



**Bu bir MMO  
yayıdır**

MMO bu yayındaki ifadelerden, fikirlerden, toplantıda çıkan sonuçlardan, teknik bilgi ve basım hatalarından sorumlu değildir.

## **İÇ HAVA KİRLETİCİLERİ VE İNSAN SAĞLIĞINA ETKİSİ**

**SAİT C. SOFUOĞLU**  
İZMİR YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ



# İÇ HAVA KİRLETİCİLERİ VE İNSAN SAĞLIĞINA ETKİSİ

Sait C. SOFUOĞLU

## ÖZET

Bazı kirleticilerin iç havadaki derişimleri dış havaya göre kat kat yüksek olabilmekte ve insanların zamanlarının çoğunu içeride geçirmeleri sebebiyle bu kirleticilere maruziyetleri yüksek olmakta, dolayısıyla toplam içinde iç hava kaynaklı maruziyetin payı büyük ağırlık oluşturmaktadır. Sonuç olarak geçici semptomlardan kronik hastalıklara kadar geniş bir ölçekte sağlık etkileri olmaktadır. Bu etkiler arasında kanserin de olabileceği düşünülmektedir. Çocuklar hava kirleticilerinin etkilerine karşı hassas ve yatkın bir toplum grubu olup zamanlarının çoğunu ev ve okullarında çeşitli iç mikro-çevrelerde geçirmektedirler. Dolayısıyla, okullardaki iç hava kalitesi onların sağlığı açısından büyük önem arz etmektedir. Bu çalışmada, literatürde bildirilmiş olan okul iç hava kirletici derişimleri ve bu kirleticilerin yaratabilecekleri sağlık etkileri derlenmiştir. Literatürde partikül madde (uçuşan toz), uçucu organik bileşikler, biyoaerosoller gibi çeşitli iç hava kirleticileri öne çıkmakta, kirleticiler ile solunum yolu semptomları ve hastalıkları arasında ilişki bulunduğu bildirilmekte, bunlar arasından astım, alerji ve enfeksiyonlar öne çıkmaktadır. Sonuç olarak çocukların sağlığını korumak için okullarda maruziyet temelli iç hava kalitesi standart değerleri, kirlilik önleyici / azaltıcı uygulamalar vb. iç hava kalitesi yönetimi araçlarına ihtiyaç duyulmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Okul, İç hava kalitesi, Sağlık etkileri

## ABSTRACT

Some of the air pollutants are found indoors at levels up to ten-folds of outdoors. Because people spend majority of the time indoors, their exposures are high with indoors occupying a large portion in the total exposure. As a result, health effects spanning from non-specific building related symptoms to chronic-toxic effects could occur. Cancer is thought to be among the effects associated with chronic to lifetime exposures to some of the indoor air pollutants. Children are a sensitive / susceptible population group to the effects of air pollutants, who spend the most of their time in indoor micro-environments such as the home and the school. Therefore, indoor air quality is of utmost importance to their health. This paper reviews the literature for the levels of indoor air pollutants in schools and associated health effects. Pollutants such as particulate matter, volatile organic compounds, and bioaerosols are frequently measured; and relations to respiratory symptoms and diseases are reported, which include asthma, allergies and infections. In conclusion, indoor air quality management tools such as standards, pollution prevention and mitigation measures are needed to protect children's health.

**Key Words:** School, Indoor air quality, Health effects

## 1. GİRİŞ

İç Hava Kalitesi (İHK) ile ilgili yazıların büyük çoğunluğu “insanlar zamanlarının çoğunu çeşitