derişim  $642 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Bu projede ölçülen TUOB<sub>51</sub> derişimleri İtalya ve Hollada'da ölçülenlerle (Kotzias, 2005) benzer, G.Kore'dekilerden çok düşük (yaklaşık 6-kat), ancak Daisey vd. (2003) tarafından aktarılanlardan çok yüksektir (yaklaşık 80-kat). Literatürün yansıttığı zaman dilimleri açısından ilk iki çalışmadaki derişimlerin karşılaştırma için daha uygun olduğu düşünülebilir.

Çalışmamızda ölçülen anasınıfı formaldehit derişimleri, en yüksek derişimli UOB olan toluene göre daha yüksek olmuştur (Şekil 2). Aslında, formaldehit derişimleri TUOB<sub>51</sub> ile benzer düzeylerdeydi ( $p=0,24$ ; Tablo 8). Anasınıfı formaldehit derişimleri ayrıca dersliklere nazaran daha yüksekti ( $p=0,018$ ). TUOB derişimlerinin aksine metropoldeki iki okulda ölçülen formaldehit derişimleri banliyödeki okula göre daha yüksek bulundu, bununla birlikte aradaki fark anlamlı değildi ( $p=0,44$ ). Mevsimsel farklılıklar güz ve bahar arasında yapılabilir (çünkü

kış verileri iki okulda eksik kalmıştı): ortanca derişimlerin farkı ( $89 \mu\text{g}/\text{m}^3 - 76 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) görece geniş olmasına rağmen istatistiksel olarak anlamlı değildir ( $p=0,11$ ).

Daisey ve diğerlerinin (2003) yaptığı literatür taramasında aktardığına göre 1982’de Danimarka’da 10 kreşte yapılan bir çalışmada ortalama formaldehit derişimi yaklaşık  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  olarak bulunurken, Kotzias (2005) Hollanda’daki anasınıflarında derişim aralığını  $6-11 \mu\text{g}/\text{m}^3$  olarak belirlemiştir. G.Kore’deki anasınıflarında ise ortalama derişim  $195 \mu\text{g}/\text{m}^3$  olarak bulunurken derişim aralığı  $45-690 \mu\text{g}/\text{m}^3$  olarak bildirilmiştir. Bu projede ölçülen genel formaldehit ortalama derişimi ( $85 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) Hollanda’ya göre yüksek olmakla beraber Danimarka ve G.Kore derişim aralığı içinde kalmaktadır.

### 3.2.1.3 Açık hava Oyun Bahçesi

Her üç okulda açık hava oyun bahçesinden – ki bundan sonra dış hava olarak bahsedilecektir – her üç mevsimde örnekleme ( $n=3$ ) yapılmıştır. Örnek sayısı düşük olduğu için bu kısımda yapılacak tüm değerlendirmeler sadece örneklerin tümünde tespit edilen UOB için olacaktır. Bu kritere uyan bileşik sayısı 18 (Okul-3, bahar) ilâ 26 (Okul-1, kış) arasında değişmiş ve ortalama sayı 21 olmuştur; ki bu anasınıflarına benzer dersliklerden daha yüksek sayıda bileşiktir. Bina-içi (derslik ve anasınıfı) ile dış havada tespit edilen bileşik sayıları karşılaştırıldığında aradaki fark anlamlıdır ( $p=0,01$ ). Toluene ve benzen yine en yüksek derişimlerde bulunan bileşiklerdir ancak içeriye göre oluşan farklı durum iki örnekleme kampanyasında benzen derişimleri toluene göre daha yüksek çıkmasıdır. Ölçülen dış hava derişimleri okul-mevsim matrisi olarak Şekil 3’te sunulmuştur. Beş örnekleme kampanyasında her iki bileşik birden iki haneli derişimlere ulaşmazken, kalan dört kampanyada da en az biri tek haneli düzeyde kalmıştır. Bu iki bileşik haricinde sık ve yüksek derişimde ( $\geq 1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) bulunan bileşikler 1,3-diklorobenzen, *m,p*-ksilen ve naftalindi. Karşılaştırıldığında, sık ve yüksek derişimde bulunan bileşik sayısı ve bunların derişimleri dış havada bina-içi havaya göre daha düşük bulunmuştur. Tablo 9, dış hava ortalama toluen / benzen ve toluen/TUOB<sub>51</sub> oranı değerlerini ve TUOB<sub>51</sub> derişimlerini listelemektedir. İç – dış hava ortanca TUOB<sub>51</sub> derişimleri istatistiksel olarak birbirinden farklıdır ( $p<0,001$ ). Benzer durum toluen/bezene oranında görülürken, ( $p=0,01$ ) toluen/TUOB<sub>51</sub> için aksi durum oluşmuştur ( $p=0,42$ ). Sonuç olarak, bina-içi hava ile dış hava arasında oluşan UOB profilleri,

TUOB<sub>51</sub> derişimleri, toluen/benzen oranları ve tespit edilen UOB sayıları arasındaki farklılıklar kaynak farklılıklarını tescil etmekle beraber, dış havanın bina-içi hava kalitesini etkilediğine işaret etmektedir. En sık ve yüksek derişimlerde bulunan dokuz bileşik ve TUOB<sub>51</sub> için iç/dış (İ/D) oranları hesaplanmış ve Şekil 4’te gösterilmiştir. Şekilde, 1,3-diklorobenzen ve stiren için 10.-90. yüzdeler barları, bu iki bileşik hem iç hem de dış havada çok sayıda örnekte tespit sınırının altında kaldığından çizilememiştir. Derslikler ile anasınfları için hesaplanan İ/D değerleri karşılaştırıldığında UOB kaynaklarının anasınflarında daha güçlü olduğu veya dersliklerde daha etkili havalandırma yapıldığı (pencerelerin daha sık ve uzun açıldığı) ihtimalleri ortaya çıkmaktadır. Anasınflarında İ/D<1 durumu sadece benzen için görülürken, dersliklerde 10. ilâ 90. yüzdeler aralığında bu durumun görülmediği tek bileşik naftalin olmuştur. TUOB<sub>51</sub> için ortalama İ/D oranı değeri dersliklerde 2,1, anasınflarında 3,5 olarak hesaplanmıştır; ki bu her iki mikro-çevrede de kuvvetli bina-içi UOB kaynakları bulunduğunu göstermektedir. Derslik ortalama İ/D değeri Şekil 4’te yer alan tüm bileşikler için >1 (6 UOB için 1.3-1.8, 3 UOB için >2: toluen 2.1, naftalin 4.9 ve 1,3-diklorobenzen 5.1) iken anasınflarında stiren (1,9) hariç tüm ortalama değerler >2 (benzen için 2.2’den 1,2,4-trimetilbenzen için 5.5’e kadar değişen değerlerle) olmuştur. Mamafih, derslik ve anasınfları için ortanca İ/D değerleri arasındaki fark sadece toluen ( $p=0,005$ ) ve TUOB<sub>51</sub> ( $p=0,05$ ) için anlamlıdır.

Derslikler ile anasınfları ortanca İ/D oranı formaldehit için de anlamlı derecede farklı bulunmuştur ( $p=0.005$ ). Her iki mikro-çevre için de ortalama İ/D oranı >10 olduğundan UOB’e göre bina-içi formaldehit kaynaklarının daha güçlü olduğu söylenebilir. Derişim olarak bakıldığında bina-içi derişimlerin (bkz. Tablo 7 ve 8) dış havaya (bkz. Tablo 9) göre en 10 kat daha yüksektir ve bu fark anlamlıdır ( $p=0.001$ ). Aslen, formaldehit derişimleri TUOB seviyelerinde ancak biraz daha düşük bulunmuştur ( $p=0.001$ ). Dış hava derişimleri açısından mevsimsel değişkenlik anlamlı değil iken, metropol – banliyö derişim farkı anlamlı ( $p=0.002$ ) bulunmuştur.

### **3.2.2 Sağlık ve Risk Değerlendirmesi**

UOB’in sebep olduğu kokuların ciddi sağlık etkileri olmasa bile kişilerin bir binadaki hava kalitesi hakkındaki algısını etkileyen bir etmendir. Bu algıya ek olarak, gözler ve üst solunum

yolu mukozasını tahriş ederek duyuşal algıyı da bazı UOB etkilemektedirler. Algı ile ilgili bu etkilere ilaveten, düşük derişimlerde bile bazı bileşikler kronik-toksik sağlık etkileri ve kanser ile ilişkilendirilmektedirler.

Hodgson ve Levin (2003) yukarıda bahsi geçen kanser hariç sağlık etkileri açısından UOB'ı gruplamak için bir yöntem geliştirmişlerdir. Araştırmacılar, koku duyulması, duyuşal tahriş ve kronik-toksik etkiler için Hazard Quotient (HQ) tanımlamışlardır: Odor Quotient (OQ), Sensory Irritation Quotient (SIQ), Chronic Toxic Quotient (CTQ). Her bir HQ, ölçülmüş en yüksek ya da 95. yüzdellik derişimin ilgili en iyi kestirim (estimate) rehber değerine bölünmesi olarak tarif edilmiştir. Rehber değerler için en iyi kestirimler OQ için literatürden, SIQ için Adjusted Nasal Pungency Thresholds (NPT), Mouse-RD<sub>50</sub> (solunum sıklığında %50 azalmaya yol açan derişim), Acute Reference Exposure Levels (REL), ve Adjusted Threshold Limit Values (TLV) değerleri arasından, ve son olarak da CTQ için Minimal Risk Levels (MRL), REL, Reference Concentration (RfC) ve TLV değerleri arasından bilimsel yargı kullanılarak seçilmiştir. Sonuç olarak, bahsi geçen çalışmada yazarlar her bir etki için ABD'deki ev ve ofislerdeki UOB'ı  $HQ > 1$  ve  $0.1 < HQ \leq 1$  olmak üzere iki gruba ayırmışlardır. Biz de bu yöntemi kullanarak OQ, SIQ ve CTQ değerlerini projede ölçülen UOB derişimlerinin 95. yüzdellik değerlerini ve Hodgson ve Levin (2003) tarafından en iyi kestirim olarak belirlenmiş rehber değerleri kullanarak hesapladık (bkz. Tablo 10). Birinci ( $>1,0$ ) ve ikinci ( $0,1 - 1,0$ ) gruba düşen HQ değerleri tabloda sırasıyla koyu harf ve gri boya ile belirtilmiştir. Hesaplanan tüm OQ değerleri anasınıflarında formaldehit hariç  $<0,1$  seviyesindeydi. Projede ölçülenler arasında duyuşal tahriş için rehber değer olan tek bileşik formaldehit olduğundan bu etki için bir gruplama yapılamamıştır. Formaldehit için hesaplanan SIQ değerleri derslikler için ikinci, anasınıfları için birinci gruba düşmüştür. Formaldehit ayrıca kronik-toksik etkiler için, hem derslikler hem de anasınıfları için, oldukça yüksek CTQ değerleri ile birinci grupta yer almıştır. CTQ değerlerine göre naftalin ve toluen derslik ve anasınıfları için ikinci kategoride, benzen ise anasınıfları için ikinci kategoride yer bulmuştur.

ABD Çevre Bakanlığı'nın (USEPA) kirleticiler için sağlık değerlendirmelerini ve sağlık riski faktörlerini yayınladığı Integrated Risk Information Database (IRIS)'de yer alan kirleticiler için ayrıca risk değerlendirmesi yapılmıştır. Bunun için Monte-Carlo yöntemi kullanılmış ve hem

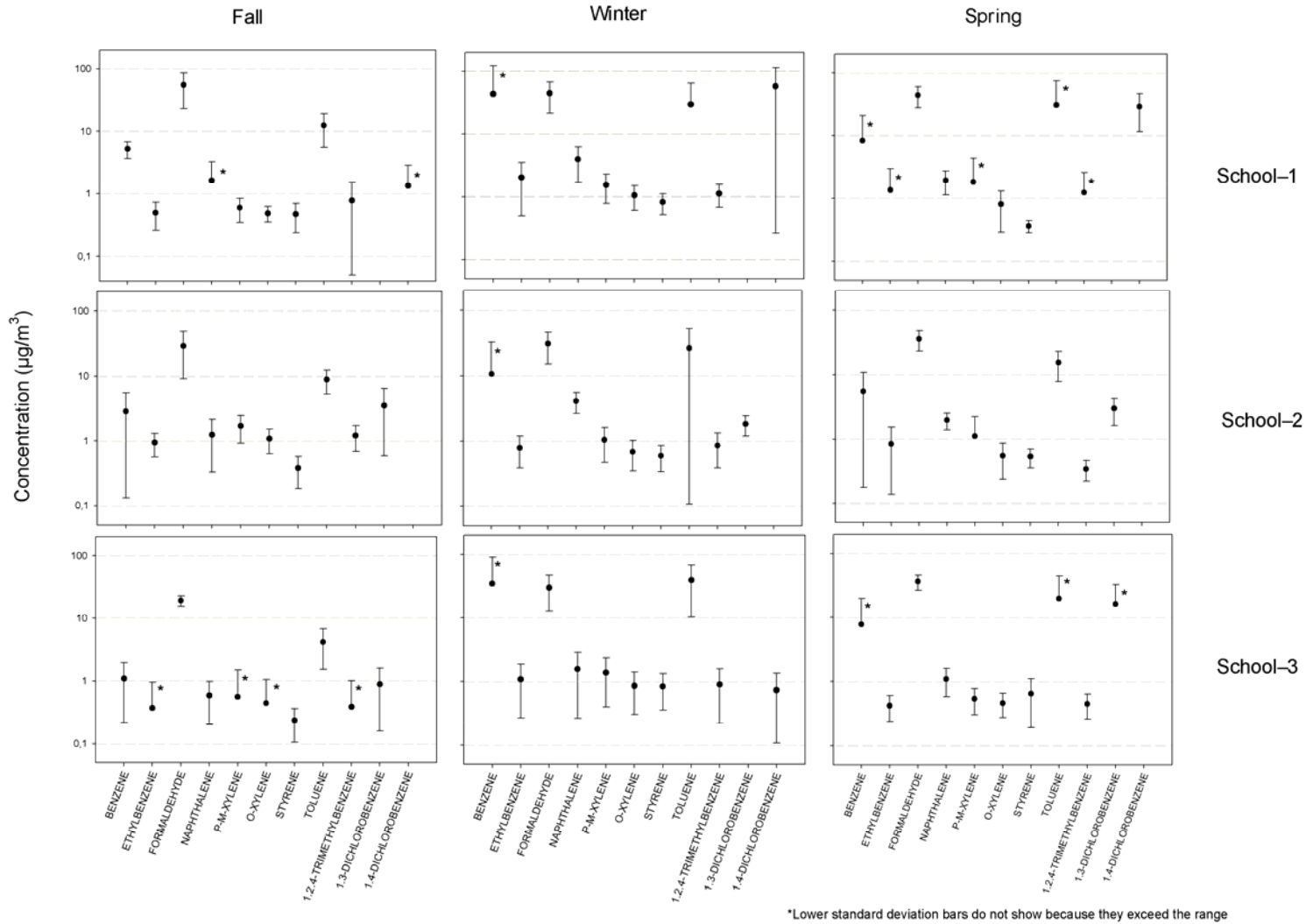


kronik-toksik etkiler hem de kanser etkisi için risk düzeyleri belirlenmiştir. Kronik-toksik risk değerlendirmesi benzen, etilbenzen, isopropylbenzen (cumene), naftalin, stiren, toluen, 1,1,1-trikloroetan ve ksilenler (toplam) için, kanser risk değerlendirmesi ise benzen, bromoform, karbondioksit, kloroform ve formaldehit için yapılmış, ve sonuçları Şekil 5'te sunulmuştur. Kronik-toksik etkiler için HQ değerleri eşik düzey olan HQ=1 sınırı etilbenzen, kümen, stiren, toluen, 1,1,1-trikloroetan ve ksilenler için 95. yüzdilik seviyesinde bile geçilmediğinden risk değerleri sadece benzen ve naftalin için gösterilmiştir (bkz. Şekil 5a ve 5b). Kanser risk değerleri, bromoform, karbondioksit ve kloroform için 95. yüzdilik düzeyinde bile "milyonda bir ( $1.0 \times 10^{-6}$ )" olarak seviyelendirilen kabul edilebilir risk düzeyinin altında kalması sebebiyle sadece benzen ve formaldehit için gösterilmiştir (bkz. Şekil 5c ve 5d). Şekillerde eşik ve kabul edilebilir risk seviyelerinin dağılımlar içindeki yerleri gri boyalı istatistik kutucukları olarak yerleştirilmiştir. Şekiller 5a ve 5b'da görüldüğü gibi kronik-toksik risk düzeyleri eşik seviyesini kitlenin sadece benzen için %3'ü, naftalin için de %9'unda geçmiştir. Sonuç olarak, anasınıfından 8. sınıfa kadar ilköğretim okul hayatı boyunca UOB maruziyeti sebebiyle oluşacak kronik-toksik riskler, kitlenin sadece >%2'si için önemli ( $HQ_{benzen} > 1.2$  and  $HQ_{naftalin} > 1.5$ ) seviyelere ulaştığından endişeye mahal verici düzeyde değildir. Ancak unutulmamalıdır ki, bu risk değerleri anasınıfından 8. sınıfa, 9 yıl içinde okulda geçen belirli bir zaman diliminde (4 saat bina-içi + 1 saat açık hava oyun bahçesi, toplam 5 saat) oluşan maruziyet dikkate alınarak hesaplanmıştır. Yani, daha büyük bir zaman diliminin geçtiği ev ortamı hesaba katıldığında artan maruziyet sebebiyle risk düzeyleri de artacaktır. Ev ortamı, proje çerçevesinin dışında kaldığı, dolayısıyla kirletici derişim ölçümleri yapılmadığı için hesaba dahil edilmemiştir. Şekil 5'te yer alan iki bileşik için kanser riski değerleri, kronik-toksik risk değerleri gibi düşük değildir. Kitlenin ortalama kanser riski değeri ( $1,0 \times 10^{-6}$ ) 69. yüzdeliğe karşılık gelmektedir. Diğer bir deyişle, kitlenin yaklaşık %30'u kabul edilebilir seviyenin üzerinde bir riske sahiptir. Okulda, havadaki benzen dolayısıyla kitlenin %10'u kabul edilebilir değerin iki katı, %5'iye üç katı düzeyinde riske sahiptir. Formaldehit içinse sonuçlar daha ciddi boyuttadır. Monte-Carlo simulasyonu sonucu elde edilen en düşük risk değeri bile kabul edilebilir seviyenin üzerindedir. Anasınıfı + ilköğretim yıllarında okulda oluşan solunum yoluyla formaldehit maruziyeti sonucu oluşan risk kitlenin yaklaşık yarısında  $> 1.0 \times 10^{-5}$  'tir. Buna mukabil, bu risk değerleri, Sax vd. (2006) tarafından, ABD'de iki kentteki liseli gençler için hesaplanan üst sınır kanser riski değerlerinden daha düşüktür. Ortanca risk

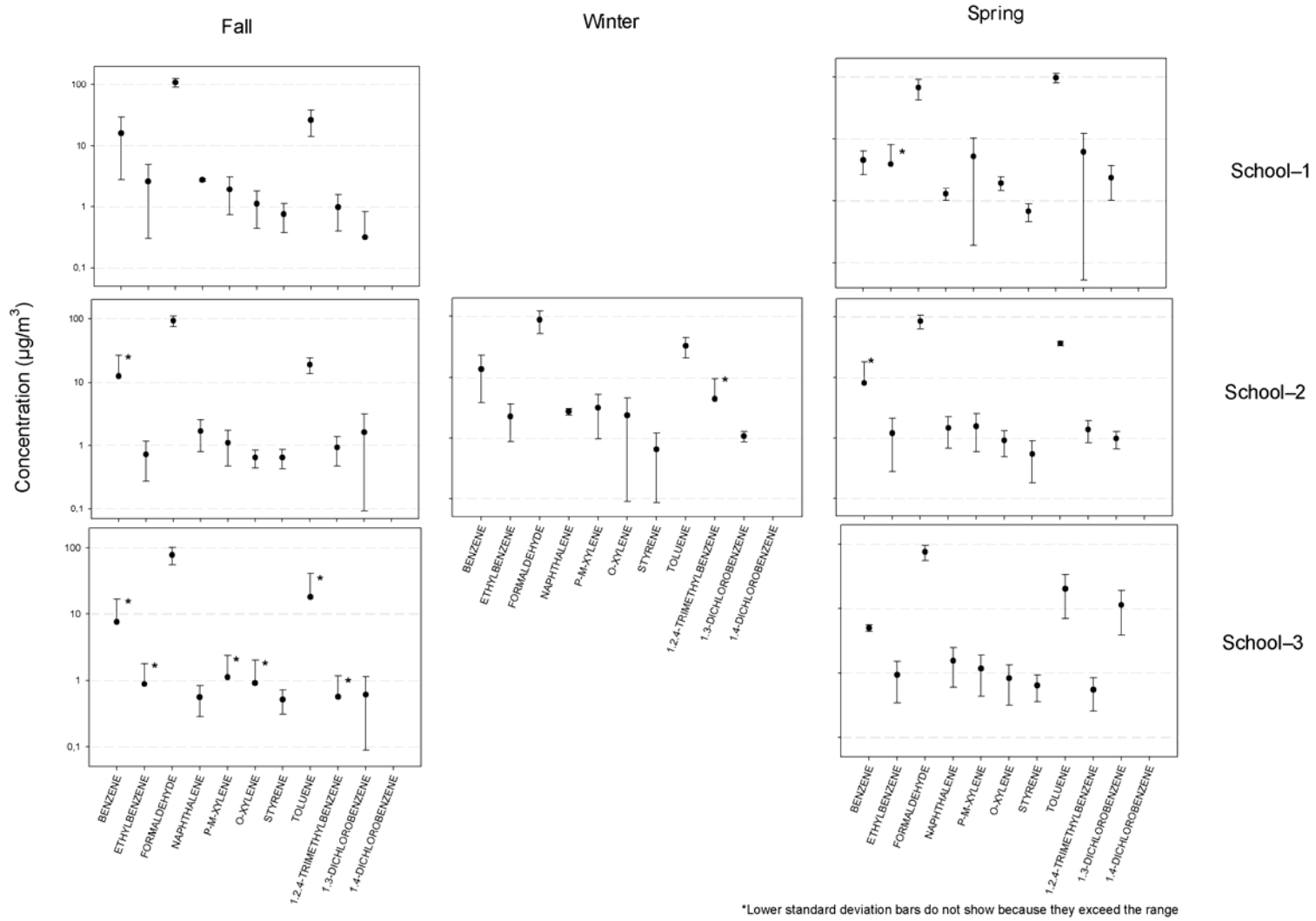
değeri New York ve Los Angeles'te formaldehit için sırasıyla  $2.2 \times 10^{-4}$  ve  $2.7 \times 10^{-4}$ , benzen için  $2.5 \times 10^{-5}$  ve  $3.2 \times 10^{-5}$  değerlerini almıştır. Bununla birlikte, bu değerler 24 saatlik derişimleri temsil eden kişisel örnekleyiciler ile alınmış örnekler üzerinden hesaplandığı için projemizde dahil olmayan, okullara göre muhtemelen derişimlerin daha yüksek olduğu ev gibi diğer mikro-çevreleri de içermektedir.

### **3.3 Sonuç**

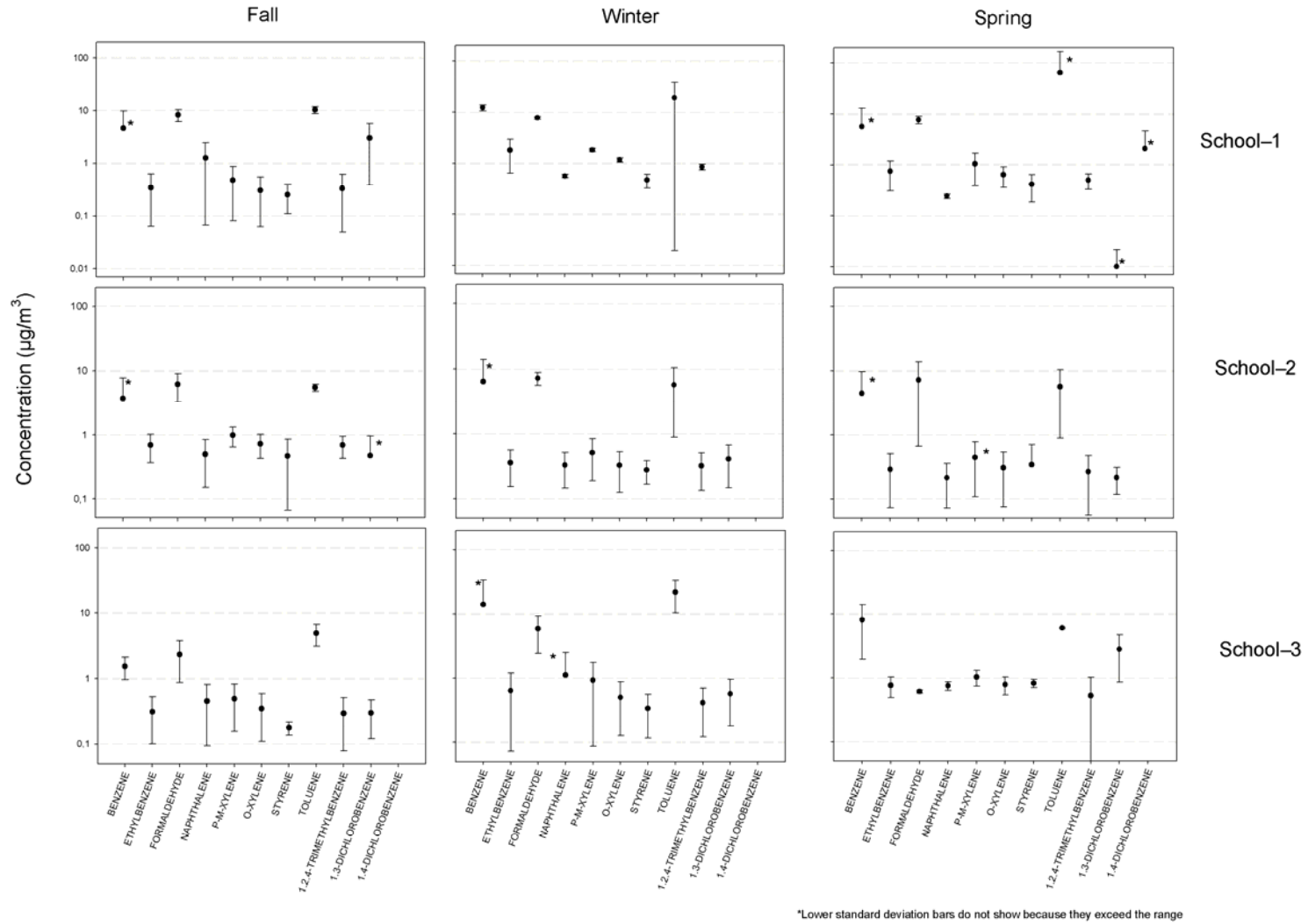
Bina-içi havada dış havaya göre daha yüksek derişimler ölçülmüş, yersel ve mevsimsel değişkenlikler anlamlı bulunmamıştır. Bu bilgiler, profilleri domine eden UOB için iç kaynakların gücüne işaret etmektedir, ancak dış havanın etkisinin yok sayılamayacağını gösteren veriler de bulunmuştur. UOB profilleri derslikler, anasınıfları ve dış hava arasında farklılık göstermiş, dersliklere nazaran anasınıflarında daha yüksek derişimler bulunmuştur. Yapı ve dekoratif malzemeler, öğretim malzemeleri vb. kaynakları yansıtan dominant bileşiklere (formaldehit, toluen, benzen ve ksilenler) ek olarak koku giderici, böcek (güve) kovucuları ve temizlik malzemelerinin etkilerini gösteren naftalin ve 1,4-diklorobenzen diğer dikkat çekici bileşikler olmuşlardır. Bu projede ölçülen UOB arasında, kronik-toksik sağlık etkileri açısından, formaldehit birincil derecede önem arz eden bileşik olarak belirlenirken bunu benzen, naftalin ve toluen ikinci grup kirleticiler olarak takip etmiştir. Formaldehit ve benzen, kabul edilebilir düzeyin üzerinde kanser risk değerleriyle azami önem verilmesi gereken bileşikler olarak saptanmıştır.



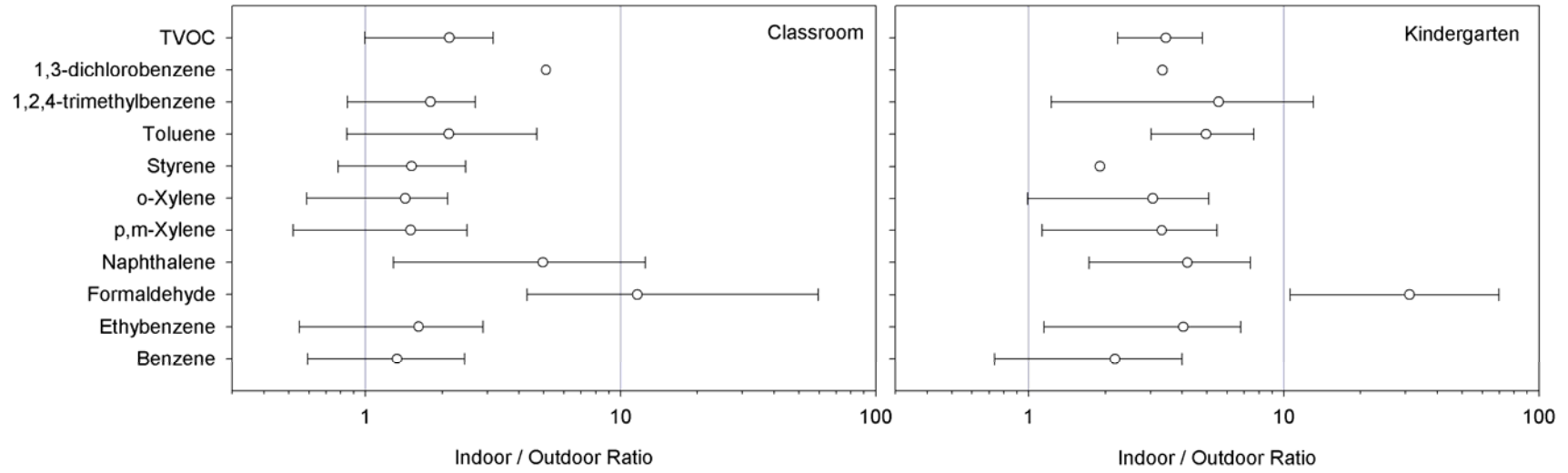
Şekil 1. Dersliklerde bina-içi hava UOB derişimi okul-mevsim matrisi



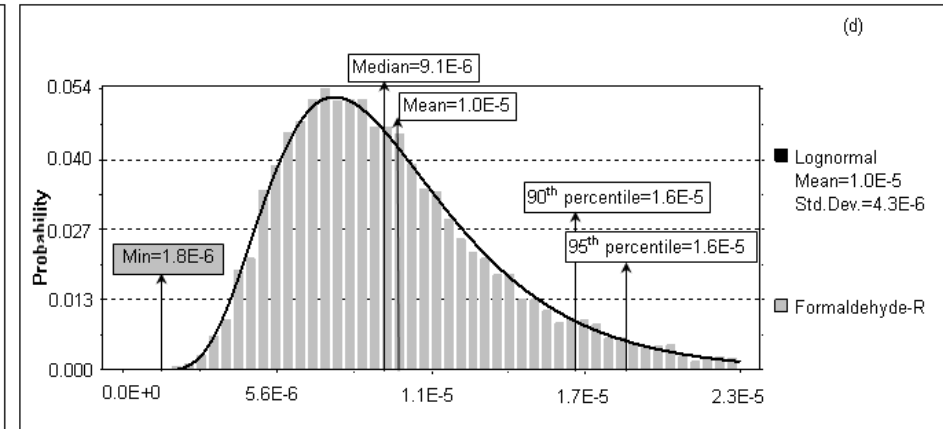
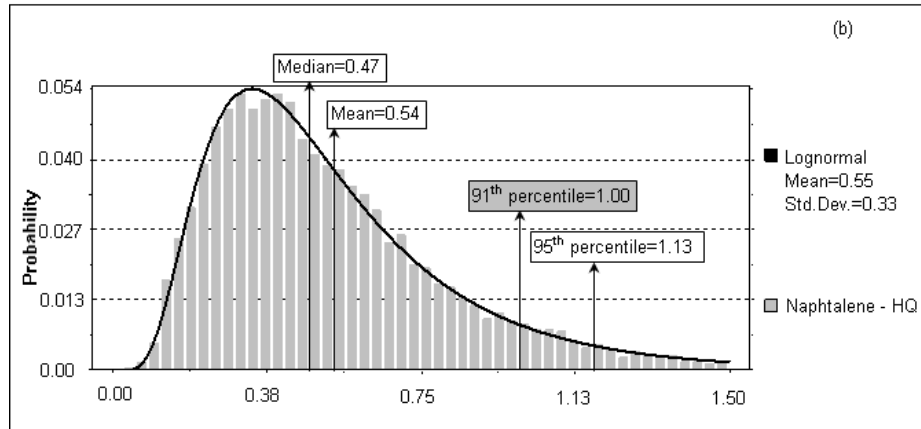
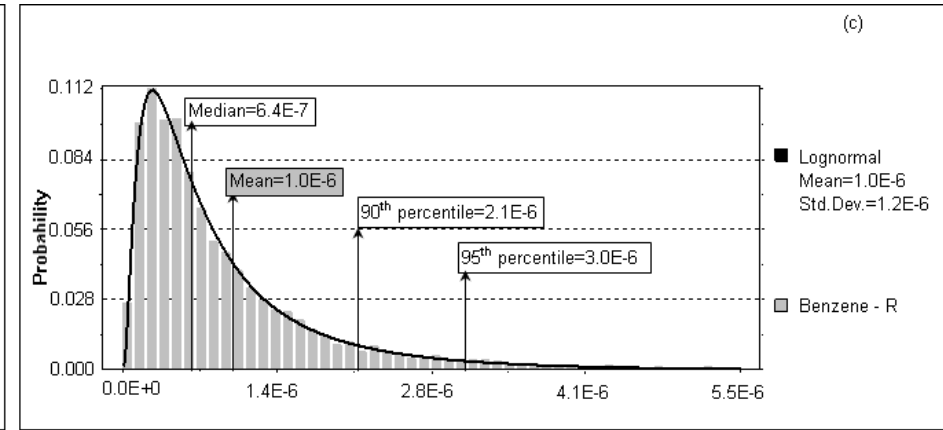
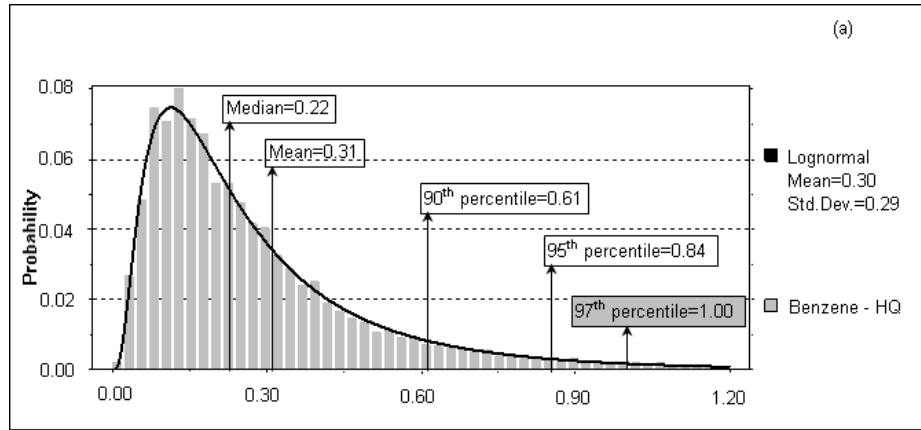
Şekil 2. Anasınıfllarında bina-içi hava UOB derişimi okul-mevsim matrisi



Şekil 3. Dış hava UOB derişimi okul-mevsim matrisi



Şekil 4. Ortalama İç/Dış UOB Derişimi Oranları (barlar 10. ilâ 90. yüzdelik aralığını göstermektedir)



Şekil 5. Kronik-toksik risk: (a) Benzen, (b) Naftalin ve Kanserojenik Risk: (c) Benzen, (d) Formaldehit İstatistikleri, Frekans Dağılımları ve Uyarılan İhtimal Dağılımları

Tablo 7. Derslik Bina-İçi Hava Ortalama Toluen/Benzen ve Toluen/TUOB<sub>51</sub> Oranı Değerleri ve TUOB<sub>51</sub> ve Formaldehit Derişimleri

	Toluen / Benzen Toluen / TUOB <sub>51</sub>			TUOB <sub>51</sub> (µg/m <sup>3</sup> )			Formaldehit (µg/m <sup>3</sup> )		
	Güz	Kış	Bahar	Güz	Kış	Bahar	Güz	Kış	Bahar
Okul-1	2.4 0.46	1.6 0.23	2.0 0.25	27	111	66	55	44	44
Okul-2	3.1 0.34	2.5 0.52	2.4 0.48	26	51	32	29	31	36
Okul-3	4.5 0.40	1.1 0.43	2.2 0.39	10	91	51	19	30	37

Tablo 8. Anasınıfı Bina-İçi Hava Ortalama Toluen/Benzen ve Toluen/TUOB<sub>51</sub> Oranı Değerleri ve TUOB<sub>51</sub> ve Formaldehit Derişimleri

	Toluen / Benzen Toluen / TUOB <sub>51</sub>			TUOB <sub>51</sub> (µg/m <sup>3</sup> )			Formaldehit (µg/m <sup>3</sup> )		
	Güz	Kış	Bahar	Güz	Kış	Bahar	Güz	Kış	Bahar
Okul-1	1.6 0.46	-	21 0.75	58	-	130	109	-	67
Okul-2	1.5 0.44	2.4 0.47	4.4 0.64	43	70	56	92	87	85
Okul-3	2.4 0.56	-	4.1 0.47	48	-	45	78	-	76



Tablo 9. Dış hava Ortalama Toluen/Benzen ve Toluen/TUOB<sub>51</sub> Oranı Değerleri ve TUOB<sub>51</sub> ve Formaldehit Derişimleri

	Toluen / Benzen Toluen / TUOB <sub>51</sub>			TUOB <sub>51</sub> (µg/m <sup>3</sup> )			Formaldehit (µg/m <sup>3</sup> )		
	Güz	Kış	Bahar	Güz	Kış	Bahar	Güz	Kış	Bahar
Okul-1	2.2	1.6	1.8	22	41	24	8.8	7.6	7.6
	0.5	0.5	0.4						
Okul-2	1.5	0.9	1.3	16	16	13	6.1	7.2	7.2
	0.3	0.4	0.4						
Okul-3	3.2	1.6	0.7	10	42	25	2.3	5.9	0.6
	0.5	0.5	0.2						

Tablo 10. Koku, Duyusal Tahriş ve Kronik-Toksik Etkiler için HQ Düzeyleri

	OT*	SIT*	CTT*	Classroom			Kindergarten		
				OQ**	SIQ**	CTQ**	OQ**	SIQ**	CTQ**
Formaldehit	870	77	2.4	0.077	0.87	<b>28</b>	0.12	<b>1.3</b>	<b>43</b>
Benzen	-	-	19			0.044			0.47
Naftalin	15	-	1.7	0.069		0.61	0.037		0.33
Toluen	-	-	80			0.27			0.30
Karbontetraklorit	-	-	6.4			0.022			0.039
Tetrakloroeten	-	-	5.2			0.032			0.021
Ksilenler ( <i>toplama</i> )	-	-	160			0.010			0.019
1,2,4-Trimetilbenzen	160	-	120	0.002		0.003	0.013		0.017
Bromoform	-	-	1.3			0.009			0.008
Trikloroeten	-	-	110			0.006			0.006
1,3,5-Trimetilbenzen	230	-	120	0.000		0.001	0.003		0.005
Kloroform	-	-	61			0.011			0.003
Etilbenzen	-	-	460			0.001			0.003
Isopropylbenzen	100	-	81	0.000		0.000	0.002		0.003
Stiren	140	-	210	0.002		0.001	0.002		0.001
Klorobenzen	-	-	220			0.000			0.000
1,1,1-Trikloroetan	-	-	180			0.000			0.000
<i>p-m</i> -Ksilen	320	-	-	0.002			0.004		
<i>o</i> -Ksilen	850	-	-	0.000			0.001		
N-Propylbenzen	320	-	-	0.000			0.001		

\*OT: Odor Threshold, Sensory Irritation Threshold, CTT: Chronic Toxicity Threshold, en iyi kestirimler Hodgson ve Levin (2003), (-): Değer verilmemiş

\*\*OQ: Odor Quotient, SIQ: Sensory Irritation Quotient, CTQ: Chronic Toxicity Quotient

## 4. YARI UÇUCU ORGANİK MADDELER

### 4.1 Poliklorlu Bifeniller

#### 4.1.1 Giriş

Dünyada üretildikleri ülkelere göre ticari isimleri değişen ve sentezlenme türüne göre içinde buldukları klor yüzdesine bağlı olarak nitelendirilen ve satıldığı zamanlarda Aroclor, Chlorextol, chlorinated biphenyl, chlorinated diphenyl, Clophen, klorobiphenyl, Dykanol, Fenclor, Inerteen, Kanechlor, Noflamol, Phenoclor, polyklorobiphenyl, Pyralene, Pyranol, Santotherm, Sovol, Therminol ticari isimleriyle bulunabilen bu bileşikler 1980'li yıllarda çevrede kalıcılığı ve toksisitesi nedeniyle yasaklanmışlardır. Teknolojik klorlu bifeniller klorlu bifenillerin izomerlerinin karışımından oluşmaktadır. Teorik olarak 209 izomeri bulunan klor miktarların %21 ile %68'i arasında bulunabilir. Poliklorlu bifenillerin üretim ve kullanımda en büyük rolü %42 ile %54 klor içeriğinde olan teknolojik karışımlar büyük rol oynamışlardır. Ekolojik açıdan en ilintili olan izomerler: 28, 52, 101, 118, 138, 153, 180, non-ortho 77, 126, 169 and mono-ortho 105, 118 (Münch vd., 1999).

Ticari olarak kullanılmaya başladığı 1929 yılından 1970'li yıllara kadar poliklorlu bifeniller kapalı sistemlerde olduğu kadar açık sistemlerde kullanılmışlardır. Kapalı sistemlerde

- Kapasitörlerde izolasyon sıvısı olarak,
- İzolasyon ve soğutma bileşiği olarak transformatörlerde
- Madenlerde hidrolik yağı olarak,
- Isı değiştiricilerinde kullanımı belirtilirken, açık sistemlerde kullanım alanları oldukça geniştir:
  - Kaydırıcı
  - Plastik ve yapıştırıcılarda yumuşatıcı
  - Kağıt üretiminde lamine ajanı olarak
  - İçine yerleştirme ajanı (impregnating agent)
  - Yanma geciktirici
  - Çimento plaster ve kalıp ajanında katkı maddesi
  - Böcek öldürücüsünde katkı maddesi
  - Ölçüm aletlerinde sızdırmazlık sıvısı

Dolayısıyla yasaklanmış olduklarından dolayı ana emsiyon kaynaklarını şöyle sınıflamak mümkündür: PCB'nin kullanıldığı ürün bina ve açık sistemlerden buharlaşma, halen kullanımda olduğu ürünlerden saçılma sızma yoluyla meydana gelen buharlaşma, deponi alanlarından veya yakma ünitelerinden, doğru bir şekilde depolanmamış, PCB içeren atıklardan, PCB içeren makina, yakma ünitesi sıvısı veya gazından, açık bir şekilde yapılan yakma işlemleri veya tam yanma olmayan atık yakma sistemlerinden, kapasitör veya çamaşır makinesi vs. gibi ev cihazlarının atık yağ geri çevrim proseslerinden buharlaşma yoluyla ortama salverilirler.

Aktif kaynakların yanma sistemleri ve hatta arıtma tesislerinde klorlama işlemi ile özellikle düşük molekül ağırlıklı olanların varlığı ifade edilmiştir. 1980'li yıllarda gelişmiş ülkelerde üretimi durdurulan bu bileşik grubu Türkiye ve bazı ülkelerde 1990'lı yıllarda kullanımı yasaklanmış ancak bu grubu içeren ürünlerin (transformatör, kablo, kapasitör vs.) kullanımı cihazların yaşam süreçlerini tamamlayıncaya kadar devam edeceği bilinmektedir (Çevre ve Orman Bakanlığı, 2008). Bu kimyasal grubunun geçmişte hemen hemen her yerde kullanımının ana nedeni, ısı karşısındaki kararlı davranışı, reaktif olmaması, elektrik iletkenliğinin düşük olması ve yanmaya karşı dirençli olmasıdır (IPCS, 1993). Endüstriyel olarak avantaj yaratan bu özellikler çevre açısından kalıcılığının yüksek olması nedeniyle problem teşkil etmektedir.

Sadece çevresel olarak değil organizma ve insan sağlığına da negatif etkileri olan bu grup kimyasallar üreme ve bağışıklık sistemine zarar vermekte, sinirsel ve gelişim bozukluklarına yol açmakta ve hormon sistemini bozucu etki yarattığından dolayı muhtemel kanser yapıcı olarak sınıflandırılmıştır (ATSDR, 2000; IPCS, 1995; SCPOP, 2010 ve IRIS, 2010).

Bu kimyasalın izomerleri doğada bozunmadan oldukça uzun zaman kalabildikleri için çeşitli çevre bileşenlerindeki (su, toprak, bitki, insan ve hayvan dokusu gibi) varlıkları, kullanımları yasaklandıktan sonra bile halen dedeksiyon limitlerinin üzerindedir (IPCS, 1993; Li vd., 2007). Öyle ki, artık atmosfere üretim yoluyla atılmadıkları halde atmosferdeki konsantrasyonlarının düşmesi nedeniyle daha önceden atmosfer aracılığıyla kirlenmiş olan yerlerin artık kirlenici bir ortam gibi davranarak atmosfere bu maddeleri salıverdikleri ifade edilmiştir. Hava, su, ve

toprağın yanında sudaki ve karadaki canlılarda olduğu gibi insan sütünde ve dokusunda da tespit edilmişlerdir. Atmosferdeki uzun mesafeli taşınım mekanizması nedeniyle daha önce kullanılmadıkları ya da üretilmedikleri hatta insanın yaşamadığı alanlarda bile özellikle daha uçucu olan izomerleri tespit edilmiştir (Herbert vd., 2005).

Klorlu bifenillere kaza ile maruz kalmanın dışına, maruziyetin ana yolu solunum ve yiyecek yoluyla almaktır. Derişimlerinin düşük olmasına rağmen, izomerlerinin bir arada bulunması nedeniyle eklenik-sinerjistik etki yaratmaları muhtemeldir. Özellikle bozunmaya dirençleri ve yağa olan çekicilikleri nedeniyle birikim yoluyla yiyecek zincirinde yüksek seviyede olmasına ve insan ve ekosisteme zarar verecek boyutlara gelmesine neden olur (Covaci vd., 2008; Law vd., 2006). Biyolojik birikimle zenginleşme faktörünün 70000 kata kadar ulaştığı rapor edilmiştir (IPCS, 1995).

Dış havada ölçülen PCB derişimlerinden kırsal alanların kentsel alana göre değerlerinin düşük olduğu çoğu çalışmada ortaya konmuştur (Harner vd., 2004; Jamshidi vd., 2007; Motelay-Massei vd., 2005; Shen vd., 2006), bunula birlikte tespit edilen toplam PCB için her bir spesifik kongenerin dağılımı ve çeşidi değişmekte ve bölgesel değerler üzerinde yerel kaynaklarında önemini ortaya çıkarmaktadır (Shen vd., 2006). Coğrafik yersel değişime göre PCB homolog gruplarının dağılımının enleme değiştiğine dair belirtiler olduğu ve artan enlem ile 4 klorluların miktarının arttığı hatta 5-klorlu ve 6-klorluların miktarının artan enleme düştüğü ortaya konulmuştur (Shen vd., 2006). Buhar basınçları ile ilişkili olarak uçucu olan daha düşük klorluların kaynaktan çok daha uzakta bulunmasının nedeni budur. Çatlak veya duvarda dolgu için kullanılan mastiklerin özellikle eski binalarda en önemli kaynak olduğu ve özellikle okullarda bunun önemli olabileceği düşünülmüştür. İsviçre ve Almanya'da yapılan çalışmalarda PCB içeren mastiklerin kullanılmış olduğu okul ve halka açık binalarda seviyeler yüksek tespit edilmiştir (Gabrio vd., 2000; Kohler vd., 2002, 2005). Liebl ve diğerleri (2004) düşük klorlu PCB bileşiklerinin (kontaminasyonun tespit edildiği okullarda) havadaki konsantrasyonlarıyla paralel değerlerde kanda da aynı seviyelere tespit edildiğini bildirmiştir.

Bu bileşiklerin atmosferik derişimleri Avrupa (Jaward vd., 2004) ve Asya (Jaward vd., 2005) ülkelerinde izlenmiştir. Asya ülkelerinde  $\Sigma_{29}$ PCB derişimi 20–1700 pg/m<sup>3</sup> arasında olduğu

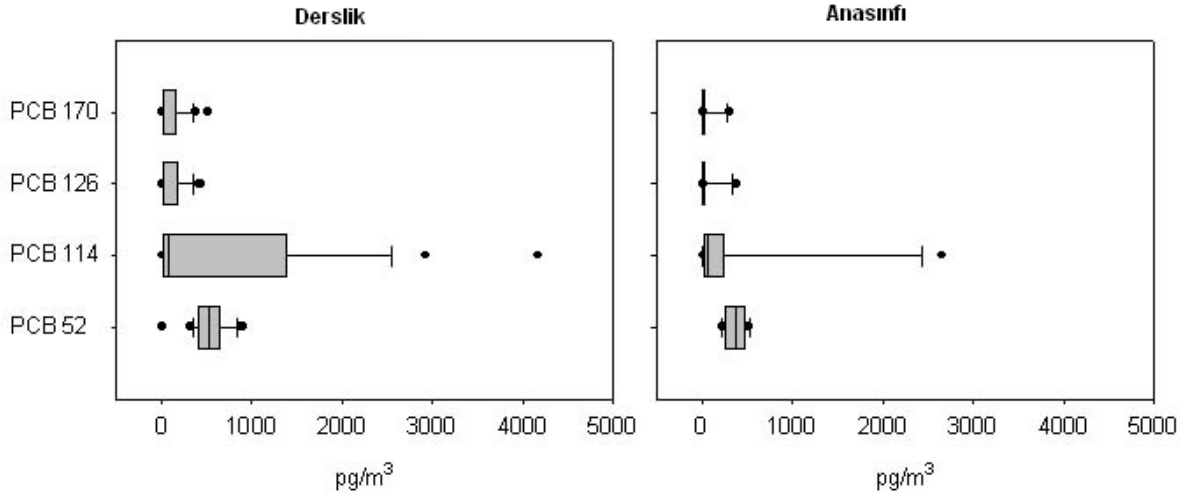
gözlenirken Avrupa ülkelerinde bu aralık 5–336 pg/m<sup>3</sup> arasında bulunmuştur. Ölçülen klorlu bifenillerin arasında baskın bileşik PCB-28 ve bunu takip eden bileşik ise PCB-52 olmuştur. Farrar ve arkadaşları (2006) polimer ile kaplanmış cam örneklerde kısa dönemde yersel değişimi ölçmek amacıyla 19 Avrupa ülkesinde ölçüm yapmışlar ve 10 tane PCB izomeri için atmosferdeki gaz faz konsantrasyonunu 14-1700 pg/m<sup>3</sup> aralıklarında geometrik ortalaması 270 pg/m<sup>3</sup> rapor etmişlerdir. Dış hava da yapılan İzmir'deki PCB ölçümlerinde (Odabaşı vd., 2008) toplam PCB değeri Avrupa ve Asyada ölçülen değerlerden daha yüksek bulunmuştur. PCB-33 izomeri ise sadece yaz için daha yüksek bulunmuştur.

İç hava çalışmalarında ise hava değişim hızlarının daha düşük olması nedeniyle genel olarak derişimler dış hava konsantrasyonlarının 10 katından daha yüksek olarak tespit edilmiştir. Currado ve Harrad (1998) laboratuvar, ofis ve evlerde yaptıkları ölçümlerde PCB seviyelerini dış hava derişimlerinden 1.8-180 defa daha yüksek olduğunu gözlemlemişlerdir. Bunun yanında yine Harrad ve arkadaşları (2006) ev, ofis ve halkın olduğu ortamlarda yaptıkları ölçümlerde bu değerlerin evlerdeki değerlerden daha yüksek olarak raporlamışlardır.

#### **4.1.2 Bulgular ve Tartışma**

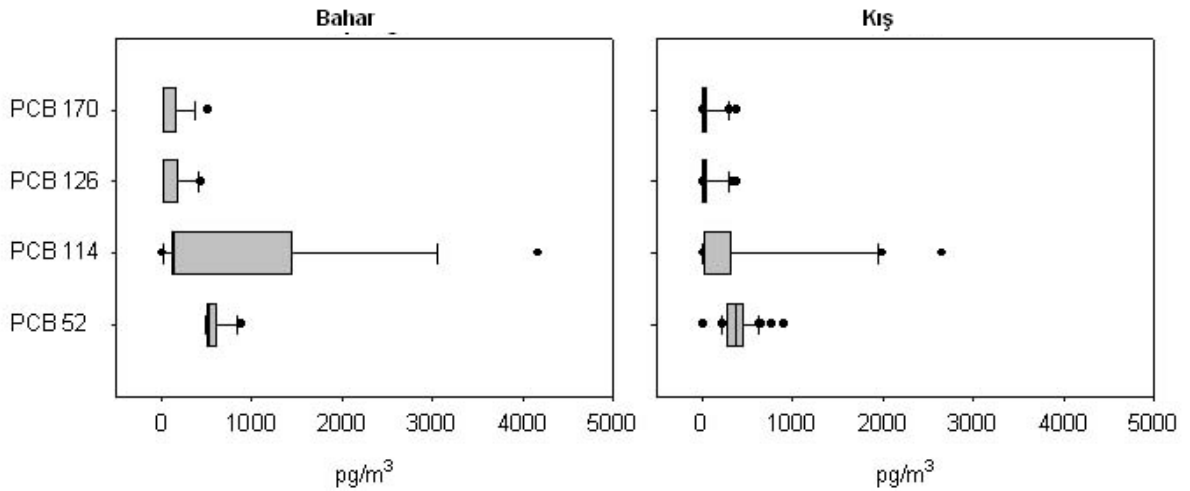
Bina içi hava örnekleri 28 PCB izomeri için analizlendi. Analizlenen izomerler içinde PCB 52, 114, 126, ve 170 bütün örneklerde tespit edilirken diğerleri cihazın dedeksiyon limitinin altında olduğu düşünülerek hesaplar yalnızca bu 4 PCB izomerini içerecek şekilde yapıldı.

Her bir PCB derişimi dedeksiyon limitinin altından 4163 pg/m<sup>3</sup> (PCB114) kadar değişen derişimlerde bulundu. Şekil 6'da görüleceği üzere dersliklerde yapılan ölçümlerde elde edilen değerler anasınıfı değerlerinden daha yüksek olarak tespit edilmiştir. Toplam PCB ( $\Sigma_4$ PCB) değerleri hesaplandığında ortalama  $\Sigma_4$ PCB değeri derslikler için 1428 pg/m<sup>3</sup> iken anasınıfı için bu değer 921 pg/m<sup>3</sup> olmuştur.



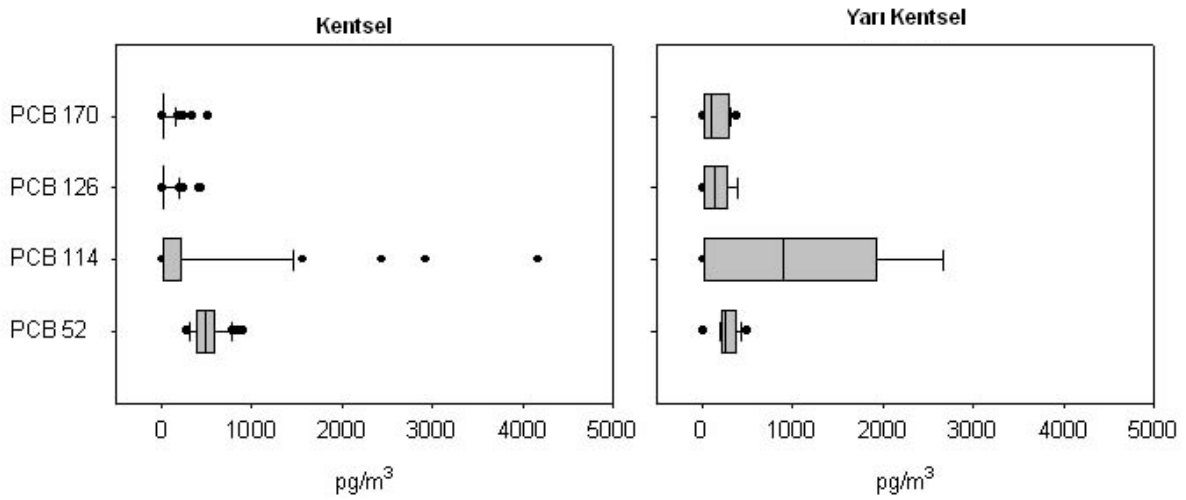
Şekil 6. Derslik ve ana sınıfında bina-içi havasında PCB izomerleri

Yapılan bu ölçümlerin mevsimsel değişimleri incelendiğinde tespit edilen kongenerler aynı olmakla birlikte, PCB seviyeleri ilkbaharda yüksek bulunmuştur (Şekil 7). Literatürdeki bilgilerde yüksek derişimlerin daha ılık havalarda tespit edildiği bildirilmekle birlikte Hazrati ve Harrad (2007) sezona bağlı değişimin bina içi kirleticilerde dış havaya göre daha az değişken olduğunu ifade etmişlerdir. Kış mevsimi için ortalama  $\Sigma_4\text{PCB}$  980  $\text{pg}/\text{m}^3$ , bahar mevsimi için ise 1533  $\text{pg}/\text{m}^3$  olmuştur.



Şekil 7. PCB derişimlerinin mevsimsel değişimi.

Örnekleme yapılan okullardan ikisi şehir merkezinde, bir okul ise kente 45 km uzaklıkta ve yarı kentsel bir bölgede seçilmiş ve şehirdeki okulların trafiğin ve diğer dış hava kontaminantlarının etkisinde olabileceği, yarı-kentsel alanda seçilen okulda ise daha çok iç hava kirleticilerinin etkisi olabileceği düşünülmüştür. Şekil 8’de görüldüğü üzere PCB 52 derişimleri şehirdeki okullarda ( $502 \text{ pg/m}^3$ 'e karşı  $288 \text{ pg/m}^3$ ) daha yüksek bulunmuştur. Diğer PCB’ler ise yarı kentsel okuldaki ölçümlerde yüksek çıkmıştır. Ortalama  $\Sigma\text{PCB}$  değeri kentsel ilkokullarda  $930 \text{ pg/m}^3$  yarı kentsel okulda ise  $1658 \text{ pg/m}^3$ .



Şekil 8. PCB derişimlerinin yersel değışimi

Avrupa ve Asya’da pasif örnekleme yoluyla baskın olan bileşğin PCB28 olduğu ve ikinci sırada PCB52 tarafından takip edildiği bildirilirken, bu çalışmada baskın bileşikler PCB52 ve PCB114 olarak bulunmuştur. Bulunan PCB seviyeleri okullar için Avrupa ve Asya’da yapılan çalışmalarda daha yüksek olarak bulunmuştur (Jaward vd., 2004, 2005).  $\Sigma\text{PCB}$  değerleri İngiltere’de yapılan bir çalışma ile karşılaştırıldığında dış hava konsantrasyonlarından daha yüksek bir değer olmasına rağmen bina içi değerlerden daha düşük olduğu görülmüştür (Currado ve Harrad, 1998).

Aynı bileşikleri kapsamamasına rağmen  $\Sigma_{29}\text{PCB}$  için yapılan ölçümlerde Odabasi ve arkadaşları (2008) kış ve yaz örnekleme kampanyası ile ortalama yaz derişimini  $2078 \text{ pg/m}^3$  ortalama kış derişimini  $1642 \text{ pg/m}^3$  olarak dış havada ölçmüşlerdir. Bu değerler ilkbahar ve



kış için okullarda ölçülenler ile karşılaştırıldığında ( $1533 \text{ pg/m}^3$ ;  $964 \text{ pg/m}^3$ ) daha yüksek olarak nitelendirilebilir. Bu çalışmada 4 kongener için bu değerler bulunurken dış havada 29 bileşik için değerler rapor edilmiştir ve ortak bileşen olarak sadece PCB 52 karşılaştırılabilir izomerdir. PCB52 için tespit edilen değerlere gelince bu değerlerin okul için oldukça yüksek olduğu söylenebilir. Bu projede kış ve ilkbahar ayları ortalama PCB52 derişimi sırasıyla  $388 \pm 160 \text{ pg/m}^3$  ve  $574 \pm 126 \text{ pg/m}^3$  bulunurken, bu değerler İzmir dış havasında  $132 \pm 61 \text{ pg/m}^3$  ve  $169 \pm 70 \text{ pg/m}^3$  olmuştur. Hazrati ve Harrad'ın (2006) çalışmasında ofiste yapılan ölçümde bu değer ( $169 \pm 12 \text{ pg/m}^3$ ) İzmir'de dış hava konsantrasyonuna yakın değerlerde tespit edilmiştir. Ortalama  $\Sigma_{29}\text{PCB}$  değeri  $1138 \text{ pg/m}^3$  ile İngilteredeki çalışmada evde yapılan ölçümlerde bulunan değerlerin üçte birine karşı gelmektedir. İngiltere'de ofis ve halka açık resmi binalarda sırasıyla  $18149 \text{ pg/m}^3$  ve  $30732 \text{ pg/m}^3$  derişimlerinde bulunmuştur (Hazrati ve Harrad, 2006). Okullarda tespit edilen PCB52, 114, 126 ve 170 incelendiğinde PCB52 dışındaki bileşikler coplanar- ya da toksisitesi dioksin türü olanlar arasında sayılan mono-orto, non-orto ve di-orto yapısında olanlardır. Dolayısıyla, diğer kongenerlere göre daha fazla önem atfedilebilir.

### **4.1.3 Sonuç**

Özellikle Okul-2'de ilkbahar ve Okul-3'te kış değerlerinde günlük değişim oldukça belirgin olmuştur. Bunun doğal havalandırma ihtiyacı nedeniyle sık sık pencere açılması nedeniyle olduğu düşünülebilir. Sonuç olarak derslik ve anasınıfında örnekleme yapılan yarı uçucu bileşiklerden PCB'lerin değerleri önemli ölçüde yüksek sayılabilir. Bunların kaynaklarının tespiti ve maruziyeti bunlardan kaynaklanacak sağlık risklerinin belirlenmesi için araştırmalar devam etmelidir.

## **4.2 Polibromlu Difenil Eterler**

### **4.2.1 Giriş**

Polibromlu difenil eterler, başta televizyon ve bilgisayar gibi elektronik cihazlarda olmak üzere bir çok üründe, tekstil ve inşaat malzemesinde yanmayı geciktirmek amacıyla kullanılan kimyasallardır. Bromlanma derecesi ve brom iyonunun pozisyonuna bağlı olarak 209 muhtemel PBDE izomeri vardır. PBDE adsorpsiyonu, bromlanma derecesi ve topraktaki organik karbon içeriği ile orantılı olarak arttığı için, yüksek bromlu PBDE'ler kirletici

kaynaklarına yakın topraklarda yoğunlaşmaktadır (ATSDR, 2004). Diğer taraftan, düşük bromlu PBDE'lerin atmosferde uzun mesafeli taşınım potansiyeli daha fazladır ve gaz fazında daha yüksek oranlarda bulunurlar (ATSDR, 2004; ter Schure ve Larsson, 2002).

PBDE izomerleri doğada bozunmadan oldukça uzun zaman kalabildikleri için çeşitli çevre bileşenlerindeki (su, toprak, bitki, insan ve hayvan dokusu gibi) varlıkları, kullanımları yasaklandıktan sonra bile halen dedeksiyon limitlerinin üzerinde kalmıştır. Bu kirleticiler, atmosferdeki uzun mesafeli taşınım mekanizması sonucunda daha önce kullanılmadıkları ya da üretilmedikleri alanlarda, hatta kutuplarda bile tespit edilmiştir (Su vd., 2007; de Wit vd., 2006; Ikonomou vd., 2002).

Sadece çevresel olarak değil organizma ve insan sağlığına da negatif etkileri olan PBDE'ler, toksik ve hormon sistemini bozucu etki göstermekte, üreme ve bağışıklık sistemlerine zarar vermekte, sinirsel ve gelişim bozukluklarına yol açmakta ve muhtemelen kanserojen etki göstermektedir (ATSDR, 2000; ATSDR, 2004; IPCS, 1995; IRIS, 2010). PBDE'lerin kimyasal yapısı, tiroid hormonları olan 3,3',5-triiodothyronine (T3) ve 3,3',5,5'-tetraiodothyronine (thyroxine, T4) ile çok benzeştiği ve gelişmekte olan beyin tiroid hormonunun işleyişinin bozulmasına çok duyarlı olduğu için, hamileler ile gelişmekte olan fetüsler ve bebekler PBDE maruziyeti açısından en hassas gruplardır (McDonald, 2002).

PBDE'lere kaza ile maruz kalmanın dışına, maruziyetin ana yolu soluma ve yiyecek yoluyla almaktır. Bozunmaya karşı dirençli olmaları ve yağa olan çekicilikleri nedeniyle, bu maddeler birikim yoluyla yiyecek zincirinde yüksek seviyelere ulaşmakta, canlı hücrelerinde birikmekte, insan ve ekosisteme zarar verecek boyutlara gelmektedir (Covaci vd., 2008; Law vd., 2006).

Bu grup kirleticilerin atmosferdeki derişimleri Avrupa (Jaward vd., 2004) ve Asya (Jaward vd., 2005) ülkelerinde pasif örnekleme yöntemi ile izlenmiştir  $\Sigma_8$ PBDE değerleri oldukça yakın bulunmuştur. Avrupa ülkelerinde derişim aralığı 0.5–2500 pg/m<sup>3</sup> iken Asya ülkelerinde bu aralık <0.13–340 pg/m<sup>3</sup> olarak rapor edilmiştir. Ölçülen polibromlu difenil eterler arasında baskın izomerler her iki çalışmada da PBDE 47 ve PBDE 99 olmuş fakat Asya ülkelerinde PBDE 28 derişimleri daha yüksek seviyelerde bulunmuştur.

Farrar ve arkadaşları (2006) tarafından polimer ile kaplanmış cam örneklerle yapılan ölçümlerde atmosferdeki  $\Sigma_2$ PBDE derişim aralığı 1–50  $\text{pg}/\text{m}^3$  ve geometrik ortalaması 8  $\text{pg}/\text{m}^3$  bulunmuştur. İzmir atmosferinde yapılan PBDE ölçümlerinde (Cetin ve Odabaşı, 2008) ise  $\Sigma_7$ PBDE derişimleri gaz ve partikül fazların toplamı olarak rapor edilmiş ve bu aralık yaz için 11–149  $\text{pg}/\text{m}^3$ , kış için ise 6–81  $\text{pg}/\text{m}^3$  olarak bildirilmiştir. Baskın izomerler PBDE 209’u takiben PBDE 47 ve PBDE 99 olmuştur.

İç havada ölçülen PBDE derişimleri genel olarak atmosferdeki derişimlerden oldukça yüksek bulunmuştur. Wilford ve arkadaşları (2004) tarafından yapılan çalışmada ortalama  $\Sigma$ PBDE derişimleri iç havada 260  $\text{pg}/\text{m}^3$ , dış havada ise 2.2  $\text{pg}/\text{m}^3$  olarak rapor edilmiştir. Harrad ve arkadaşları (2006) iç havadaki ortalama  $\Sigma$ PBDE derişimlerini evlerde 52  $\text{pg}/\text{m}^3$ , ofislerde 166  $\text{pg}/\text{m}^3$  ve halka açık ortamlarda 112  $\text{pg}/\text{m}^3$  bulurken Gevao ve arkadaşları (2006) bu değerleri evlerde 15.2  $\text{pg}/\text{m}^3$ , ofislerde 32.7  $\text{pg}/\text{m}^3$  bulmuşlardır. Üç çalışmada da PBDE 47 ve PBDE 99 baskın izomerler olarak rapor edilmiştir.

#### **4.2.2 Bulgular ve Tartışma**

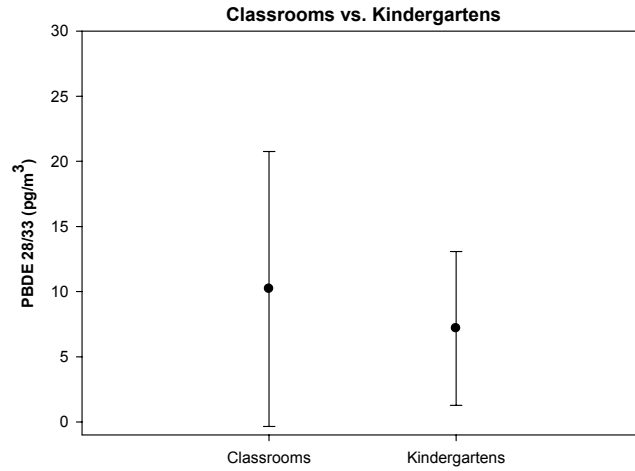
Bina içi hava örnekleri 7 PBDE izomeri için analiz edildi. Bu izomerlerden PBDE 28 ve PBDE 33 kolondan aynı anda ayrılmakta olup, bu dakikada gözlenen pik PBDE 28/33 olarak tanımlandı. Literatürde en sık tespit edilen PBDE izomerleri PBDE 47 ve PBDE 99’dur (Gevao vd., 2006; Harrad vd., 2006; Jaward vd., 2004; Wilford vd, 2004). Bu çalışmada ise bu iki izomer, örneklerin sırasıyla %21’i ve %26’sında tespit edildi. Tablo 11’de belirtildiği gibi, PBDE 28/33 dışındaki tüm izomerler, örneklerin %50’sinden fazlasında dedeksiyon limitinin altında kaldı. Bu nedenle hesaplamalar sadece PBDE 28/33 için yapıldı. PBDE 28/33 derişimleri dedeksiyon limitinin altından 42  $\text{pg}/\text{m}^3$ ’e kadar değişen derişimlerde bulundu. Her bir örnekleme yeri için hesaplanmış olan istatistikler Tablo 12’de verilmiştir. Dersliklerde tespit edilen PBDE 28/33 derişimleri, anasınıfı derişimlerinden daha yüksek bulunmuştur. Şekil 9’da derslikler ve anasınıfları için hesaplanan ortalama ve standart sapma değerleri gösterilmiştir. Dersliklerdeki ortalama derişim 10.20  $\text{pg}/\text{m}^3$  iken anasınıfları için bu değer 7.18  $\text{pg}/\text{m}^3$  olmuştur.

Tablo 11. PBDE izomerlerinin bina içi hava örneklerinde tespit edilme yüzdeleri

İzomer	PBDE 28/33	PBDE 47	PBDE 99	PBDE 100	PBDE 153	PBDE 154
>DL (%)	95	21	26	36	44	36

Tablo 12. Örnekleme yerlerinin istatistikleri

	Ortalama	Medyan	Standart sapma	Minimum	Maksimum
<b>Okul-1 Kış</b> <b>Anasınıfı</b>	6.37	6.37	3.81	3.68	9.07
<b>Okul -2 Kış</b> <b>Derslik</b>	3.77	2.03	4.44	0.49	13.57
<b>Okul -2 Kış</b> <b>Anasınıfı</b>	8.60	3.04	9.69	2.96	19.79
<b>Okul -3 Kış</b> <b>Derslik</b>	12.55	14.82	6.49	0.64	20.68
<b>Okul -3 Kış</b> <b>Anasınıfı</b>	4.60	5.79	3.51	0.64	7.36
<b>Okul -2 Bahar</b> <b>Derslik</b>	14.29	4.78	16.34	0.49	42.05
<b>Okul -2 Bahar</b> <b>Anasınıfı</b>	9.15	6.71	7.64	3.03	17.71

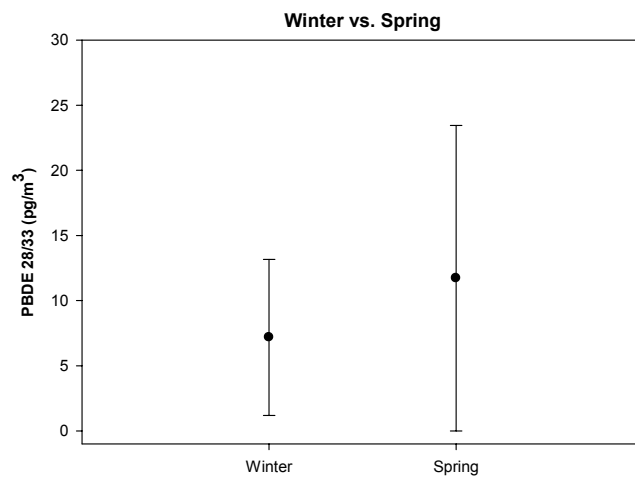


Şekil 9. Derslik ve ana sınıflarında PBDE 28/33 derişimleri

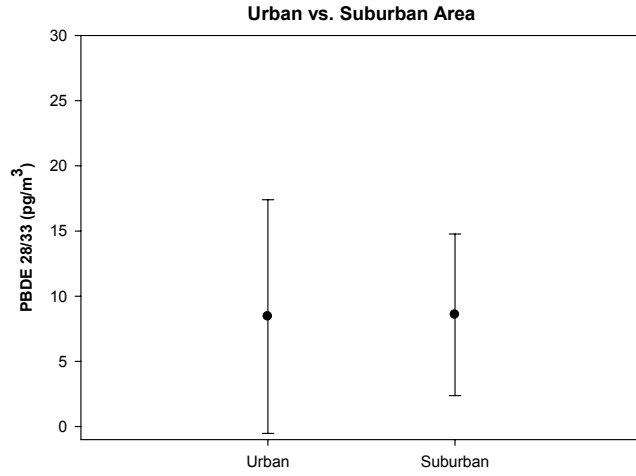
PBDE 28/33 derişimlerinin mevsimsel değişimleri incelendiğinde seviyeler Şekil 10'da görüleceği üzere ilkbaharda daha yüksek bulunmuştur. Bölüm 4.1.2'de bahsedildiği gibi, Hazrati ve Harrad (2007) mevsimsel değişimlerin bina içi kirleticilerde dış havaya göre daha az olduğunu ifade etmişlerdir. Kış mevsimi için ortalama PBDE 28/33 derişimi  $7.18 \text{ pg/m}^3$  iken bahar ortalaması  $11.72 \text{ pg/m}^3$  bulunmuştur.

Örnekleme yapılan okullardan ikisinin şehir merkezinde, bir okulun ise yarı kentsel bir bölgede seçildiği, şehirdeki okulların trafikten ve diğer dış hava kirleticilerinden etkilenebileceği, yarı kentsel alanda seçilen okulda ise daha çok i hava kirleticilerinin etkisi olabileceğinin düşünüldüğü Bölüm 4.1.2'de anlatılmıştı. Fakat Şekil 11'de görüldüğü üzere, PBDE 28/33 derişimleri her iki bölgede birbirine yakın bulunmuştur. Ortalama derişim kentsel okullarda  $8.44 \text{ pg/m}^3$  iken yarı kentsel okulda ise  $8.57 \text{ pg/m}^3$ 'tür.

Bu çalışmada kullanılan PBDE standardı, literatürdeki diğer çalışmalarda kullanılan standartlara ek olarak PBDE 33 izomerini de içerdiği ve bu izomer PBDE 28 ile aynı anda kolondan ayrıldığı için, okullarda tespit edilen PBDE 28/33 derişimleri literatürdeki PBDE 28 değerleri ile karşılaştırılmıştır. Avrupa lkelerinde dış havada pasif örnekleme yoluyla bulunan PBDE 28 seviyeleri (Jaward vd., 2004) okullarda tespit edilen seviyelere oldukça yakinken, Asya lkelerinde daha geniş bir derişim aralığı rapor edilmiştir (Jaward vd., 2005).



Şekil 10. PBDE 28/33 derişimlerinin mevsimsel değişimi



Şekil 11. PBDE 28/33 derişimlerinin yersel değişimi

Ortalama PBDE 28 derişimleri Wilford ve arkadaşları (2004) tarafından yapılan çalışma ile karşılaştırıldığında, okullardaki değerlerin dış havadan ( $24 \text{ pg/m}^3$ ) daha yüksek ve bina içinden ( $0.095 \text{ pg/m}^3$ ) daha düşük olduğu görülmüştür. Kuveyt'te ev ve ofis ortamları için rapor edilmiş olan bina içi ortalama PBDE 28 derişimleri okullardaki seviyelerle kıyaslandığında oldukça düşük bulunmuştur (Gevao vd., 2006).

Cetin ve Odabasi (2008) tarafından İzmir'de dış hava için bildirilen ortalama PBDE 28 derişimleri, hem gaz ve partikül fazların toplamı olmasına hem de kentsel ve yarı kentsel bölgelere ek olarak endüstriyel bir bölgeyi içermesine rağmen, okulların yaklaşık onda biri kadar bulunmuştur. Rapor edilen değerler, okulların aksine, mevsimsel olarak çok belirgin bir farklılık göstermemiştir.

#### 4.2.3 Sonuç

Özellikle Okul-2'de ilkbahar dönemi derişimlerinde günlük değişim oldukça belirgin olmuştur. PCB'ler için de benzer sonuçlar gözlemlenmiş ve bunun doğal havalandırma ihtiyacı nedeniyle sık sık pencere açılması nedeniyle olduğu düşünülmüştür. Buna ek olarak, literatürde en sık rastlanan PBDE izomerleri (47 ve 99) rneklerin %50'sinden fazlasında tespit edilemezken PBDE 28/33'n hemen hemen tümünde bulunması daha fazla araştırma gerektiğine işaret etmektedir.

## **4.3 Sentetik Koku Bileşikleri**

### **4.3.1 Giriş**

Musk olarak adlandırılan koku maddeleri hayvanlar arasında spesifik kimyasal bilgi taşınmasını sağlayan doğal kimyasallar olarak insanların dikkatini çekmişlerdir. Aynı bilgi transferini kullanmak isteyen insanoğlu bu maddeleri musk ceylanları veya farelerinin öd keselerinde bulunduğundan bunu elde etmek için bu hayvanları öldürmüşlerdir. Öyle ki, güzel kokulara olan ilgi artınca diğer bir yol olarak bunu musk kokusu salıveren bitkilerden ekstrakt etmeye başlamışlar ancak yinede duyulan ihtiyacı kaynaklardaki belirsizlik ve zorluk yüzünden sentetik olarak elde etme yollarını aramışlardır. Bunu sentetik olarak elde etmek üzere dizayn edilen bu moleküller aynı kokuyu salmalarına rağmen kimyasal özellikleri ve yapısı itibariyle oldukça farklı olmuştur. Dünyada toplam üretiminin 4000-8000 ton/yıl olarak literatürde yer almasına rağmen son yıllarda bu üretimin ulaştığı miktarlar arasında kesin bir bilgi bulunamamıştır. Sentetik organik moleküller içeren bu bileşikler iki farklı grup olarak üretilmiş olup ilk üretime giren grup nitro benzenoid yapısında olan nitro musk, musk ksilen [MX], musk ketone [MK], musk moskene [MM], musk tibettene [MT] gibi izomerlerden oluşurken, daha sonra üretimine geçilen ve polisiklik yapıda olan polimusklar ise tonalide [AHTN], galaxolide [HHCB], traseolide [ATHI], celestolide [ADBI], phantolide [AHMI], ve cashmeran [DPMI] kimyasalları içermektedir. Doğada var olmadıklarından dolayı xenobiotic, phermone etkilerinden dolayı ise düşük seviyede ostrojenik ve diğer hormonal aktivitelere sebep olabildiklerinden dolayı da endokrin sistemini bozucu kimyasallar grubuna girmektedir. Özellikle nitro musklarda bozunmaya direnç göstermesi, yağa çekiciliğinin olması bu grup kimyasallarında poliklorlu bifeniller gibi davranarak sağlık üzerinde olumsuz etkileri olabileceği düşünülerek Avrupa birliği tarafından öncelikli eylem planı uygulanacak kimyasallar listesine alınmasına sebep olmuştur. Öyleki musk ksilen'nin üretimi Avrupa'da durdurulmuş, dünyada ise nitro muskların üretimi 100 ton/yıl azaltılırken, polisiklik muskların üretimi nitroların yerini alacak şekilde 1987-1996 yılları arasında 1000 ton/yıl artırılmıştır.

Kozmetikten, kişisel bakım ürünlerine, parfümlerden temizlik maddelerine, oda spreylere kadar sabunlara ve diğ macunlarına kadar oldukça geniş bir yelpazede kullanımları

vardır. İnsanoğlunun güzel kokan madde ihtiyacı arttıkça üretimi artan bu bileşiklerin en büyük ihracatçısı Çin ve Hindistan olmakla birlikte, Avrupa ve Amerikada üretimleri mevcuttur. Ancak 1997 yılında Avrupa birliği ve OSPARCOM (Oslo and Paris Commission-Environmental Regulations for the European Community) nitro muskları acil önlem alınacak kimyasallar listesine almasıyla musk ksilen üretimi Avrupada durdurulmuştur. Literatürde yer alan bilgiye göre 1997’li yıllarda Avrupada polisiklik koku maddeleri kullanımı Amerikada ise nitro muskların kullanımının yaygın olduğu ifade edilmiştir. Bu maddelerin kullanıldığı yerlerdeki miktarları Avrupa ülkelerinin bazılarında sınırlandırılmaya başlanmıştır. Nedenlerini ise bu maddelerin doğadaki etkileri ve tarihsel gelişimlerine bakarak anlayabiliriz.

Üretim miktarlarının dünyada diğer kimyasallara göreceli olarak daha az miktarda olmasına rağmen 1980’lerin başında Japonya’da Tama nehrinde balık ve sularda oldukça önemli seviyede musk ksilen ve musk ketone ilk defa tespit edilmesiyle çalışmalar başlamıştır (Yamagashi vd., 1981). Daha sonra ise balık, midye, insan sütü ve dokusunda, atık sularda, arıtılmış atık sularda hatta içme suyunda tespit edilmişlerdir (Kallenborn vd., 1999; Rimkus vd. 1999; Benotti, 2009). Bu maddelerin kullanıldığı ürünler genellikle kullanımdan sonra lağıma karıştığından, çoğu araştırma bunların çeşitli yüzey sularında ve atık sulardaki miktarlarını tespit çalışmaları olarak yer almıştır.

Ana maruziyet yolu deri olarak ifade edilen bu bileşiklerde daha sonra atmosferin buharlaşma sonucu bu maddeleri taşımaya yardımcı bir ortam olduğu düşünülerek bunların seviyeleri dış hava ve yağmur suyunda da ölçülmüştür (Peck ve Hornbuckle 2006; Peters, vd. 2008). Ancak unutulmamalıdır ki, bina-içi havasında çoğu kirleticinin seviyesi dış havadan kat kat yüksek ölçülmüştür. İnsanoğlu gününün oldukça büyük bir kısmını bina-içi mikroçevrelerde geçirdiğinden, bina-içi maruziyette en önemli yolun soluma yoluyla olabileceği kabul edilerek özellikle bu maddelerin yoğun olarak kullanıldığı iş yeri değerlerinin ölçüldüğü bir kaç çalışma mevcuttur. Kallenborn ve Gatermann (2009) yaptıkları çalışmada ortalama gaz faz derişimini galaxolide (HHCB) için  $20 \text{ ng/m}^3$  olarak bir kuaförde ölçmüştür. Fromme vd. (2004) bu tip çalışmayı apartman dairelerinde ve anaokullarındaki hava ve ev tozunda yapmıştır. Medyan ve maksimum gaz konsantrasyonunu HHCB için sırasıyla 101 ve

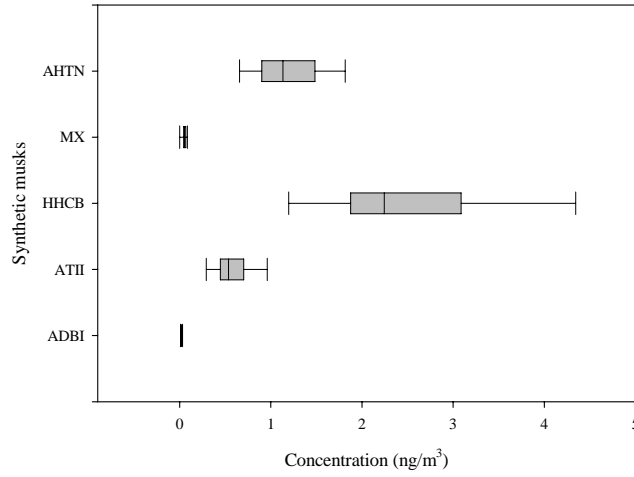


299 ng/m<sup>3</sup> olarak, tonalide (AHTN) içinse sırasıyla 44 ve 107 ng/m<sup>3</sup> olarak tespit etmişlerdir. Bu alandaki çalışmalardan bir diğeri, bir iş ortamında, Çin'de bir kozmetik üretim tesisinde yapılan çalışma olup toplam gaz faz konsantrasyonu oldukça yüksek bulunmuştur; hatta tesisten 200 m uzaklaşıldığında bile tespit edilebilir düzeylerde kaldığını bildirmişlerdir (Chen vd., 2007). Bir kozmetik fabrikasında yapılan bu çalışma aynı zamanda literatürde partikül faz derişiminin raporlandığı tek çalışma olup, tesisin içinde toplam partikül faz konsantrasyonu 127 ng/m<sup>3</sup> olarak bildirilmiştir.

Bu projede, bu alanda veri yokluğu nedeniyle, kısa dönemde gaz ve PM<sub>2.5</sub> partikül faz derişimlerinin çocukların maruziyeti açısından önemli olabileceği düşünülerek, şehir merkezindeki bir ilkokulun 7 yaş öğrencilerini bulunduğu bir sınıfında daha sonra yapılacak çalışmalara alt yapı teşkil edebilecek ön çalışmalar yapılmıştır.

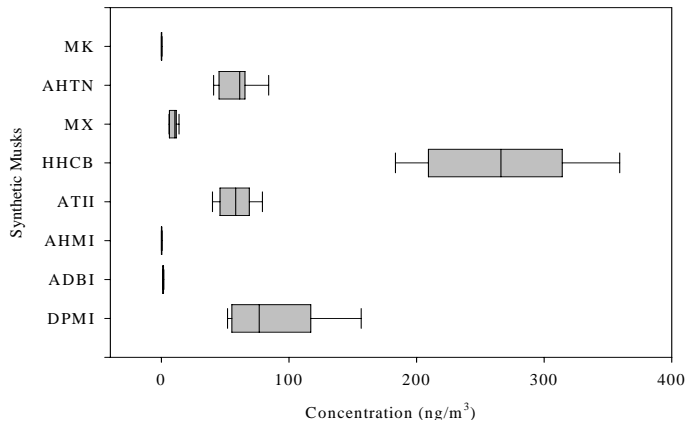
#### **4.3.2 Bulgular ve Tartışma**

Bina için partikül fazda (PM<sub>2.5</sub>), analizlenen 8 tane sentetik koku maddesinden 5 tanesi (HHCB, AHTN, ATII, MX ve ADBI), tespit edilmiş ve bunlardan dünya üretiminin yaklaşık %70'ini oluşturan HHCB ve AHTN'in diğerlerine göre daha yüksek olduğu görülmüştür (bkz. Şekil 12). Derişimler, 0.05 ng/m<sup>3</sup>'ten (MX) 2.50 ng/m<sup>3</sup>'e (HHCB) kadar değışim göstermiştir. Daha öncede ifade edildiği üzere ölçülen sentetik koku maddelerinden partikül faz konsantrasyonları sadece Çin'de yapılan bir çalışmada bildirilmiştir. Bu çalışmada toplam partikül faz konsantrasyonu (askıda partikül maddeyi ifade eden ve boyut aralığı 100 mikron ve altı olabilen) kozmetik üretim tesis içinde sadece polisiklik maddeler için 127 ng/m<sup>3</sup> iken 200 metre rüzgar yönünde tesisten uzak bir mesafede 2.4 ng/m<sup>3</sup>, o bölgede dış havada ise 1.7 ng/m<sup>3</sup> olarak belirlenmiştir. Bir işyeri için yapılan ölçümlerin, genel bina-içi ortamlardan daha yüksek olacağı bilinmelidir.



Şekil 12. Sınıfta tespit edilen partikül faz derişimleri

Analizi yapılan 8 bileşğin hepsi gaz fazda tespit edilmiştir. Yine baskın bileşik HHCB olmuştur. Ortalama derişim değerleri 0.12 ng/m<sup>3</sup> (MK)'ten 267 ng/m<sup>3</sup> (HHCB) arasında değişim göstermiştir (Şekil 13). Derişimlere bağlı sıralama ise HHCB > DPMI > AHTN > ATII > MX > ADBI > AHMI > MK şeklinde olmuştur.



Şekil 13. Sınıfta tespit edilen gaz faz derişimleri

Gaz faz bina-içi hava koku bileşiklerinin, Berlin'de ev ve anasınıflarında yapılan bir çalışmada, ortalama derişimi 101 ng/m<sup>3</sup> (aralık ise 15-299 ng/m<sup>3</sup>) olarak ölçülmüş ve değerler yaklaşık aynı aralıklarda olmuştur. Bu ortalamaya katkının en çoğu yaklaşık %61 ile HHCB tarafından

olurken, bunu %26 ile AHTN ve yine %26 ile AHMI takip etmiştir. DPMI ve MX hiç bir örnekte tespit edilememiş, MK ve ATII bir kaç örnekte düşük seviyede (12 ve 17 ng/m<sup>3</sup>) ölçülmüştür. İlk hava derişimlerinin saptandığı çalışmalardan olan bir kuaför salonunda yapılan ölçümlerde derişimler HHCB için ortalama ve maksimum 20 ve 44 ng/m<sup>3</sup> olarak bildirilmiştir (Kallenborn ve Gatermann, 2004). Polisiklik musk derişimlerinin ölçüldüğü Çin'deki kozmetik tesisinde yapılan ölçümlerde değerler oldukça yüksektir (Chen vd., 2007). Toplam gaz konsantrasyonu 5416 ng/m<sup>3</sup> ve toplam derişime katkının %96.5 kadarı HHCB ve AHTN tarafından yapılmıştır. Bu, tabii ki, üretim sırasında kullanılan koku maddelerinin miktarı ile orantılıdır.

### **4.3.3 Sonuç**

Sentetik koku maddeleriyle ilgili bir çok çalışma, özellikle bu maddelerin kullanıldığı ürünlerin çevreye yayılma yolu atık su ile olduğundan, atık su çalışmalarını ve özelliklede gelişmiş ülkelerde yapılan ölçümleri içermektedir. Su çalışmaların çoğunda tespit edilemeyen DPMI, çalışmamızda oldukça yüksek konsantrasyonda tespit edilmiştir. Bunun daha çok kullanılan temizlik ve kişisel bakım ürünlerinde DPMI kullanımdan kaynaklandığı düşünülmüştür. En azından ölçümün yapıldığı ilkokulda, ya temizlik maddeleri veya kişisel bakım ürünleri (şampuan, krem vs.) veya çamaşırlarda kullanılan yumuşatıcılarda DPMI bulunduğuna işaret etmektedir. Gaz ve partikül fazdaki dağılımına bakılınca sentetik koku maddelerinin çoğunluğu gaz fazda (%96) bulunmuştur. Yapılan bu çalışma bir gün içinde maruz kalınan, okulda geçen bir zaman dilimini yansıtmaktadır. Oysa okuldan daha fazla zaman geçirilen evler ve derişimlerinin daha yüksek düzeylerde bulunabileceği mikroçevreler de dikkate alınarak bir maruziyet hesaplandığında daha yüksek düzeylerle karşılaşılacağı aşikardır. Hesaplanacak bu toplam günlük maruziyet için gaz ve solunabilir partikül derişimleri dikkate alınarak yapılacak risk değerlendirmesine göre bu maddelerin kullanımı sınırlandırılması halk sağlığını, özellikle çocuk sağlığını korumak açısından uygun bir politika olacaktır.

## 5. PARTİKÜL MADDE (PM) VE İZ ELEMENTLER

### 5.1 Giriş

Bina-içi havada bulunan partiküllerin kaynağı olarak hem dış hava hem de bina-içi çeşitli kaynaklar gösterilebilir. Dış havada bulunan partiküller hem doğal (toprak, volkanlar vb.) hem de insan aktiviteleri kaynaklı olabilmektedir. Yakma işleminin uygulandığı tüm endüstriyel süreçler ve petrol kaynaklı yakıtlarla çalışan motorlu taşıtlar, madencilik, vb. insan aktiviteleri önemli kaynaklardır. Bina-içinde ise sigara içilmesi, mum-tütsü yakılması, yemek pişirilmesi birincil PM kaynakları iken, yere ve diğer yatay yüzeylere çökelmiş partiküllerin insanların hareketi, temizlik yapmaları gibi aktiviteleri sonucu ya da hızlı hava akımı gibi diğer etmenler sonucu tekrar havalanarak uçuşan partikül haline gelmesi ve kimyasal reaksiyonlar sonucu oluşması gibi ikincil kaynakları da bulunmaktadır.

Toz parçacıkları (PM) boyutlarına ( $d_p$ , aerodinamik çap) göre üç grupta ele alınmaktadır: Kaba partiküller ( $2,5 < d_p < 10 \mu m$ ), ince partiküller ( $0,1 < d_p < 2,5 \mu m$ ), ve ultra ince partiküller ( $d_p < 0,1 \mu m$ ). Bunlardan, kaba partiküller üst solunum yollarında etkili bir şekilde yakalanmakta, dolayısıyla sadece buralarda sağlık etkisi yaratma potansiyeline sahip olmakta iken ince partiküller akciğere kadar ulaşabildiği için sağlık etkisi potansiyeli daha yüksek olduğu düşünülmektedir. Ultra ince partiküller ise alveol keseciklerine kadar penetre edebilmekte ve kana karışma potansiyeline sahip bulunmaktadır; dolayısıyla insan sağlığı açısından bunların en yüksek öneme haiz oldukları da düşünülmektedir (Donaldson vd., 2001). Geleneksel olarak ölçülegelen kütleli PM (TSP,  $PM_{10}$ ) derişimlerine ultra ince partiküller çok düşük, ince partiküller de düşük bir oranda katkıda bulunurken dane sayısı derişimi olarak yaklaşıldığında havada en yüksek düzeyde ultra ince ve yüksek oranda ince partiküller bulunduğu görülmektedir (Keywood vd., 1999). Dolayısıyla, dane sayısı derişimlerinin ölçümü önemli bir bina-içi hava kalitesi alanı haline gelmiştir.

Her ne kadar, partiküller ile yarattıkları sağlık etkileri arasında çoğunlukla epidemiyolojik çalışmalar ile bağlantı kurulmuş olsa da mekanistik olarak farklı boyutlardaki partiküllerin sağlık etkilerine nasıl sebep oldukları bilinmediğinden (Brunekreef ve Holgate, 2002) dış hava ve bina-içi hava için geliştirilip uygulanmakta olan 24-saatlik ortalama ve yıllık ortalama  $PM_{2,5}$

ve PM<sub>10</sub> standart ve rehber derişimlerinden başka ölçülen derişimlerin sağlık etkilerini ya da risk düzeylerini belirleme konusunda elimizde bir araç bulunmamaktadır. Dünya Sağlık Örgütü (WHO) PM<sub>10</sub> için 24-saat ve yıllık ortalama rehber derişimlerini sırasıyla 50 ve 20 µg/m<sup>3</sup>, PM<sub>2,5</sub> içinse sırasıyla 25 ve 10 µg/m<sup>3</sup> olarak yayınlamıştır. Bina-içi hava kalitesine ait sınır değerler tavsiye eden ya da uygulayan ülkeler de yukarıda bahsedilen değerleri esas almaktadır. Örneğin Kanada'da PM<sub>2,5</sub> için 8-saatlik ortalama derişim 40 µg/m<sup>3</sup>, 1-saatlik ortalama derişim ise 100 µg/m<sup>3</sup> olarak önerilmektedir.

Gerek kütleli gerekse sayısal, okullardaki PM derişimleri konusunda özellikle son yıllarda birçok çalışma yapılmıştır. Sigara içilmesi, mum-tütsü yakılması, yemek pişirilmesi gibi direkt kaynaklarının bulunmamasına rağmen okullara özel bir önem atfedilmiş olmasının sebebi iki taraflı olarak düşünülebilir. Öncelikle, çocuklar toplumun kirleticilerin etkilerine karşı hassas bir alt grubu olmaları ve vücut büyüklüklerine oranla daha hızlı solunum yapmaları sebebiyle maruziyetlerinin yetişkinlere göre daha önemli olmasıdır. İkinci olarak da, iç kaynakları az olsa da dışarıdan içeriye taşınan partiküllerin, birim alana düşen kişi sayısının yüksek olması ve bu kişilerin, yani çocukların, çok hareketli olmaları sebebiyle gündüzleri eğitim saatlerinde havada sürekli derişimlerin yüksek olmasıdır. Yurtdışındaki okullarda ölçülen kütleli PM derişimlerinin (PM<sub>2,5</sub>), Branis vd. (2009) 4 – 63 µg/m<sup>3</sup> aralığında (ortalama 24 µg/m<sup>3</sup>), Ward vd. (2007) 4,6 – 53 µg/m<sup>3</sup> aralığında, Crist vd. (2008) 0,5 – 72 µg/m<sup>3</sup> aralığında (ortalama 16 µg/m<sup>3</sup>) olduğu bildirilirken, İstanbul ve Ankara'daki okullarda ölçülen derişimler de bildirilmiştir. İstanbul'da 6 ilköğretim okulunda Ekmekçioğlu ve Keskin (2007) tarafından ölçülen ortalama derişimler 45 – 95 µg/m<sup>3</sup> aralığında (genel ortalama 71 µg/m<sup>3</sup>), Ankara'da Güllü ve Menteşe (2009) tarafından bir ilkokulun sınıflarında ölçülen ortalama derişimler 26 – 45 µg/m<sup>3</sup> aralığında, bir kreşin odalarında ölçülen ortalama derişimler ise 6 – 40 µg/m<sup>3</sup> aralığında yer almıştır. Literatürde okullarda ölçülüp yayınlanmış sayısal dane derişimleri incelendiğinde, Tippayawong vd. (2009) en yüksek derişimleri 0,3-0,5 µm boyut aralığında (ortalama 18×10<sup>7</sup> partikül/m<sup>3</sup>) en düşük derişimleri de 2,5-5,0 µm boyut aralığında (ortalama 5×10<sup>5</sup> partikül/m<sup>3</sup>) bulunduğunu bildirmiştir. Parker vd. (2008) en kirli ve en temiz 5-günlük periyotlar için ortalama derişimleri ve aradaki farkın yaklaşık 10 kat civarında olduğunu bildirmiştir. En kirli 5-günlük periyotta 0,3-0,4 µm boyut aralığında derişimler 1×10<sup>8</sup> partikül/m<sup>3</sup> düzeyine ulaşırken 7,5-10 µm boyut aralığında 1×10<sup>4</sup> partikül/m<sup>3</sup> düzeyine

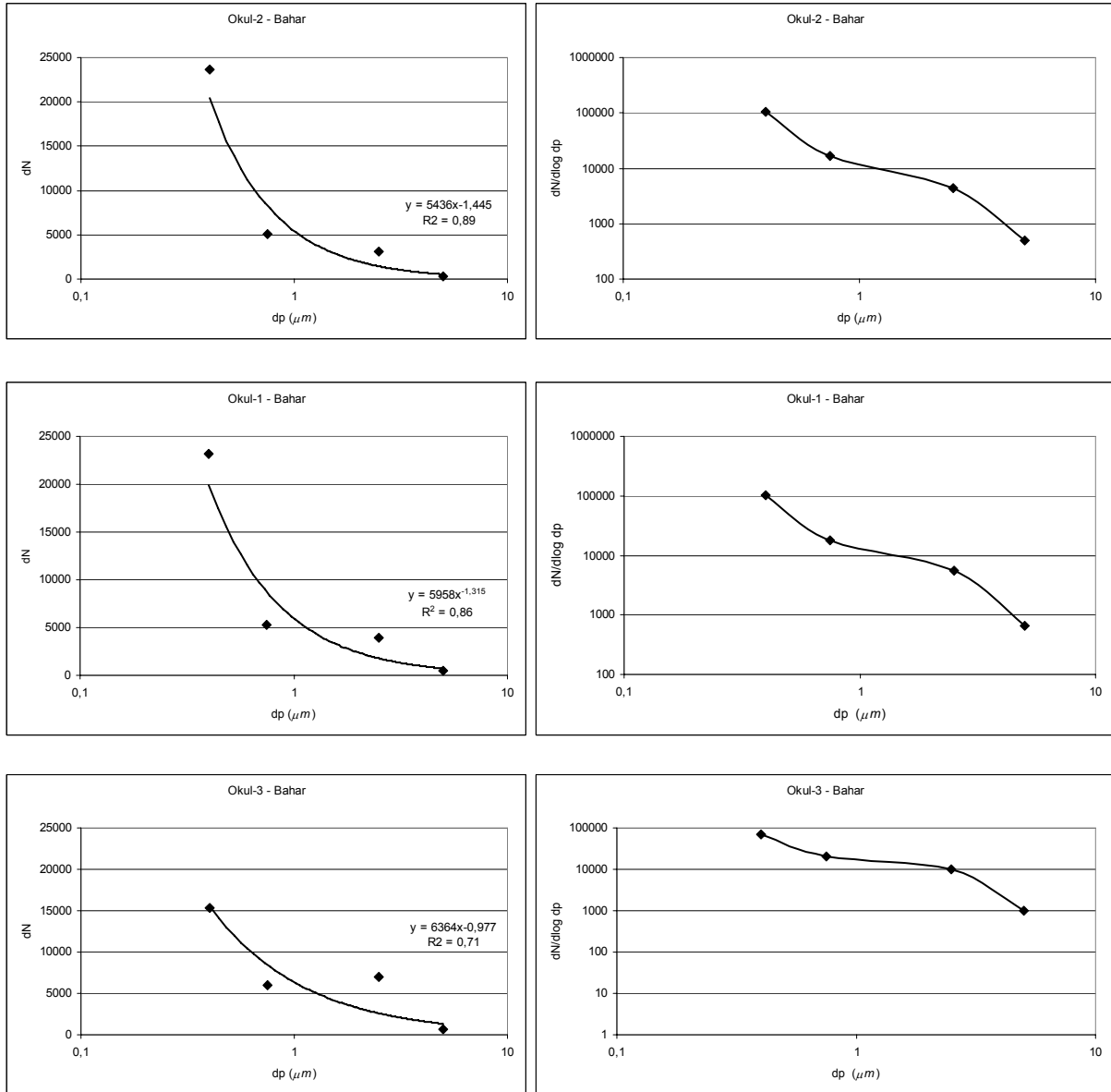
ulaşmamıştır. Weichenthal vd. (2008) Kanada'daki dersliklerde ultra ince partikül (0,02-1 µm) derişimlerini 1033-11414 partikül/cm<sup>3</sup> aralığında (ortalama bir okulda 4605 partikül/cm<sup>3</sup>, bir okulda 5429 partikül/cm<sup>3</sup>) belirlemiştir. Atina'daki 7 okulda (Diapouli vd., 2007a) ölçülen ortalama derişimler (ortalama±std. dev. 23.8±17.6×10<sup>3</sup> partikül/cm<sup>3</sup>) bir kütüphanede ve öğretmen ofisinde yaklaşık 50×10<sup>3</sup> partikül/cm<sup>3</sup> düzeyine kadar ulaşmıştır.

## **5.2 Bulgular ve Tartışma**

### **5.2.1 Partikül Madde Dane Sayısı – Boyut Dağılımları**

Partikül sayım cihazı ile bahar döneminde her üç okulda, kış döneminde Okul-2 ve -3'te, sonbahar döneminde ise sadece Okul-2'de ölçüm yapılabilmektedir. Her bir boyut aralığı için (0,3-0,5 µm, 0,5-1,0 µm, 1,0-5,0 µm, >5 µm) derslik (n=6-9) ve anasınıfı (n=2-3) örnekleri üzerinden ortalama dane sayıları hesaplanarak dane sayısı – boyut dağılımları iki ayrı şekilde çizilmiştir. Birinci tip çizimde, aralık ortalama dane boyutuna (d<sub>p</sub>) karşı her bir aralıktaki dane sayısı (dN) çizilirken, ikinci tip çizimde ise aralık ortalama dane boyutuna (d<sub>p</sub>) karşı dN/dLog d<sub>p</sub> oranı çizilmiştir. Her iki çizim de, bahar dönemi için Şekil 14'de, kış ve sonbahar dönemi için Şekil 15'te sunulmuştur.

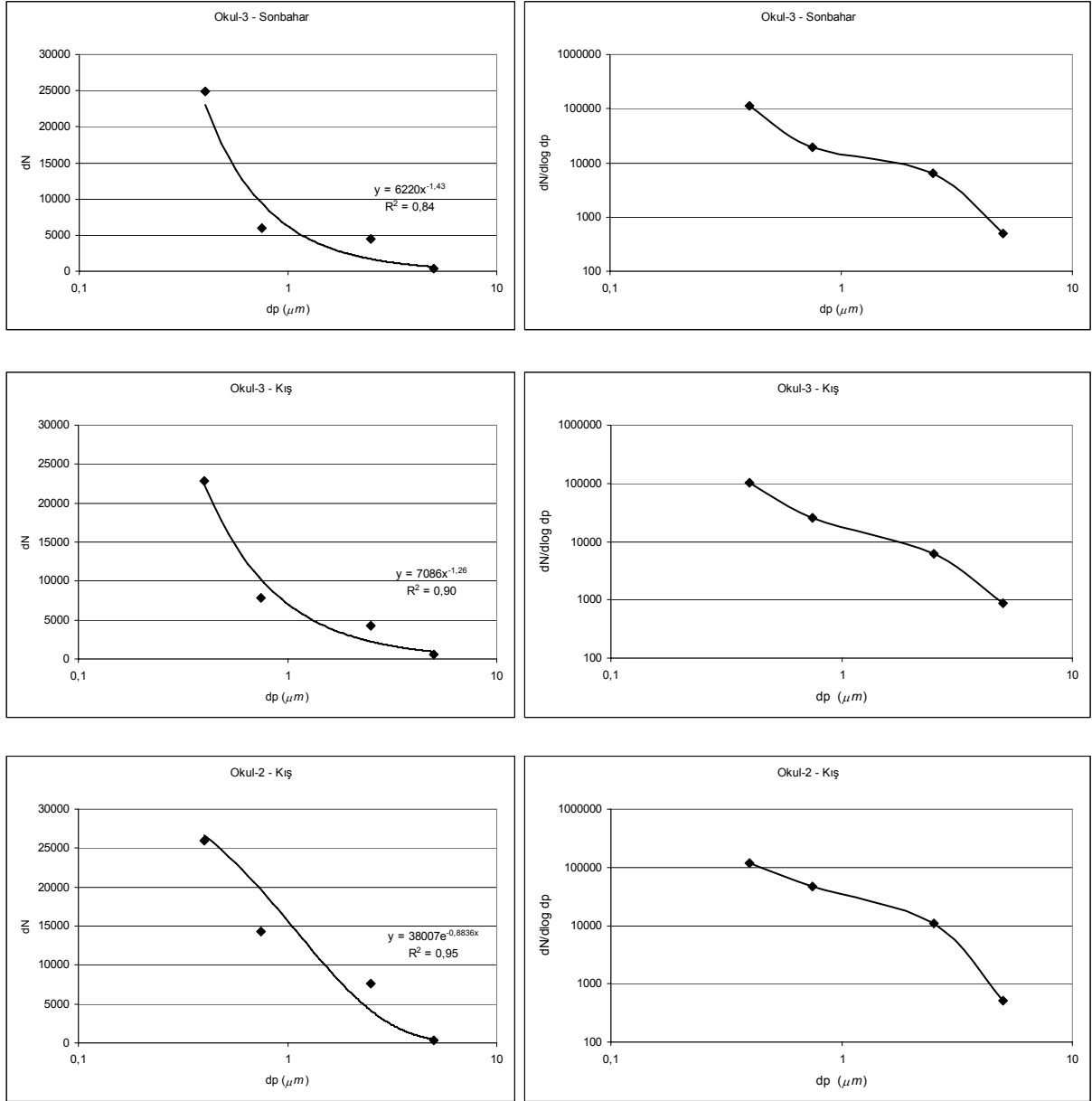
Bahar dönemi dağılımları incelendiğinde kentsel alanda yer alan Okul-1 ve -2 benzer iken, yarı-kentsel alanda yer alan Okul-3 farklı bir karakter göstermektedir. Okul-3'te, 1 ve 2'ye göre en küçük boyut aralığındaki dane sayısı daha az iken, en büyük iki boyut aralığında ise daha fazladır. Bu kentsel alan atmosferik ince (fine) partikül derişimlerinin, kentsel olmayan ve yarı-kentsel alanlara göre daha yüksek olduğu bilgisi ile örtüşmektedir. Bu dağılımlar, literatürde yayınlanmış atmosferik boyut dağılımları ile benzerlik göstermektedir. Kerminen vd. (2007) bir inversiyon olayı sırasında bir ana yol kenarında topladıkları partiküller için kurdukları boyut dağılımına benzediği görülmüştür. Yukarıda yapılan iki çıkarım, bu projede bahar dönemi derslik örneklerinin dış hava kaynaklı olmasının çok muhtemel olduğu sonucuna ulaşılmasını sağlamaktadır. Sonbahar ve kış dönemleri için kurulan boyut dağılımları, bahar dönemi kentsel alan (Okul-1 ve -2) ile oldukça benzerdir.



Şekil 14. Derslikler için bahar dönemi ortalama partikül dane sayısı – boyut dağılımları

### 5.2.2 Partikül Madde Kütle – Boyut Dağılımları

Kütle – boyut dağılımları Okul-2 ve Okul-3 için kış dönemi örneklemeleri sonucunda oluşturulmuştur. Bu örnekler için Ege Üniversitesi İlaç Araştırma Geliştirme ve Farmakokinetik Araştırma ve Uygulama Merkezi'nde (ARGEFAR) bulunan 1 μg hassasiyette, Class-100 tartım odasına yerleştirilmiş olan bir Mettler bir tartı kullanılmıştır. Kalan örneklemelerde ise Enstitümüzde bulunan 1 μg hassasiyette bir tartı kullanılmış ancak elde edilen sonuçlar toplanan partikül madde miktarının yetersizliği sebebiyle belirsizliği çok



Şekil 15. Derslikler için sonbahar ve kış ortalama partikül dane sayısı – boyut dağılımları

yüksek bulunmuş ve rapor edilmemiştir. Her iki okulda 6 sınıf, 2 anasınıfı ve 2 dış hava örnekleme yapılmıştır. Oluşturulan dağılımlar, kentsel alanda yer alan Okul-2 için Şekil 16’da, yarı-kentsel alanda yer alan Okul-3’te ise Şekil 17’de sunulmuştur. Derslik dağılımlarında, her boyut aralığındaki değişkenliği göstermek için standart sapma değerleri hata barları olarak çizimlerde gösterilirken, anasınıfı ve dış hava çizimlerinde veri sayısının yetersiz olması sebebiyle yer almamıştır. Belirlenen PM<sub>2,5</sub> ve PM<sub>1</sub> derişimleri Tablo 13’de sunulmuştur. Buna göre, her iki boyut aralığı için de, derslik derişimleri anasınıfı



derişimlerinden daha yüksektir. Anasınıfında  $PM_{2,5}$  içindeki  $PM_1$  oranı dersliklere göre daha azdır. Bu duruma çocukların hareketinin anasınıfında daha kısıtlı olması, bu hareketle havalanan kaba partiküllerin anasınıfı yer döşemesi olarak tercih edilen halıda daha iyi tutulması, ve anasınıfı temizliğinin dersliklere göre daha iyi ve sık yapılmasının katkıda bulunduğu düşünülebilir. Her iki bina-içi mikroçevre için de iç/dış oranları hem dış hem de iç kaynakların katkıda bulunduğunu göstermektedir. Ancak, özellikle bina-içi sıcaklıkların güneşlenme sebebiyle yüksek olması sebebiyle pencere kullanımı ile daha fazla havalandırılan Okul-3'te dışarıdan içeriye taşınan kaba partiküllerin etkisiyle  $PM_{2,5}$  için  $PM_1$ 'e göre daha büyük olduğu görülmektedir.

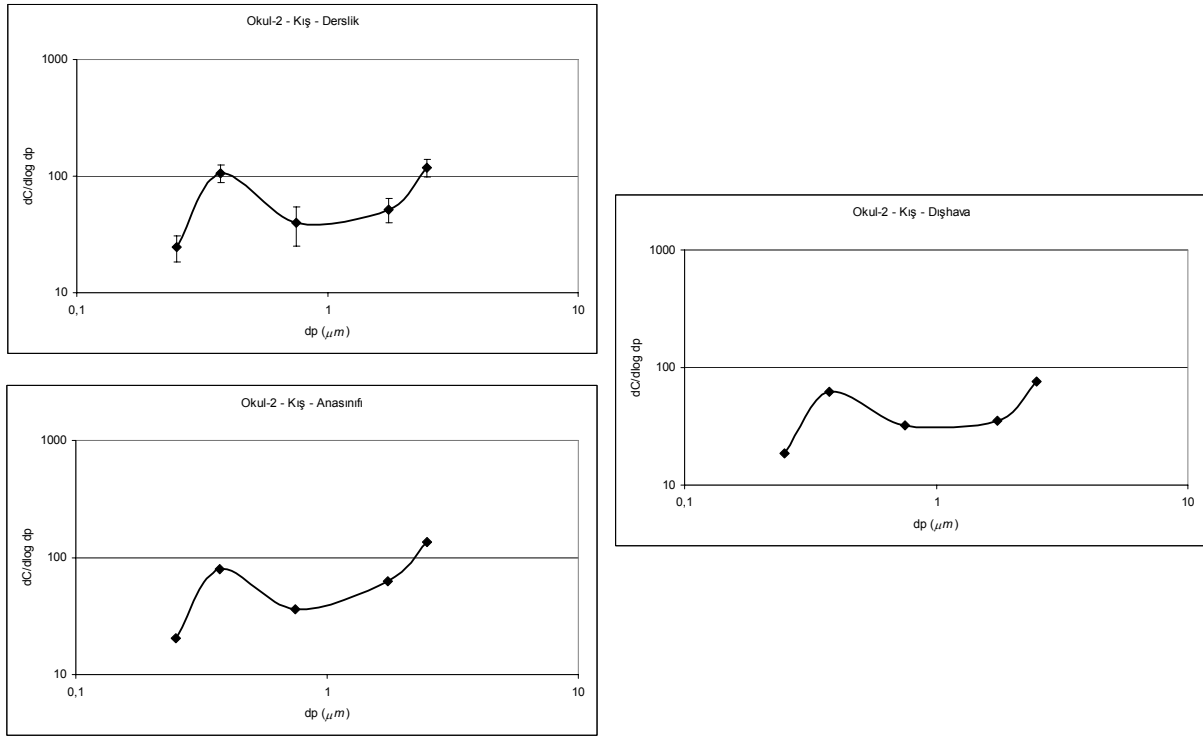
Tablo 13.  $PM_{2,5}$  ve  $PM_1$  Kütlesel Derişimleri

PM ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	OKUL-3		OKUL-2		$PM_1 / PM_{2,5}$					
	$PM_{2,5}$	İ/D	$PM_1$	İ/D	OKUL-3	OKUL-2				
DERSLİK	120	1,45	73	1,01	79	1,46	59	1,48	0,61	0,75
ANASINIFI	85	1,02	50	0,69	72	1,33	47	1,18	0,59	0,65
AÇIK HAVA	83		72		54		40		0,87	0,74

Okul-2'de, derslik ve anasınıfı kütle-boyut dağılımları karşılaştırıldığında her ikisinde de 0,25-0,50  $\mu\text{m}$  aralığında bir pik görülmekte, >2,5  $\mu\text{m}$  katmanında da bir pik yapmak üzere bir artış eğilimi görülmektedir. İstatistiksel olmamakla birlikte göreceli olarak ince partiküller olarak sınıflandırarsak ilk üç katmanda dersliklerde, göreceli daha büyük partikül katmanları olan son iki katmanda ise anasınıflarında daha yüksek derişimler gözlenmektedir. Ancak genel itibarla, her iki iç ortam için elde edilen dağılımların şekilleri benzerdir. Bina-içi ile dış hava karşılaştırması yaptığımızda yine şeklen benzerlik olduğu görülmüştür. Bu, partikül madde kaynağının aynı olduğu, yani dış havanın ana kaynak olduğu savını oluşturmaktadır.

İ/D oranları hesaplandığında, dersliklerde  $d_p(\mu\text{m}) < 0,25, 0,5-0,25, 1,0-0,5, 2,5-1,0, >2,5$  aralıkları için sırasıyla 1,3, 1,7, 1,2, 1,5, 1,5 anasınıflarında ise sırasıyla 1,1, 1,3, 1,1, 1,8, 1,8 değerlerini aldığı görülmüştür. Bu değerler yukarıdaki savı ne desteklemekte ne de kösteklemektedir. Ancak, göreceli ince ve kaba partiküller arasında kaynak açısından bir fark olduğu göze çarpmaktadır. Göreceli ince partikülleri temsil eden ilk üç katman ile kaba

partikülleri temsil eden son iki katmanın ortalama  $I/D$  oranı karşılaştırıldığında (derslikler: 1,43–1.54, anasınıfları: 1,16–1,78), özellikle anasınıfları için göreceli kaba partiküllerin kaynağının ağırlıklı olarak dış hava olduğu, göreceli ince partiküller içinse kaynak olarak dış havanın aynı oranda güçlü olmadığı, her iki kaynağın da etkin olduğu sonucu çıkmaktadır.



Şekil 16. Okul-2 kış dönemi partikül kütle – boyut dağılımları

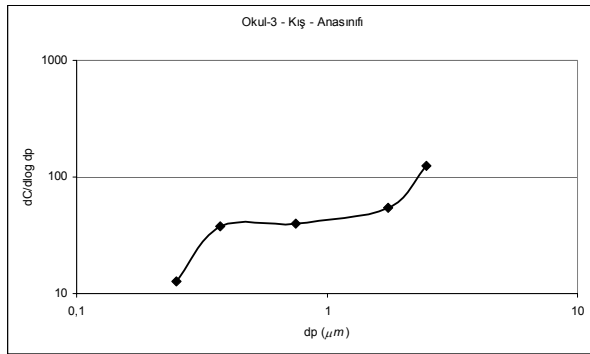
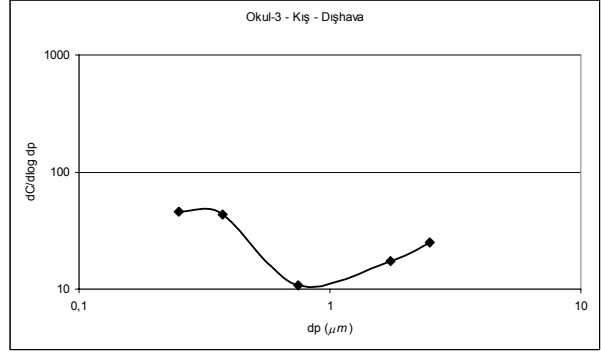
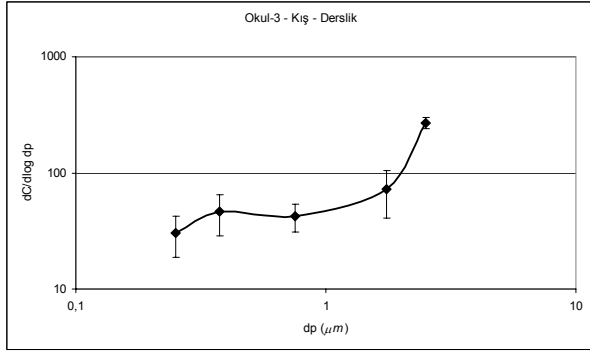
Okul-3'te, derslik ve anasınıfı kütle-boyut dağılımları karşılaştırıldığında, Okul-2'de 0,25–0,50  $\mu\text{m}$  aralığında görülen pik, burada daha zayıf bir şekilde görülmektedir. Okul-2 ile benzer bir şekilde  $>2,5 \mu\text{m}$  katmanında da bir pik yapmak üzere bir artış eğilimi görülmektedir.

İstatistiksel olmamakla birlikte en ince partikül katmanında ( $<0,25 \mu\text{m}$ ) dersliklerde, en büyük partikül katmanında ( $>2,5 \mu\text{m}$ ) ise anasınıflarında daha yüksek derişimler gözlenmektedir. Ancak genel itibarla, her iki iç ortam için elde edilen dağılımların şekilleri benzerdir. Bina-içi ile dış hava karşılaştırması yaptığımızda ise Okul-2'den farklı olarak burada dış hava kütle-boyut dağılımı farklı olduğu için iç-dış benzerliğinden pek de bahsetmek mümkün değildir. Bu, partikül madde kaynağının aynı olduğu, yani dış havanın ana kaynak olduğu savına destek vermemektedir.  $I/D$  oranlarını inceleyecek olursak, Okul-2'den farklı olarak bu oran değerlerinin geniş bir aralıkta değişkenlik gösterdiği görülmüştür.

Dersliklerde inceden kabaya doğru her bir katman için İ/D oranı 0,66; 1,07; 3,96; 4,18; 10,7 iken anasınıflarında 0,28; 0,86; 3,67; 3,10; 4,95 olarak belirlenmiştir. Bu okulda dikkati çeken, yine Okul-2'den farklı olarak ilk üç ince partikül katmanı yerine ilk iki katmanda oranların benzer ve diğer üst katmanlara göre düşük olduğu ve bunların >1 olmadığıdır. İlk ince katman ile diğer üç katman ortalama İ/D değerlerini karşılaştırsak, dersliklerde 0,9 – 6,3; anasınıflarında 0,6–3,9 şeklinde olduğunu görmekteyiz. Bu da, ince partiküller (ilk iki katman,  $d_p < 0,5 \mu\text{m}$ ) için hem iç hem de dış kaynakların etkili olduğunu, kaba partiküller içinse (son üç katman,  $d_p > 0,5 \mu\text{m}$ ) iç kaynakların hakim olduğu sonucunu doğurmaktadır.

Doğal havalandırma yapılan bu binalarda, ısıtma sezonu olması sebebiyle kapı-pencerelerin açılması oranı düşük olmakta, bu da düşük havalandırma oranları ile sonuçlanmaktadır. İnfiltrasyonla dış havadan içeriye taşınım düşünüldüğünde, bunun ince partiküller için kaba olanlara göre daha yüksek oranda olduğu varsayımı yapılabilir. Dolayısıyla, çocukların koşturması ana aktivite olmak üzere insan aktiviteleri sebebiyle çökelmiş tozların yerden kalkması ve tekrar havaya karışması göreceli daha kaba partiküller için ana kaynağın içeride olması ile sonuçlanmaktadır. Görece ince partiküller içinse hem insan aktivitesi hem de dış havanın infiltrasyonu kaynak olmaktadır.

Kentsel alanda bulunan Okul-2 ile yarı-kentsel alanda bulunan Okul-3 kütle-boyut dağılımları herbir katman derişimleri için Okul-3 / Okul-2 oranları hesaplanarak karşılaştırılmıştır. Hesaplanan oran değerleri Tablo 14'de sunulmuştur. Genel olarak dış hava oranları kentsel alana göre yarı-kentsel alandaki beklenen düşük derişimleri göstermektedir. Bu durum bir katman ( $d_p < 0,25 \mu\text{m}$ ) hariç tüm katmanlarda görülmüştür. Bu durum, kentsel alanda hem evsel ısınma hem de trafik yoğunluğundan kaynaklanan daha yoğun fosil yakıt yakılıyor olması sonucu olabilir. Ayrıca, kış mevsiminde atmosferde sıcaklık terselmesi (inversion) olduğu durumlarda higroskopik partikül büyümesi oluşabilmektedir. Kentsel alanlardaki evsel ısınma ve trafik emisyonlarının, yarı-kentsel alanlara göre çok daha yüksek olduğu düşünülürse, partikül büyümesi olayının etkisinin daha fazla olduğu sonucu üretilebilir. İç hava derişimlerinin karşılaştırmasında, en kaba katman hariç derişimlerin benzer olduğu hesaplanan oran değerlerinden görülmektedir. Bu da, kış mevsimi olması itibarıyla düşük havalandırma oranlarının, iç derişimleri benzer kıldığı fikrini oluşturmaktadır.



Şekil 17. Okul-3 kış dönemi partikül kütle – boyut dağılımları

Tablo 14. Herbir katman için Okul-3 / Okul-2 Derişim Oranları

Partikül Çapı (μm)	Okul-3 / Okul-2 Partikül Derişim Oranı	
	İç Hava	Dış Hava
>2,50	1,6	0,33
2,5-1,0	1,1	0,49
1,0-0,5	1,1	0,33
0,5-0,25	0,5	0,70
<0,25	0,9	2,50

Literatür ile karşılaştırıldığında, elde edilen tüm dağılımların atmosferde gözlemlenen partikül kütle-boyut dağılımlarına benzediği düşünülmüştür. Sofuoğlu vd. (1998) tarafından Amerika Birleşik Devletleri'nde, Chicago, Illinois kentsel alanında ve kırsal alanda (South Heaven, Michigan) belirlenen kütle-boyut dağılımları ile çalışmamızda elde edilen dağılımların 0,1 – 10 µm kısımları şeklen benzer olduğu görülmektedir.

### 5.2.3 Partikül Maddede Elementel Derişimler

Bina-içi ve dış hava partikül maddede iz element derişimleri İzmir'de ikisi metropolde biri de bir banliyöde bulunan üç ilköğretim okulunda, iki mevsimde (kış, bahar) ölçülmüştür. Analizi yapılan elementlerin sayısı 12 olup bunlar Al, As, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mg, Mn, Ni, Pb ve Zn'dir. Takip eden kısımlarda sırasıyla dersliklerde, ana sınıflarında ölçülen bina-içi hava ve bahçelerde ölçülen dış hava derişimleri ile ilgili bulgular ve tartışmalar, iki kısım halinde sunulacaktır. Birinci kısımda kaskat örnekleycininin beş katmanından elde edilen derişimler ince ( $d_p \leq 2,5 \mu m$ ) ve kaba ( $d_p > 2,5 \mu m$ ) partiküller şeklinde gruplandırılarak sunulacak, sonra da tüm katmanlardaki derişimlerin tekil olarak görüldüğü kütle-boyut dağılımları sunulacaktır.

#### *Derslikler*

Okul-1, Okul-2 ve Okul-3 dersliklerinde belirlenen bina-içi hava elementel derişimler Kış ve Bahar mevsimleri için sırasıyla Tablo 15, Tablo 16 ve Tablo 17'te sunulmuştur. Tablolar, ince ( $PM_{2,5}$ ) ve kaba ( $d_p > 2,5 \mu m$ ) partikül derişimlerini, bunların birbirine oranını listelemekte ve hem ince, hem de kaba partiküller için iç/dış oranını sunmaktadır. Tablolarda hem ince/kaba, hem de iç/dış oranları için değer  $\geq 2$  ise koyu griye, oran  $\leq 0,5$  ise açık griye boyanmıştır. İç/dış oranının  $>2$  olması içerideki partikül maddenin ana kaynak olduğu,  $<0,5$  olması ise dış havanın ana kaynak olduğu sonucunu çıkarmakta dayanak olarak kullanılmıştır.

Ağırlıklı olarak yerküre kaynaklı olduğu düşünülen Al, Fe ve Mg ile ağırlıklı olarak insan aktiviteleri kaynaklı olduğu düşünülen As, Cd, Co, Cr, Cu, Ni ve Pb için hesaplanan ince/kaba oranlarının genel ortalama değerleri karşılaştırıldığında, dış havada için bilinenin aksine büyük bir fark (sırasıyla birinci grup için 3,5'a karşı ikinci grup için 3,9) görülmemiştir. Hatta kış ve bahar dönemleri kendi içlerinde karşılaştırıldığında baharda insan kaynaklı

elementlerin ince/kaba oranı kışın tersine (3,2'ye karşı 2,8) daha yüksek (3,9'a karşı 5,0) görülmüştür. Her okul için belirlenen ince/kaba oranları ayrı ayrı değerlendirildiğinde her iki mevsimde yapılan örnekleme için de genellemeler yapılabilecek kendi içinde tutarlı sonuçlar bulunmamaktadır. Genel itibarla, her üç okulda, iki ayrı mevsimde belirlenen ince/kaba oranlarının büyük çoğunlukla >2 olduğu düşünülürse, aslen orijinal kaynaklarından bağımsız olarak tüm elementlerin benzer bir kaynaktan geldiği yargısına ulaşılabılır; ki bu yere çökelmiş toz taneciklerinin çok yoğun olan çocuk nüfusunun yine tenefüslerde ve öğle arasında yoğun hareketliliği sonucu tekrar havaya kalkması olabileceğidir. Her üç okulda, tüm yer döşemelerinin taş karolar şeklinde olduğu düşünülürse, tozun yerden kalkması bu tip yüzeylerde oldukça kolay olduğundan, ulaşılan bu yargının tutarlı olduğu sonucuna varılabilir. Her üç okulda da, yer yüzeylerin temizliği günde sadece bir defa, akşamüstü okul sonrası yapılmaktaydı. Okul-1 ve Okul-2'de sadece ıslak paspas yapılırken, Okul-3'te önce elektrikli süpürge sonra paspas uygulanmaktaydı. Elektrikli süpürge uygulaması, bilindiği gibi üzerinde takılı filtrenin verimine bağlı olarak farklı olabilmekle birlikte, kaba toz tanecikleri için daha verimli bir yöntemdir. Bilinmemekle birlikte, ıslak paspas uygulamasının da benzer bir özelliği olduğu kabul edilirse, orijinal ana kaynağına bağlı olmaksızın tüm elementler için benzer ince/kaba oranları ile karşılaşılması kuvvetle muhtemeldir. Bu durumda, ince partiküllerin ağırlıkta olduğu bir bina-içi atmosfer içinde bulunan çocukların, ağırlıklı olarak kaba partiküllerin bulunması durumuna göre göreceli olarak sağlıkları açısından daha olumsuz şartlar altında buldukları söylenebilir.

Okul-1 için, hem ince hem de kaba fraksiyon için iç/dış oranları ele alındığında genel olarak tüm elementler için (kışın Co ve Pb hariç) ya dış kaynakların baskın ya da hem iç hem de dış kaynakların katkıda bulunduğu gözlenmektedir. Kış ile bahar arasındaki fark ise kışın hiçbir element için dış hava baskın kaynak olarak gözükmezken baharda Al, Fe, Mn gibi hem toprak hem de antropojenik dış kaynakları olan elementlerin kaynağının baskın olarak dış hava olduğu görülmektedir. Ayrıca, baharda hiç bir elementin kaynağı baskın olarak iç kaynak değildir. Bu durum, aynı keskinlikte olmasa da diğer iki okulda da genel olarak görülmüştür. Yerküre kaynaklı elementlerin iç/dış oranı ortalaması ile insan aktiviteleri kaynaklı elementlerin iç/dış oranı ortalaması her iki mevsimde her üç okul için de hesaplandığında iki değer dışında 0,65 ile 1,90 arasında yer aldığı görülmüştür. Bu aralığın dışında kalan değerler

Okul-1’de kışın yerküre kaynaklı ve Okul-3’te baharda yine yerküre kaynaklı elementler için hesaplananlardır; her ikisi de  $>2$ ’dir. Bunlardan birinin bahar, birinin kışta olması ve her ikisinin de toprak elementleri için olması, bu iki değerin istisna olma ihtimallerinin yüksek olduğunu düşündürmektedir. Aslen hiçbir element için hiçbir okulda ve hiçbir mevsimde iç/dış oranının çok yüksek değerler ( $>10$ ) almamış olması bunların çok güçlü iç kaynakları olmadığı düşüncesini onaylamaktadır. Toz, dışarıdan içeriye taşınmakta ya da sızmaktadır. Eğer havalandırma oranı düşüğe (kapı ve pencereler genel itibarla kapalı tutuluyorsa) iç/dış oranları 2-10 aralığında yer bulabilmektedir; ki, bu durumun çocuk hareketliliği ile yerden kalkan toza işaret ediyor olma olasılığı yüksektir. Ayrıca, sadece kış iç/dış oranları elementlerin tümü dikkate alınarak hesaplanan ortalama değerler incelendiğinde, ince ve kaba fraksiyonlar arasında görülen farklar (bkz. Tablo 18), çoğunlukla kapı ve pencerelerin kapalı tutulduğu düşünülürse, ince partiküller açısından dışarıdan içeriye taşınım açısından penetrasyonun önemli bir rol oynadığını göstermektedir. Bu tablodan ayrıca metropoldeki iki okul olan 1 ve 2 ile bir banliyöde yer alan Okul-3 arasında bir fark olduğu da görülmektedir. Bu durum, banliyödeki okulda sınıfların binanın yönü sebebiyle gün boyu güneş alması sonucu pencerelerin daha fazla kullanılması ve dolayısıyla dış hava etkisinin metropoldeki okullara göre daha yüksek olmasından kaynaklandığı (gözlemlerimize dayanılarak) düşünülmektedir.

### *Anasınıfları*

Okul-1, Okul-2 ve Okul-3 anasınıflarında belirlenen bina-içi hava elementel derişimler Kış ve Bahar mevsimleri için sırasıyla Tablo 19, Tablo 20 ve Tablo 21’de sunulmuştur. Tablolar, ince ( $PM_{2,5}$ ) ve kaba ( $d_p > 2,5 \mu m$ ) partikül derişimlerini, bunların biribirine oranını listelemekte ve hem ince, hem de kaba partiküller için iç/dış oranını sunmaktadır. Tablolarda hem ince/kaba, hem de iç/dış oranları için oran  $\geq 2$  ise koyu griye, oran  $\leq 0,5$  ise açık griye boyanmıştır. İç/dış oranının  $>2$  olması içerideki partikül maddenin ana kaynak olduğu,  $<0,5$  olması ise dış havanın ana kaynak olduğu sonucunu çıkarmakta dayanak olarak kullanılmıştır.

Ağırlıklı olarak yerküre kaynaklı olduğu düşünülen Al, Fe ve Mg ile ağırlıklı olarak insan aktiviteleri kaynaklı olduğu düşünülen As, Cd, Co, Cr, Cu, Ni ve Pb için hesaplanan ince/kaba oranlarının genel ortalama değerleri karşılaştırıldığında, dış havada için bilinenin aksine

büyük bir fark (sırasıyla birinci grup için 4,0'a karşı ikinci grup için 4,5) görülmemiştir. Ancak bu fark, iki mevsim için ayrı ayrı düşünüldüğünde baharda çok benzerken (sırasıyla 3,8 ve 3,7) kışın daha belirgin bir fark görülmektedir (sırasıyla 4,2 ve 5,3). Genel itibarla, her üç okulda derslikler için olana benzer bir biçimde, iki ayrı mevsimde belirlenen ince/kaba oranlarının büyük çoğunlukla  $>2$  olduğu düşünülürse, aslen orijinal kaynaklarından bağımsız olarak tüm elementlerin benzer bir kaynaktan geldiği yargısına ulaşılabilir; ki bu yere çökelmiş toz taneciklerinin çok yoğun çocuk hareketliliği sonucu tekrar havaya kalkması olabileceğidir. Dersliklerden farklı olarak anasınıflarında yer döşemesi olarak halı kullanıldığı ve/veya temizliğin daha dikkatli ve sık yapıldığı düşünülürse, göreceli büyük partiküllerin ya halı üzerinde daha iyi tutulduğu ya da temizlik ile (özellikle elektrikli süpürge yardımıyla) daha iyi toplanabildiği genel yargısı üzerinden, dersliklere göre ince/kaba oranlarının daha yüksek bulunması açıklanabilir. Her üç okulda da, halı haricindeki yer yüzeyleri (muşamba ya da vinil karo) temizliği günde en az iki defa paspaslama, halı yüzeyler ise elektrik süpürgesi ile günde bir defa temizlenmekteydi. Bu durumda, orijinal ana kaynağına bağlı olmaksızın tüm elementler için benzer ince/kaba oranları ile karşılaşmış olması kuvvetle muhtemeldir. Bu durumda, ince partiküllerin ağırlıkta olduğu bir bina-içi atmosfer içinde bulunan çocukların, ağırlıklı olarak kaba partiküllerin bulunması durumuna göre göreceli olarak sağlıkları açısından daha olumsuz şartlar altında buldukları söylenebilir.

İç/dış oranları ele alındığında genel olarak ya dış kaynakların baskın ya da hem iç hem de dış kaynakların katkıda bulunduğu gözlenmektedir. İç/dış oranının  $>2$  olduğu iç kaynakların baskın olduğu yorumunu yapabileceğimiz elementler farklı okul ve farklı mevsim kombinasyonlarında ince ve kaba fraksiyonlar için değişkenlik göstermektedir. Her altı örnekleme döneminde  $I/O > 2$  olan element bulunmazken, bu durumda en sık görülen element üç defa ile Ni olurken, iki defa ile Cr, Pb ve Zn takip etmektedir. Kalanlar ise tekil durumlardır: As, Co, Mn. Genel ortalama  $I/O$  değerleri karşılaştırıldığında kaba partiküller için oranın ince olanlara göre hem kış (0,96 – 0,75) hem de baharda (1,06 – 0,97) daha yüksek olduğu görülürken, ince ve kaba partiküller beraber düşünülüp kış – bahar karşılaştırılması yapıldığında oran genel ortalamasının kışın (1,07) bahara (0,85) daha yüksek olduğu görülmüştür. Dolayısıyla, aynı keskinlikte olmamakla birlikte anasınıflarında dersliklere benzer şekilde dış havanın kaynak olarak önemi görülmektedir. Yerküre kaynaklı



elementlerin iç/dış oranı ortalaması ile insan aktiviteleri kaynaklı elementlerin iç/dış oranı ortalaması her iki mevsimde de 0,5-2,0 aralığı içinde yer alırken, yerküre elementlerinin i/D değerleri (genel ortalama 0,8) insan kaynaklı olanlara göre (1,3) daha düşüktür. Aradaki fark, kışın (0,95 – 1,60 = -0,65) bahara göre (0,55 – 0,91 = -0,35) daha belirgindir. İnce/kaba partikül ayırımı yapıldığında, baharda i/D oranlarının her iki grup element için yakın olduğu görülürken kışın gruplar arasında insan kaynaklı elementler lehine bir ayrışma tespit edilmektedir (bkz. Tablo 22). Aslen, Zn-Kış-Okul-1 ve Pb-Okul-2-Bahar dışında hiçbir element için hiçbir okulda ve hiçbir mevsimde iç/dış oranının çok yüksek değerler (>10) almamış olması bunların çok güçlü iç kaynakları olmadığı düşüncesini onaylamaktadır. Toz, dışarıdan içeriye taşınmakta ya da sızmaktadır. Eğer havalandırma oranı düşükse (kapı ve pencereler genel itibarla kapalı tutuluyorsa) iç/dış oranları 2-10 aralığında yer bulabilmektedir; ki, dersliklerden farklı olarak anasınıflarının öğretmenler tarafından düzenli bir şekilde havalandırılması, öğrenci sayısının dersliktekinin yarısı kadar olması ve yerlerin ya halı kaplı olması ya da polivinil yer döşemesi ile kaplı olmasına rağmen temizliğinin daha sık ve dikkatli yapılması bu duruma katkıda bulunan etmenler arasında sayılabilir.

#### 5.2.4 Elementel Kütle-Boyut Dağılımları

Kaskat örnekleyicinin her bir katmanında toplanan örnekler mikrodalga-asit özütlemesi sonrasında ICP-MS cihazında 12 adet iz element (Al, As, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mg, Mn, Ni, Pb, Zn) için analiz edilmiştir. Alan kör numuneleri kullanılarak derişimler düzeltildikten sonra her bir element için kütle-boyut dağılımları çizilmiştir. Her bir örnekleme kampanyasına ait dağılımlar element sayısının yüksek olması sebebiyle, daha anlaşılabilir olması açısından, derişimlerine göre beş ayrı çizim halinde sunulmuştur. Okul-1, Okul-2, Okul-3, kış ve bahar kampanyaları için derslik (Şekil 18-19, 20-21 ve 22-23), anasınıfı (Şekil 24-25, 26-27 ve 28-29) ve dış hava (Şekil 30-31, 32-33 ve 34-35) iz element kütle-boyut dağılımları sırasıyla sunulmuştur. Genel olarak, hem yerküre kaynaklı hem de insan kaynaklı elementler için hem bina-içi hem de dış hava dağılımları benzer olarak 0,25–1.0 µm aralığında bir zirve yaptığı görülmektedir. Bu zirve, metropol dış havasında belirlenen hem partikül (Sofuoglu vd., 1998) hem de elementel (Paode vd., 1998) kütle-boyut dağılımlarına benzemektedir. Dış havada yapılan bu çalışmalarda, yukarıda belirtilen <1 µm boyut aralığındaki zirve partikül kütlelerinde ve insan kaynaklı elementlerde en yüksek olan iken, yerküre kaynaklı elementlerde 1-100

$\mu\text{m}$  aralığında beliren iki zirveye göre ikincil planda kalmaktadır. Dolayısıyla, dış hava kütle-boyut dağılımlarına benzer bir zirve gözlenmiş olması bina-içi partiküllerin ana kaynağının dış hava olduğu yolunda yukarıda derişimler ile ilgili bölümde yapılan çıkarımlara bir yenisini eklemektedir. Elbette, bina-içi ortamlarda partiküller geceleri yatay yüzeylere (yere) çökelmekte ve gün ile birlikte hareketlilik ve havalandırma sonucunda tekrar havada uçuşan partikül haline gelmektedir. Bu sürecin bina-içi kütle-boyut dağılımını atmosferik dağılımdan farklılaştırması muhtemeldir. Toplanan partikül derişimlerine  $\text{PM}_{10}$  ve  $\text{PM}_{2,5}$  sınıflandırması ile yaklaştığımızda  $\text{PM}_{2,5}$ 'un çoğunluğunu  $\text{PM}_{10}$ 'in oluşturduğu (genel ortalama %79) ve mevsim (kış–bahar), ağırlıklı kaynak (yerküre–insan), mikroçevre (bina-içi – açık hava) faktörleri ile değişkenlik göstermediği (tüm değerler %77 ile %81 arasında değişmektedir) belirlenmiştir.

### 5.2.5 Tartışma ve Sonuç

Fransa'da sekiz okulda yapılan bir araştırmaya (Blondeau vd., 2005) göre ultra ince partiküller sürekli havada uçuşan halde bulunurken, daha büyük olanlar sadece okulda insanlar var iken hareketlilik sonucu tekrar havaya karışarak uçuşan konumuna gelmektedir. Gündüz insanlar okulda iken ölçülen derişimler, gece okul boşken ölçülen derişimlere oranlandığında (dolu/boş), bu oranın partikül çapı ile arttığı görülmüştür. Aslen, 0,5-0,8  $\mu\text{m}$ 'den küçük partiküller için dolu/boş oranı sadece küçük bir değişkenlik gösterirken daha büyük partiküllerde boyut ile artış göstermesi yerden kalkarak tekrar havaya karışmanın bu görece büyük partiküller için önemli bir süreç olduğuna işaret etmektedir. Ayrıca, iç/dış oranları incelenen bütün boyutlar için  $>1$  olarak bulunurken, bu oranın artan partikül boyutu ile birlikte arttığı görülmüştür; ve bu durum yukarıda açıklanan dolu/boş oranlarına sebep olduğu düşünölen sürece bağlanmıştır. Dolayısıyla, iç/dış oranları  $>1$  olsa da aslen ana kaynak dış havadır. Weichenthal vd. (2008), Almanya'daki dersliklerde ölçölen derişimlerin (Fromme vd., 2007) Atina'daki okullarda ölçölenlere (Diapouli vd., 2007b) göre düşük olmasının sebeplerinden birinin Almanya'da soğuk iklim şartları gereği Atina'ya göre binaların dışarıdan sıkı bir şekilde tecrit edilmeleri olabileceğini söylemiş; ayrıca bu duruma trafik yoğunlukları arasındaki farkında katkıda bulunmuş olabileceğini belirtmiştir. Dolayısıyla, yeniden fakat başka bir açıdan, kaynak olarak dış havanın okul binaları için önemi belirtilmiştir. ABD'de yapılan bir çalışmada da (Patterson and Eatough, 2000) bir derslikte takip edilen  $\text{PM}_{2,5}$  derişimlerinin okul günlerinde sabah 9 ile öğleden sonra 4 arasında zirve

yaptığı ve hafta sonunda bunun görülmediği bildirilmiştir. Son olarak, İstanbul'daki 5 okulda yapılan çalışmaya (Ekmekçioğlu ve Keskin, 2007) göre trafik yoğun bölgelerde bulunan 4 devlet okulunda ölçülen  $PM_{10}$  ve  $PM_{2,5}$  derişimleri, trafiğin seyrek olduğu bir mahallede bulunan bir özel okulda ölçülenlere göre ortalama, sırasıyla 2,7 ve 5,3 kat daha yüksektir. Bu farka, ek olarak uygulanan temizlik prosedürlerindeki farkın da katkıda bulunmuş olabileceği bildirilmiştir. Burada tartışılan bütün bu çalışmalarla uyumlu bir biçimde, çalışmamızda elde edilen bulgular dış havanın çok önemli bir PM kaynağı olduğunu ve çocukların hareketliliğinin derişimleri etkilediğini göstermiştir.

Kış döneminde Okul-2 ve Okul-3'te belirlenen  $PM_{2,5}$  derişimleri (bkz. Tablo 13) Dünya Sağlık Örgütü'nün 24-saatlik ortalama için rehber değeri olan  $25 \mu g/m^3$  ve Kanada Sağlık Bakanlığınca yayınlanmış olan 8-saatlik ortalama  $PM_{2,5}$  maruziyet rehber değeri olan  $40 \mu g/m^3$  düzeylerinin üzerinde bulunurken Kanada Sağlık Bakanlığının yayınladığı 1-saatlik ortalama rehber maruziyet düzeyinin ( $100 \mu g/m^3$ ) çoğunlukla altındadır. Tablo 13'deki ortalama  $PM_{2,5}$  derişimlerinin karşı geldiği Hava Kalitesi İndeksinin  $PM_{2,5}$  alt indeks değerleri hesaplandığında tümünün "SAĞLIKSIZ" kategorisinde yer aldığı görülmektedir. Bu kategoride yer alan derişimlere kalp-damar ve solunum yolu hastalığı olanların, yaşlı ve çocukların uzun süreli maruziyetten kaçınması, diğer kalan herkesin de uzun süreli maruziyetlerini sınırlamaları gerektiği bildirilmektedir; çünkü bu şartlarda bu hastalıklar kötüleşebilmekte ve bu sebeple erken ölümle sonuçlanabilmekte; ayrıca genel popülasyonda solunum üzerinde artan etkiler görülmektedir. Ancak burada indeks sınıflamasının ve adı geçen sağlık etkilerinin 24-saatlik ortalama derişimler üzerine bina edildiği, çalışmamızda ölçülen derişimlerin ise 2-3 saatlik örneklemeler ile elde edildiği belirtilmelidir.

Tablo 15. Okul-1 Derslik Partikül Maddede Element Derişimleri

Element	Kış Derişim ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )			Kış İç / Dış		Bahar Derişim ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )			Bahar İç / Dış	
	İnce	Kaba	İnce/Kaba	İnce	Kaba	İnce	Kaba	İnce/Kaba	İnce	Kaba
Al	4,38	1,34	<b>3,27</b>	0,97	0,75	8,73	2,17	<b>4,03</b>	1,74	0,41
As	0,04	0,01	<b>3,26</b>	TSA	TSA	TSA	TSA	TSA	TSA	TSA
Cd	TSA	TSA	TSA	TSA	TSA	TSA	TSA	TSA	TSA	TSA
Co	0,04	0,01	<b>3,36</b>	<b>7,03</b>	<b>9,24</b>	0,04	0,01	<b>3,98</b>	0,87	0,76
Cr	0,34	0,15	<b>2,34</b>	0,64	0,69	0,59	0,16	<b>3,76</b>	0,93	1,03
Cu	0,63	0,17	<b>3,75</b>	1,18	1,31	0,50	0,16	<b>3,18</b>	0,78	0,48
Fe	5,34	1,38	<b>3,86</b>	0,65	1,41	6,02	1,15	<b>5,22</b>	1,28	0,32
Mg	4,93	0,79	<b>6,21</b>	1,06	0,47	5,50	1,75	<b>3,15</b>	1,03	0,74
Mn	0,10	0,02	<b>4,10</b>	0,91	1,00	0,09	0,02	<b>4,05</b>	0,66	0,29
Ni	0,25	0,35	0,72	0,87	1,79	0,37	0,08	<b>4,74</b>	0,49	1,42
Pb	0,35	0,09	<b>4,06</b>	<b>2,83</b>	<b>2,58</b>	0,24	0,05	<b>4,67</b>	0,23	0,36
Zn	8,70	2,02	<b>4,30</b>	0,60	0,46	22,13	5,09	<b>4,34</b>	2,04	0,93

TSA: Tespit Sınırının Altında

Tablo 16. Okul-2 Derslik Partikül Maddede Element Derişimleri

Element	Kış Derişim ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )			Kış İç / Dış		Bahar Derişim ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )			Bahar İç / Dış	
	İnce	Kaba	İnce/Kaba	İnce	Kaba	İnce	Kaba	İnce/Kaba	İnce	Kaba
Al	2,24	1,39	1,61	0,44	1,91	4,10	1,94	<b>2,11</b>	0,66	0,90
As	TSA	TSA	TSA	TSA	TSA	TSA	TSA	TSA	TSA	TSA
Cd	0,05	0,03	1,58	<b>2,74</b>	<b>6,59</b>	0,02	0,00	<b>8,33</b>	TSA	TSA
Co	0,04	0,02	<b>2,40</b>	1,58	<b>3,35</b>	0,01	0,00	<b>12,0</b>	0,09	0,02
Cr	0,13	0,04	<b>3,05</b>	0,80	0,72	0,48	0,14	<b>3,43</b>	1,70	<b>3,42</b>
Cu	0,21	0,06	<b>3,29</b>	1,09	0,66	0,32	0,20	1,65	0,88	0,77
Fe	2,50	0,99	<b>2,51</b>	0,70	<b>2,44</b>	4,60	0,78	<b>5,88</b>	0,47	0,53
Mg	2,22	2,40	0,93	0,82	<b>4,20</b>	2,34	0,54	<b>4,34</b>	0,77	0,67
Mn	0,06	0,05	1,06	0,56	<b>3,67</b>	0,11	0,02	<b>5,01</b>	0,45	0,44
Ni	0,16	0,10	1,70	1,93	1,10	0,13	0,20	0,64	0,41	0,82
Pb	0,50	0,18	<b>2,78</b>	1,12	2,04	0,12	0,03	<b>4,23</b>	0,03	0,07
Zn	3,63	3,01	1,20	<b>4,57</b>	<b>6,62</b>	11,1	2,71	<b>4,08</b>	<b>17,2</b>	<b>4,84</b>

TSA: Tespit Sınırının Altında

Tablo 17. Okul-3 Derslik Partikül Maddede Element Derişimleri

Element	Kış Derişim ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )			Kış İç / Dış		Bahar Derişim ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )			Bahar İç / Dış	
	İnce	Kaba	İnce/Kaba	İnce	Kaba	İnce	Kaba	İnce/Kaba	İnce	Kaba
Al	1,51	0,57	<b>2,65</b>	0,14	1,20	4,07	2,16	1,88	0,39	0,97
As	TSA	TSA	TSA	TSA	TSA	TSA	0,02	TSA	TSA	TSA
Cd	0,22	0,05	<b>4,88</b>	0,57	0,44	TSA	0,00	TSA	TSA	TSA
Co	0,22	0,05	<b>4,27</b>	0,57	0,50	0,02	0,01	<b>3,30</b>	0,20	0,41
Cr	0,18	0,05	<b>3,32</b>	0,93	0,66	0,51	0,15	<b>3,37</b>	1,76	0,90
Cu	0,20	0,08	<b>2,54</b>	0,65	0,98	0,87	0,15	<b>5,92</b>	<b>2,57</b>	<b>3,10</b>
Fe	4,39	1,17	<b>3,77</b>	1,17	<b>2,30</b>	2,70	0,83	<b>3,26</b>	0,28	<b>3,92</b>
Mg	4,26	1,14	<b>3,72</b>	0,39	0,53	4,83	0,94	<b>5,12</b>	0,31	0,41
Mn	0,09	0,02	<b>3,48</b>	0,05	0,40	0,13	0,04	<b>3,62</b>	0,05	1,25
Ni	0,21	0,12	1,77	<b>2,74</b>	<b>3,66</b>	0,87	0,08	<b>11,0</b>	<b>4,57</b>	<b>4,54</b>
Pb	2,08	0,53	<b>3,96</b>	0,54	0,53	0,44	0,07	<b>6,23</b>	0,35	0,20
Zn	2,99	0,97	<b>3,10</b>	0,84	0,98	12,1	3,33	<b>3,63</b>	1,60	<b>2,79</b>

TSA: Tespit Sınırının Altında

Tablo 18. Kış Örnekleme Genel Ortalama İç/Dış Oranları

	Kış İç/Dış	
	İnce	Kaba
Okul-1	1,7	3,6
Okul-2	1,4	2,7
Okul-3	0,8	1,2

Tablo 19. Okul-1 Anasınıfı Partikül Maddede Element Derişimleri

Element	Kış Derişim ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )			Kış İç / Dış		Bahar Derişim ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )			Bahar İç / Dış	
	İnce	Kaba	İnce/Kaba	İnce	Kaba	İnce	Kaba	İnce/Kaba	İnce	Kaba
Al	5,52	1,71	<b>3,23</b>	1,22	0,96	3,40	1,21	<b>2,81</b>	0,68	0,23
As	0,07	0,03	<b>2,23</b>	TSA	TSA	TSA	TSA	TSA	TSA	TSA
Cd	TSA	TSA	TSA	TSA	TSA	TSA	TSA	TSA	TSA	TSA
Co	0,03	0,01	<b>3,26</b>	<b>5,21</b>	<b>7,05</b>	0,03	0,01	<b>3,05</b>	0,65	0,74
Cr	0,49	0,17	<b>2,91</b>	0,91	0,79	0,46	0,12	<b>3,88</b>	0,73	0,78
Cu	0,52	0,24	<b>2,14</b>	0,97	1,89	0,36	0,08	<b>4,67</b>	0,56	0,23
Fe	4,69	2,13	<b>2,20</b>	0,57	<b>2,17</b>	2,32	0,71	<b>3,28</b>	0,49	0,20
Mg	4,88	2,64	1,85	1,05	1,57	2,15	0,41	<b>5,26</b>	0,40	0,17
Mn	0,08	0,03	<b>2,40</b>	0,71	1,33	0,04	0,01	<b>2,64</b>	0,26	0,17
Ni	0,18	0,05	<b>3,71</b>	0,64	<b>2,55</b>	0,20	0,05	<b>3,75</b>	0,26	0,96
Pb	1,41	0,11	<b>13,0</b>	<b>11,5</b>	<b>3,26</b>	0,21	0,03	<b>6,14</b>	0,20	0,24
Zn	13,17	6,28	<b>2,10</b>	0,91	1,41	8,47	1,84	<b>4,61</b>	0,78	0,34

TSA: Tespit Sınırının Altında

Tablo 20. Okul-2 Anasınıfı Partikül Maddede Element Derişimleri

Element	Kış Derişim ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )			Kış İç / Dış		Bahar Derişim ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )			Bahar İç / Dış	
	İnce	Kaba	İnce/Kaba	İnce	Kaba	İnce	Kaba	İnce/Kaba	İnce	Kaba
Al	1,23	1,09	1,13	0,24	1,50	5,35	1,16	<b>4,61</b>	0,86	0,54
As	TSA	TSA	TSA	TSA	TSA	TSA	TSA	TSA	TSA	TSA
Cd	0,02	0,005	<b>3,19</b>	0,89	1,07	0,02	0,003	<b>6,55</b>	TSA	TSA
Co	0,02	0,01	<b>2,52</b>	0,72	1,45	0,02	0,00	<b>4,61</b>	0,10	0,06
Cr	0,12	0,05	<b>2,33</b>	0,76	0,89	0,60	0,19	<b>3,13</b>	<b>2,10</b>	<b>4,63</b>
Cu	0,09	0,04	<b>2,42</b>	0,48	0,40	0,47	0,11	<b>4,16</b>	1,29	0,45
Fe	1,79	1,09	1,64	0,50	<b>2,68</b>	4,32	0,88	<b>4,92</b>	0,44	0,60
Mg	1,40	0,55	<b>2,55</b>	0,52	0,96	3,03	0,43	<b>6,96</b>	1,00	0,54
Mn	0,04	0,03	1,29	0,36	1,91	0,13	0,03	<b>4,59</b>	0,55	0,60
Ni	0,03	0,03	1,11	0,33	0,29	0,16	0,06	<b>2,42</b>	0,49	0,26
Pb	0,31	0,09	<b>3,41</b>	0,68	1,02	0,16	0,04	<b>4,31</b>	0,03	0,10
Zn	0,69	0,42	1,61	0,86	0,93	14,69	2,61	<b>5,64</b>	<b>22,9</b>	<b>4,66</b>

TSA: Tespit Sınırının Altında



Tablo 21. Okul-3 Anasınıfı Partikül Maddede Element Derişimleri

Element	Kış Derişim ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )			Kış İç / Dış		Bahar Derişim ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )			Bahar İç / Dış	
	İnce	Kaba	İnce/Kaba	İnce	Kaba	İnce	Kaba	İnce/Kaba	İnce	Kaba
Al	1,21	0,27	<b>4,44</b>	0,11	0,57	5,21	4,54	1,15	0,50	0,99
As	0,01	0,00	<b>2,57</b>	<b>2,28</b>	TSA	TSA	0,03	TSA	TSA	TSA
Cd	0,44	0,04	<b>10,8</b>	1,15	0,40	TSA	0,00	TSA	TSA	TSA
Co	0,26	0,05	<b>5,20</b>	0,67	0,48	0,02	0,01	<b>2,66</b>	0,16	0,42
Cr	0,16	0,04	<b>3,90</b>	0,83	0,50	0,65	0,20	<b>3,22</b>	<b>2,21</b>	1,19
Cu	0,38	0,03	<b>11,9</b>	1,22	0,40	0,58	0,36	1,59	1,71	1,67
Fe	2,93	0,45	<b>6,49</b>	0,78	0,89	4,06	2,14	1,90	0,42	1,01
Mg	5,16	0,77	<b>6,72</b>	0,47	0,36	4,23	1,40	<b>3,02</b>	0,28	0,61
Mn	0,05	0,01	<b>5,29</b>	0,03	0,16	0,25	0,09	<b>2,84</b>	0,09	<b>3,03</b>
Ni	0,18	0,03	<b>6,58</b>	<b>2,36</b>	0,84	1,25	0,34	<b>3,64</b>	<b>2,55</b>	1,97
Pb	2,82	0,49	<b>5,71</b>	0,73	0,50	0,31	0,08	<b>4,15</b>	0,25	0,22
Zn	3,02	0,53	<b>5,71</b>	0,85	0,54	12,34	6,08	<b>2,03</b>	1,64	<b>5,08</b>

TSA: Tespit Sınırının Altında

Tablo 22. İnsan ve Yerküre Kaynaklı Elementlere Göre İç/Dış Oranları

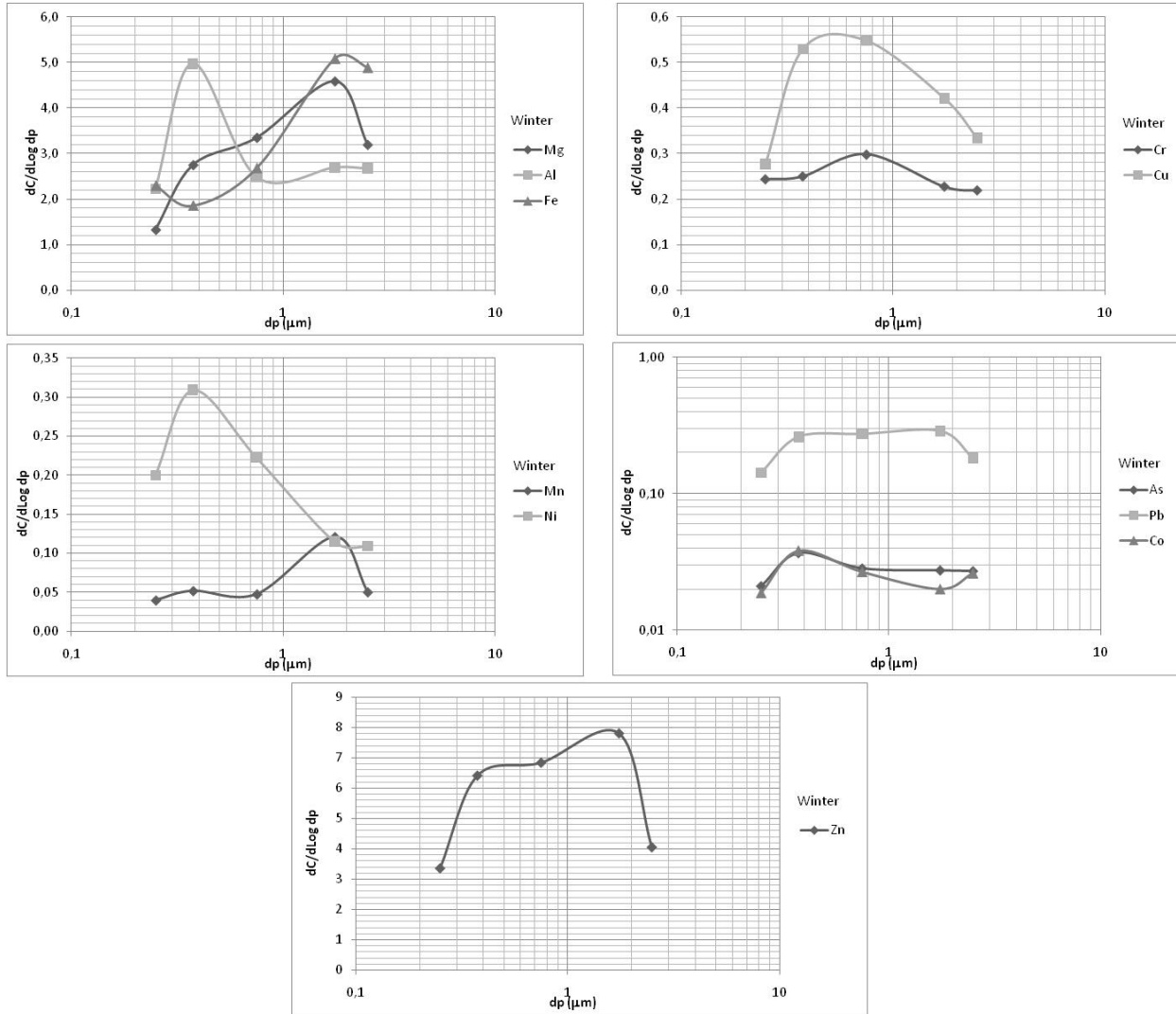
Bahar			
İnsan Kaynaklı		Yerküre Kaynaklı	
İnce	Kaba	İnce	Kaba
0,89	0,93	0,56	0,54
Ort. 0,91		Ort. 0,55	

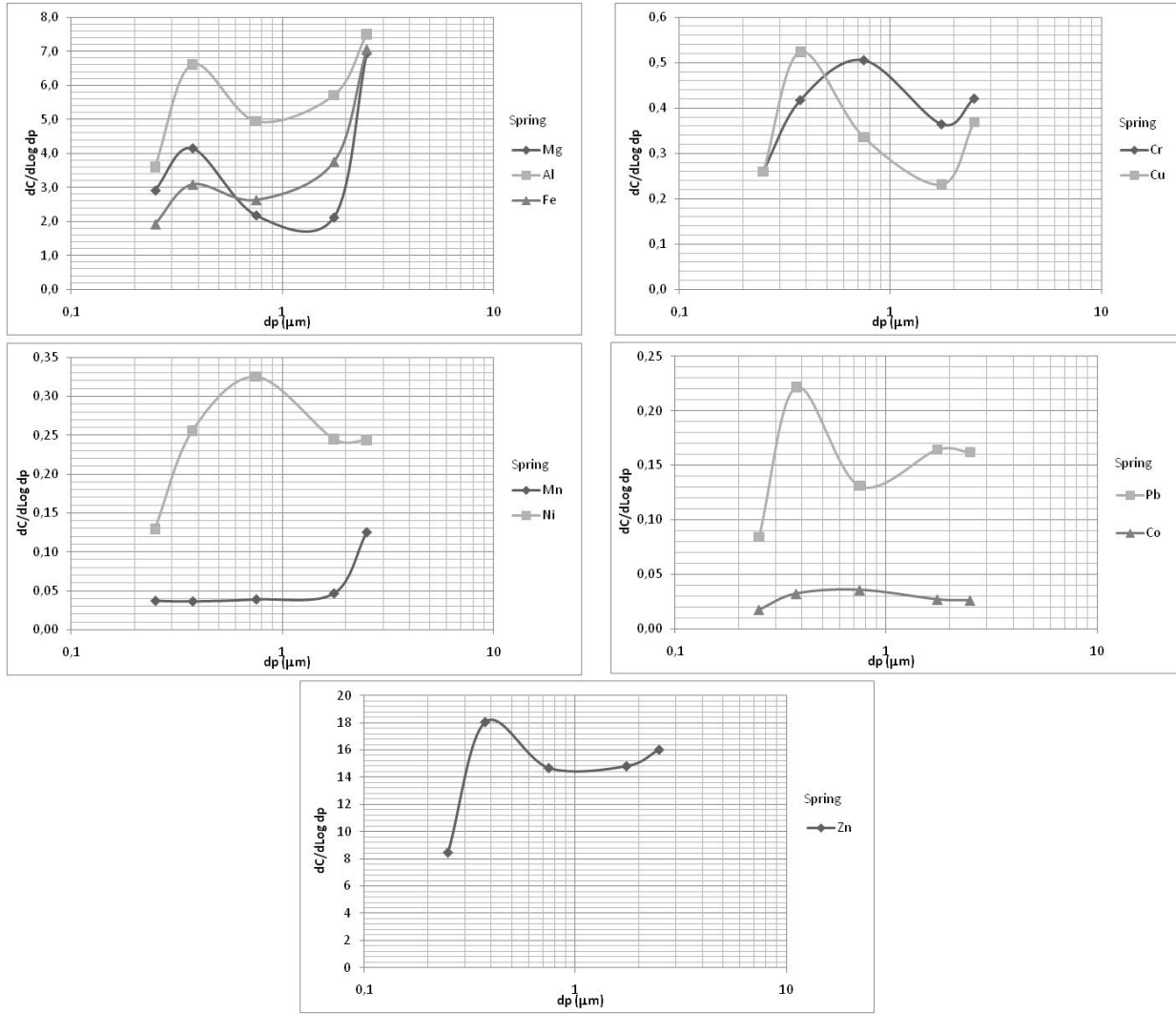
Kış			
İnsan Kaynaklı		Yerküre Kaynaklı	
İnce	Kaba	İnce	Kaba
1,80	1,40	0,61	1,30
Ort. 1,60		Ort. 0,95	

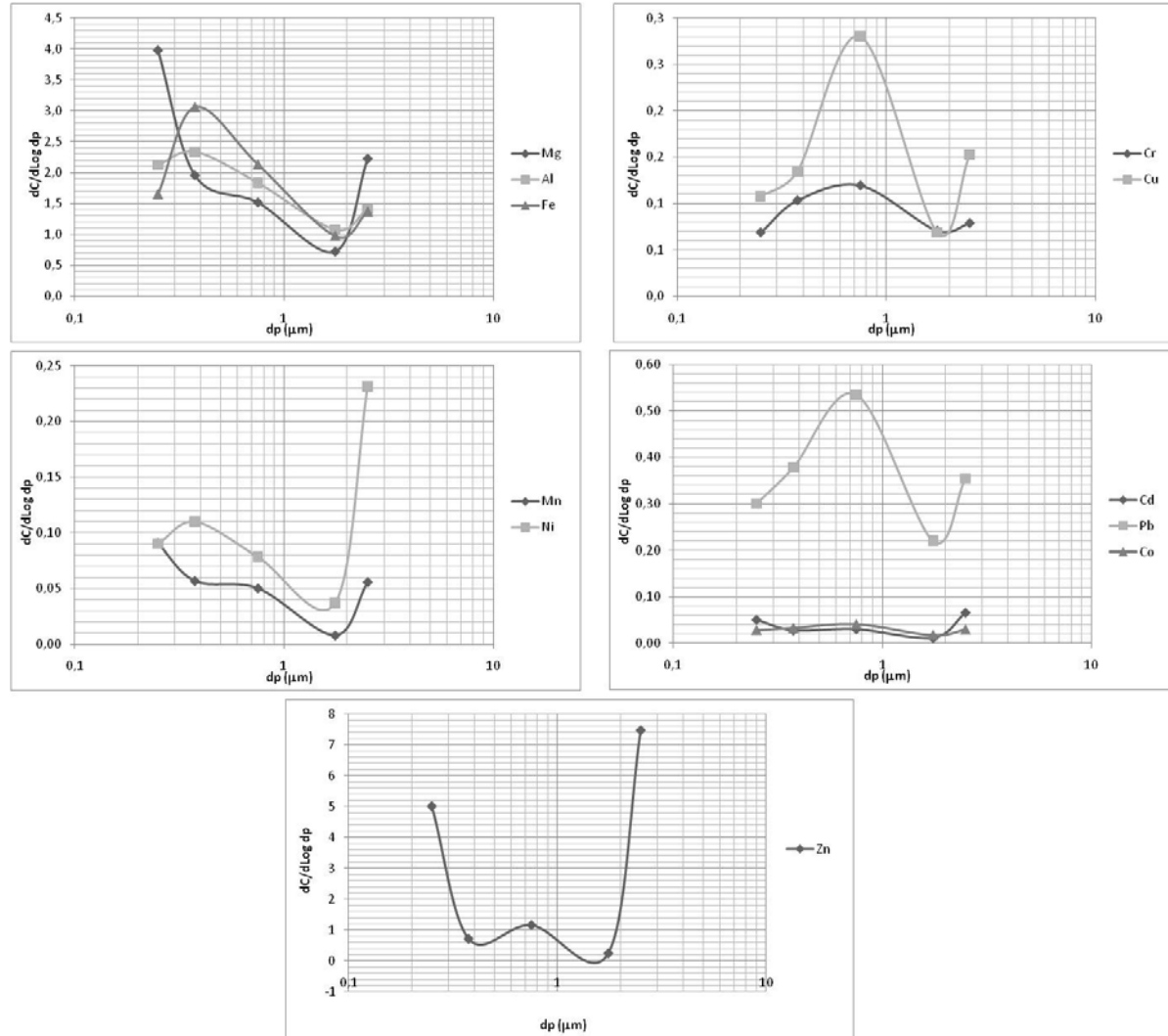
Genel Ortalama	
İnsan Kaynaklı	Yerküre Kaynaklı
1,3	0,8



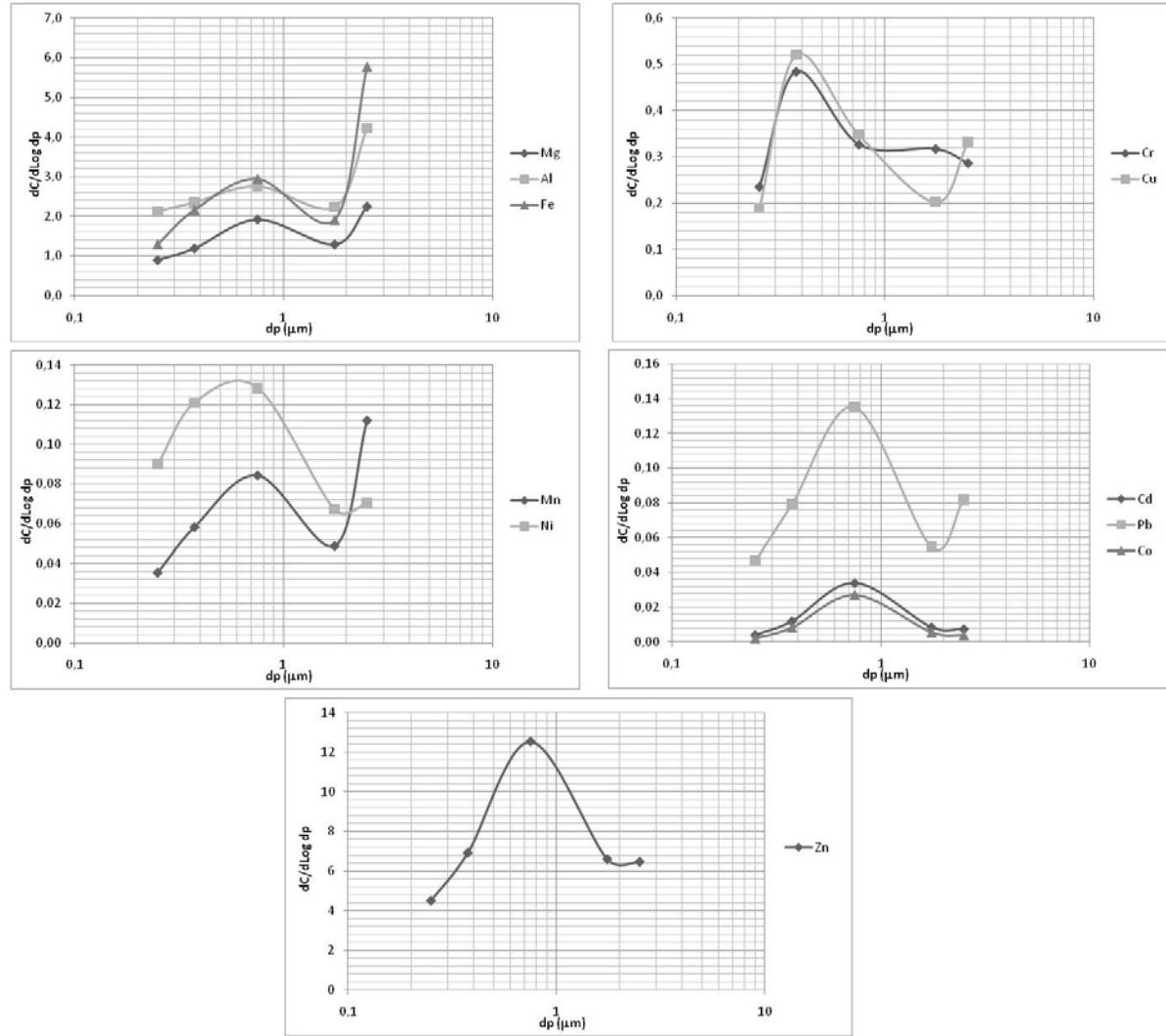
Şekil 18. Okul-1-Kış-Derslik İz Element Kütle-Boyut Dağılımları



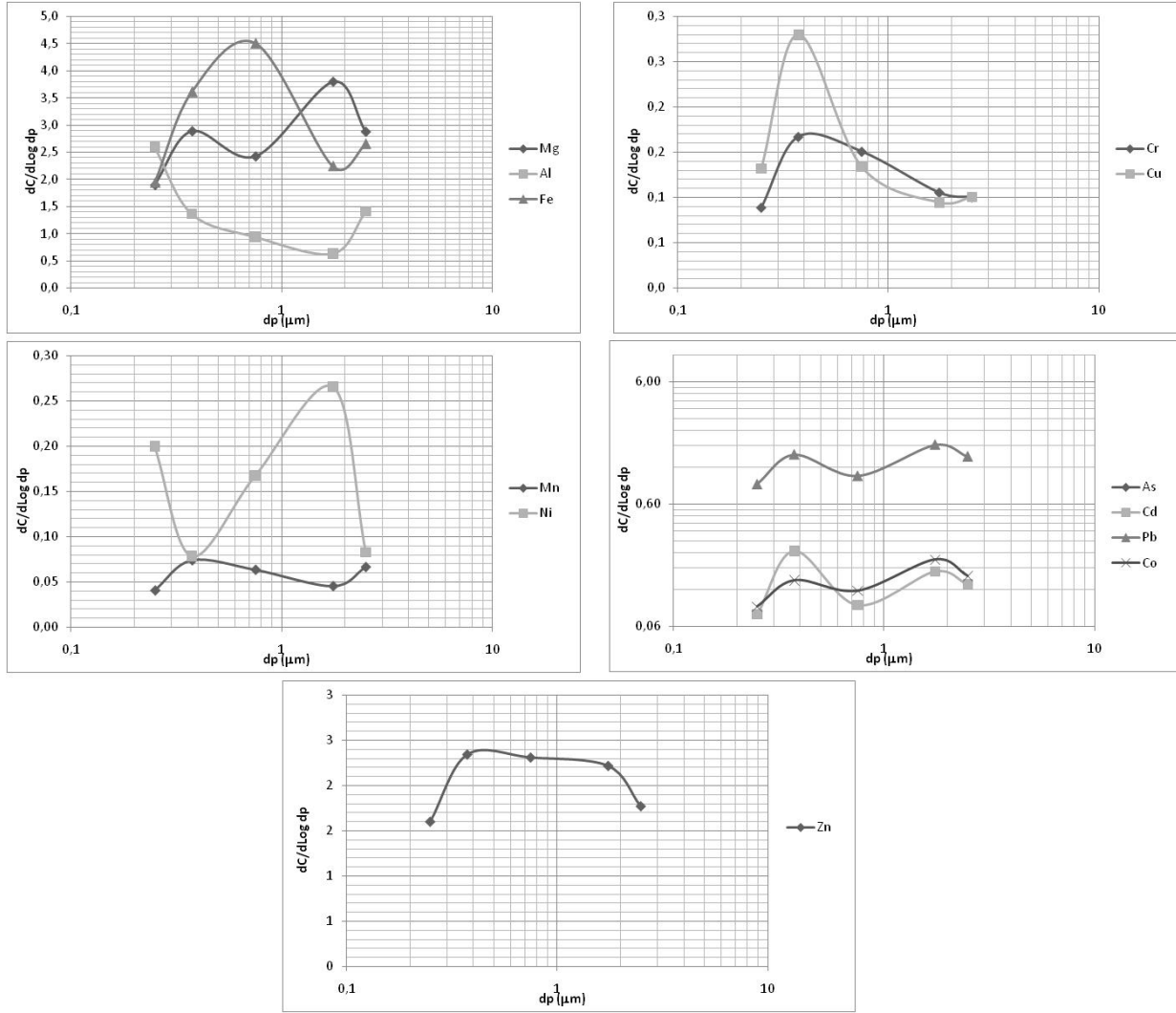
Şekil 19. Okul-1-Bahar-Derslik İz Element Kütle-Boyut Dağılımları



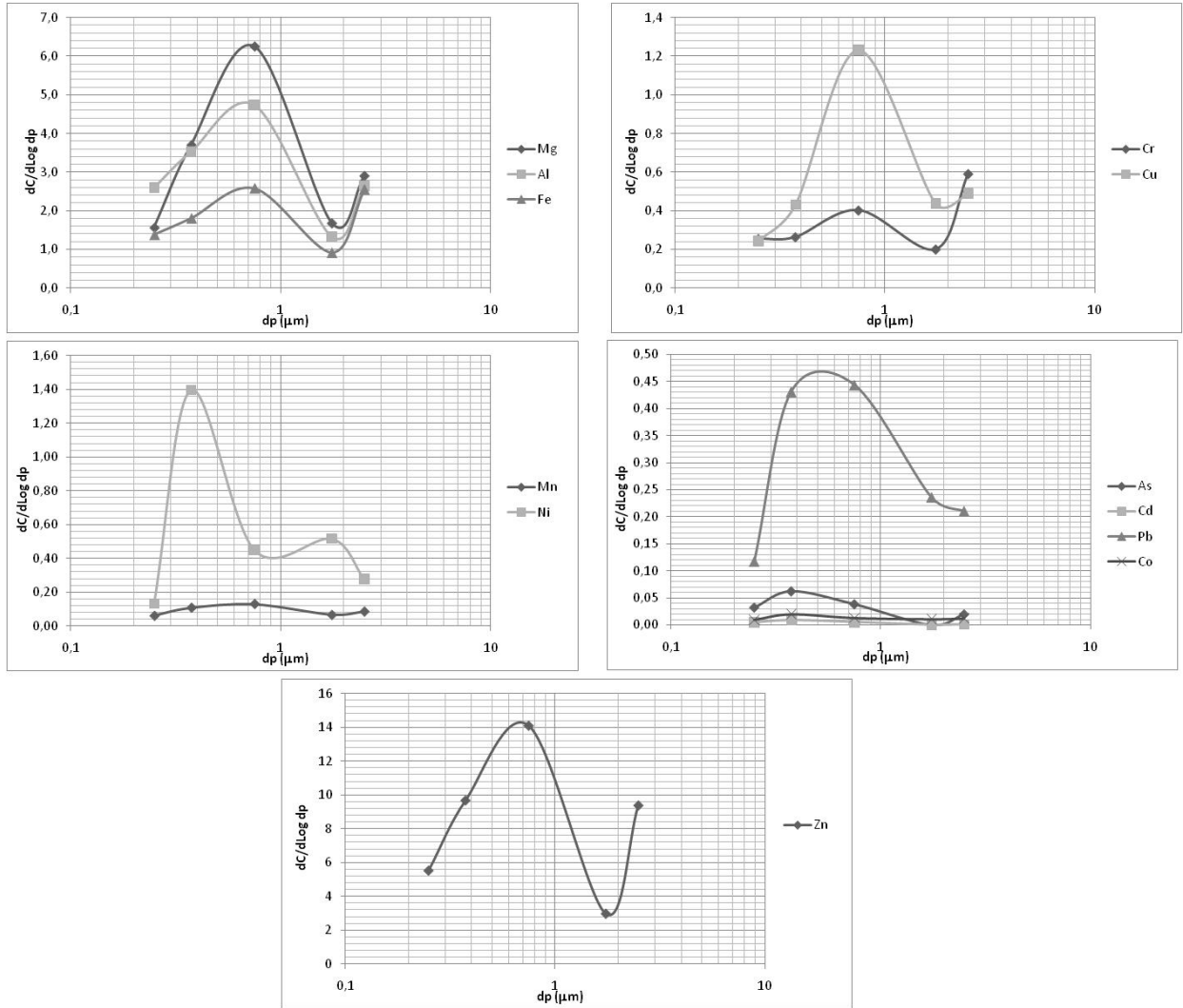
Şekil 20. Okul-2-Kış-Derslik İz Element Kütle-Boyut Dağılımları



Şekil 21. Okul-2-Bahar-Derslik İz Element Kütle-Boyut Dağılımları

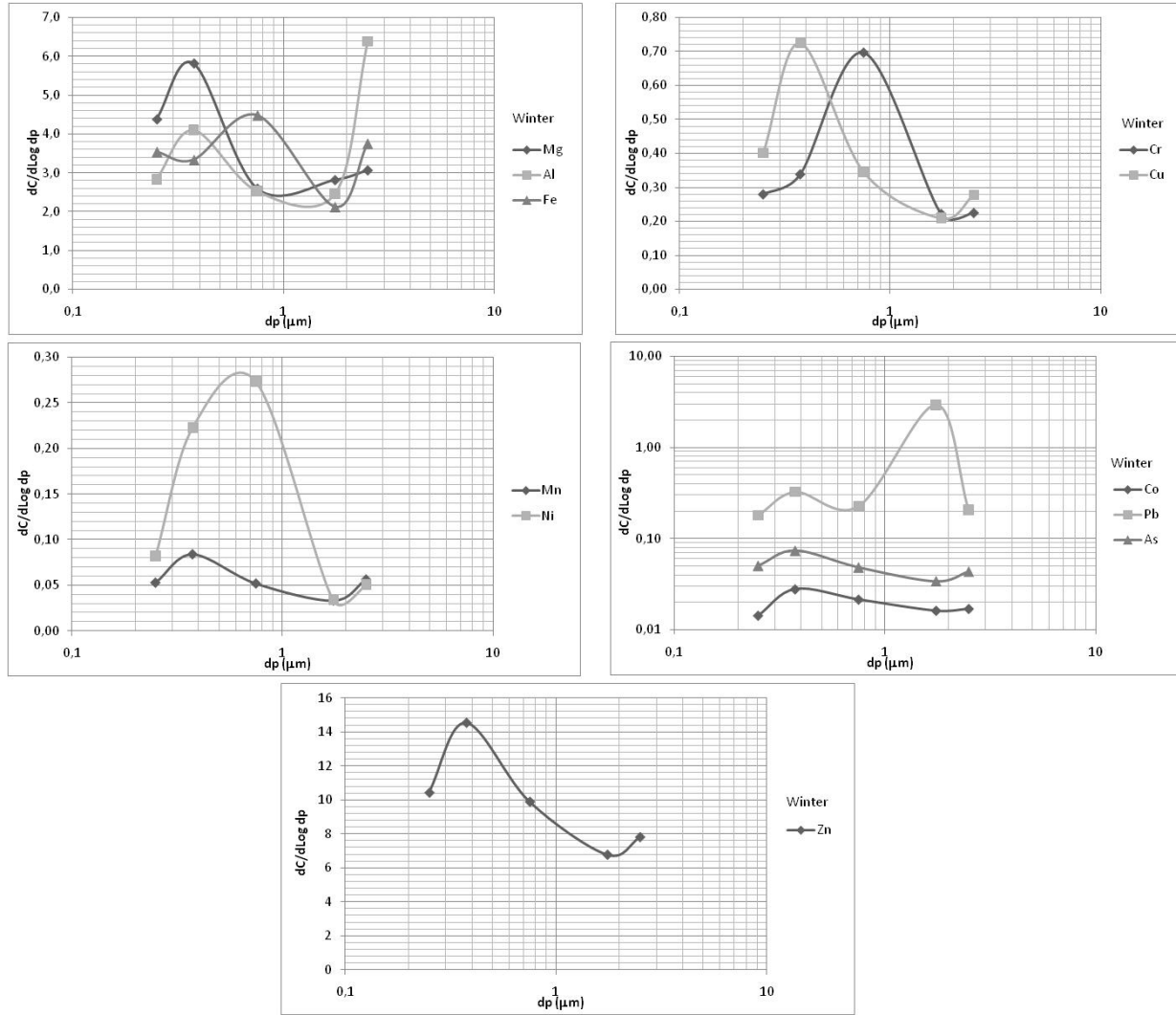


Şekil 22. Okul-3-Kış-Derslik İz Element Kütle-Boyut Dağılımları

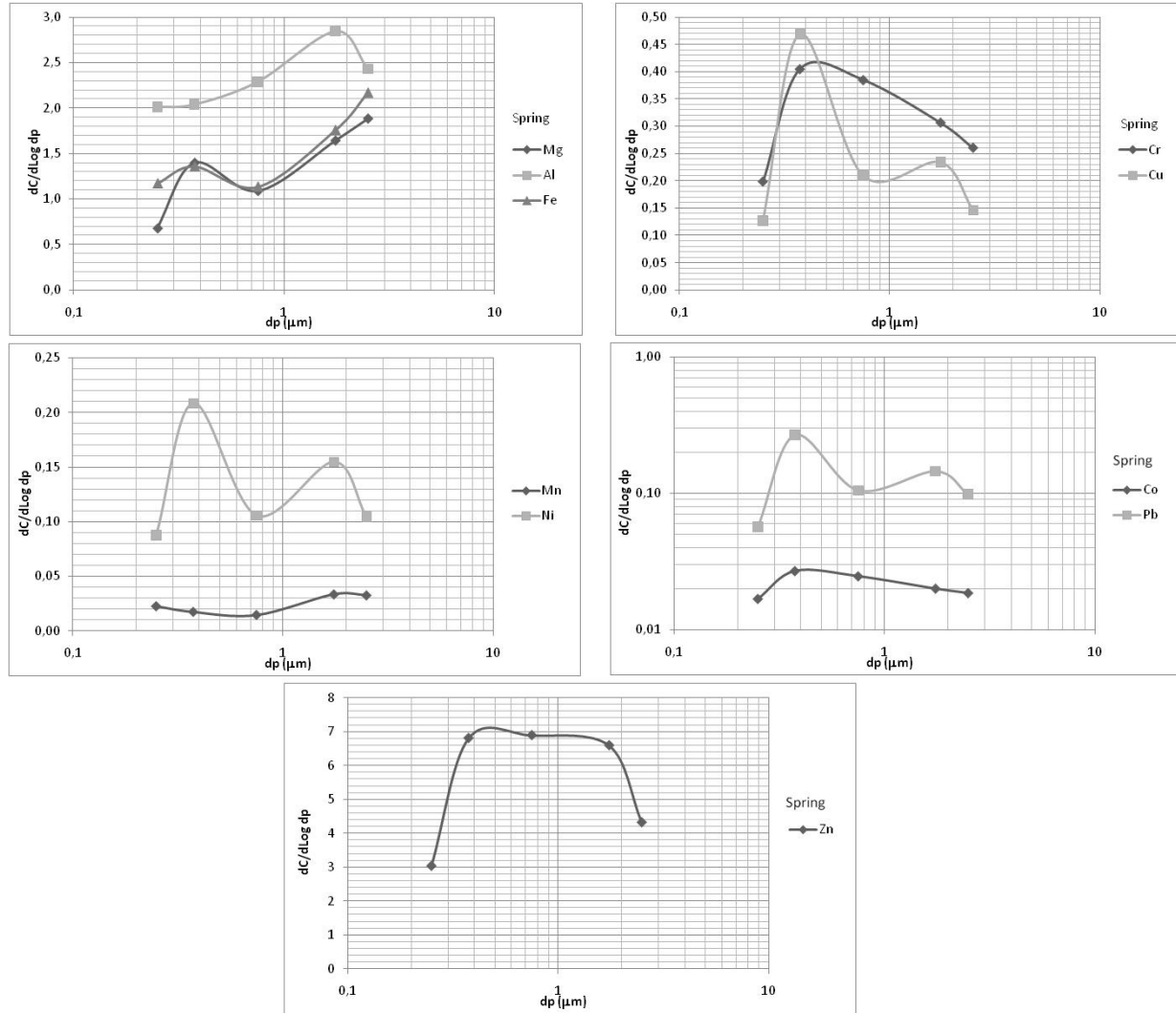


Şekil 23. Okul-3-Bahar-Derslik İz Element Kütle-Boyut Dağılımları

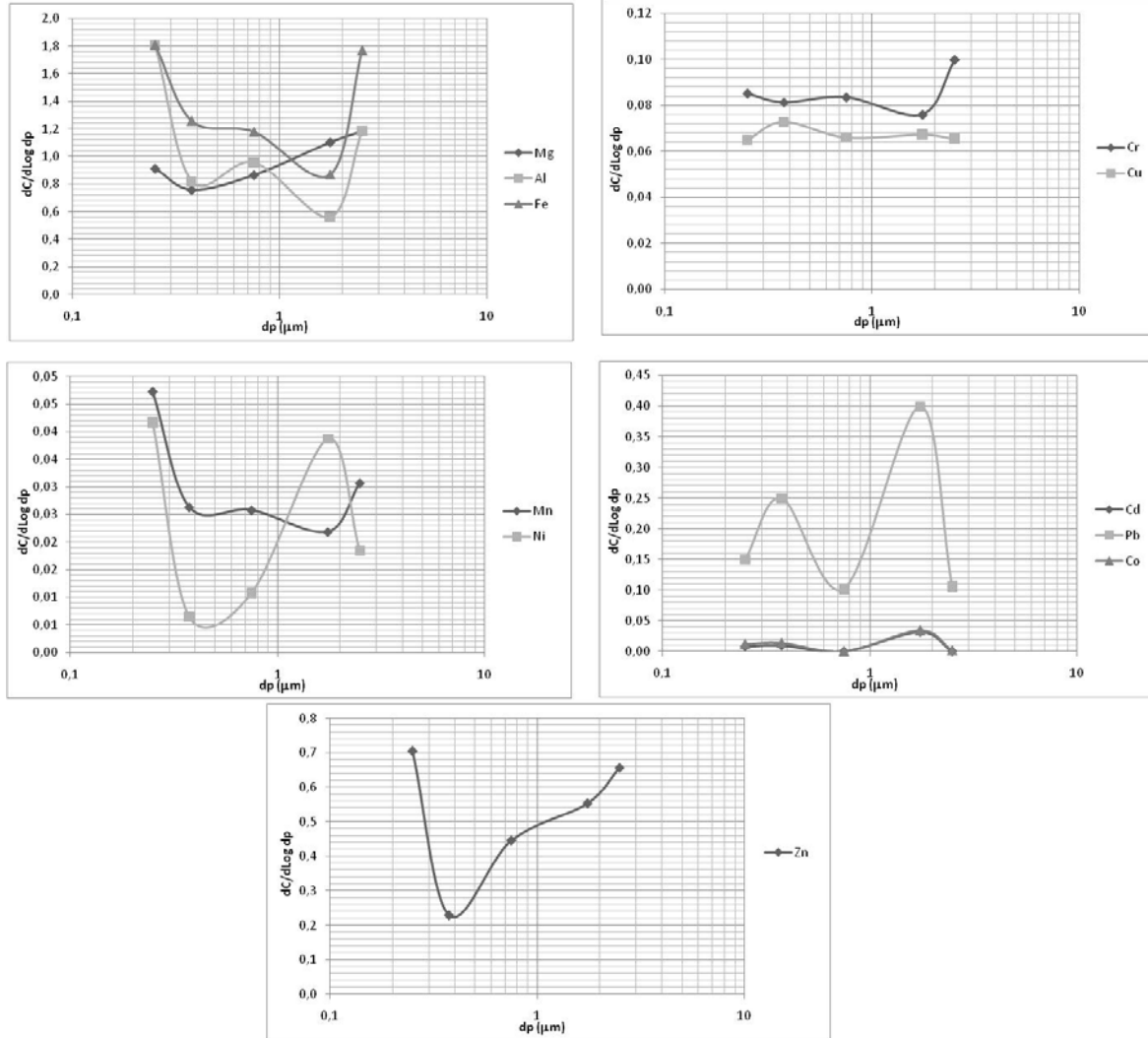




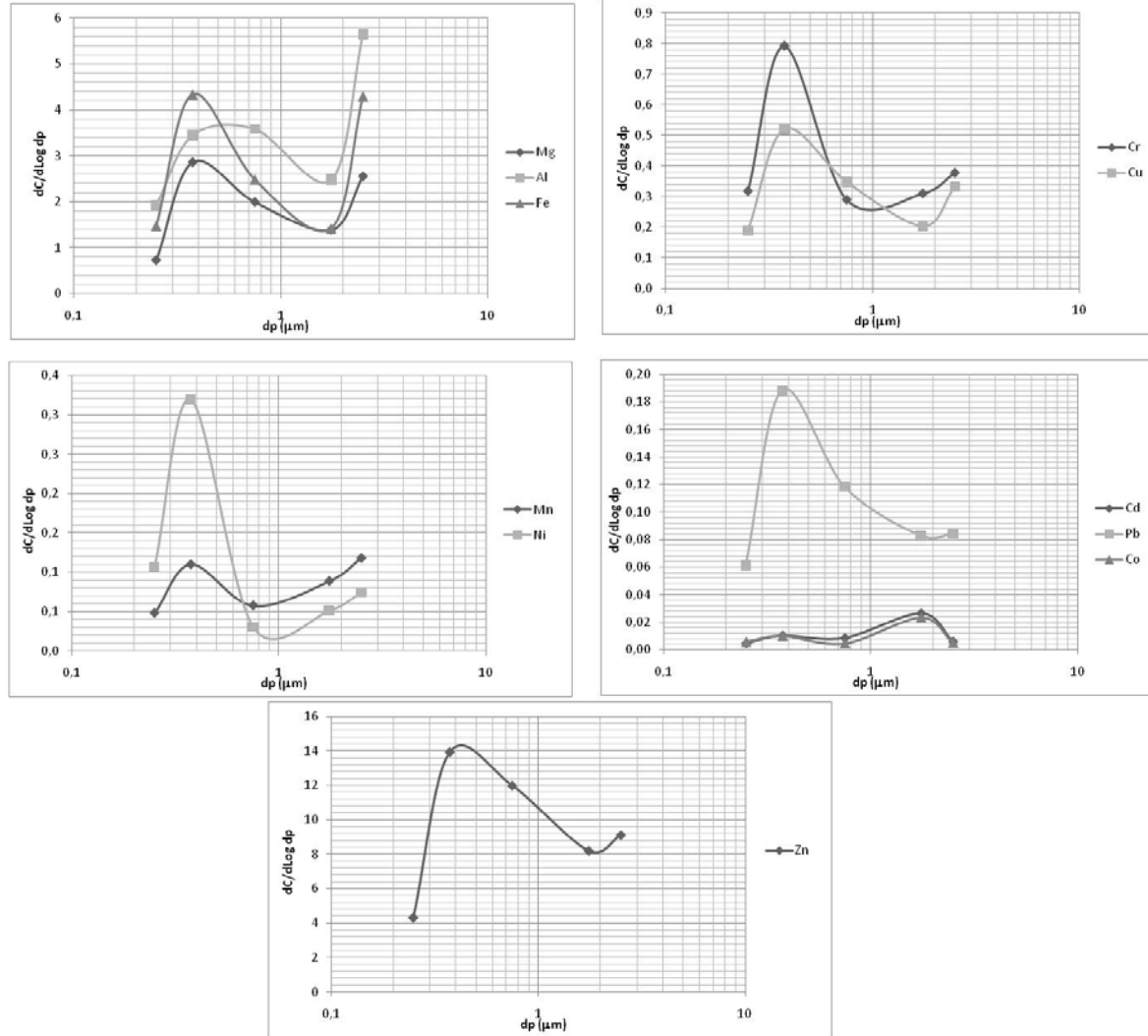
Şekil 24. Okul-1-Kış-Anasınıfı İz Element Kütle-Boyut Dağılımları



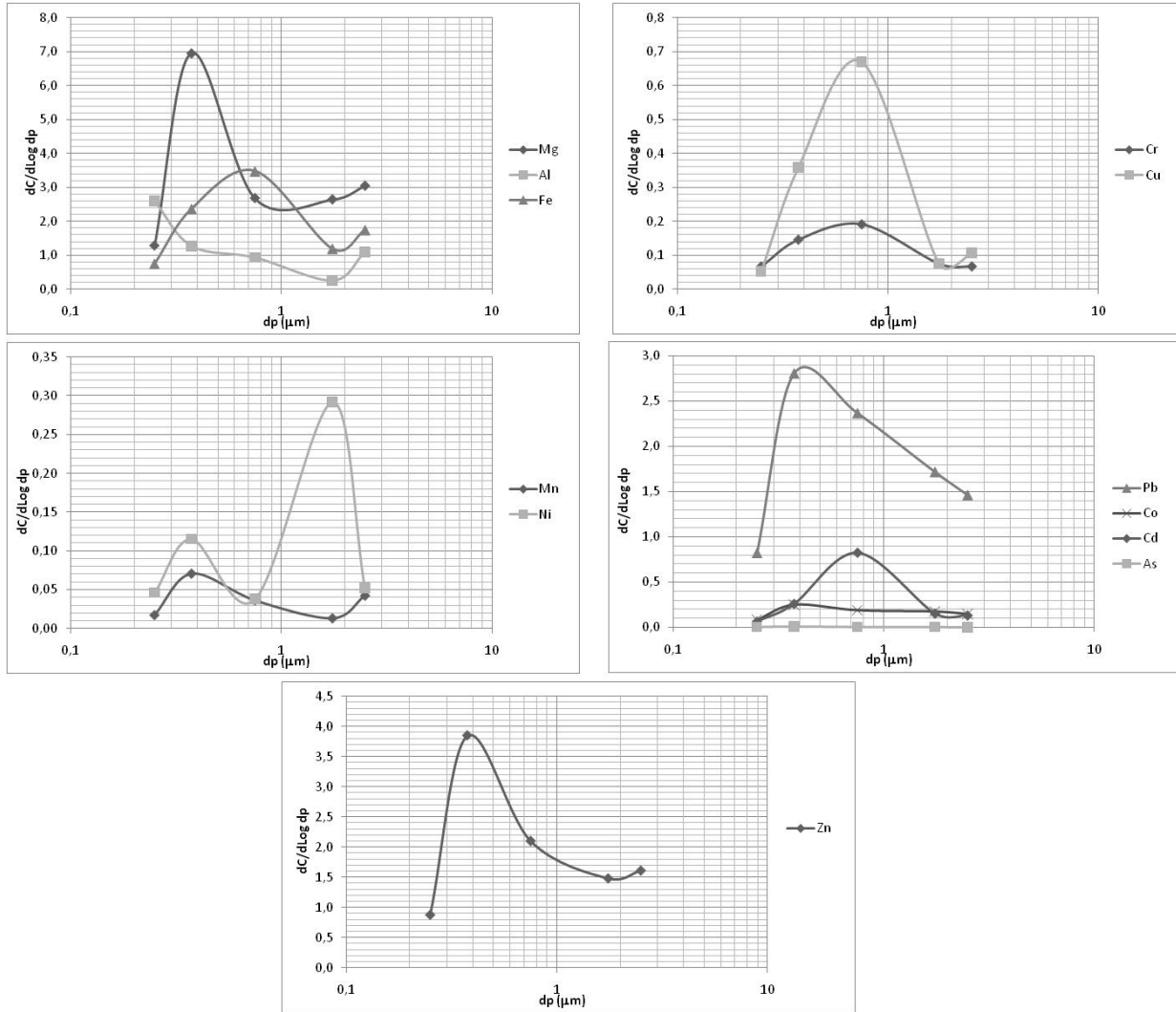
Şekil 25. Okul-1-Bahar-Anasınıfı İz Element Kütle-Boyut Dağılımları



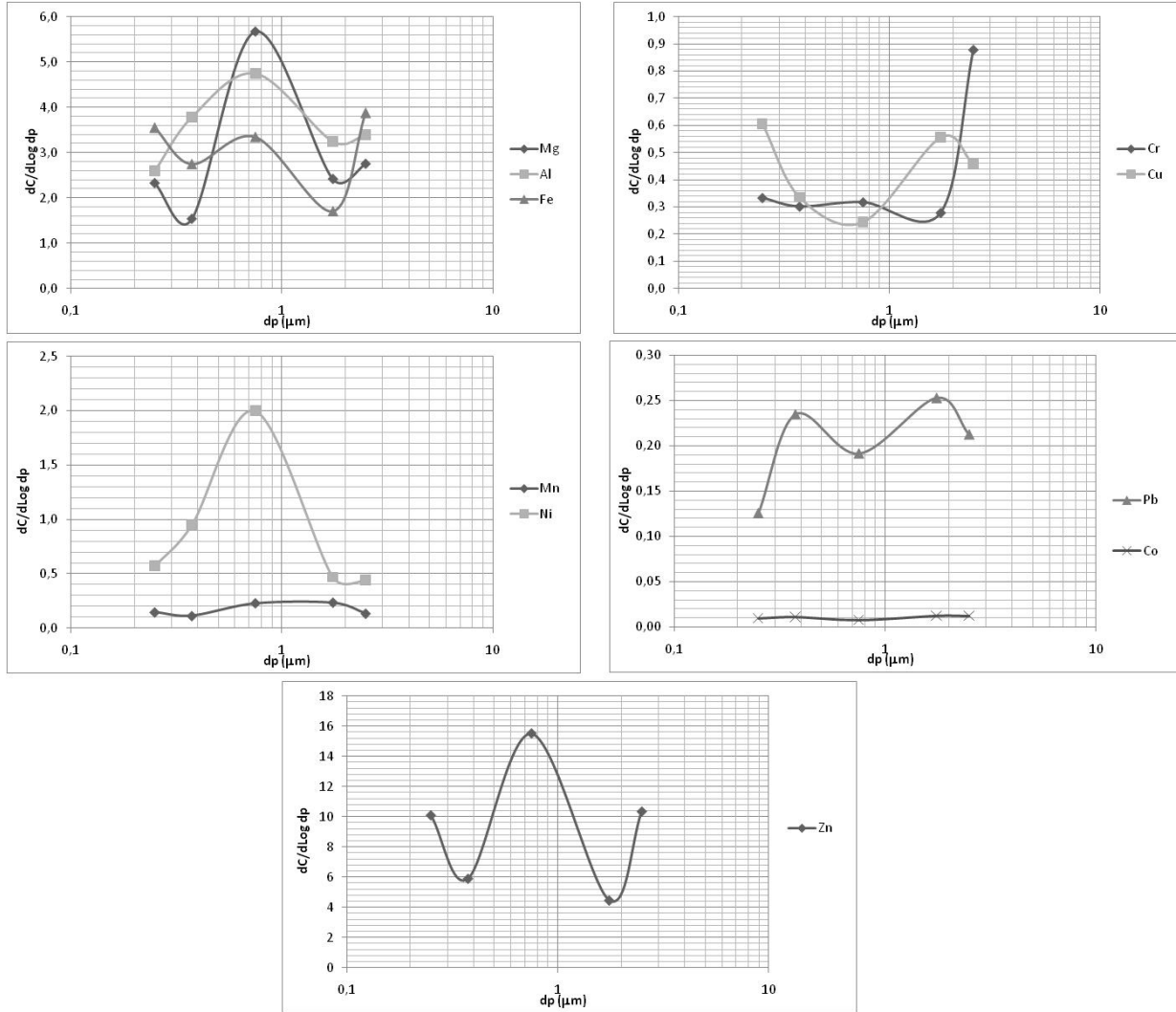
Şekil 26. Okul-2-Kış-Anasınıfı İz Element Kütle-Boyut Dağılımları



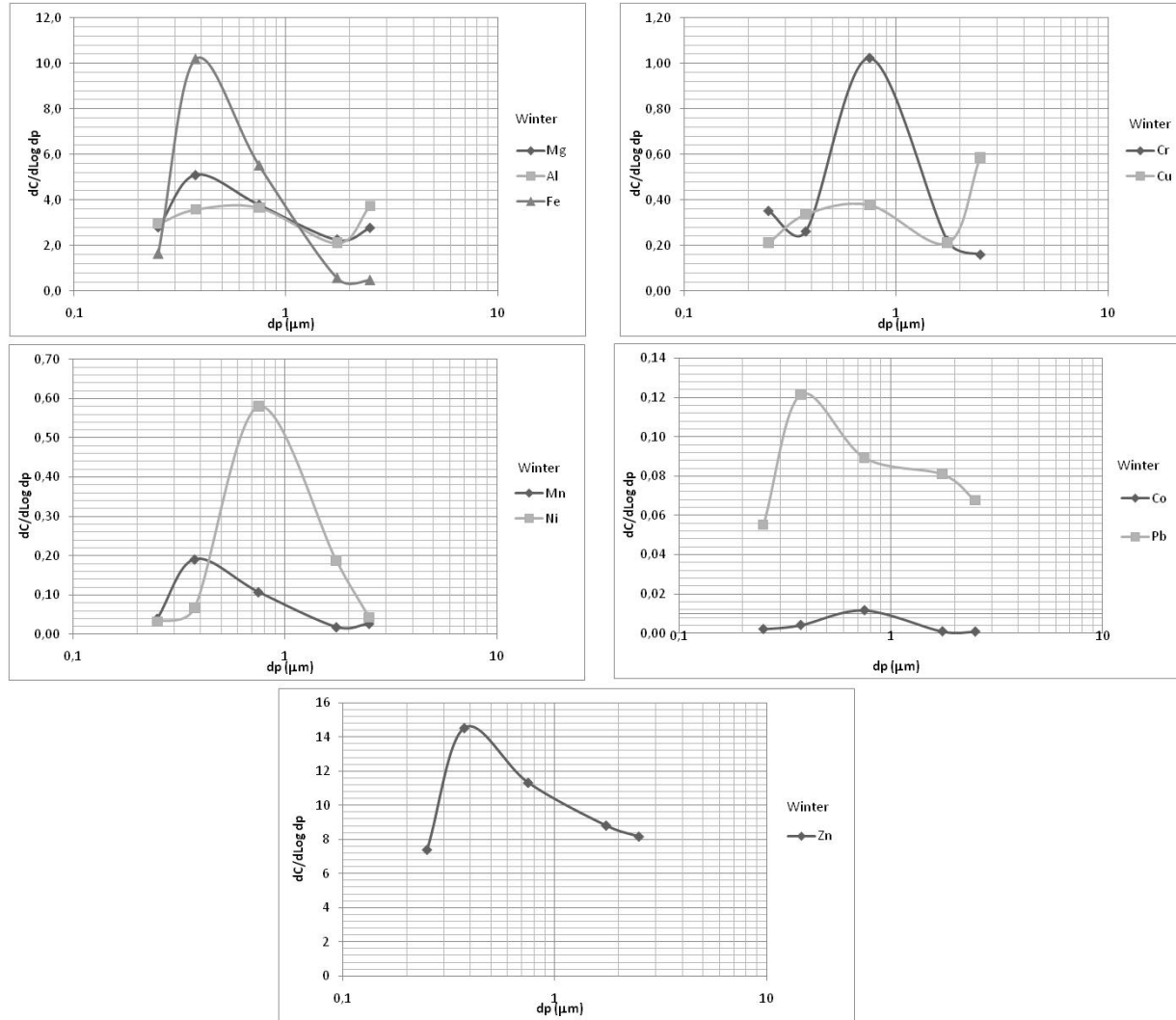
Şekil 27. Okul-2-Bahar-Anasınıfı İz Element Kütle-Boyut Dağılımları



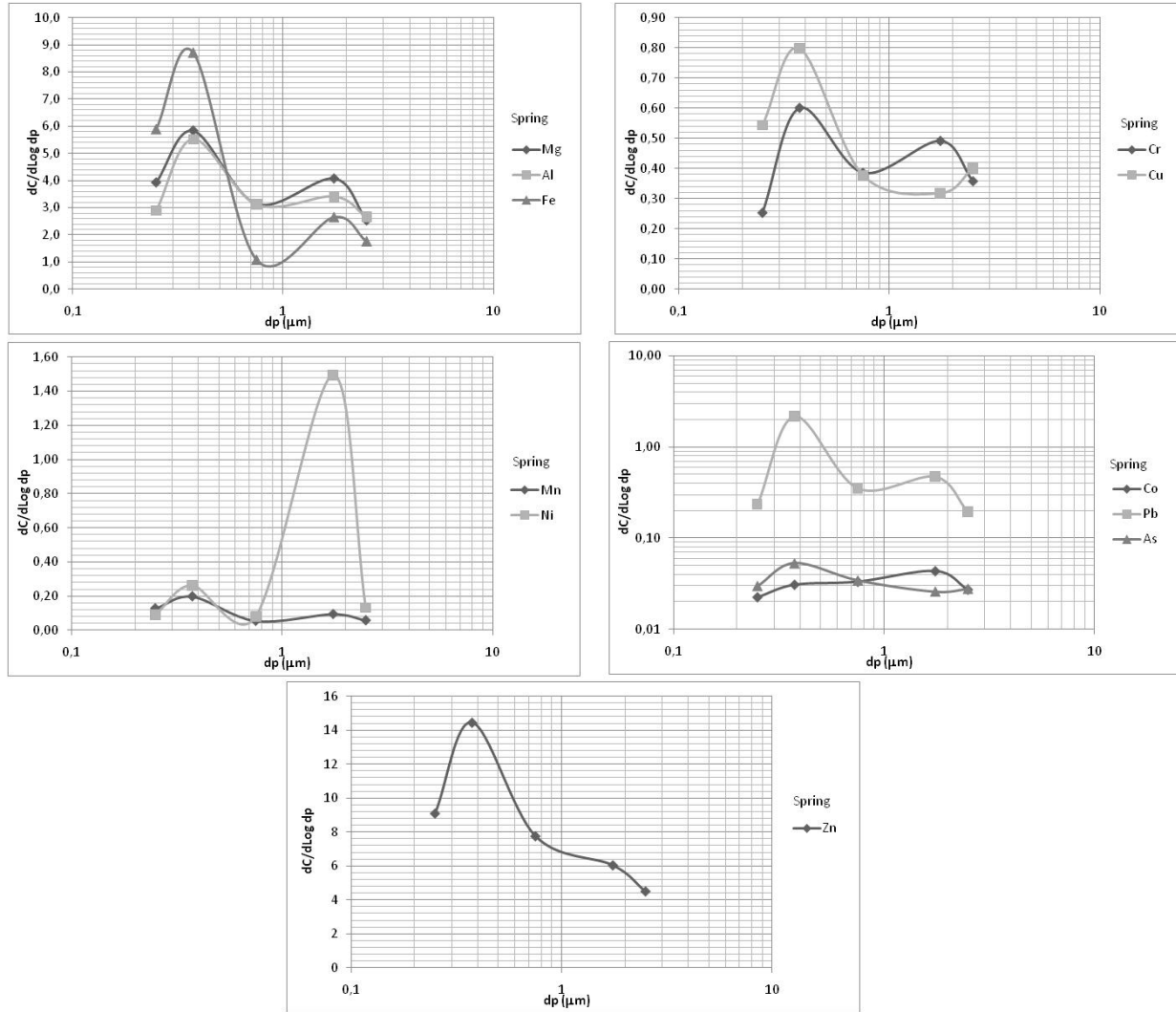
Şekil 28. Okul-3-Kış-Anasınıfı İz Element Kütle-Boyut Dağılımları



Şekil 29. Okul-3-Bahar-Anasınıfı İz Element Kütle-Boyut Dağılımları

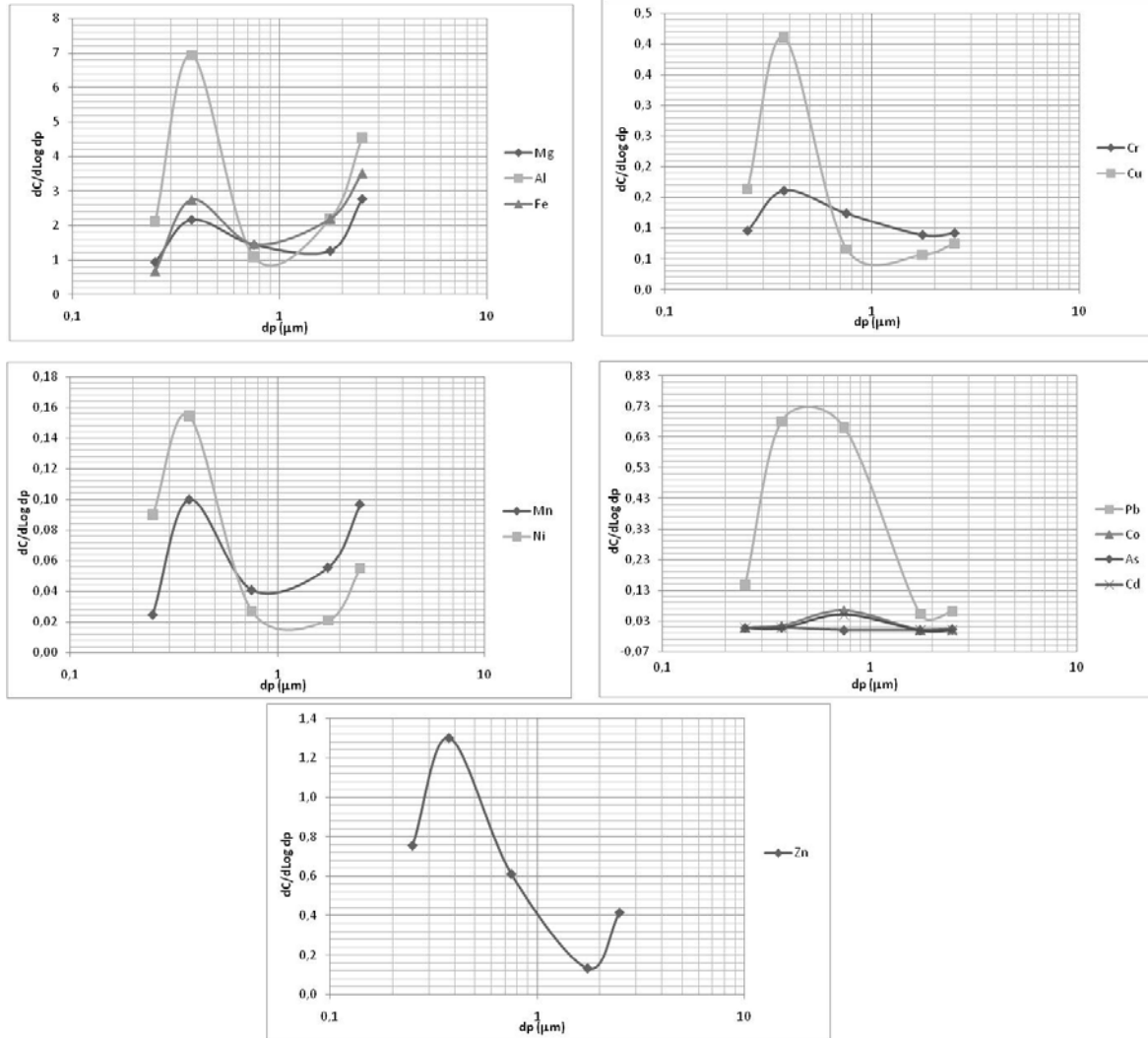


Şekil 30. Okul-1-Kış-Açık Hava İz Element Kütle-Boyut Dağılımları

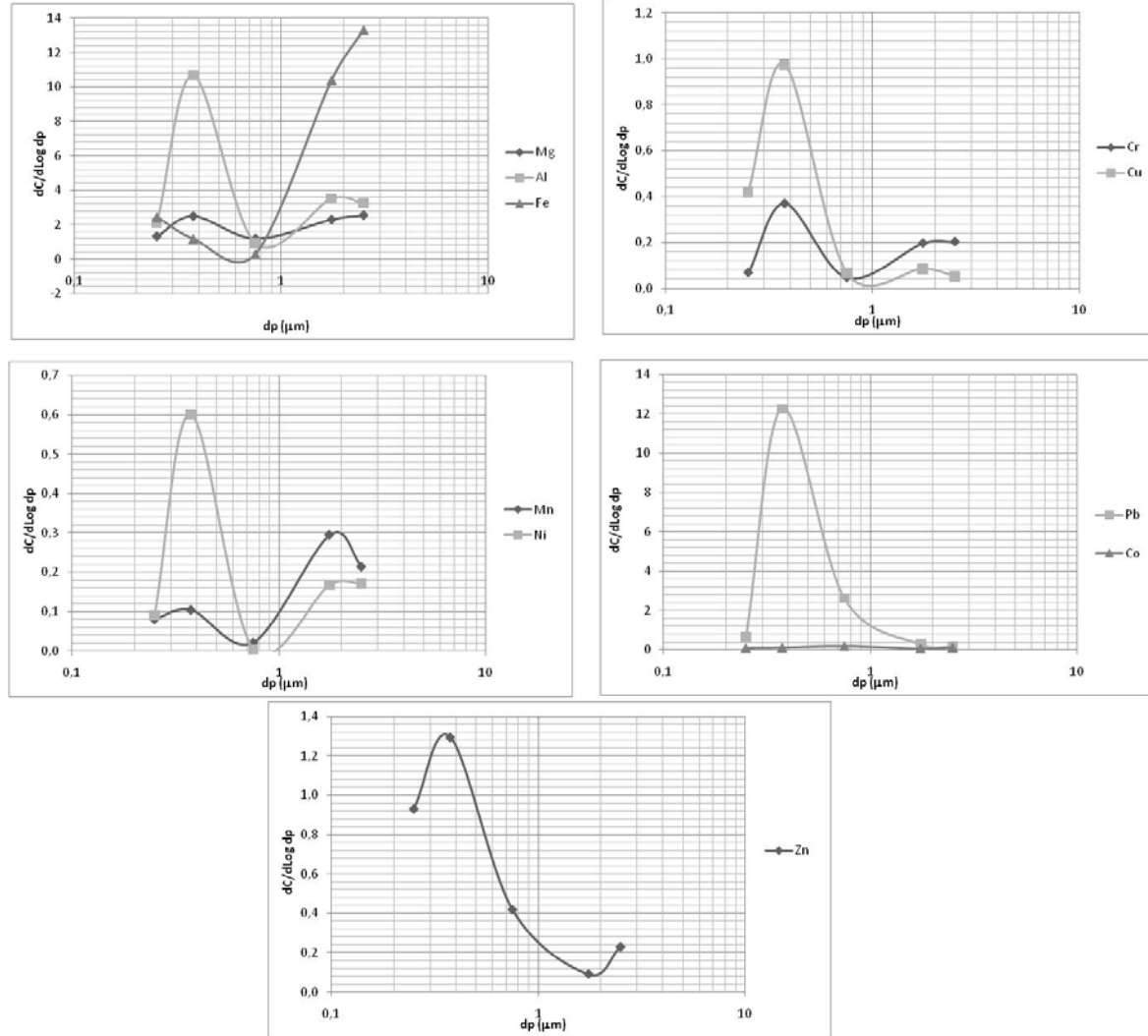


Şekil 31. Okul-1-Bahar-Açık Hava İz Element Kütle-Boyut Dağılımları

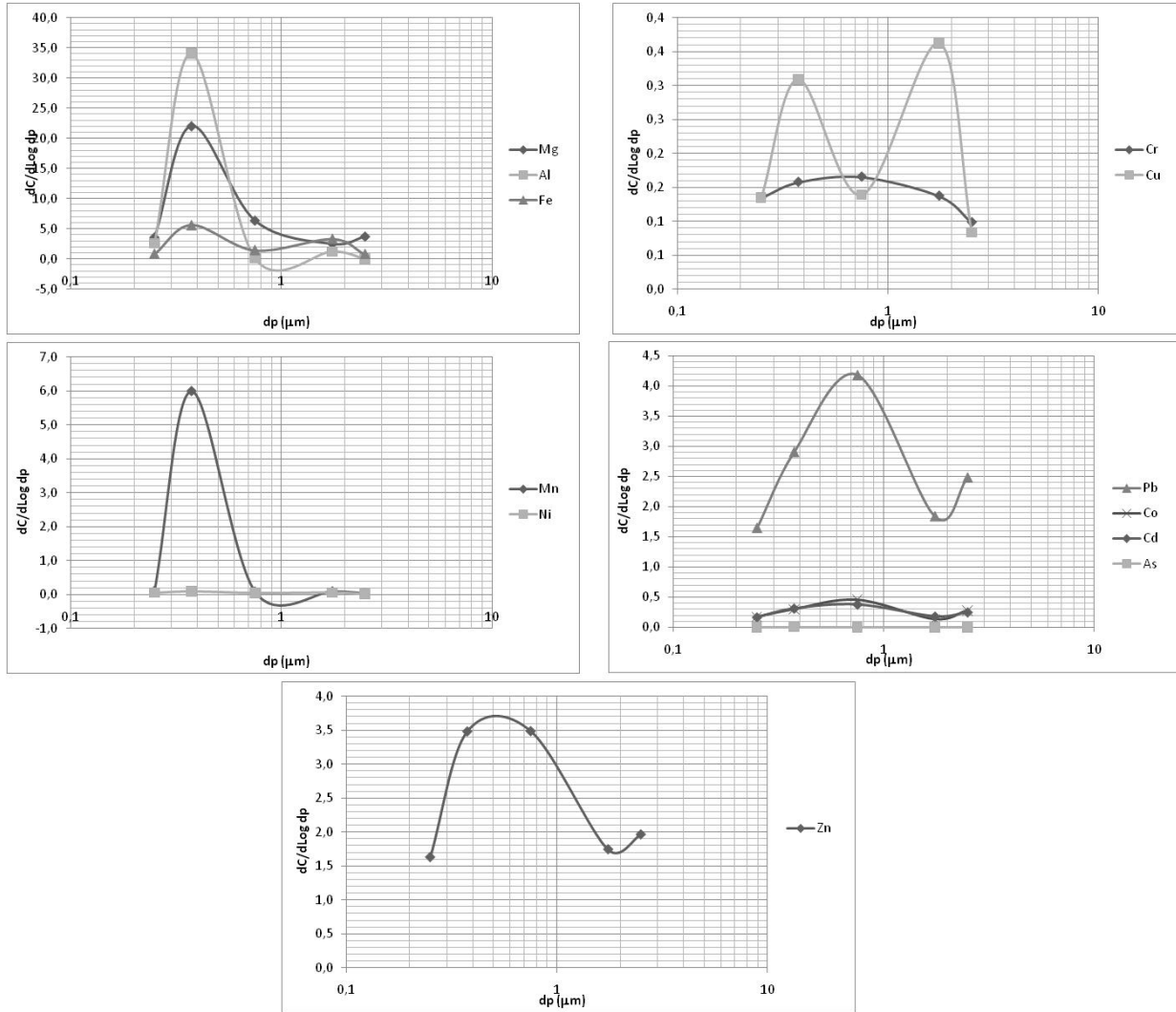




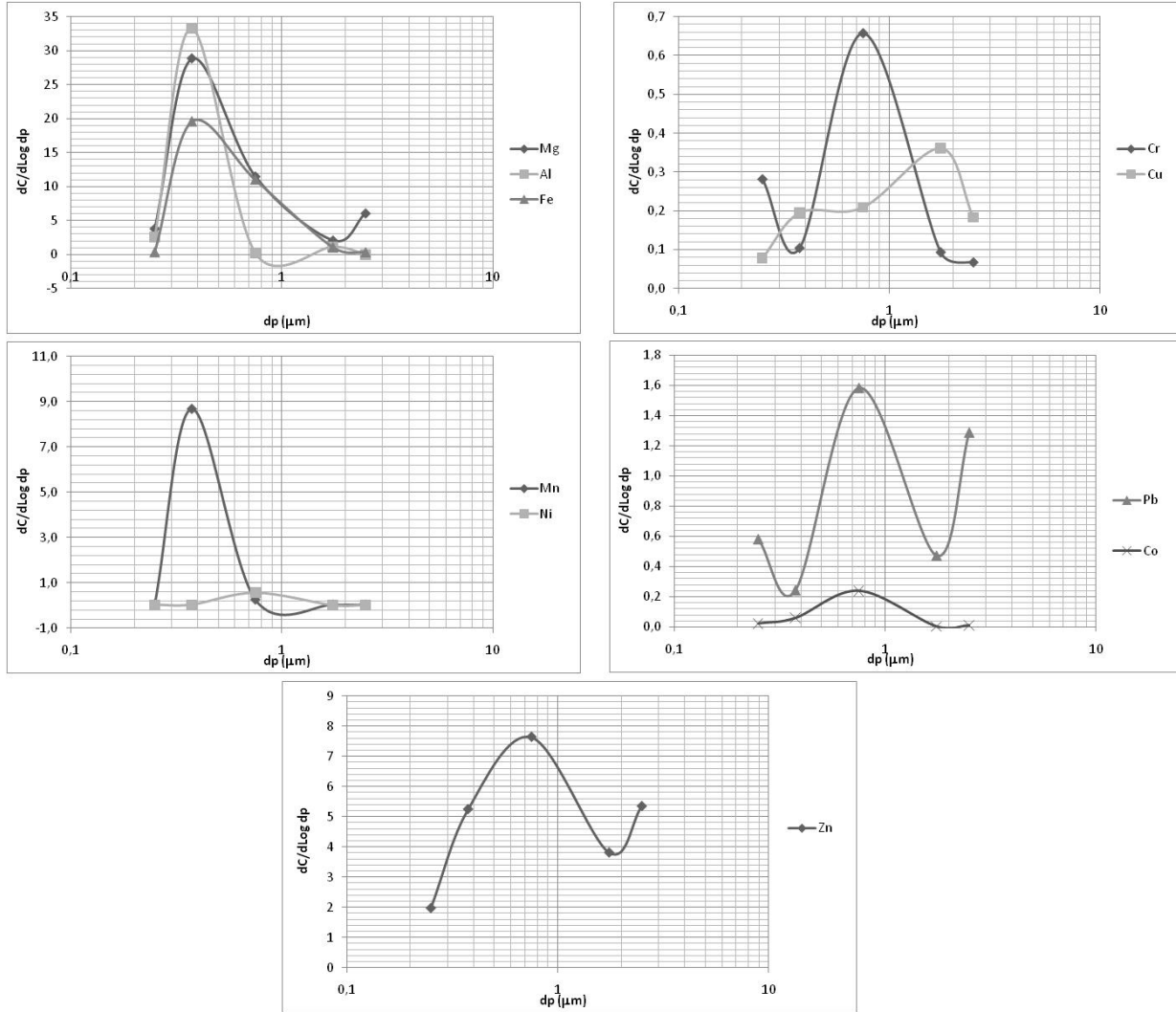
Şekil 32. Okul-2-Kış-Açık Hava İz Element Kütle-Boyut Dağılımları



Şekil 33. Okul-2-Bahar-Açık Hava İz Element Kütle-Boyut Dağılımları



Şekil 34. Okul-3-Kış-Açık Hava İz Element Kütle-Boyut Dağılımları



Şekil 35. Okul-3-Bahar-Açık Hava İz Element Kütle-Boyut Dağılımları

## 6. İNORGANİK GAZLAR

### 6.1 Giriş

Bir konfor değişkeni olarak kabul edilen ve kalabalık mikroçevreler için havalandırma yeterliliğinin bir ölçütü olan CO<sub>2</sub> dışında bu projede ölçülen inorganik gaz bina-içi hava kirleticisi olarak CO ve ozon bulunmaktadır. Yaptığımız literatür taramasına göre ABD'deki 37 okulda gerçekleştirilen 6 saatlik ortalama CO ölçümlerinde medyan derişimlerin 1 ila 5 ppm arasında olduğu, ve derişimlerin çoğunlukla Kalifornia eyaletindeki standart olan 8 saatlik ortalama 9 ppm değerinden aşağıda olduğu rapor edilmektedir (Sheldon vd., 1995). Bahsedilen çalışmada en yüksek 6 saatlik ortalama CO derişimleri sınıflarda 33 ppm, kafeteryada 6,1 bahçede ise 6,8 ppm olarak ölçülmüştür. Yüksek derişimler kışın, düşük derişimler ise baharda ölçülmüştür. Chaloulakou ve Mavroidis (2002) Atina'daki bir okulda ve açık havada yaptığı ölçümlerde bina-içi derişimlerindeki eğilimlerin dışarıda ölçülenler ile paralellik gösterdiğini bulmuştur. Bir saatlik ortalama derişimler hafta içi yoğun sabah trafiğinin etkisiyle yazın dış havada 7 ppm iç havada 3 ppm seviyelerine çıkarken bu rakamlar kış aylarında sırasıyla 20 ve 15 ppm olarak bulunmuştur. Ancak bu seviyeler G.Kore'de okullarda yapılan bina-içi hava ölçümlerinde sınıflar için elde edilenlere göre oldukça yüksek kalmaktadır; Sohn vd. (2009) tarafından yapılan çalışmada mevsimsel ortalama CO derişimleri 0,32 ile 2,64 ppm arasında değişmiştir. Kraenzmer (1999) de doğal havalandırma yapılan bir apartmanda yaptığı ölçümlerde ortalama derişimleri <1 ppm olarak bildirmiştir. Amerika Birleşik Devletleri'nin en kapsamlı bina-içi çevresel kalite çalışmasında 100 adet büyük ofis binasında yapılan ölçülen CO derişimleri de düşük olup önemli oranda tespit sınırın altında kalmıştır (ortanca derişim 1 µg/m<sup>3</sup>, Moschandreas ve Sofuoglu, 2004). Eğer bilinen spesifik bir bina-içi kaynağı yok ise CO genel itibarla dış kaynaklı bir kirletici olarak kabul edilmekte ve trafik emisyonlarının iç havaya etkisini değerlendirmekte kullanılabileceği savunulmaktadır (Kraenzmer, 1999).

İnsan sağlığı üzerindeki olumsuz etkileri sebebiyle dünyada ve ülkemizde dış hava ozon derişimleri için rehber değer ve standartlar bulunmaktadır. Bu derişimler, Dünya Sağlık Örgütü'nün 8-saatlik ortalama rehber değeri ve Japonya'nın 1-saatlik ortalama standart değeri olan 120 µg/m<sup>3</sup> ilâ ABD 1-saatlik ortalama standardı olan 240 µg/m<sup>3</sup> arasında yer

almaktadır (Weschler, 2000). Dış hava, bina-içi derişimleri etkileyen en önemli faktör olmakla beraber bina-içi hava değişim oranı, iç kaynaklar, yüzeylerde giderim hızları ve kimyasal reaksiyonlar da önemli rol oynamaktadırlar. Ozonun dahil olduğu çeşitli maddelerle reaksiyonlar, yine insan sağlığını tehdit eden başka kirleticiler oluşturabilmektedir: ikincil mikron-altı partiküller ve uçucu organik maddeler (Weschler, 2000; Aoki ve Tanabe, 2007; Coleman vd., 2008; Kagi vd., 2009).

Yurtdışında çocuklarda astım hastalığının yaygınlığı artış göstermektedir. ABD’de, 6,8 milyon çocuğun astım hastası olduğu tahmin edilmektedir (Web-1). İlköğretim okullarında ve liselerde çocukların derslere katılmadığı günlerin %20’si astım hastalığı sebebiyledir (Bayer vd., 1999) [6]. Türkiye’de de, astım çocuklarda görülen önemli bir hastalıktır. Demir ve arkadaşları (2004), 1997 ve 2002 yılları arasında Ankara’da yaptıkları çalışmada, astımın yaygınlık yüzdelerini sırası ile 1992, 1997 ve 2002 yılları için, %8,3, %9,8 ve %6,4 olarak bulmuştur. Selçuk ve arkadaşları (1997) ise Edirne’deki okullarda yaptıkları çalışma sonucunda çocukların %34,2’sinin alerjik hastalıklardan etkilendiklerini belirlemiştir. Son yıllarda yapılan geniş çaplı (14 şehirde 25,000’den fazla çocuk) bir çalışmaya göre astım, hırıltılı soluma, alerjik rinit ve egzemanın ortanca yaygınlık oranları sırasıyla %13.4, %12.6, %17.3 ve %4.6 olarak bildirilmiştir (Kurt vd., 2007).

Ozonun çocuklarda astım semptomlarıyla ve okula devam edememe ile ilişkisi olduğu gösterilmiştir (Ramadour vd., 2000; Gilliland vd., 2001). Çocukların, günün önemli bir kısmını okul binalarında geçirdikleri düşünöldüğünde, buralardaki kirleticilere maruziyet önem taşımaktadır. Yurtdışında, okullarda ozon derişimleri ölçölmüştür ve bu bilgiyi içeren birçok yayın olmasına rağmen ölkemizde – dış havada ölçömler yapılmış olmakla beraber – bu konuda bilgi eksikliği bulunmaktadır. Bu proje raporu yazarlarının bilgisi dahilinde *Science Citation Expanded Index*’te yer alan dergilerde yayınlanmış ölkemiz bina-içi mikroçevrelere ait veri bulunmamaktadır. Triantafyllou vd. (2008) günlük ortalama derişimlerin 1 – 10 ppb arasında, iki örnekleme dönemi ortalamalarının da 3 ve 4 ppb olduğunu bildirmişlerdir. Çin’deki ölçömler (Mi vd., 2006) derişimlerin 1 ilâ 9  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  arasında değiştini, ABD’de ise Kaliforniya’da 3 ilâ 21  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (Geyh vd., 2000), Nashville, Tennessee’de (Lee vd., 2004) ise haftalık ortalama derişimlerin çoğu zaman tespit sınırın altında kaldığını, 17 ppb en yüksek değere kadar ölçöldüğünü ve ortalamanın oldukça düşük (~2 ppb) olduğunu göstermiştir.

Tüm araştırmalar göstermektedir ki, ana ozon kaynağı <1 iç/dış oranları ile dış hava olup genelde ortalama 0,1-0,3 arasındadır.

## **6.2 Bulgular ve Tartışma**

### **6.2.1 Karbon Monoksit**

Bu projede CO ölçümü için kullanılan cihazın tespit sınır değeri 1 ppm idi. Tüm ölçüm dönemlerinde hem derslik hem de anasınıfı anlık CO derişimleri, kış dönemi ölçümlerinde neredeyse tamamıyla, bahar ve sonbahar dönemlerinde ise tamamıyla tespit sınırının altında kalmıştır. Sadece Okul-2 kış örneklemesinde, bir örnekte 1 ppm'lik bir düzey ölçülmüştür. Ancak, cihazın arızalı olması sebebiyle, kentsel alanda yer alan Okul-1'de kış dönemi ölçümleri yapılamamıştır. Halbuki, Okul-1 ve Okul-2 bahçesinde, ölçüm yapılan her dönemde 2 ppm'e kadar çıkan derişimler tespit edilmiştir. Yarı-kentsel alanda yer alan Okul-3'de ise anlık dış hava derişimleri de tespit sınırının altında kalmıştır. Bu durum, bina-içi güçlü yanma kaynaklarının – en azından test hacminin bulunduğu bloklarda – bulunmadığı çıkarımını yapmamıza yol açmaktadır. Her üç okulda da, kantin / kafeterya ve kalorifer dairesi test hacminin bulunduğu binada değildi. Okul-3'te kalorifer dairesi aynı binada bulunmakla beraber, bina-içi ile direk ilişkisi tamamen ortadan kaldırılmış, kapısı dışarıda olan bir düzen ile yerleştirilmişti. Bu okul tek binadan oluşmakla beraber, kantin, okul bahçesinde ayrı küçük bir yapı olarak yer almaktadır. Bir diğer eksik yanma kaynağı olan sigaranın içilmesine kentsel alanda yer alan iki okulda sadece bir öğretmenler odasında mücade ediliyordu; Okul-3'te ise yasaktı. Kentsel alanda yer alan iki okuldan Okul-1'de sigara içilen öğretmenler odası test hacminin bulunduğu binada yerleştirilmiş olmasına rağmen içeride CO derişimlerinin tespit sınırının altında kalması, bu oda kapısının sürekli kapalı, en az bir penceresinin ise mevsim farkı olmadan sürekli açık tutuluyor olması ile ilintili olduğu varsayımında bulunulabilir. Atina, Yunanistan'da yapılan bir çalışmaya (Chaloulakou ve Mavroidis, 2002) göre yaz mevsiminde saatlik ortalama dış hava derişimleri 1,7 ilâ 3,5 ppm arasında yer alırken, okul içinde bu derişimler 1,2 ilâ 2.0 ppm, kış mevsiminde ise dışarıda 4,0-5,5 ppm, yaz mevsiminde ise 3,0-4,0 ppm arasında ölçülmüştür. Bu derişimlere karşı gelen ortalama İç/Dış (İ/D) oranları 0,55 ilâ 0,82 olmuştur. İzmir ile Atina arasında görülen bu farklılık, Atina'nın hava kirliliğinin çok daha yoğun olduğu bir şehir olması ile açıklanabilir, çünkü bu proje yürütücüsünün daha önce incelemiş olduğu 100 adet büyük ofis binasında

yapılan Amerika Birleşik Devletleri'nin en kapsamlı bina-içi çevresel kalite çalışmasında ölçülen CO derişimleri de önemli oranda tespit sınırın altında kalmıştı (ortanca derişim 0,001 mg/m<sup>3</sup>, Moschandreas ve Sofuoglu, 2004).

### 6.2.2 Ozon

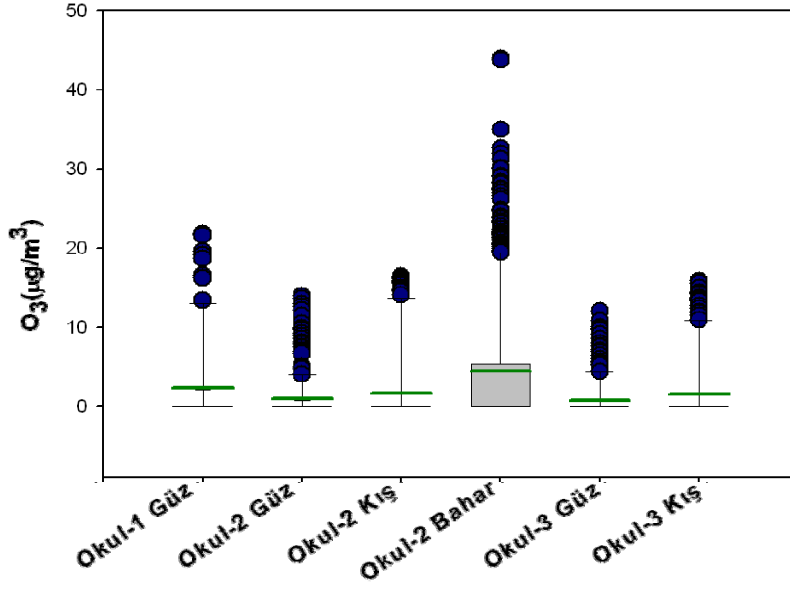
Ozon ölçümü sadece bina-içi havada yapılmıştır. Ozon izleme cihazı, her üç okulda da, test hacminin bulunduğu binada bir koridora yerleştirilmiştir. Her üç okulda da, cihazın hava alma ağızı çocukların erişiminden korumak amacıyla yerden yaklaşık 2 m yükseklikte olacak şekilde yerleştirilmiştir. Ölçümler Okul-2'de kış, bahar ve güz dönemlerinde, Okul-3'de kış ve güz dönemlerinde, Okul-1'de ise sadece güz döneminde yapılmıştır.

Tüm okullarda ve tüm dönemlerde ölçülen saatlik derişimler düşünöldüğünde, derişimlerin tespit sınırının altı ilâ 44 µg/m<sup>3</sup> arasında değiştiği görölmektedir. Her okul için dönemlik istatistikler incelendiğinde (bkz. Tablo 23) ortalama derişimlerin 0,78 ilâ 4,33 µg/m<sup>3</sup> arasında yer aldığı görölrken, ortanca derişim esas alındığında, tüm dönemlerin tespit sınırın altında olduğu görölmektedir. Dolayısıyla, ölçülen saatlik ortalama ozon derişimlerinin çoğunluğunun (>%50) tespit sınırının altında kaldığı söylenebilir. Saatlik ortalama ozon derişimlerindeki değişkenlik Şekil 36'da gösterilmiştir. Tablo 23'de okul-dönem sıralaması ölçüm kampanyalarının tarih sırasına göre yapılmıştır. Göröldüğü üzere Mayıs-Haziran aylarına gelen Okul-2 Bahar döneminden sonra Güz ayları içinde derişimlerde düşüş sonra kış ayları ile beraber tekrar bir yükseliş görölmüştür. Bu durumun güneş radyasyonu ile ilgili olabileceği, dolayısıyla, bina-içi ozon derişimlerinin ana kaynağının dış hava olduğu çıkarımı yapılabilir.

Gün içerisindeki ortalama saatlik derişimler Şekil 37'de sunulmuştur. Gün içerisindeki derişim değişkenlik göstermektedir: gece ve sabah saatlerinde tespit sınırının altında kalan derişimler, öğleye doğru artışa geçerek bir zirve yaptıktan sonra akşamüstü saatlerinde tekrar azalıp akşam saatlerinde tekrar tespit sınırının altına düşmektedir. Bu değişkenlik, dış havada ölçülen ve rapor edilen değişkenlik (Weschler, 2000) ile benzer olduğundan, yukarıda yapılan ana kaynağın dış hava olabileceği çıkarımı ile örtüşmektedir. Dönem bazında kronik maruziyet olarak düşünöldüğünde, en yüksek saatlik ortalama derişim – yaklaşık 15 µg/m<sup>3</sup> – Okul-2 Bahar döneminde görölmüştür. En yüksek derişimlerin en düşüklerine – yaklaşık 5



$\mu\text{g}/\text{m}^3$  – Güz dönemi ölçümlerinde rastlanmıştır. Derişimler saat 14 ilâ 16 arasında zirve yapmaktadır.



Şekil 36. Ölçülen saatlik ortalama ozon derişimlerinin değişkenliği

Tablo 23. Ozon Derişimi ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) Betimleyici İstatistikleri

	Tarihler	Veri Sayısı	Ortanca	Ortalama	Standart Sapma	En Küçük	En Büyük
Okul-2 Bahar	10/05/2008 11/06/2008	608	BDL	4,33	8,25	BDL	43,9
Okul-1 Güz	21/10/2008 24/10/2008	96	BDL	2,35	5,79	BDL	21,8
Okul-2 Güz	06/11/2008 17/11/2008	288	BDL	0,96	2,74	BDL	13,9
Okul-3 Güz	27/11/2008 05/12/2008	216	BDL	0,78	2,36	BDL	12,1
Okul-3 Kış	31/12/2008 12/01/2009	240	BDL	1,49	4,24	BDL	15,9
Okul-2 Kış	15/01/2009 23/01/2009	216	BDL	1,64	4,78	BDL	16,4

BDL: Tespit edilme sınırının altında

Ülkemizde ve ABD’de halka ve ilgililere hava kalitesi hakkında günlük bilgiyi sağlık etkileri ile ilişkilendirerek ulaştırmakta kullanılan Amerikan Çevre Bakanlığının geliştirdiği Air Quality Index (AQI), bu çalışmada ölçülen ozon derişimlerinin sağlık etkileri açısından değerlendirilmesi amacıyla kullanılmıştır. AQI, ölçülen derişimleri kullanarak, basamaklı bir doğrusal ilişki ile ölçülen derişimde beklenen sağlık etkilerini, hesaplanan gösterge değeri ile işaret etmektedir. AQI hakkında detaylı bilgi ilgili internet sayfasından elde edilebilir (Web-2). AQI hesabında, ozon için çocuklarında içinde bulunduğu hassas insanlarda sağlık etkilerinin görölme sınırı olarak 8 saatlik ortalama  $170 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ve 1 saatlik ortalama  $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$  derişimleri kullanılmıştır. Bu derişimlerin altında, alışılmışın dışında olanlar hariç, herhangi bir sağlık etkisi beklenmemekte ve ozon açısından hava kalitesi “iyi” veya “orta” olarak sınıflandırılmaktadır. Çalışmamızda ölçülen tüm saatlik ortalama derişimler, “iyi” sınıflaması 8-saatlik ortalama derişim aralığı olan  $0-125 \mu\text{g}/\text{m}^3$  aralığında yer aldığından herhangi bir sağlık etkisi beklenmemektedir. Bu çalışmada ölçülen derişimler literatürde yurtdışında okul binaları (Triantafyllou vd., 2008; Mi vd., 2006; Blondeau vd., 2005) ve evler (Geyh vd., 2000) için rapor edilenler ile benzer düzeylerde dir. Bu çalışmada ölçülen iç hava derişimleri, aynı cihaz ile 2007 ve 2008 yıllarında İzmir’de, DEÜ Tınaztepe Kampüsü’nde ve Alsancak’ta fuar alanında, bahar aylarında, dış havada yapılan ölçümlerde bulunan ozon derişimi aralığı ( $0-150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) içinde yer alırken, dış hava saatlik ortalama derişimlerin ortanca değeri  $10$  ilâ  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  arasında değişmiştir (Odabaşı vd., 2008). Dolayısıyla, aynı zaman dilimi içinde olmamakla beraber, iç-dış hava ortalama ozon derişimleri karşılaştırılınca, iç/dış hava ozon oranının literatürde bildirilen ( $<0,1-1,0$ ) oranlar (Weschler, 2000) ile uyum gösterdiği görölmektedir. Ancak, burada Odabaşı vd. (2008) trafiğin en yoğun olduğu kavşaklarda, nefes alıp-verme yüksekliğinde ölçüm yaptıklarını belirtmek gerekir.

Yukarıda, iki tespit yoluyla yapılan bina-içi ozon derişimlerinin ana kaynağının dış hava olduğuna dair çıkarım ve değerlendirmeye destek olmak üzere saatlik ozon derişimleri ile dış hava saatlik ortalama sıcaklık ve nispi nem arasındaki ilişki irdelenmiştir. Şekil 38, her üç parametredeki saatlik değişkenliği, her üç okulda da ölçüm yapılmış olan güz dönemi için göstermektedir. Bu tahlilde, nispi nem, havanın kapalılığının – tam olarak olmasa da – bir ölçütü olarak düşünülerek kullanılmıştır. Şekilden görüldüğü üzere, ozon derişimlerinde artış–azalış eğilimleri, sıcaklık ve nispi nemdeki artış ve azalış eğilimleri ile uyum göstermektedir. Derişimler, sıcaklığın arttığı ve nispi nemin azaldığı saatlerde

yükselmektedir. Güz dönemi için ozon derişimlerinin tespit sınırının altında ve üzerinde bulunduğu saatlerdeki sıcaklık ve nispi nem ortalama derişimleri t-testi kullanılarak karşılaştırıldığında Okul-2 için nispi nem hariç tüm farkların istatistiksel olarak anlamlı olduğu ( $p < 0,10$ ) görülmüştür. Farklı ozon derişimleri durumunda ortalama sıcaklık ve nispi nem ile t-testi  $p$ -değerleri Tablo 24’de sunulmuştur. Ayrıca, haftaiçi ve haftasonu günlerde ölçülen derişimler karşılaştırılmıştır. Ölçülen tüm saatlik ortalama derişimler üzerinden haftaiçi–haftasonu ortalamaları (sırasıyla 2,84 ve 1,09  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) arasındaki farkın t-testi ile anlamlı olduğu ( $p < 0,0001$ ) belirlenmiştir. Haftaiçi günlerde elde edilmiş olan 1256 saatlik ortalama derişimin %78’i tespit sınırının altında kalırken, haftasonu ölçülen saatlik ortalama 408 derişimin %93’ü tespit sınırının altında kalmıştır.

Tablo 24. Güz dönemi ozon derişimi – sıcaklık – nispi nem kategorik ilişkisi

	Okul-1			Okul-2			Okul-3		
	BDL	>BDL	$p$ -değeri	BDL	>BDL	$p$ -değeri	BDL	>BDL	$p$ -değeri
Ozon ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )									
Sıcaklık ( $^{\circ}\text{C}$ )	18,5	22,1	<0,001	14,8	16,7	<0,001	15,9	17,8	0,02
Nispi Nem (%)	59,1	47,7	<0,001	67,0	64,5	0,16	63,4	57,9	0,09

İster dışarıdan içeriye penetre etsin, isterse lazer yazıcılar gibi iç kaynaklardan havaya salınsın, ozon iç havada diğer kirleticilerle ve bina ve döşeme malzemeleriyle reaksiyonlara girebilmekte ve ikincil aerosol ve kirletici oluşumunda rol oynamaktadır. Bu diğer bina-içi hava kirleticileri arasında d-limonene,  $\alpha$ -pinene,  $\alpha$ -terpene, stiren, isoprene vb. doymamış hidrokarbonlar bulunmaktadır; sonuç olarak aldehitler oluşmaktadır. Mekanizma olarak, ozonun başlattığı reaksiyonlarla hidroksil ve nitrat radikallerinin ortaya çıkması yolu düşünülmektedir. Oluşan aldehitler arasında formaldehit, hekzanal, nonanal, dekanal, benzaldehit ve tolualdehit bulunmaktadır; ki bunlar insan sağlığı açısından önem arz eden bileşiklerdir. Benzer şekilde bina ve döşeme malzemeleriyle (örneğin halı) ozonun tepkime vermesi sonucu ölçülebilir düzeyde 2-nonenal, n-nonenal, and C1–C3 and C6–C8 aldehitleri oluştuğu deneylerde görülmüştür. Ozonun dahil olduğu reaksiyonlarda bir taraftan uçucu organik bileşikler (UOB) tüketilirken diğer taraftan oluşmaktadır. Sonuçta, Toplam UOB olarak ele alınırsa UOB iç havadaki miktarının arttığı görülmüştür. (Weschler, 2000; Aoki ve

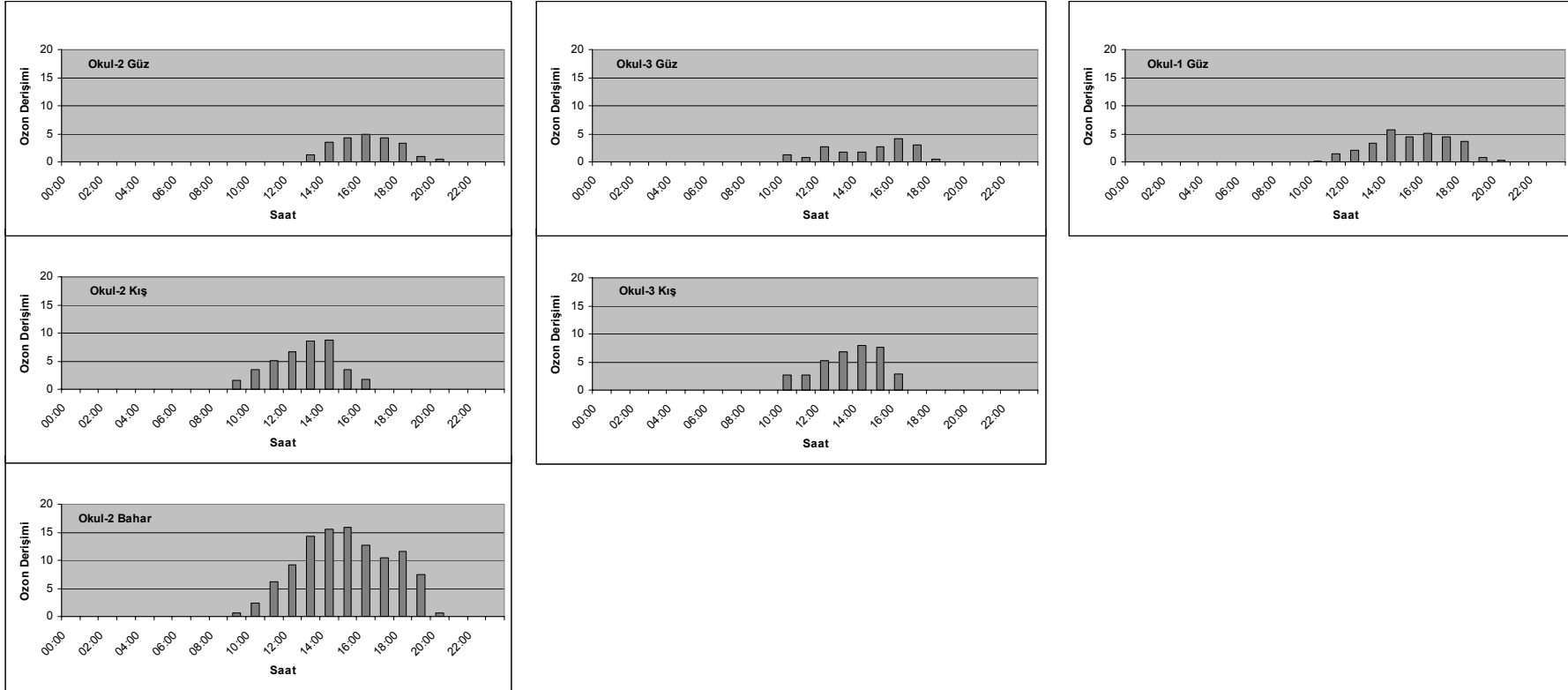
Tanabe, 2007; Coleman vd., 2008; Kagi vd., 2008). Dış hava derişimleri karşılaştırıldığında tipik olarak görülen 0,1 – 0,5 oranındaki iç hava derişimleri solunum yoluyla vücuda alınan miktar (doz) olarak düşünöldüğünde içerde geçirilen vaktin dışarıya göre çok yüksek olması sebebiyle günlük dozun %25 – 60'ına tekabül etmektedir. Ek olarak, dışarıdan içeriye taşınımından sonra yüzey ve gaz faz reaksiyonlarına dahil olan ozon, toksik -belki de kendisinden daha toksik- yeni kimyasalların oluşmasında rol oynamaktadır. Dolayısıyla, ozonun bulunduğu bina-içi ortamlarda bu maddelere de maruziyet söz konusu olmaktadır; ki bunun seviyesinin günlük ozon dozunun üçte biri ile iki katı arasında olabileceği hesaplanmış ve özellikle doğal havalandırma yapılan binalarda bunun üst düzeyde olacağı bildirilmiştir (Weschler, 2006). Bina-içi kimyasal tepkimelerin ürünleri arasında tehlikeli temas allerjenleri, astımı tetikleyen ya da kötüleştiren, mutajenik, kanserojenik maddeler de bulunmaktadır.

### **6.3 Sonuç**

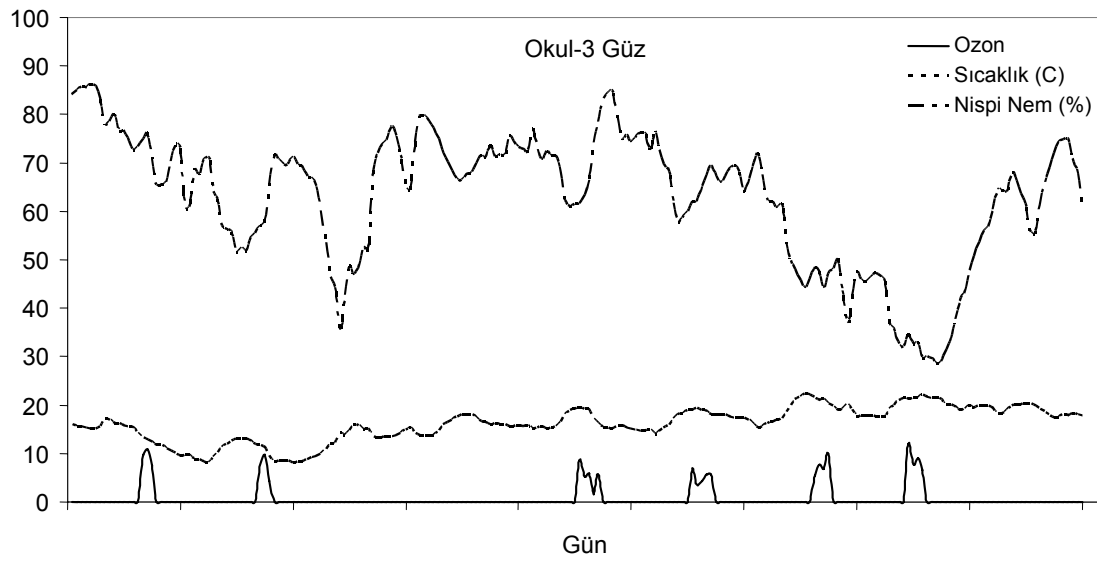
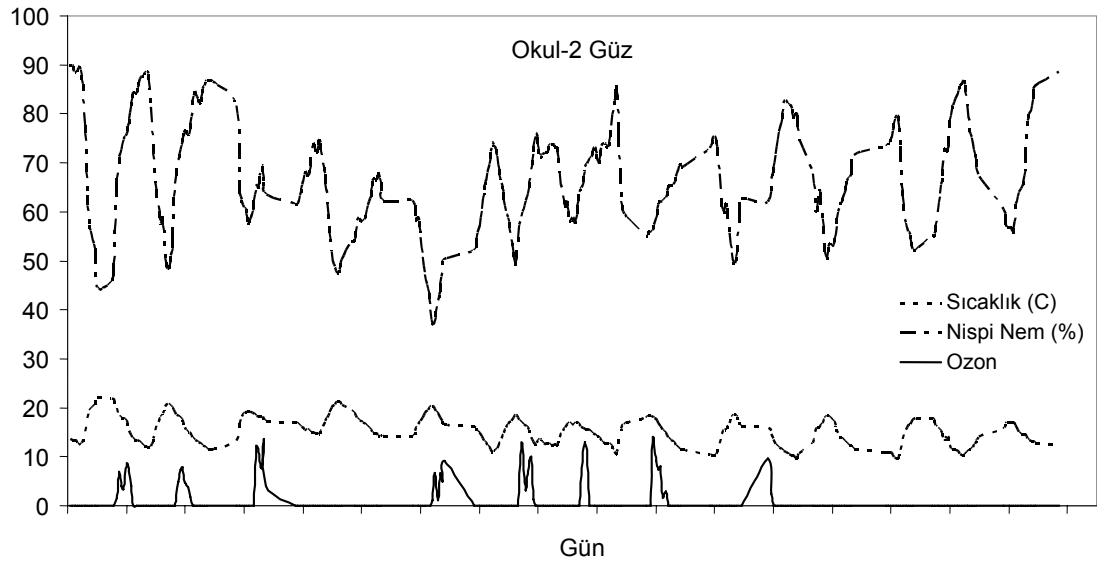
CO derişimleri hem metropoldeki okullarda hem de banliyödeki okulda oldukça düşük seviyelerde bulunduğundan etkili bina-içi eksik yanma kaynaklarının bulunmadığı, bunda örnekleme kampanyaları sırasında tüm okullarda sadece birer odada sigara içilmesine müsaade edilmesinin katkısı bulunduğu sonucu üretilmiştir. Günümüzde bina-içi ortamlarda sigara içilmesi tamamıyla yasaklandığından mevcut durumun daha olumlu olduğu çıkarımı yapılabilir. Bu projede örneklenen okulların hiçbirisinde yemekhane bulunmadığından pişirme aktivitesi de bir kaynak olarak etkide bulunmamıştır, dolayısıyla yemekhane ve diğer olası yanma kaynaklarının bulunduğu okullarda daha yüksek derişimler beklenebilir. Sonuç olarak bu projede incelenen okullar için ölçölen düşük derişimler sebebiyle herhangi önemli bir sağlık etkisi beklenmemektedir.

İzmir'de üç ilköğretim okulunda ölçölen ozon derişimlerinin günlük değışkenliği olduğu, derişimler gece, sabah erken ve akşam saatlerinde tespit sınırının altında ya da düşük iken, öğleye doğru yükselişe geçtiği, öğleden sonra zirve yaptıktan sonra akşamüstü tekrar düştüğü gözlenmiştir. Dönemsel ortalama derişimler, 0,8 ilâ 4,3  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  arasında değışmiş, ölçölen en yüksek saatlik ortalama derişim 44  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  olmuştur. Bu derişimler, hassas insanlarda sağlık etkilerinin görölme sınırı olarak kabul edilen 170  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (8 saatlik ortalama) ve 250  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (1 saatlik ortalama) derişimlerinin altında kalmaktadır. Bulgular, iç hava ozon

derişimlerinin, dış hava ozonu ile ilintili olduğunu, dış hava sıcaklığı, nispi nem, ve pek muhtemel olarak güneşlenmenin derişimleri açıklayan önemli etkenler olduğunu göstermiştir. Haftaiçi ile haftasonu günleri arasındaki derişim farkı bu savı desteklemektedir. Tabii ki buradan ozonun önemli bir bina-içi hava kirleticisi olmadığı sonucu çıkarılmamaktadır. Çünkü, içeride yüzey reaksiyonlarıyla oluşan ürünler en az ozon kadar ya da daha tehlikeli sağlık etkileri olan maddelerdir. Bu projede incelenen ve lkemiz genelinde de uygulamada olan doğal havalandırma yapılan binalarda ozonun gün içinde yüksek olduğu zamanlarda dışarıdan içeriye alınan hava miktarını azaltmak suretiyle bina sakinlerinin –ki okullarda çocuklar hassas gruptur– ozon ve kimyası ürünlerine maruziyetlerinin en aza indirilmeye çalışması gerekmektedir. Bu tedbire ek olarak, içeride oda kokusu, parfüm vs. gibi kişisel bakım ürünleri, katkılı temizlik maddeleri, fotokopi-yazıcı, duvardan duvara halı ve muşamba yer döşemesi kullanımından kaçınılması ve düzenli temizlik ile yüzeylerde toz birikiminin engellenmesi, ozon ile tepkimeye girecek organik bileşiklerin bina-içi havaya salıverilmesini azaltacağından faydalı olacaktır.



Şekil 37. Saatlik Ortalama Ozon Derişimleri Okul – Mevsim Matrisi ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )



Şekil 38. Ozon derişimi ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) – sıcaklık – nispi nem değişkenliği

## 7. BİNA-İÇİ ÇEVRESEL KONFOR DEĞİŞKENLERİ

### 7.1 Giriş

Yetersiz havalandırma bina sakinlerinde sağlık semptomlarının ortaya çıkmasında ilk başta şüphelenilen bir parametredir. Amerikan Isıtma Soğutma ve Hava Şartlandırma Mühendisleri Cemiyeti (ASHRAE) 1999 tarih ve 62 numaralı standardı ile sınıflar için 8 L / s – kişi havalandırma oranı tavsiye etmektedir. Eğer kabaca 90 m<sup>2</sup>lik, tavan yüksekliği 3 m olan bir sınıf için 33 kişilik bir mevcut düşünülürse bu yaklaşık saatte 3 hava değişimine (SHD) karşı gelmektedir.

Nielsen (1984) Danimarka'da rastlantısal olarak seçtiği 11 okulun ikişer sınıfında ölçümler yapmış, 1,8 ila 15,4 L/s–kişi arasında değişen havalandırma oranlarının ortalaması 6,4 L/s–kişi olmuştur. Kuzeybatı Amerika'da yapılan bir çalışmada (Turk vd., 1987 ve 1989) şikayet konusu olmayan altı okulda bütün bina için ölçülen havalandırma oranları 4,5 ila 31 L/s–kişi arasındadır. Ancak bina için havalandırma oranı ölçümlerinde kullanıma dahil olmayan odalar koridorlar gibi hacimlerden dolayı ölçülen ortalama değer sınıflarda mevcut değerlere göre daha yüksek olacaktır, bunu yazarlar da vurgulamaktadırlar. Bina için havalandırma oranı 4,5 olan okulda bir sınıfta yapılan ölçümün sonucu 1,6 L/s–kişi olmuştur. Turk vd. (1993) yine ABD'deki 12 binada yaptığı ölçümler, 11 binanın 3 SHD'den daha az oranlarda havalandırıldığını göstermiştir. Walinder vd. (1998) İsveç'te 12 okulda ölçümler gerçekleştirmiş ve havalandırma oranlarının 0,5 ila 5,2 SHD arasında bulunduğunu ortalama değer ise 1,9 SHD olduğunu bildirmiştir. Bartlett ve diğerlerinin (2004) 11 sınıfta yaptığı ölçümler 8 sınıfta ASHRAE standardına göre yeterli havalandırmanın yapılamadığı sonucunu göstermiştir.

Mevcut çalışmalar okullarda havalandırma oranının çoğunlukla yetersiz kaldığını göstermektedir. ASHRAE standardına göre 8 L/s–kişi olması gereken havalandırma oranı farklı çalışmalarda 1,6 – 1,8 L/s–kişi gibi çok düşük seviyelerde ölçülmüştür. Yeterli havalandırma yapılmayan sınıflarda bina-İçi hava kirleticilerinin birikmesi kaçınılmaz olduğundan okullarda bina-İçi hava kalitesinin önemine vurgulamaktadır.



Yetersiz havalandırmanın bir sonucu olarak CO<sub>2</sub> derişimleri sınıftaki öğrenci sayısına bağı olarak konfor eşiğı olarak adledilen 1000 ppm sınırını aşabilmektedir. Aslında çoğunlukla, CO<sub>2</sub> derişimleri için 1000 ppm seviyesi havalandırma yeterliliğinin bir göstergesi olarak kullanılmaktadır. Bu seviyenin üzerindeki derişimler vucut kokusu açısından yetersiz havalandırmaya işaret etmektedir. Ancak, bu seviyenin altındaki derişimler başka kaynaklardan gelen bina-içi hava kirleticilerinin uzaklaştırılması için gerekli yeterli havalandırmanın yapıldığını garanti etmemektedir (Apte vd., 2000; Seppanen vd., 1999). CO<sub>2</sub> derişimleri hem havalandırma oranına hem de sınıf mevcuduna bağı olduğundan zamanla değişkenlik göstermektedir, bu sebeple ortalama zamanı kısa olan derişimler değil okul binalarının uzun vadeli havalandırma şartlarını ortaya koyacak derişimler tercih edilir.

Literatür, CO<sub>2</sub> derişimlerinin okullarda 320 ilâ 5000 ppm arasında ölçüldüğünü göstermektedir (Nielsen, 1984; Potting vd., 1987; Turk vd. 1987 ve 1993; Cousins ve Colett, 1989; Norback vd., 1990; Brennan vd., 1991; Bayer ve Downing, 1992; Thorne, 1993; Fisher vd., 1994; Norback, 1995; Willers vd. 1996, Smedje, 1997; Lee vd., 2002). Ortalama derişimlerin yaklaşık yarısı 1000 ppm ve üzerinde bulunmaktadır. Bir okulda ortalama CO<sub>2</sub> derişimi rehber değerden düşük olsa bile değişik zaman dilimleri ya da okul içinde değişik mekanlarda derişimlerin 1000 ppm değerinin üzerine çıkmakta demektir. Amerika Birleşik Devletleri'nde bir taraftan Brennan vd. (1991) dokuz okulda yaptığı çalışmada derişimlerin mekanların %74'ünde rehber değerden yüksek olduğunu belirtirken, Turk vd. (1987) sadece 330 ila 460 ppm arasında değişen derişimler ölçmüşlerdir. Cousins ve Colett (1989) Kanada'daki üç okulda ölçümler yapmış; derişimler genelde rehber değerin altında kalırken bir portatif sınıfta ortalama derişim 1950 ppm olmuştur. Avrupa'daki şikayet konusu olmayan okullarda ölçülen ortalama değerler genelde 1000 ppm civarlarında olup ölçülen en yüksek derişimler 3000 ppm'den daha küçüktür (Nielsen, 1984; Norback vd., 1990; Norback, 1995; Smedje, 1997). Avrupa'da içlerinde şikayet konusu olan okullarda yapılan ölçümlerden Potting vd. (1987) Hollanda'da inceleme konusu olan yedi okulun tamamında derişimlerin ülkenin sınır değeri olan 1200 ppm seviyesini zamanın %27 ila 97'sinde geçtiğini, bir sınıfta derişimlerin zamanın %73'ünde 2500 ppm'den büyük olduğunu bulmuştur. Smedje vd. (1997) İsveç'te 38 okulun 96 sınıfında yaptığı ölçümlerin %41'inin 1000 ppm'den büyük olduğunu, ortalama değerin ise 990 ppm olduğunu rapor etmektedir. Lee vd. (2002) Hong

Kong'da mekanik olarak havalandırılan okullarda yaptığı ölçümlerde ortalama derişimi 1250 ppm (en yüksek ~1800 ppm) civarında bulmuştur.

Buna göre, yurtdışındaki okullarda genellikle rehber değer olan 1000 ppm seviyesi sağlansa da belli zaman dilimleri ve okul içi mekanlarda derişimler bu seviyenin üzerine çıkmaktadır. Bu durum ile mekanik havalandırılmalı okullar ve portatif sınıflarda daha çok karşılaşılmakta ve CO<sub>2</sub> derişimleri karşılaştırıldığında şikayet konusu olan ve olmayan okullar arasında herhangi bir fark göze çarpmamaktadır. *Science Citation Index Expanded*'te yapılan arama sonuçlarına göre Türkiye'de okullarda ölçülmüş herhangi bir CO<sub>2</sub> derişimi bulunmamaktadır.

## **7.2 Bulgular ve Tartışma**

Bu projede ölçülen konfor değişkenleri arasında hava sıcaklığı, nispi nem, ışık şiddeti ve havalandırma yeterliliğinin bir ölçütü olan CO<sub>2</sub> derişimleri bulunmaktadır.

### **7.2.1 Sıcaklık**

Ölçülen konfor değişkenlerinde, her okul ve örnekleme döneminde görülen değişkenlik derslikler ve anasınıfları için Şekil 39'da sunulmuştur. Buna göre, dersliklerde bahar dönemi sıcaklıkları genelde 22°C'nin üzerinde iken, sonbahar döneminde ölçülen en düşük sıcaklık 18,6°C'ye kadar düşmektedir. Ölçülen en yüksek sıcaklıklar baharda iki okulda 25°C civarında iken Okul-2'de 29,3°C'ye kadar ulaşmıştır. Sonbaharda ise iki okulda 22°C civarında kalırken Okul-1'de 25,5°C olmuştur. Bahar ve sonbahar dönemi sıcaklıklarının anasınıflarında 21°C'nin üzerinde olduğu, kış örnekleme dönemlerinde ise ölçülen en düşük sıcaklığın Okul-1 için 21,7°C, Okul-2 için 19,4°C ve Okul-3 için 18,7°C olduğu görülmektedir. Bahar dönemlerinde genelde iç hava sıcaklıkları 24°C'ye ulaşırken Okul-2'de 27,5°C'ye kadar ulaşmıştır. Kış örnekleme dönemlerinde ise hem derslik hem de anasınıflarında sıcaklıkların oldukça düşük olduğu (üç okulun ortalama sıcaklıkları 17-19°C arasında, en yüksek sıcaklıklar ise 19,2-20,7°C arasında) görülmektedir. Her üç dönem iç hava sıcaklıkları değerlendirildiğinde, hem aşağı hem de yukarı doğru, sıklıkla 19-25°C (22°C optimum) konfor aralığı (Moschandreas ve Sofuoğlu, 2004) dışında kalındığı ortaya çıkmaktadır. Sıcaklık da dahil olmak üzere konfor değişkenlerinin belirlenen konfor aralıkları dışında bulunduğu ölçümlerin oranları derslikler için Tablo 25'de sunulmuştur. Tüm dönemler birlikte değerlendirildiğinde ortalama sıcaklıkların derslikde %36, anasınıflarında ise %18'inin bu

aralığın dışında kaldığı görülmüştür. Aralık dışında kalan değerler incelendiğinde çoğunluğu dersliklerde düşük sıcaklıkların oluşturduğu (%22'ye karşı %14), anasınıflarında ise eşit bir dağılım oluşmuş olduğu (her iki durum için de %9) görülmüştür. Dolayısıyla, derslikler için sıcaklıklar açısından önemli oranda konfor aralığı dışında kalındığını bunun da ağırlıkla düşük ortalama sıcaklıklar sebebiyle oluştuğu ve dersliklere nazaran anasınıflarında daha iyi sıcaklık kontrolü yapılabildiği ana çıkarımı yapılabilir. Bu duruma sebep, neredeyse tüm kış iç sıcaklıklarının konfor aralığı dışında kalması olarak gösterilebilir çünkü güz ve bahar kampanyalarında bu durum ile bir kampanya dışında değerlerin sadece %20'sinden daha azında karşılaşılmıştır.

Tablo 25. Dersliklerde Konfor Aralığı Dışında Bulunan Ölçümlerin Oranları (%)

		T	RH	IŞ	CO <sub>2</sub>
Okul-1	Kış	78	44	100	78
	Bahar	11	11	67	67
	Sonbahar	11	67	67	67
Okul-2	Kış	33	100	100	83
	Bahar	78	22	100	78
	Sonbahar	0	67	100	67
Okul-3	Kış	83	83	100	83
	Bahar	17	83	33	83
	Sonbahar	17	67	100	17

### 7.2.2 Nispi Nem

Nispi nem içinse konfor aralığı %35-55 (optimum %50) olarak kabul edilebilir (Moschandreas ve Sofuoğlu, 2004). Genel itibarla, hem derslik hem de anasınıflarında çoğunlukla konfor aralığının üzerinde nem oranları ile karşılaşıldığı görülmektedir. Derslikler için bu durum, ortalama değerler esas alındığında %57'sinde, anasınıfları içinse %64'ünde oluşmuştur. Yüzde 35'ten daha düşük nem oranları ile dersliklerde karşılaşılmazken, anasınıflarında bu durum düşük bir oranda (%4) görülmüştür. Herhangi bir mekanik havalandırma yapısının bulunmadığı ve doğal havalandırma yapıldığı düşünülürse, İzmir havasının nemli olması sebebiyle böyle bir durumun oluştuğu savı kurulabilir.

### 7.2.3 Indoor Discomfort Index Değerleri

Moschandreas ve Sofuoğlu (2004) tarafından geliştirilip ofis binalarının bina-içi çevresel kalite açısından karşılaştırılabilmesi ve değerlendirilebilmesi için önerilen The Indoor Environmental Index'in (IEI) konfor bileşeni olan Indoor Discomfort Index (IDI) değerleri hesaplanarak ölçüm yapılan okullar için 0-10 skalasında bir değer ile konfor bileşeni değerlendirilmiştir. IDI aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmaktadır. Bu eşitlik RH için  $25 > CA^{obs} > 65$  ve T için  $28 > CA^{obs} > 16$  değerleri arasında geçerlidir. Bu aralık dışında ölçülen konfor değişkeni değerleri için yukarıdaki alt veya üst değerlerden uygun olanı kullanılır.

$$IDI = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^L 10 \frac{|CA_i^{opt} - CA_i^{obs}|}{CA_i^{ucl} - CA_i^{lcl}} \quad (3)$$

Bu eşitlikte,

- CA* konfor değişkeni,
- L* L=2, konfor değişkeni sayısı
- opt* konfor değişkeni optimum değeri,  $T_{opt}=22$  °C,  $RH_{opt}=45\%$
- ucl* üst konfor değeri,  $T_{ucl}=25$  °C,  $RH_{ucl}=55\%$
- lcl* alt konfor değeri,  $T_{lcl}=19$  °C,  $RH_{lcl}=35\%$
- obs* ölçülen değerdir.

Sıcaklık ve nispi nem için hesaplanan discomfort alt index ( $IDI_T$  ve  $IDI_{RH}$ ) ve IDI değerleri tüm örnekleme kampanyaları ve genel ortalama olarak Tablo 26'da sunulmuştur. Farklı dönemlerde, dikkate alınan iki konfor değişkeninden biri -genelde nispi nem- sebebiyle oldukça konfor dışı şartlar oluşmuş olmasına rağmen hem derslikler hem de anasınıfları için tüm genel ortalama IDI değerleri Moschandreas ve Sofuoğlu (2004) tarafından ABD'deki ofis binaları için bildirilen IDI dağılımının çoğunluğunu temsil eden aralık içinde kalmaktadır ( $IDI < Ort + 1SD = 5,1 + 2,4 = 7,5$ ). Diğer bir ifadeyle, projemize konu binalarda mekanik havalandırma olmamasıyla sebebiyle sıcaklık ve nispi nem kontrolü mümkün olmamakta dolayısıyla bunlardan çoğunlukla birisinin konfor aralığı dışına düştüğü durumlarla karşılaşmaktadır. Ancak, her ikisinin birden aralık düştüğü durumların sayısı sınırlıdır, dolayısıyla discomfort index değerleri çok yüksek seviyelere ( $IDI > 7,5$ ) ulaşmamıştır.

Tablo 26. Indoor Discomfort Index Değerleri

	Derslik			Anasınıfı		
	IDI <sub>T</sub>	IDI <sub>RH</sub>	IDI	IDI <sub>T</sub>	IDI <sub>RH</sub>	IDI
Okul-1 Kış	8,2	4,7	6,4	0,8	5,3	3,0
Okul-1 Bahar	2,7	1,8	2,3	2,2	6,3	4,3
Okul-1 Sonbahar	2,7	6,8	4,8	1,9	7,7	4,8
<b>Okul-1</b>	<b>4,6</b>	<b>4,4</b>	<b>4,5</b>	<b>1,6</b>	<b>6,4</b>	<b>4,0</b>
Okul-2 Kış	4,9	10,0	7,4	2,7	10,0	6,3
Okul-2 Bahar	8,7	2,0	5,4	6,3	7,4	6,9
Okul-2 Sonbahar	1,3	6,9	4,1	1,2	9,8	5,5
<b>Okul-2</b>	<b>5,0</b>	<b>6,3</b>	<b>5,6</b>	<b>3,4</b>	<b>9,1</b>	<b>6,2</b>
Okul-3 Kış	5,9	8,1	7,0	4,9	10,0	7,5
Okul-3 Bahar	1,1	10,0	5,6	0,3	10,0	5,2
Okul-3 Sonbahar	2,9	8,2	5,6	5,3	10,0	7,7
<b>Okul-3</b>	<b>3,3</b>	<b>8,8</b>	<b>6,1</b>	<b>3,5</b>	<b>10,0</b>	<b>6,8</b>

#### 7.2.4 Işık Şiddeti

Işık şiddeti açısından, sıcaklık ve nispi nem gibi açık bir konfor aralığı tanımlamak pek de mümkün değildir, çünkü gerekli ışık, yapılan faaliyet ile ilgili olup kişiden kişiye epey farklılık gösterebilmektedir. Okullarda genelde yapılan faaliyet olan okuma için Illuminating Engineering Society of North America (IESNA, 2000) tarafından harflerin büyüklüğüne veya kontrast seviyesine göre tavsiye edilen ışık şiddeti değerleri 200 ilâ 2000 lux arasındadır. Bu projede ölçülen değerlere bakıldığında dersliklerde genelde yetersiz, anasınıflarında ise belirtilen aralıkta ışık şiddeti seviyeleri ölçüldüğü görülmektedir. Dersliklerde ölçülen değerlerin hiçbiri 2000 lux düzeyini aşmazken %86'sı 200 düzeyinin altında kalmıştır. Her üç okuldaki kış ölçümlerinin tamamı <200 iken güz ve bahar dönemlerinde bu oran %33 ilâ %67 arasında değişkenlik göstermiştir. Bu duruma sebep olarak yetersiz pencere yüzey alanı gösterilemez; hatta çoğu zaman güneşli bir yerleşim yeri olan İzmir'de bina-içi sıcaklıkları artırması ve pencereye yakın yerleşmiş sıralardaki çocukları rahatsız etmesi sebebiyle her üç okulda da perde kullanımı görülmüştür. Öyle ki, sınıfları günboyu güneş alan Okul-3'teki örnekleme yapılan sınıfta siyah renkli stor perde kullanılmaktaydı. Diğer iki okuldaki

dersliklerde de kumaş perdeler bulunuyordu. Güneş ışınlarından sıcaklık sebebiyle duyulan rahatsızlık sonucu perdelerin kapatılması sonucu yetersiz ışıklandırma sonucu ile karşılaşıldığı görüşünü oluşturmuş bulunmaktayız. Sıcaklıkta olduğu gibi, anasınıflarında ışık kontrolü dersliklere göre daha iyi düzeydedir. Yine >2000 lux seviyesinde ölçüm bulunmazken, <200 seviyesindeki ölçümlerin oranı %48 düzeyinde kalmıştır. Yani, ışık şiddeti, olması gereken aralığın içinde dersliklerde sadece %14 oranında ölçülürken bu oran anasınıflarında %52 düzeyinde olmuştur. Sonuç olarak, perde tipi seçiminde bütün halinde açılıp-kapatılan stor veya kumaş perdeler yerine açıklık oranı tüm pencere yüzeyinde homojen bir şekilde ve yataylara göre daha iyi ayarlanabilen dikey jaluzi tipi perdelerin tercih edilmesi konfor şartlarının sağlanmasında etkili olacaktır.

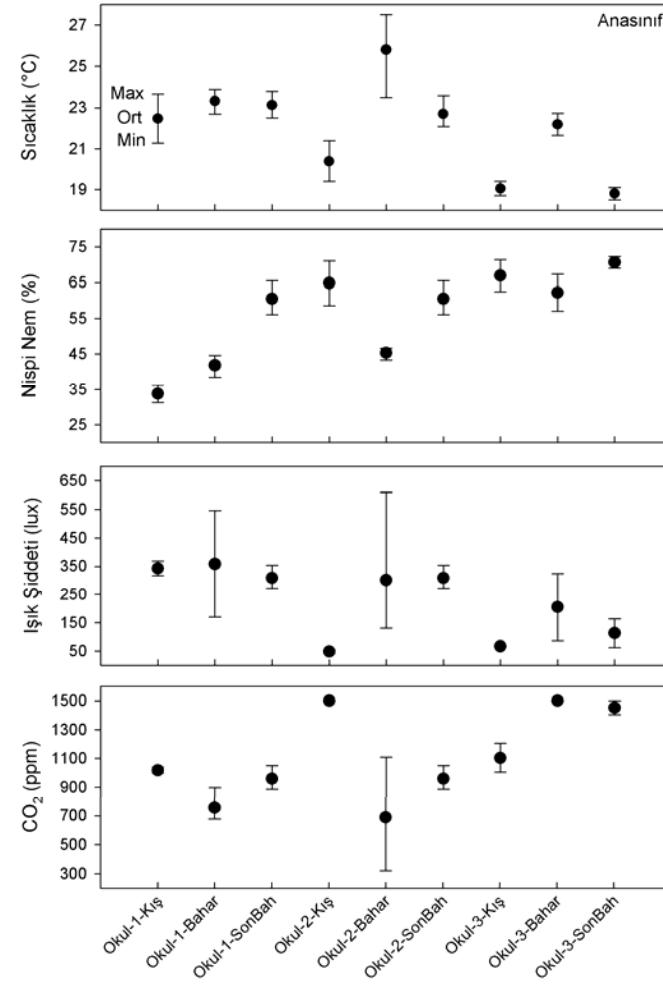
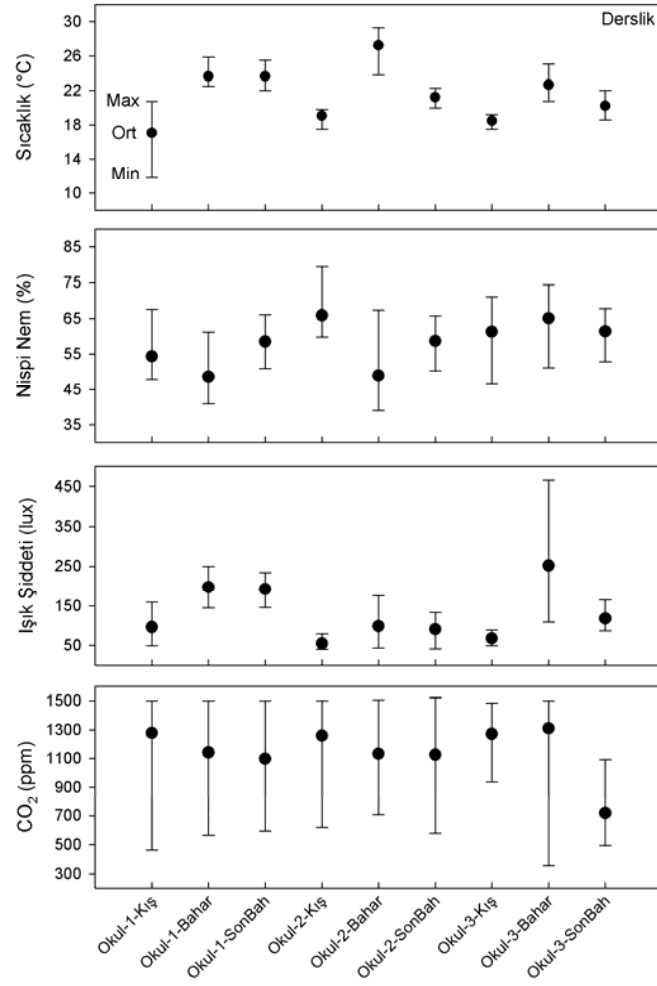
### **7.2.5 Karbon Dioksit**

Ölçmüş olduğumuz son konfor değişkeni, CO<sub>2</sub>, aslında bir gösterge olarak kullanılmaktadır. Bir iç ortamdaki CO<sub>2</sub> derişimi oradaki kişi başına havalandırmanın yeterli olup olmadığının bir ölçütü olarak düşünülmektedir. Ortamda bulunan insanların nefesleriyle iç havaya verdikleri CO<sub>2</sub>, eğer havalandırma yetersiz ise 1000 ppm düzeyini aşmaktadır. Bina-içi CO<sub>2</sub> derişimlerindeki, dış havaya göre, her 1000 ppm düzeyinde artış ile okula devamsızlıkta %10-20 düzeyinde artış arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki olduğu belirlenmiştir (Shendell vd., 2004). Sınıflarda derişimlerin 4000 ppm düzeylerine kadar yükselebildiği belirtilmiştir (Clements-Croome, 2008). Bu projede ölçülen CO<sub>2</sub> derişimlerine göre anasınıflarındaki kişi başı havalandırma genellikle yeterli (<1000 ppm) iken dersliklerde bunun tersi bir durum söz konusu olduğu görülmektedir. Dersliklerde, dokuz ölçüm kampanyasının sekizinde ortalama derişim >1000 ppm olmuştur. Yetersiz havalandırma, anasınıflarında ise sadece dört dönemde oluşmuştur. Ölçümler içinde >1000 ppm olanların oranı dikkate alındığında dersliklerde bu durumla %70 oranında karşılaşılrken anasınıflarında bu oranın %55 olduğu görülmüştür. Tablo 25’de görüldüğü üzere her üç okulda en yüksek konfor dışı oranlar kış mevsiminde görülürken en düşükler güz döneminde kaydedilmiştir. Bu durumda ölçüm yapılan dönemler içinde havalandırmanın en yetersiz olduğu dönem kış mevsimidir. Bu, doğal havalandırma sebebiyle beklencek bir durum olup soğuk hava nedeniyle pencerelerin az veya hiç açılmamasına işaret etmektedir. Bahar mevsimi oranlarının güze göre yüksek olması ise her iki dönemde de pencereler devamlı surette açık

olduğundan beklenen bir durum olmayıp güneş ışınlarından korunmak amacıyla baharda perdelerin kapalı tutularak havalandırmanın engellenmesi ve sıcak geçen günlerde hava hareketinin görece azlığı nedeniyle doğal havalandırmanın etkin biçimde gerçekleşmemiş olması ile açıklanabilir. Üç okul içinde Okul-3'te örnekleme yapılan sınıfta klima bulunmaktadır ve ölçümlerin yapıldığı Mayıs ayında kullanılmıştır. Nitekim, 1000 ppm düzeyi kış mevsimindeki oranla aynı seviyede aşılmış, havalandırma yetersiz kalmıştır. Sonuç olarak, bu projede cihaz sınırlaması sebebiyle >1500 ppm olan derişimler 1500 ppm olarak kaydedildiğinden aslen ortalama derişimlerin daha yüksek olması gerekir. Dış hava ile 1000 ppm düzeyinde bir fark esas alındığında yine dersliklerde öğrencilerin performansını etkileyecek seviyede havalandırma yetersizliği durumlarının oluştuğu görülmektedir.

### **7.3 Sonuç**

Gerek sıcaklık gerekse nispi nem açısından bu proje için seçilen konfor aralıkları dışında ölçülen ortalama değerlerin önemli bir oran oluşturduğu görülmüştür. Bu durum çoğunlukla ya düşük sıcaklıklar ya da yüksek nem oranları şeklinde gerçekleşmiştir. Ancak, bu iki değişkenin konfor aralığı dışına düşmesi çoğunlukla eş zamanlı olarak oluşmadığından bu iki değişkenin alt indislerinin ortalamasını genel konfor göstergesi olarak hesaplayan Indoor Discomfort Index değerleri çok yüksek bulunmamıştır. Bu projede ölçülen ışık şiddeti değerleri, genellikle parlak bir şekilde ışıldayan güneş ışınlarından korunmak amacıyla perdelerin kullanımı sonucu olması gerektiğinden daha düşük ışık şiddeti düzeylerinin oluştuğunu göstermektedir. Düşüncemize göre bu durumun oluşmasında uygun olmayan perde cinslerinin tercih edilmesi etkin bir rol oynamıştır ve uygun tipte perde kullanımı ile bertaraf edilebilir. Bu projede ölçülen CO<sub>2</sub> derişimleri doğal havalandırmanın etkin bir biçimde yapılamadığına işaret etmektedir. Dersliklerle karşılaştırıldığında anasınıflarında daha iyi havalandırma, sıcaklık ve ışık kontrolü yapıldığı görülmüştür. Sonuç olarak, özellikle dersliklerde öğrenci performansını etkileyecek düzeyde konfor dışı şartlar oluşmaktadır.



Şekil 39. Dersliklerde ve Anasınflarında Konfor Değişkenlerinin Okul-Örnekleme Dönemi Değişkenlikleri



## 8. BİNA-İÇİ HAVA KALİTESİ İLE İLGİLİ SEMPTOM VE HASTALIK YAYGINLIKLARI

### 8.1 Giriş

Hava kirliliği, genel olarak dış mekânla ilişkilendirilse de, aslında, iç mekânları da yakından ilgilendiren ciddi bir problemdir. İnsanların zamanlarının çoğunu bina-içi ortamlarda geçirdikleri yapılan çalışmalarla belirlenmiştir (USEPA, 1999); dolayısıyla, bina-içi hava kalitesinin düşük olması birçok sağlık problemini beraberinde getirebilmektedir. Ülkemizde, Sofuoğlu ve arkadaşlarının (2008) yaptığı çalışma, katılımcıların günde ortalama zamanlarının yaklaşık %79'unu iç mekânlarda geçirdiğini ortaya koymuştur. Üst solunum yolu rahatsızlıkları, baş ağrısı, hafıza ve konsantrasyon problemleri, astım ve alerjik enfeksiyonlar düşük bina-içi hava kalitesi ile ilişkilendirilebilecek sağlık sorunlarının başında gelmektedir (Meyer vd., 2004; Park vd., 2004; Enslow vd., 2003).

Kirletici etkilerine karşı hassas toplum alt gruplarından birini oluşturan çocuklar için, bina-içi hava kalitesi açısından, evler dışında en çok önem arz eden mekânlar okullar olup, bu durum özellikle 6-16 yaş grubundaki çocukları ilgilendirmektedir (Smedje vd., 1997). Avrupa'da yapılmış, okullardaki bina-içi hava kalitesinin çocuklar üzerindeki etkilerini inceleyen pek çok çalışma bulunmaktadır. Bunlardan biri olan, Meyer ve arkadaşlarının (2004) Danimarka'da, okul çağındaki çocuklar üzerinde yapmış olduğu çalışmada, iç mekân hava kalitesinin yol açtığı semptomlar anketler aracılığıyla belirlenmiştir. Çalışma bulgularının ortaya koyduğu yaygınlık oranları yaklaşık olarak, bahar nezlesi için % 24,6, bademcik iltihabı için %15,3, astım için % 13,7 ve sinüzit için % 2,7'dir. İlkokul öğrencilerini baz alan bir diğer çalışma ise İsveç'te yürütülmüş olup; Ahman ve arkadaşları (2000), çocukların % 32,4'ünde egzema, % 20'sinde bahar nezlesi ve % 14,4'ünde astım belirtileri görüldüğünü saptamıştır.

Ülkemizde okul çağı çocuklarında astım gibi belirli hastalıkların yaygınlığı konusunda sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Demir ve arkadaşlarının (2004) 1992, 1997 ve 2002 yıllarında 6-14 yaş grubundaki çocuklar üzerinde gerçekleştirdikleri araştırmanın sonuçları, astımın yaygınlık oranlarının belirtilen yıllar için sırasıyla %8,3, %9,8 ve %6,4 olduğunu göstermiştir. Aynı çalışmada, nefes darlığı yaygınlık oranları %11,9, %13,3 ve %6,4; bahar nezlesi yaygınlık oranları %15,4, %14,4 ve %7,2; egzama yaygınlık oranları ise %4, %4,3 ve %1,8 olarak

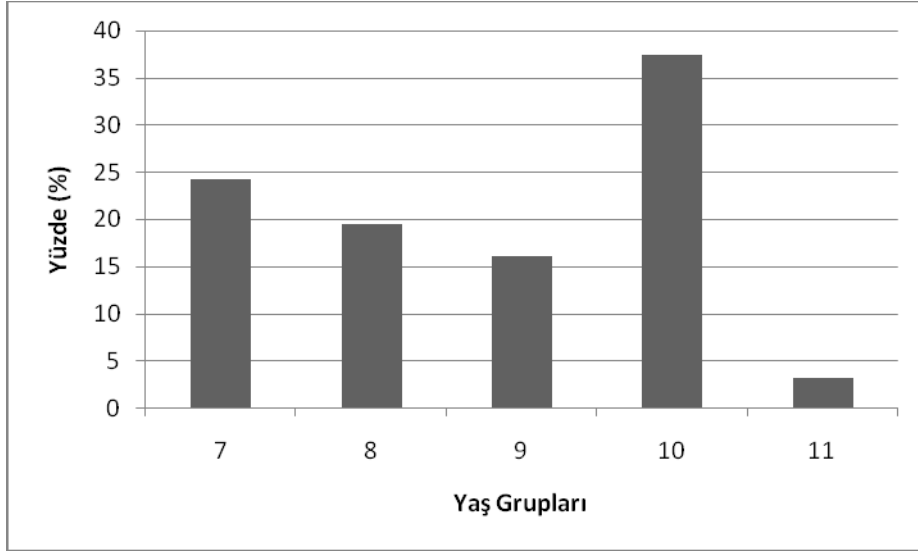
bildirilmiştir. Selçuk ve arkadaşları (1997) ise astım ve nefes darlığının %16,4 ve %18,9 oranlarında yaygınlık gösterdiğini bildirmiştir.

Ülkemizde, bina-içi hava kalitesine bağlı olduğu düşünülen fakat bina-içi hava kirleticilerinin konsantrasyonlarının düşük seviyelerde bulunması sebebiyle kaynağı tam olarak belirlenemeyen sağlık semptomları üzerine herhangi bir çalışma bulunmamaktadır. Bu çalışmada, anketler aracılığıyla, genelde bir sebep ile ilişkilendirilemeyen (spesifik olmayan), fakat bina-içi hava kalitesiyle ilgili olabileceği düşünülen sağlık semptomlarının ilkökul öğrencileri arasındaki yaygınlık oranlarının saptanması amaçlanmıştır.

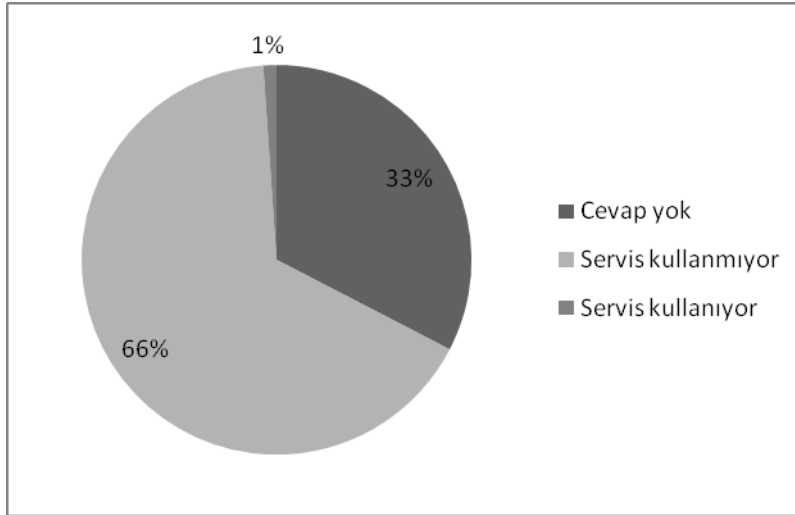
## **8.2 Bulgular ve Tartışma**

Tüm anketlerin öğretmenler aracılığıyla dağıtılmış olması sebebiyle, %100 oranında geri dönüş sağlanmıştır. Katılımcı özellikleri, Şekil 40'ta sunulmuştur. Anketlerde incelenen çocukların çoğunluğunu (%37,4) 10 yaşındakiler oluşturmaktadır. Katılımcı çocukların % 51'i kız, % 46'sı ise erkek öğrencilerdir. Geriye kalan % 3'lük kısım bu soruya cevap vermediği için bu katılımcı özelliği bir kısım öğrenci için belirlenememiştir. Servis araçları okul binalarına ek olarak önemli bir iç ortamdır. Şekil 41'de görüldüğü gibi öğrencilerin büyük bir kısmının servis kullanmadığı tespit edilmiştir. Bu durum, öğrenimden kaynaklanan maruziyette öğrencilerin azınlığı için servislerin içinde oluşan olası trafik kaynaklı yüksek kirletici derişimleri yoluyla maruziyetin dikkate alınması gerektiğini göstermektedir. Servis aracı kullanım yaygınlığı, ayrıca servislerin öğrencilerini okul bahçesi içinde indirip-bindirmeleri ve bekleme yapmaları durumunda egzoz emisyonları ile okul iç hava kalitesini olumsuz etkileyebildikleri için önem taşımaktadır. Okullardan birisinde (Okul 1), iki ya da üç minibüsün bahçeye girdikleri gözlenmiştir.

Anket uygulanan öğrencilerin mevcut sağlık problemlerinin tespiti amacıyla sorulan sorular, Tablo 27'de de görüleceği gibi, alerjinin ve astımın en sık rastlanan sağlık problemlerinin başında geldiğini ortaya koymaktadır. Bunlara ek olarak, geniz eti, göz bozuklukları, eklem ağrıları ve kulak iltihabı gibi rahatsızlıklar Tablo 27'de %11,5 oranında gözlemlenen diğer sağlık problemleri arasındadır.



Şekil 40. Öğrencilerin yaş gruplarının dağılımı (%)



Şekil 41. Öğrencilerin servis kullanma oranları

Tablo 27. Öğrencilerin sağlık problemlerinin yaygınlık oranları

Sağlık Problemi	Yaygınlık oranı (%)
Astım	14,9
Alerji	21,6
Kronik Üst Solunum Yolu Hastalığı	7,6
Kronik Kalp Damar Hastalığı	0,6
Sinüzit	14,3
Egzama	1,4
Migren	0,3
Kontakt Lens Kullanımı	0,3
Diğer	11,5

Öğrencilerin ve öğretmenlerin bina-içi konfor ve hava kalitesi algılarını belirlemek için, son 4 hafta içinde buldukları sınıfların koşullarını dikkate alarak ankete cevap vermeleri istenmiştir. Bunun sonucunda, öğrencilerin sınıfları genelde çok sıcak ve havasız buldukları (sırasıyla %56,7 ve %49,2) görülmüştür. Öğretmenlerin ise sınıfları daha düşük bir oranda (%40) çok sıcak ve havasız buldukları görülmüştür. Bunun yanı sıra, hem öğretmenler (%53,4) hem de öğrenciler (%80) okul içerisinde son 4 haftayı dikkate aldıklarında, okulda en çok “kötü koku”yu gözlemlediklerini belirtmişlerdir.

Bina-içi hava kalitesiyle ilgili semptomların görülme sıklığını tespit etmek amacıyla, velilere bazı semptomların son 4 hafta içerisinde görülüp görülmediği sorulmuştur. Tablo 28 semptomları ve görülme sıklıklarını göstermektedir. Bu soruya yanıt verenlerin çoğunluğu son 4 hafta içerisinde belirtilen semptomlara rastlamadıklarını belirtmişlerdir. Çocuklar arasında en sık ( $\geq$ %40) rastlanan semptomlar sırasıyla, hapşırma, yorgunluk, kırgınlık/uyku hali, sinüslerde tıkanıklık, baş ağrısı, boğazda kuruluk ve bulantıdır. Deride kuruluk ve tahriş, mide ekşimesi, göğüs sıkışması, nefes darlığı ve gözlerde tahriş ise en az rastlanan ( $\leq$ %25) semptomlardır. Öğretmenlerdeki toplam semptom gözlenme oranına göre; boğazda kuruluk, baş dönmesi, sinüslerde tıkanıklık ve hapşırmanın en yaygın ( $\geq$ %50) belirtiler arasında olduğu saptanmıştır.

Katılımcıların gözlemledikleri semptomların bina ile ilgili olup olmadığı, semptomlarda binadan uzaklaşıldığında bir iyileşme olup olmadığı ile ölçülmektedir. Uygulanan ankette gözlenen semptomların, binaya gelindiğinde ortaya çıkıp ayrıldığında iyileşme görülüp görülmediği ile ilgili bir soru sorulmuş ancak katılımcıların çoğu bu soruya cevap vermediği için değerlendirilememiştir. Dolayısıyla, bu çalışmada sunulan bilgiler, bina ile ilgili belirtileri değil genel semptom bilgilerini yansıtmaktadır.

Velilerin %38,5'i, çocukların yaşadığı semptomların okuldan ayrıldıktan sonra, haftasonu veya diğer tatil zamanlarında geçmediğini belirtmiştir. Velilerin %32,9'u çocuklarının semptomlarının belirli bir olay ya da duruma bağlı olduğunu düşünürken %29,5'i herhangi bir olay ya da duruma bağlamamıştır. Semptomları velilerin %23,9'u mevsim değişikliğine bağlarken fiziksel aktivitelere ya da resim dersi vb. aktivitelere bağlayanların oranı %6,5 olmuştur.

Yapılan ankette ayrıca, velilerin %75,8'inin semptomların okula devamsızlığa veya okuldan erken çıkmaya sebep olmadığını göstermiştir. Sebep olduğunu düşünenlerin oranı ise %10,4 olmuştur. Semptomların çocuğun başarısı üzerinde olumsuz etkisi olduğunu düşünenler, düşünmeyenler ve bu konuda bilgi sahibi olmadığını belirtenlerin oranları ise sırasıyla %25,6, %49,7 ve %13,5 olmuştur. Bu konuya hiç bir şekilde yorum getirmeyenlerin oranı %11,2 olmasına rağmen, velilerin genelinin semptomları öğrencilerin başarısızlığı ile ilişkilendirmediği söylenebilir.

Gözlemlendiği belirtilen semptomlar için, velilerin %58,1'i doktora başvurulmadığını, %30,9'u ise başvurulduğunu bildirmiştir. Velilerin %11'i ise bu soruya cevap vermezken aynı belirtilerin okuldaki diğer çocuklar arasında da gözlemlenip gözlemlenmediğinin veliler tarafından bilinmediği (%71,3) tespit edilmiştir.

Yapılan anket sonuçlarının ortaya çıkardığı yaygınlık oranı, astım için %14,9 olup bu oran, Avrupa'da yapılmış çalışmalarda bildirilen %13,7 ve %14,4 oranlarıyla örtüşmektedir (Ahman vd., 2000; Meyer vd., 2004). Ülkemizde ise Selçuk ve arkadaşlarının (1997), astım yaygınlığı

için bildirmiş oldukları %16,4 oranı ile oldukça yakındır. Diğer taraftan, Demir ve arkadaşlarının (2004) 1992, 1997 ve 2002 yılları için tespit ettikleri %8,3, %9,8 ve %6,4 oranları bu değerlerin altında kalmaktadır. Meyer ve arkadaşlarının (2004) sinüzit yaygınlığı konusunda rapor ettikleri oran %2,7 iken, bu çalışmanın anket sonuçları, incelenen okullardaki sinüzit yaygınlık oranının %14,3 olduğunu ortaya koymaktadır. Bu çalışmada egzema için tespit edilmiş olan %1,4'lük yaygınlık oranı, Demir ve arkadaşlarının (2004) bildirmiş olduğu %4,0, %4,3 ve %1,8'lik oranlara oldukça yakındır.

Tablo 28. Semptomların gözlemlenme sıklıkları (%)

Semptomlar	Son 4 hafta içinde Gözlemlenme Sıklığı (%)			
	Her gün	4-12 gün	1-3 gün	Görülmedi
Boğazda kuruluk	12,7	17,1	14,6	55,7
Baş dönmesi	4,7	13,5	12,2	69,6
Deride kuruluk	9,4	5,1	7,3	78,3
Deride tahriş	6,3	6,3	4,7	82,7
Kaşıntı	8,7	19,3	12,0	60,0
Mide ekşimesi	5,2	8,9	2,2	83,7
Mide bulantısı	6,5	20,1	13,6	59,7
Sinüslerde tıkanıklık	16,0	19,6	20,3	44,2
Hapşırma	14,8	37,4	18,7	29,1
Göğüs sıkışması	3,9	12,4	6,2	77,5
Gözde tahriş	7,2	11,5	6,5	74,8
Hızlı nefes alıp verme/nefes darlığı	6,5	10,1	5,8	77,5
Baş ağrısı	10,1	27,8	15,4	46,8
Yorgunluk/kırgınlık/uyku hali	14,3	25,5	18,0	42,2

Daha önce de belirtildiği üzere, bina-içi hava kalitesi ile ilgili olduğu düşünölen sağlık semptomlarının ilköğretim çağındaki çocuklar arasındaki yaygınlığının incelendiği bir çalışma bulunmamaktadır. Ancak yurt dışında bazı çalışmalar, i hava kalitesi ile ilişkilendirilen semptomları belirlemek amacıyla büyük ofis binalarındaki yaygınlık oranlarını incelemiştir. Bu çalışmada belirlenen son dört hafta içerisinde her gün görölen boğazda kuruluk oranı (%12,7) ABD’de yapılan bir çalışmada (Erdmann vd., 2002) bildirilen orandan (%7,0) daha yüksektir. Bir diğer semptom olan sinüslerde tıkanıklığın yaygınlık oranı (%16,0) Erdmann vd. (2002) tarafından bildirilen oran (%13,2) ile benzerdir. Göğüs sıkışması yaygınlık oranı da %3,9 ile literatürdeki (Erdmann vd., 2002) %2,3 oranına yakındır. Diğer taraftan, hapşırma ve nefes darlığı semptomları sırasıyla %14,8 ve %6,5 yaygınlık oranlarıyla Erdmann vd. (2002) tarafından bildirilen değerleri olan %2,1 ve %1,9 oranlarından oldukça büyüktür.

### **8.3 Sonuç**

Türkiye’de bina-içi hava kalitesi ile ilgili spesifik olmayan sağlık semptomları hakkında ilk olarak yapılan bu çalışmada, ilkokul öğrencileri ve öğretmenlerine uygulanan anketler ile bu semptomların yaygınlığı incelenmiştir. Uygulama sonucunda, öğrencilerde astım ve alerjinin en sık rastlanan sağlık problemleri olduğu belirlenmiştir. Bunun yanısıra, hem öğrencilerin hem de öğretmenlerin sınıfları çok sıcak ve havasız buldukları ve son 4 hafta içerisinde okulda en çok gözlemediklerinin “kötü koku” olduğu sırasıyla %53,4 ve %80,0 oranlarında belirtilmiştir. Diğer taraftan, çocuklar üzerinde bina-içi hava kalitesi nedeniyle oluşabilecek genel semptomların son 4 hafta içinde büyük çoğunlukla gözlemlenmediği ama bu durumun öğretmenler için geçerli olmadığı saptanmıştır. Literatürde yer alan çalışmalarla bu sonuçlar karşılaştırılacak olursa, egzema gibi bazı semptomların literatür değerlerine yakın olduğu fakat bu durumun sinüzit için geçerli olmadığı görölmüştür. Bina-içi hava kalitesi ile ilgili olabileceği düşünölen sağlık semptomları arasından ise sinüs tıkanıklığı ve göğüs sıkışmasının literatür değerleri ile örtüştüğu belirlenmiştir.

## 9. GENEL DEĞERLENDİRME ve ÖNERİLER

Bu proje, İzmir’de seçilen üç ilköğretim okulunda bina-içi çevresel kaliteyi ve öğrencilerin semptomatik durumlarını belirlemeyi amaçlamıştır. Bina-içi çevresel kalite ölçümleri çerçevesinde bina-içi hava kalitesi ve çevresel konfor değişkenlerinin seviyeleri ölçülmüştür. Ölçülen bina-içi hava kirleticileri arasında CO, O<sub>3</sub>, boyut ayırmalı partikül madde, partiküllerde elementler, partikül ve gaz fazlarında PCB ve PBDE’ler, ve UOB’ler yer almıştır. Örnekleme, okulların açık bulunduğu üç sezonu (sonbahar, kış, ilkbahar) kapsayacak şekilde planlanmış, ancak bu planlama farklı kirleticiler için şartlar çerçevesinde farklı düzeylerde gerçekleşmiştir. Okul içinde öğrencilerin vakitlerini geçirdikleri üç ana mikroçevrede (derslik, anasınıfı, açık hava oyun bahçesi) örnekleme ve ölçümler yapılmıştır.

Uçucu organik bileşiklerin derslik ve anasınıflarında farklı profil gösterdikleri ve bunların dış havadan da farklı olduğu görülmüştür. Örnekleme yapılan uçucu organik bileşiklerden formaldehit, benzen, naftalin, toluen ve 1,3-diklorobenzenin yüksek bina-içi derişimlere ulaşabildiği görülmüş, ve formaldehit ve benzenin birincil düzeyde, naftalin ve toluenin de ikincil düzeyde önemli sağlık riski yaratabileceği değerlendirilmiştir. Yarı-uçucu organik bileşiklerden poliklorlu bifeniller (PCB) ve polibromlu difenil eterler (PBDE) grubu kirleticilerin bina-içi havada buldukları ve içeride kaynakları olabileceği görülürken, sentetik koku bileşiklerinin bir derslikte yapılan çalışma ile okul binalarında hem gaz hem de partikül fazda bulunabildikleri ve gaz fazda önemli düzeyde derişimlere eriştikleri belirlenmiştir. Bu düzeyler, birincil maruziyet yolu olan deriden emilime ilaveten, ikincil yol olarak ev ile birlikte okulda maruziyetin önemli olabileceği yolundadır. İnorganik gazlardan ozon için, bulgular iç hava ozon derişimlerinin, dış hava ozonu ile ilintili olduğunu ve hassas insanlarda sağlık etkisi yaratma sınırının altında kaldığı yönündedir. Karbon monoksit ise neredeyse tüm ölçümlerde ya tespit sınırı olan 1 ppm’in altında ya da oldukça düşük derişimlerde bulunmuştur. Partikül madde için elde edilen dane sayısı – boyut dağılımları, kütle – boyut dağılımları, bina-içi hava ve dış hava derişimi bulguları, partikül madde kaynağının dış hava olduğu ancak çocukların hareketliliği sebebiyle bina-içi mikroçevrelerde derişimlerin dış hava derişimlerinin üzerine çıkabildiğini göstermiştir. Hesaplanan Hava Kalitesi Göstergesi - PM Alt Gösterge değerleri, PM<sub>2,5</sub> derişimlerinin “sağlıksız” sınıfında yer aldığını göstermiştir. Boyut ayırmalı kütleli PM



derişimleri göstermektedir ki, ince partiküllerin (PM<sub>2,5</sub>) çoğunluğu ultra ince partiküllerdir (PM<sub>1</sub>) ve ultra ince partiküller ince partiküllere göre sayıca 2-5 kat daha yüksek derişimlerde bulunmaktadır. Partikül maddede Al, Cr, Cu, Fe, Mg, Mn, Ni, Pb, Zn elementleri tespit edilmiş olup kütle-boyut dağılımlarının ultra ince boyutlarında görülen zirveler, hem ağırlıklı yerküre kaynaklı hem de ağırlıklı insan aktiviteleri kaynaklı elementler için ultra ince fraksiyonun önemli olduğunu göstermiştir. Bu fraksiyon, solunum sisteminde derinlere kadar nüfuz eden partiküllerden oluştuğuna göre tespit edilen elementlerin hesaplandığında maruziyet dozları yüksek olmasa bile önem arz ettikler çıkarımı yapılabilir. Anket uygulaması sonucunda, hem öğrencilerin hem de öğretmenlerin sınıfları çok sıcak ve havasız buldukları ve en çok “kötü koku”dan rahatsız oldukları belirlenmiştir. Diğer taraftan, çocuklar üzerinde bina-içi hava kalitesi nedeniyle oluşabilecek genel semptomların büyük çoğunlukla gözlemlenmediği ama bu durumun öğretmenler için geçerli olmadığı saptanmıştır.

Bina-içi çevresel kalite ile ilgili bazı konularda, Milli Eğitim Bakanlığında başlayarak üst düzey yöneticiler, yöneticiler ve öğretmenlerimiz nezdinde, çocuk ve öğretmen sağlığını korumak üzere, bilinç oluşturulması gerekmektedir. Bu konuları sıralarsak:

- Anasınıflarında uçucu ve yarı-uçucu organik madde emisyonu yapabilecek polivinil yer döşemesi gibi malzemelerin kullanıldığı gözlemlenmiştir. Emisyonu yüksek yapı ve döşeme malzemelerinin, dekoratif malzemelerin, kırtasiye malzemelerinin anasınıflarında ve sınıflarda kullanılmaması gerekmektedir.
- Literatürde yayınlanmış çalışmalara göre duvardan duvara halı yer döşemesi çeşitli açılardan risk oluşturmaktadır. Bunlardan birisi, bu projenin kapsamı içinde yer almayan ancak büyük önem taşıyan biyolojik ajanlardır. Halının altında kalan yüzey soğuk olduğunda, arada su buharı yoğunlaşması olmakta ve mikroorganizmaların üremesi için uygun ortam oluşturmaktadır. Ayrıca, halı tüyleri arasında toz akarı gibi mikroorganizmalar uygun yaşam ortamı bulmaktadırlar. Toz parçacıkları açısından da bir depo görevi gören halılar eğer temiz tutulmazlarsa birer kirletici kaynağı haline gelmektedirler. Bir diğer unsur da, eğer halı yere yapıştırılırsa, kullanılan yapıştırıcıdan çeşitli uçucu organik bileşikler, ki bazıları toksik ve/veya kanserojenik olabilirler, bina-içi havaya salıverilmektedirler.

- Okullarda boya-badana işleri tatilde çocuklar okulda değilken yapılmaktadır. Buna ek olarak, su bazlı boyaların kullanıldığından emin olunmalıdır. Özellikle, yerden 1.5 metre yüksekliğe kadar yapılan ikinci kat duvar boyası genelde solvent bazlı boya ile yapılmaktadır. Bununla birlikte, ısıtma sistemi (kalorifer) radyatörleri de bu boya ile boyanabilmektedir. Isıtma sistemi çalıştırıldığında çok yüksek emisyon oluşmakta, ortaya çıkan koku dayanılması zor seviyelere ulaşmaktadır. Kokunun bu seviyelere ulaşması, toksik ve kanserojenik etkileri olabilecek uçucu organik bileşiklerin yüksek emisyonla bina-içi havaya salıverildiğine işaretler. Bu durumda önemli derecede uçucu organik bileşik maruziyeti olduğu var sayılabilir. Boyama için su bazlı boya tercih edilmesi ve ısıtma sisteminin okul tatilde iken 3 – 7 gün çalıştırılarak emisyonun büyük kısmının gerçekleşmesi sağlanmalıdır.
- Eğer binada yemek pişirilmesi söz konusu ise gerek yakılan yakıtın yanması sırasında gerekse kızartma gibi yemek pişirme işlemleri sırasında önemli düzeylerde uçucu organik bileşikler ve partikül madde havaya salıverildiğinden mutfak ile binanın kalanı arasında direkt irtibatının olmaması ve davlumbaz kullanılarak oluşan buharların direkt dışarıya atılması gerekmektedir.
- Özellikle dış havanın soğuk olduğu mevsimlerde öğretmen veya öğrencilerin pencereleri açmaları gerekmeden havalandırma gerçekleşebilmesi için tedbirlerin alınması gerekmektedir; çünkü sadece kapı-pencereye dayalı doğal havalandırma olan binalarda bunlar açılmadığı zaman havalandırma yetersiz düzeylere inmektedir ve içeride kaynağı olan tüm kirleticilerin birikimi ile sonuçlanıp derişimleri artmaktadır. Bu çalışmada ölçülen CO<sub>2</sub> derişimleri dersliklerde yetersiz havalandırmaya işaret etmektedir.
- Ancak, ağırlıklı kaynağı dış hava olan kirleticiler açısından, bina-içi havanın dış havadan tecrit edilmesi bir korunma yöntemi olarak da uygulanabilir. Bu kirleticiler arasında en yaygın olanları trafik emisyonları (egsoz gazları), partikül madde ve ozon olarak isimlendirilebilir. Yüksek yoğunluklu yerleşim olan trafiği kalabalık kentsel alanlarda yer alan binalarda, yaz aylarında dış havada oluşan ozon derişimlerinin zirve yaptığı saatlerde; trafiğin yoğun olduğu dolayısıyla egsoz emisyonlarından çeşitli kirletici (uçucu organik bileşikler, PM, NO<sub>x</sub>, PAH vs.) derişimlerinin arttığı saatlerde;

havada tozun yoğun olduğu günlerde – periyotlarda (örneğin, kışın inversiyon saatlerinde) bu yolun izlenmesi içeride bu kirleticilerden korunma sağlayacaktır.

- Temizlik – özellikle elektrik süpürgesi ile yapılan temizlik – sırasında, bina-içi havanın kalkan tozdan korunması amacıyla iyi havalandırılması gerekmektedir. Bu konuda halk bilinci oluşturulması gerekmektedir. Tozu filtre yerine suda yakalayan elektrik süpürgelerinin insan sağlığının korunması için teşvik edilmesi faydalı olacaktır.
- Katkı maddeleri içeren temizlik ürünleri yerine doğal olanların tercih edilmesi insanların birçok sentetik kimyasal maddeye maruz kalmalarını engelleyecektir. Bu ürünlerde kullanılan katkı maddeleri arasında ciddi sağlık etkileri yaratabilecek olanlar bulunmaktadır. Ayrıca, bazı kimyasal maddeler bina-içi havada kimyasal tepkimelerde yer almakta ve ikincil (ara ve son ürün) kirleticilerin oluşumuna meydan vermektedir. Ek olarak, klorak (çamaşır suyu) içeren temizlik ürünleri kullanımı sırasında ve sonrasında, içeriğinde bulunan klorun çeşitli organik maddeler ile tepkimeye girmesi sonucu ara, yan ve son ürün başka kimyasallar oluşabilmektedir. Dolayısıyla, dezenfeksiyon amaçlı kullanım kaçınılmaz olduğunda seyreltik kullanılmaları sorunu en aza indirgeyecektir. Yine, kokulu - katkı maddeli temizlik ürünleri yerine arap sabunu gibi basit ve daha doğal maddelerin temizlik için tercih edilmesi çocukların bir çok birincil ve ikincil kirleticiye bu yolla maruziyetini en aza indirgeyecektir.
- Kalabalık binalarda insanların hareketliliği sonucu yerlere çökelmiş olan toz tanecikleri havalandırılarak tekrar uçuşan toz haline gelmektedir. Okullarda, bu durum çocukların koşuşturmaları sebebiyle çok daha yüksek bir düzeyde gerçekleşmektedir. Dolayısıyla, temizlik faaliyetlerinin yerden toz kalkmasını en aza indirecek şekilde yapılması oldukça önem taşımaktadır. Birincil bir kirletici olan PM aynı zamanda bünyesinde depolanan yarı-uçucu organik bileşikler gibi kirleticileri ciğerlere taşıyan bir taşıttır. Yatay yüzeylerde çökelmiş halde iken ise depolanan bu kirleticilerin birer kaynağı haline gelmektedir. Sonuç olarak, temizlik yöntemi ve sıklığı çocukların ve öğretmenlerin sağlığının korunması açısından oldukça önem arz etmektedir.

## KAYNAKLAR

### 2.Bölüm

HODGSON A.T., Levin H., Classification of measured indoor volatile organic compounds based on noncancer health and comfort considerations. Lawrence Berkley National Laboratory (LBNL-53308), Berkley, CA. (2003).

IRIS (Integrated Risk Information System of U.S. Environmental Protection Agency).  
<http://www.epa.gov/iris>. (2009).

NEYZİ O., Yalcindag A., Alp H., Heights and weights of Turkish children. *J Trop Pediatrics* 19, 5-13, (1973).

NEYZİ O., Günoz H., Furman A., Bundak R., Gokçay G., Darendeliler F., Baş F., Türk çocuklarında vücut ağırlığı, boy uzunluğu, baş çevresi ve vücut kitle indeksi referans değerleri. *Çocuk Sağlığı ve Hastalıkları Dergisi* 51, 1-14, (2008).

USEPA (United States Environmental Protection Agency), Exposure factors handbook. Office of Research and Development, National Center for Environmental Assessment, EPA/600/P-95/002Fa, Washington, DC., (1997a).

USEPA, Guiding principles for Monte Carlo analysis. Risk assessment forum, EPA/630/R-97/001, Washington, DC., (1997b).

USEPA, Compedium method TO-17, determination of volatile organic compounds in ambient air using active sampling onto sorbent tubes. Second Edition, OH 45268, Environmental Protection Agency Cincinnati. (1999a).

USEPA, Compedium method TO-11, determination of formaldehyde in ambient air using adsorbent cartridge followed by High Performance Liquid Chromatography (HPLC). OH 45268, Environmental Protection Agency Cincinnati. (1999).

### 3.Bölüm

ADGATE JL, Church TR, Ryan AD, Ramachandran G, Fredrickson AL, Stock TH, Morandi MT, Sexton K. Outdoor, indoor, and personal exposure to VOCs in children. *Environ Health Persp*; 112: 1386-1392, (2004).

ALA (American Lung Association). Diseases - Asthma & Children Fact Sheet. [www.lungusa.com](http://www.lungusa.com); (2007).

BAYER CW, Crow SA, Fischer J. Causes of indoor air quality problems in schools: summary of scientific research. A Report to Department of Energy, Washinton, DC, Energy Division, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, TN, (2000).

DAİSEY JM, Angell WJ, Apte MG. Indoor air quality, ventilation and health symptoms in schools: An analysis of existing information. *Indoor Air* 13: 53-64, (2003).

DEMİR AU, Karakaya G, Bozkurt B, Şekerel BE, Kalyoncu AF. Asthma and allergic diseases in schoolchildren: third cross-sectional survey in the same primary school in Ankara, Turkey. *Pediatr Allergy Immunol* 15: 531-538, (2004).

FAUSTMAN EM, Silbernagel SM, Fenske RA, Burbacher TM, Ponce RA. Mechanisms underlying children's susceptibility to environmental toxicants. *Environ Health Perspect* 108(S1): 13-21, (2000).

- GELENCŞÉR A, Sisler K, Hlavay J. Toluene–Benzene concentration ratio as a tool for characterizing the distance from Vehicular Emission Sources. *Environ Sci Technol* 31: 2869-2872, (1997).
- GODWIN C, Batterman S. Indoor air quality in Michigan schools. *Indoor Air* 17: 109-121, (2007).
- GUO H, Lee SC, Lia WM, Cao JJ. Source characterization of BTEX in indoor microenvironments in Hong Kong. *Atmos Environ* 37:73-82, (2003).
- HANOUNE B, LeBris T, Allou L, Marchand C, Calve LS. Formaldehyde measurements in libraries: comparison between Infrared Diode Laser Spectroscopy and a DNPH-derivatization method. *Atmos Environ* 40: 5768-5775, (2006).
- HODGSON AT, Levin H. Classification of measured indoor volatile organic compounds based on noncancer health and comfort considerations. Berkley, CA, Lawrence Berkley National Laboratory (LBNL-53308); (2003).
- IRIS (Integrated Risk Information System of U.S. Environmental Protection Agency). <http://www.epa.gov/iris>, (2009).
- KAVCAR P, Odabasi M, Kitis M, Inal F, Sofuoglu SC. Occurrence, oral exposure and risk assessment of VOCs in drinking water for Izmir. *Water Research* 40: 3219-3230, (2006).
- KHODER MI. Formaldehyde and aromatic volatile organic hydrocarbons in the indoor air of Egyptian office buildings. *Indoor Built Environ* 15: 379-387, (2006).
- KOTZIAS D. Indoor air and human exposure assessment – needs and approaches. *Exp Toxicol Pathol* 57:5-7, (2005).
- KURT E, Metintas S, Basyigit I, vd. Prevalence and risk factors of allergies in Turkey: results of a multicentric cross-sectional study in children. *Pediatr Allergy Immunol* 18: 566-574, (2007).
- LEE SC, Guo H, Li WM, Chan LY. Inter-Comparison of air pollutant concentrations in different indoor environments in Hong Kong. *Atmos Environ* 36: 1929-1940, (2002).
- MENDELL MJ, Heath GA. Do indoor pollutants and thermal conditions in schools influence student performance? A critical review of the literature. *Indoor Air* 15: 27-52, (2005).
- MENDELL MJ. Indoor residential chemical emissions as risk factors for respiratory and allergic effects in children: a review. *Indoor Air* 17: 259-277, (2007).
- MENTESE S, Gullu G. Variations and sources of formaldehyde levels in residential indoor air in Ankara, Turkey. *Indoor Built Environ* 15: 273-281, (2006).
- MUEZZİNOĞLU A, Odabasi M, Onat L. Volatile organic compounds in the air of Izmir, Turkey. *Atmos Environ* 35: 753-760, (2001).
- NEYZİ O, Yalcindag A, Alp H. Heights and weights of Turkish children. *J Trop Pediatrics* 19: 5-13, (1973).
- NEYZİ O, Günoz H, Furman A, Bundak R, Gokçay G, Darendeliler F, Baş F. Türk çocuklarında vücut ağırlığı, boy uzunluğu, baş çevresi ve vücut kitle indeksi referans değerleri. *Çocuk Sağlığı ve Hastalıkları Dergisi* 51: 1-14, (2008).

NORBACK D, Torgen M, Edling C. Volatile organic compounds, respirable dust, and personal factors related to prevalence and incidence of sick building syndrome in primary schools. *Brit J Ind Med* 47: 733-741, (1990).

ONES U, Sapan N, Yazıcıoğlu M, Guler N, Tamay Z, Somer A, Canitez Y. The first camps in Turkey for asthmatic children: six years' experience. *Turkish J Pediatr* 47: 222-226, (2005).

PARK JS, Ikeda K. Variations of formaldehyde and VOC levels during three years in new and older homes. *Indoor Air* 16: 129-135, (2006).

PEKEY H, Arslanbas D. The relationship between indoor, outdoor and personal VOC concentrations in homes, offices and schools in the metropolitan region of Kocaeli, Turkey. *Water Air Soil Pollut* 191: 113-129, (2008).

RIGHI E, Aggazzotti G, Fantuzzi G, Ciccarese V, Predieri G. Air quality and well-being perception in subjects attending university libraries in Modena (Italy). *Sci Total Environ* 286: 41-50, (2002).

RUMCHEV K, Spickett J, Bulsara M, Phillips M, Stick S. Association of domestic exposure to volatile organic compounds with asthma in young children. *Thorax* 59: 746-751, (2004).

SAX SN, Bennett DH, Chillrud SN, Ross J, Kinney PL, Spengler JD. A cancer risk assessment of inner-city teenagers living in New York City and Los Angeles. *Environ Health Perspect* 114: 1558-1566, (2006).

SELCUK ZT, Caglar T, Enunlu T, Topal T. The prevalence of allergic diseases in primary school children in Edirne, Turkey. *Clin Exp Allergy* 27: 262-269, (1997).

SEXTON K, Mongin SJ, Adgate JL, Pratt GC, Ramachandran G, Stock TH, Morandi MT. Estimating volatile organic compound concentrations in selected microenvironments using time-activity and personal exposure data. *J Toxicol Env Heal A* 70: 465-476, (2007).

SHENDELL DG, Winer AM, Stock TH, Zhang L, Zhang J, Maberti S, Colome SD. Air concentrations of VOCs in portable and traditional classrooms: results of a pilot study in Los Angeles County. *J Expo Anal Env Epid* 14: 44-59, (2004).

SMEDJE G, Norback D, Edling C. Subjective indoor air quality in schools in relation to exposure. *Indoor Air* 7: 143-150, (1997).

STELLMAN JM. Encyclopaedia of Occupational Health and Safety. International Labour Office, Geneva, Vol.II, p.44.8; (1998).

USEPA (United States Environmental Protection Agency). Exposure factors handbook. Office of Research and Development, National Center for Environmental Assessment, Washington, DC, EPA/600/P-95/002Fa; (1997a).

USEPA. Guiding principles for Monte Carlo analysis. Risk assessment forum, Washington, DC, EPA/630/R-97/001; (1997b).

USEPA. Compendium method TO-17, determination of volatile organic compounds in ambient air using active sampling onto sorbent tubes. Second Edition. Environmental Protection Agency Cincinnati, OH 45268; 1999a.

USEPA. Compendium method TO-11, determination of formaldehyde in ambient air using adsorbent cartridge followed by High Performance Liquid Chromatography (HPLC). Environmental Protection Agency Cincinnati, OH 45268; (1999b).

VAİZOĞLU SA, Aycan S, Deveci MA, vd. Determining domestic formaldehyde levels in Ankara, Turkey. *Indoor Built Environ* 12: 329-335, (2003).

YANG W, Sohn J, Kim J, Son B, Park J. Indoor air quality investigation according to age of the school buildings in Korea. *J Environ Manage* 90: 348-354, (2009).

ZHANG G, Spickett J, Rumchev K, Lee AH, Stick S. Indoor environmental quality in a 'low allergen' school and three standard primary schools in Western Australia. *Indoor Air* 16: 74-80, (2006).

#### **4.Bölüm**

ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry). Toxicological Profile for Polychlorinated Biphenyls and Polybrominated Diphenyl Ethers. U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, Atlanta, Georgia, (2004).

BENOTTİ MJ, Trenholm RA, Vanderford BJ, vd. Pharmaceuticals and endocrine disrupting compounds in U.S. drinking water. *Environmental Science and Technology* 43, 597-603, (2009).

BURG B, Schreurs R, Linden S, vd. Endocrine effects of polycyclic musks: do we smell a rat? *International Journal of Andrology* 31, 188-193, (2008).

CHEN D, Zeng X, Sheng Y, vd. The concentrations and distribution of polycyclic musks in a typical cosmetic plant. *Chemosphere* 66, 252-258, (2007).

CETİN, B., Odabasi, M., Atmospheric concentrations and phase partitioning of polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) in Izmir, Turkey. *Chemosphere* 71, 1067-1078, (2008).

CİNDORUK, S S, Esen, F, Tasdemir, Y. Concentration and gas/particle partitioning of polychlorinated biphenyls (PCBs) at an industrial site at Bursa, Turkey. *Atmospheric Research*, 85, 338-350, (2007).

COVACI, A, Voorspoels, S, Roosens, L, vd. Polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) and polychlorinated biphenyls (PCBs) in human liver and adipose tissue samples from Belgium. *Chemosphere*, 73, 170-175, (2008).

CURRADO, G M, Harrad, S. Comparison of polychlorinated biphenyl concentrations in indoor and outdoor air and the potential significance of inhalation as a human exposure pathway. *Environmental Science and Technology*, 32, 3043-3047, (1998).

DE WIT, C.A., Alae, M., Muir, D.C.G., Levels and trends of brominated flame retardants in the Arctic. *Chemosphere* 64, 209-233, (2006).

FARRAR, N J, Prevedouros, K, Harner, T, vd., Continental scale passive air sampling of persistent organic pollutants using rapidly equilibrating thin films (POGs). *Environmental Pollution*, 144, 423-433, (2006).

FROMME H, Lahrz T, Piloty M, vd. Occurrence of phthalates and musk fragrances in indoor air and dust from apartments and kindergartens in Berlin (Germany). *Indoor Air*. Vol 14, 188-195, (2004).

GABRİO, T., Piechotowski, I., vd., PCB-blood levels in teachers, working in PCB-contaminated schools. *Chemosphere*, 40 (9-11), 1055-1062, (2000).

GEVAO, B., Al-Bahloul, M., Al-Ghadban, A.N., Ali, L., Al-Omair, A., Helaleh, M., Al-Matrouk, K., Zafa, J., Polybrominated diphenyl ethers in indoor air in Kuwait: Implications for human exposure. *Atmospheric Environment* 40, 1419-1426, (2006).

HARNER, T., Shoeib, M., vd., Using passive air samplers to assess urban–rural trends for persistent organic pollutants. 1. Polychlorinated biphenyls and organochlorine pesticides. *Environmental Science & Technology*, 38 (17), 4474–4483, (2004).

HARRAD, S, Hazrati, S, Ibarra, C. Concentrations of polychlorinated biphenyls in indoor air and polybrominated diphenyl ethers in indoor air and dust in Birmingham, United Kingdom: Implications for human exposure. *Environmental Science and Technology*, 40, 4633–4638, (2006).

HAZRATI, S, Harrad, S. Causes of variability in concentrations of polychlorinated biphenyls and polybrominated diphenyl ethers in indoor air. *Environmental Science and Technology*, 40, 7584–7589, (2006).

HAZRATI, S, Harrad, S. Calibration of polyuretan foam (PUF) disk passive air samplers for quantitative measurement of polychlorinated biphenyls (PCBs) and polybrominated diphenyl ethers (PBDEs): Factors influencing sampling rates. *Chemosphere*, 67, 448–455, (2007).

HERBERT, B M J, Halsal, C J, Villa, S, vd. Rapid changes in PCB and OC pesticide concentrations in arctic snow. *Environmental Science and Technology*, 39, 2998–3005, (2005).

IKONOMOU, M.G., Rayne, S., Addison, R.F., Exponential increases of the brominated flame retardants, polybrominated diphenyl ethers, in the Canadian arctic from 1981 to 2000. *Environmental Science & Technology* 36, pp: 1886–1892, (2002).

IPCS (International Programme on Chemical Safety) Environmental Health Criteria 140: Polychlorinated Biphenyls and Terphenyls, 2<sup>nd</sup> edition. World Health Organization, Geneva, (1993).

IPCS, 1994. Environmental Health Criteria 162: Brominated Diphenyl Ethers. World Health Organization, Geneva.

IPCS, A Review of Selected Persistent Organic Pollutants: DDT, Aldrin, Dieldrin, Endrin, Chlordane, Hexachlorobenzene, Mirex, Toxaphene, Polychlorinated biphenyls, Dioxins and Furans. PCS/95.39, (1995).

IRIS, Integrated Risk Information System. U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio, (2010). Accessed at: <http://www.epa.gov/iris>.

JAMSHIDI, A., Hunter, S., vd. Concentrations and chiral signatures of polychlorinated biphenyls in outdoor and indoor air and soil in a major UK conurbation. *Environmental Science & Technology*, 41 (7), 2153–2158, (2007).

JAWARD, F M, Farrar, N J, Harner, T, vd. Passive air sampling of PCBs, PBDEs, and organochlorine pesticides across Europe. *Environmental Science and Technology*, 38, 34–41, (2004).

JAWARD, F M, Zhang, G, Nam, J J, vd. Passive air sampling of polychlorinated biphenyls, organochlorine compounds, and polybrominated diphenyl ethers across Asia. *Environmental Science and Technology*, 39, 8638–8645, (2005).

KALLENBORN R and Gatermann R. Synthetic musks in ambient and indoor air. *The Handbook of Environmental Chemistry*, 3, 85-104, (2004).

KALLENBORN R, Gatermann R, Planting S, vd. Gas Chromatographic determination of synthetic musk compounds in Norwegian air samples. *Journal of Chromatography A*. 846, 295–306, (1999).



- KİYMET N., "Determination of synthetic musk compound levels in indoor air", MSc Thesis, Izmir Institute of Technology, Izmir, Turkey, (2009).
- KOHLER, M., Tremp, J., vd., Joint sealants: an overlooked diffuse source of polychlorinated biphenyls in buildings. *Environmental Science & Technology* 39(7), 1967–1973, (2005).
- KOHLER, M., Zennegg, M., vd., Coplanar polychlorinated biphenyls (PCB) in indoor air. *Environmental Science & Technology*, 36 (22), 4735–4740, (2002).
- LAW, R J, Allchin, C R, de Boer, J, vd. Levels and trends of brominated flame retardants in the European environment. *Chemosphere*, 64, 187–208, (2006).
- Lİ, A, Tanabe, S, Jiang, G, vd. (Eds). Developments in Environmental Science, Volume 7, Persistent Organic Pollutants in Asia: Sources, Distributions, Transport and Fate. Elsevier Ltd, (2007).
- LIEBL, B., Schettgen, T., vd., Evidence for increased internal exposure to lower chlorinated polychlorinated biphenyls (PCB) in pupils attending a contaminated school. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 207 (4), 315–324, (2004).
- MCDONALD, T.A., A perspective on the potential health risks of PBDEs. *Chemosphere* 46, 745–755, (2002).
- MINISTRY of Environment and Forestry, National Action Plan on the Implementation of the Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants (POPs) in Turkey. Project No. GF/TUR /03/008, (2008).
- MOTELAY-MASSEİ, A., Harner, T., vd., Using passive air samplers to assess urban–rural trends for persistent organic pollutants and polycyclic aromatic hydrocarbons. 2. Seasonal trends for PAHs, PCBs, and organochlorine pesticides. *Environmental Science & Technology*, 39 (15), 5763–5773, (2005).
- ODABASI, M, Cetin, B, Demircioglu, E, Sofuoglu, A. Air–water exchange of polychlorinated biphenyls (PCBs) and organochlorine pesticides (OCPs) at a coastal site in Izmir Bay, Turkey. *Marine Chemistry*, 109, 115–129, (2008).
- PECK AM, Hornbuckle KC. Synthetic musk fragrances in urban and rural air of Iowa and the Great Lakes. *Atmospheric Environment*. 40, 6101–6111, (2006).
- PETERS RJ, Beeltje H, van Delft RJ. Xeno-estrogenic compounds in precipitation. *Journal of Environmental Monitoring*. 10, 760–769, (2008).
- RİMKUS GG, Gatermann R, Hühnerfuss H. Musk xilen and musk ketone amino metabolites in the aquatic environment. *Toxicology Letters*. 111, 5-15, (1999).
- SHEN, L., Wania, F., vd., Polychlorinated biphenyls and polybrominated diphenyl ethers in the North American atmosphere. *Environmental Pollution*, 144 (2), 434–444, (2006).
- Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants, Official Web Site, (2010). Accessed at <http://chm.pops.int/>
- SU, Y., Hung, H., Sverko, E., Fellin, P., Li, H., Multi-year measurements of polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) in the Arctic atmosphere. *Atmospheric Environment* 41, pp: 8725–8735, (2007).
- TER SCHURE, A.F.H., Larsson, P., Polybrominated diphenyl ethers in precipitation in Southern Sweden (Skane, Lund). *Atmospheric Environment* 36, pp: 4015–4022, (2002).

WILFORD, B.H., Harner, T., Zhu, J., Shoeib, M., Jones, K.C., Passive sampling survey of polybrominated diphenyl ether flame retardants in indoor and outdoor air in Ottawa, Canada: Implications for sources and exposure. *Environmental Science & Technology* 38, pp: 5312–5318, (2004).

YAMAGISHI T., Miyazaki T., Hori S., Kaneko S., Identification of Musk Ksilen and Musk Ketone in freshwater fish collected from Tama River, Tokyo, *Bull. Environmental Contamination Toxicology*, 26, 656-662, (1981).

## **5.Bölüm**

BLONDEAU, P, Iordache, V, Poupard, O, Genin, D, Allard, F. Relationship between outdoor and indoor air quality in eight French schools, *Indoor Air*, 15 (2005) 2–12

BRANİS M., Safranek, J., Hytychova, A., Exposure of children to airborne particulate matter of fractions during indoor physical education at school, *Building and Environment*, 44 (2009) 1246–1252

BRUNEKREEF B., Holgate S., Air Pollution and Healty, *Lancet*, 360 (2002) 1233-42,.

CRİST, KC, Liuc, B, Kima, M, Deshpandea, SR, John, K. Characterization of fine particulate matter in Ohio: Indoor, outdoor, and personal exposures *Environmental Research*, 106 (2008) 62–71

DIAPOULI, E, Chaloulakou, A, Spyrellis, N. Levels of ultrafine particles in different microenvironments - Implications to children exposure, *Science of the Total Environment*, 388 (2007a) 128–136

DIAPOULI, E., Chaloulakou, A., Mihalopoulous, N., Spyrellis, N. Indoor and outdoor PM mass and number concentrations at schools in the Athens area. *Environ. Monit. Assess.* 136 (2007b) 13–20.

DONALDSON K, Stone V, Clouter A, Renwick L, MacNee W. Ultrafine particles. *Occup Environ Med*, 58 (2001) 211–6.

EKMEKÇİOĞLU, D. ve Keskin, S.S. Characterization of Indoor Air Particulate Matter in Selected Elementary Schools in Istanbul, Turkey, *Indoor and Built Environ*, 16 (2007) 169-176.

FROMME, H., Twardella, D., Dietrich, S., Heitmann, D., Schierl, R., Liebl, B., Ru" den, H., 2006. Particulate matter in the indoor air of classrooms-exploratory results from Munich and surrounding area. *Atmospheric Environment* 41 (2007) 854–866

GÜLLÜ, G., Menteşe, S. "Farklı Türdeki İç Ortamlarda Gözlenen İnce Partiküler Madde Konsantrasyonları, Boyut Dağılımları ve Mevsimsel Değişimleri" TESKON, İç Hava Kalitesi Sempozyumu, 6-9 Mayıs 2009, İzmir.

KERMINEN, VM, Pakkanen, TA, Makela, T, vd. "Development of particle number size distribution near a major road in Helsinki during an episodic inversion situation" *Atmospheric Environment*, 41 (2007) 1759-1767.

KEYWOOD MD, Ayers GP, Gras JL, Gillett RW, Cohen DD. Relationships between size segregated mass concentration data and ultrafine particle number concentrations in urban areas. *Atmos Environ*, 33 (1999) 2907–2913.

PAODE, R.D., Sofuoglu, S.C., Sivadechathep, J., Noll K.E., Holsen, T.M., and Keeler, G. "Dry Deposition Fluxes and Mass Size Distributions of Pb, Cu, Zn Measured in Southern Lake Michigan During AEOLUS" *Environmental Science and Technology*, 32, (1998) 1629-1635.

PARKER, JL, Larson, RR, Eskelson, E, Wood, EM, Veranth, JM. Particle size distribution and composition in a mechanically ventilated school building during air pollution episodes, *Indoor Air*, 18 (2008) 386–393.

PATTERSON, E., Eatough, D.J. Indoor/outdoor relationships for ambient PM<sub>2.5</sub> and associated pollutants: epidemiological implications in Lindon, Utah. *J. Air Waste Manage. Assoc.* 50 (2000) 103–110.

SOFUOGLU, S.C., Paode, R.D., Sivadechathep, J., Noll K.E., Holsen, T.M., and Keeler, G. "Dry Deposition Fluxes and Atmospheric Size Distributions of Mass, Al, and Mg Measured in Southern Lake Michigan During AEOLUS," *Aerosol Science and Technology*, 29 (1998) 281-293.

TIPPAYAWONG, N, Khuntong, P, Nitatwichit, C, Khunatorn, Y, Tantakitti, C. Indoor/outdoor relationships of size-resolved particle concentrations in naturally ventilated school environments, *Building and Environment* 44 (2009) 188–197

WARD T.J. Noonan, C.W. & Hooper, K. Results of An Indoor Size Fractionated PM School Sampling Program in Libby, Montana, *Environ Monit Assess* 130 (2007) 163–171

WEICHTHAL, S, Dufresne, A, Infante-Rivard, C, Joseph, L. Characterizing and predicting ultrafine particle counts in Canadian classrooms during the winter months: Model development and evaluation. *Environmental Research* 106 (2008) 349–360

## **6.Bölüm**

AOKI, T., Tanabe, S., "Generation of sub-micron particles and secondary pollutants from building materials by ozone reaction" *Atmos. Environ.*, 41 (2007) 3139–3150

BAYER, C.W., Crow, S.A., "Causes of Indoor Air Quality In Problems In Schools" National Technical Information Service, ABD, 24-27, (1999).

BLONDEAU, P, Iordache, V, Poupard, O, Genin, D, Allard, F. Relationship between outdoor and indoor air quality in eight French schools, *Indoor Air*, 15 (2005) 2–12

CHALOULAKOU, A. ve Mavroidis, I., "Comparison of indoor and outdoor concentrations of CO at a public school" *Atmospheric Environment* 36 (2002) 1769–1781

COLEMAN, B.K. Lunden, M.M., Destailats, H., Nazaroff, W.W., "Secondary organic aerosol from ozone-initiated reactions with terpene-rich household products" *Atmos. Environ.*, 42 (2008) 8234-8245

DEMİR, A.U., Karakaya, G., Bozkurt, B., Sekerel, B.E., Kalyoncu, A.F., "Asthma and Allergic Diseases in School Children: Thirdcross-Sectional Survey in the Same Primary School in Ankara, Turkey" *Pediatric Allergic and Immunology*, 15 (2004) 531-538

GEYH, A.S., Xue, J., Özkaynak, H., Spengler, J.D., "The Harvard Southern California Chronic Ozone Exposure Study: Assessing Ozone Exposure of Grade-School-Age Children in Two Southern California Communities" *Environ. Health Perspect.*, 108 (2000) 265-270

GILLILAND, F.D., Berhane, K., Rappaport, E.B., Thomas, D.C., Avol, E., Gauderman, W.J., London, S.J., Margolis, H.G., Mcconnel, R., Islam, K., Peters, J.M., "The effects of ambient air pollution on school absenteeism due to respiratory illnesses" *Epidemiology*, 12 (2001) 43-54

KAGI, N. Fujii, S. Tamura, H., Namiki, N., "Secondary VOC emissions from flooring material surfaces exposed to ozone or UV irradiation" *Building and Environment*, 44 (2009) 1199-1205

KRAENZMER, M. "Modeling and continuous monitoring of indoor air pollutants for identification of sources and sinks" *Environment International*, 25 (1999) 541-551

KURT E, Metintas S, Basyigit I, vd. "Prevalence and risk factors of allergies in Turkey: results of a multicentric cross-sectional study in children" *Pediatr Allergy Immunol*, 18 (2007) 566-574

LEE K, Parkhurst WJ, Xue J, Ozkaynak AH, Neuberg D, Spengler JD. "Outdoor/Indoor/Personal ozone exposures of children in Nashville, Tennessee" *J Air Waste Manag Assoc*, 54 (2004) 352-359

Mİ, Y.H., Norback, D., Tao, J., Mı, Y.L., Ferm, M., "Current asthma and respiratory symptoms among pupils in Shanghai, China: influence of building ventilation, nitrogen dioxide, ozone, and formaldehyde in classrooms" *Indoor Air*, 16 (2006) 454-464

MOSCHANDREAS, D.J. ve Sofuoglu, S.C., "The Indoor Environmental Index and Its Relationship with Symptoms of Office Building Occupants" *Journal of Air and Waste Management Association*, 54 (2004) 1440-1451

ODABAŞI, M, vd., "İzmir Atmosferinde Ozon Değişimlerinin Belirlenmesi" TÜBİTAK 104 Y 163 Nolu Proje Nihai Raporu, 2008.

RAMADOUR, M., Burel, C., Lanteaume, A., Vervloet, D., Charpin, D., Bris, F., Dutau, H., Charmin, D., "Prevalence of asthma and rhinitis in relation to long-term exposure to gaseous air pollutants" *Allergy*, 55 (2000) 1163-1169

SELÇUK, Z.T., Çağlar, T., Enünlü, T., Topal, T., "The Prevalence of Allergic Diseases in Primary School Children in Edirne, Turkey" *Clinical and Experimental Allergy*, 27 (1997) 262-269

SOHN J, Yang W, Kim J, Son B, Park, J. "Indoor air quality investigation according to age of the school buildings in Korea" *Journal of Environmental Management* 90 (2009) 348-354

TRİANTAFYLLOU, A.G., Zoras, S., Evagelopoulos, V., Garas, S., "PM<sub>10</sub>, O<sub>3</sub>, CO concentrtrions and elemental analysis of airborne particles in a school building" *Water Air Soil Pollut.:Focus*, 8 (2008) 77-87

WESCHLER, C.J., "Ozone in indoor environments: concentration and chemistry" *Indoor Air*, 10 (2000) 269-288

WESCHLER, C.J. "Ozone's Impact on Public Health: Contributions from Indoor Exposures to Ozone and Products of Ozone-Initiated Chemistry" *Environmental Health Perspectives* 114 (2006) 1489-1496

Web-1. American Lung Association, Diseases - Asthma & Children Fact Sheet 2007.

Web-2. US Environmental Protection Agency, "Guideline for Reporting of Daily Air Quality–Air Quality Index (AQI)" EPA-454/R-99-010, 1999. <http://www.epa.gov/airnow/publications.html>

## **7.Bölüm**

APTE, Fisk, ve Daisey, "Associations between indoor CO<sub>2</sub> concentrations and sick building syndrome symptoms in US office buildings", *Indoor Air*, 10 (2000) 246-257.

BARTLETT, Martinez, and Bert, "Modeling of Occupant-Generated CO<sub>2</sub> Dynamics in Naturally Ventilated Classrooms", *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 1 (2004) 139-148.

BAYER, C.W. and Downing, C.C. "Indoor conditions in schools with insufficient humidity control", *Proceeding of IAQ 92: Environments for People*, Atlanta, GA, American Society of Heating, Air Conditioning, and Refrigerating Engineers, (1992) 197-200.

BRENNAN, T., Clarkin, M., Turner, W., Fisher, G. and Thompson, R. "School buildings with air exchange rates that do not meet minimum professional guidelines or codes and implications for radon control," *Proceedings of ASHRAE IAQ 91 Healthy Buildings*, Atlanta, GA, ASHRAE, (1991) 228-229.

CLEMENTS-CROOME, D.J., Awbi, H.B., Bako´-Biro´, Zs., Kochhar, N., Williams, M., "Ventilation rates in schools" *Building and Environment*, 43 (2008) 362–367.

COUSINS, D.M. and Collett, C.W. "Indoor air quality in 12 schools: A case study," *Proceedings of ASHRAE Conference IAQ'87, The Human Equation: Health and Comfort*, (1989) 104-108.

FISHER, E., Ligman, B., Brennan, T., Shaughnessy, R., Turk, B. and Snead, B. "Radon mitigation in schools utilizing heating, ventilation, and air conditioning systems," *Radiation Protection Dosimetry*, 56 (1994) 51-54.

IESNA, Illuminating Engineering Society of North America, "Lighting Handbook" Rea, M.S., ed., New York, NY, (2000).

LEE, Guo, Li, Chan, "Inter-comparison of air pollutant concentrations in different indoor environments in Hong Kong", *Atmos Environ* 36 (2002) 1929–1940.

MOSCHANDREAS, D.J. and Sofuoglu, S.C., "The Indoor Environmental Index and Its Relationship with Symptoms of Office Building Occupants," *Journal of Air and Waste Management Association*, 54, (2004) 1440-1451.

NIELSEN O. "Quality of air and the amount of fresh air in classrooms," *Indoor Air: Buildings, Ventilation and Thermal Climate*. Berglund, B., Lindvall, T. and Sundell, J., Eds., Swedish Council for Building Research, 5 (1984) 221-226

NORBACK, D., Torgen, M. and Edling, C. Volatile organic compounds, respirable dust, and personal factors related to prevalence and incidence of sick building syndrome in primary schools, *Br J Ind Med*, 47 (1990) 733-741.

NORBACK, D. "Subjective indoor air quality in schools - the influence of high room temperature, carpeting, fleecy wall materials and volatile organic compounds", *Indoor Air*, 5 (1995) 237-246.

POTTING, J., van de Sandt, P., ter Haar Romeny-Wacher, I., Brunekreef, B. and Boleij, J.S.M. "Health complaints, CO2 levels and indoor climate in Dutch schools," In: *Indoor Air '87: Proceedings of 4th International Conference on Indoor Air Quality and Climate*, Berlin (West), Institute of Water, Soil and Air Hygiene, 3 (1987) 582-586.

SEPPANEN, Fisk, ve Mendell, "Associations of ventilation rates and CO<sub>2</sub> concentrations with health other responses in commercial and institutional buildings", *Indoor Air* 9 (1999) 226-252.

SHENDELL, D.G., Prill, R., Fisk, W.J., Apte, M.G., Blake, D., Faulkner, D., "Associations between classroom CO<sub>2</sub> concentrations and student attendance in Washington and Idaho" *Indoor Air*, 14 (2004) 333-341.

SMEDJE, G., Norback, D., and Edling, C. "Subjective indoor air quality in schools in relation to exposure", *Indoor Air*, 7 (1997) 143-150.

THORNE, P.S. "Sump additives as a source of bioaerosols in a school building," *Veterinary and Human Toxicology*, 35 (1993) 141-143.

TURK, B.H., Grimsrud, D.T., Brown, J.T., Geisling-Sobotka, K., Harrison, J. and Prill, R.J. "Commercial building ventilation rates and particle concentrations," In: *Proceedings of Indoor Air '87: The 4th International Conference on Indoor Air Quality and Climate*, 1 (1987) 610-614, West Berlin, West Germany.

TURK, B.H., Grimsrud, D.T., Brown, J.T., Geisling-Sobotka, K., Harrison, J. and Prill, R.J. Commercial building ventilation rates and particle concentrations," *ASHRAE Transactions*, 95 (1989) 422-433.

TURK, B.H., Powell, G., Fisher, E., Ligman, B., Harrison, J., Brennan, T. and Shaughnessy, R. "Improving general indoor air quality while controlling specific pollutants in schools," In: *Proceedings of Indoor Air '93: The 6th International Conference on Indoor Air Quality and Climate*, Helsinki, Finland, 6 (1993) 705-710.

WALINDER, Norback, Wieslander, Smedje, Erwall, Venge, "Nasal patency and biomarkers in nasal lavage ± the significance of air exchange rate and type of ventilation in schools", *Int Arch Occup Environ Health*, 71 (1998) 479-486.

WILLERS, S., Andersson, S., Andersson, R., Jorgen, G., Sverdrup, C., and Rosell, L. "Sick Building Syndrome Symptoms among the Staff in Schools and kindergartens: are the Levels of Volatile Organic Compounds and Karbon Dioxide Responsible?," *Indoor Built Environ*, 5 (1996) 232-235.

### **8.Bölüm**

AHMAN, M., Lundin, A., Musabasic, V., Soderman, E., "Improved Health after Intervention in School with Moisture Problems", *Indoor Air*, 10, 57-62, (2000).

DEMIR, A.U., Karakaya, G., Bozkurt, B., Şekerel, B.E., Kalyoncu, A.F., "Asthma and allergic diseases in schoolchildren: third cross-sectional survey in the same primary school in Ankara, Turkey", *Pediatr Allergy Immunology*, 15, 531-538, (2004).

ENSLOW, D., Woodard, K., Langille, L., The Indoor Air Quality (IAQ) in Canadian Schools Project and Atlantic Health Promotion Research Centre "Indoor Air Quality In Canadian Schools", (2003).

ERDMANN, C.A., Steiner, K.C., Apte, M.G., Indoor Karbon Dioxide Concentrations and Sick Building Syndrome Symptoms in the Base Study Revisited: Analyses of the 100 Building Data Set, *Proceedings: Indoor Air*, 443-448, (2002).

MEYER, H.W., Würtz, H., Suadıcı, P., Valbjorn, O., Sigsgaard, T., Gyntelberg, F., "Molds in floor dust and building-related symptoms in adolescent school children", *Indoor Air*, 14, 65-72, (2004).

PARK, J.H., Schleiff, P.L., Attfield, M.D., Cox-Ganser, J.M., Kreiss, K., "Building-related respiratory symptoms can be predicted with semi-quantitative indices of exposure to dampness and mold", *Indoor Air*, 14, 425-433, (2004).

SELÇUK, Z.T., Çağlar, T., Enünlü, T., Topal, T., "The Prevalence of Allergic Diseases in Primary School Children in Edirne, Turkey", *Clinical and Experimental Allergy*, 27, 262-269, (1997).

SMEDJE, G., Norback, D., Endling, C., "Asthma among secondary school children in relation to the school environment", *Clinical and Experimental Allergy*, 27, 1270-1278, (1997).

SOFUOĞLU, S.C., Baytak, D., Bayram, A., Müezzinoğlu, A., Odabaşı, M., Seyfioğlu, R., Elbir, T., Tuncel, G., İzmir-Aliğa'da Hava Kirleticilerine Maruziyet ve Bundan Kaynaklanan Sağlık Riskleri, Ulusal Hava Kirliliği ve Kontrolu Sempozyumu, 686-698, (2008).

USEPA, Exposure Factors Handbook, Office of Research and Development, National Center for Environmental Assessment, US Environmental Protection Agency, Washington, DC, EPA/600/P-95/002Fa, (1997).

**TÜBİTAK**  
**PROJE ÖZET BİLGİ FORMU**

<b>Proje No:</b> 105Y263
<b>Proje Başlığı:</b> İlköğretim Okullarında Bina-İçi Çevresel Kalitenin Değerlendirilmesi
<b>Proje Yürütücüsü ve Araştırmacılar:</b> Doç.Dr. Sait C. Sofuoğlu ve Doç.Dr. Aysun Sofuoğlu, Prof.Dr. Mustafa Odabaşı, Doç.Dr. Fikret İnal
<b>Projenin Yürütüldüğü Kuruluş ve Adresi:</b> İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Bölümü, Gülbahçe, Urla 35430 İzmir
<b>Destekleyen Kuruluş(ların) Adı ve Adresi:</b>
<b>Projenin Başlangıç ve Bitiş Tarihleri:</b> 15.11.2006 - 15.03.2010
<b>Öz (en çok 70 kelime)</b> İzmir’de, ikisi kentsel biri yarı kentsel alanda yer alan üç ilköğretim okulunda, bina-ıçi hava uçucu organik madde, yarı-uçucu organik madde, partikül madde, partikül maddede element, inorganik gaz kirletici derişimleri ölçülmüştür. Anket uygulaması yapılarak, bina ile ilgili semptomların yaygınlığı çalışılmıştır. Bina-ıçi konfor değişkenlerinden sıcaklık ve nispi nem kullanılarak Bina-ıçi Rahatsızlık Göstergesi değerleri hesaplanmıştır.
<b>Anahtar Kelimeler:</b> ilköğretim okulları; bina-ıçi hava kalitesi; uçucu organik bileşikler; yarı uçucu organik bileşikler; boyut ayrımlı partikül madde; partikül maddede elementel derişimler; inorganik gaz bina-ıçi hava kirleticileri; bina ile ilgili semptomlar
<b>Fikri Ürün Bildirim Formu</b> Sunuldu mu? Evet <input type="checkbox"/> Gerekli Değil <input checked="" type="checkbox"/> Fikri Ürün Bildirim Formu’nun tesliminden sonra 3 ay içerisinde patent başvurusu yapılmalıdır.
<b>Projeden Yapılan Yayınlar:</b> <b><u>SCI BİLİMSEL DERGİ</u></b> Sait C. Sofuoğlu, Guler Aslan, Fikret İnal, Aysun Sofuoğlu, “An Assessment of Indoor Air Concentrations and Health Risks of Volatile Organic Compounds in Three Primary Schools” <i>hakem incelemesinde</i> . Aysun Sofuoğlu, Nihan Kıymet, Pınar Kavcar, Sait C. Sofuoğlu, “Synthetic Musk Compounds in Indoor Air: a Primary School Classroom and a Women’s Sports Center”, <i>Indoor Air, basımda</i> .



### **ULUSLARARASI TAM METİN BİLDİRİ**

Aysun Sofuoğlu, Nihan Kıymet, Pınar Kavcar, Sait C. Sofuoğlu, *Synthetic Musk Compounds in Indoor Air: a Primary School Classroom and a Women's Sports Center*, Clima-2010 – 10<sup>th</sup> REHVA World Congress, 6-9 Mayıs, Antalya.

Pınar Kavcar, Aysun Sofuoğlu, Sait C. Sofuoğlu, *Indoor Air Polychlorinated Biphenyl Concentrations in Three Primary Schools in İzmir, Turkey*, Clima-2010 – 10<sup>th</sup> REHVA World Congress, 6-9 Mayıs, Antalya.

### **ULUSAL TAM METİN BİLDİRİ**

Sait C. Sofuoğlu, Güler Aslan, Fikret İnal, Aysun Sofuoğlu, *Uçucu Organik Bileşiklerin İlköğretim Okulları İçin Sağlık Riski Tabanlı Sınıflandırılması*, Ulusal Hava Kirliliği ve Kontrolü Sempozyumu, Ekim 2010, Ankara.

Güler Aslan, Aysun Sofuoğlu, Fikret İnal, Mustafa Odabaşı, Sait C. Sofuoğlu, *İlköğretim Okullarında Bina-İçi Hava Uçucu Organik Madde Derişimleri: Derslikler ile Anasınıflarının Karşılaştırılması*, TESKON-2009 Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, İç Hava Kalitesi Sempozyumu, 4-6 Mayıs, İzmir.

Cemre Kocahakimoğlu, Dilek Turan, Fatma Özeren, Aysun Sofuoğlu, Sait C. Sofuoğlu, *İlköğretim Okullarında Bina-İçi Hava Ozon Derişimleri*, TESKON-2009 Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, İç Hava Kalitesi Sempozyumu, 4-6 Mayıs, İzmir.

Dilek Turan, Cemre Kocahakimoğlu, Pınar Kavcar, Sait C. Sofuoğlu *İlköğretim Okullarında Bina-İçi Hava Kalitesi ile İlgili Sağlık Semptomlarının Yaygınlığı*, TESKON-2009 Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, İç Hava Kalitesi Sempozyumu, 4-6 Mayıs, İzmir.

Güler Aslan, Fatma Özeren, Pınar Kavcar, Aysun Sofuoğlu, Fikret İnal, Mustafa Odabaşı, Sait C. Sofuoğlu, *İzmir Metropol Alanında İki İlköğretim Okulunda Kış ve Bahar Dönemlerinde Uçucu Organik Bileşik ve Formaldehit Derişimleri*, Ulusal Hava Kirliliği ve Kontrolü Sempozyumu, Ekim 2008, Antakya.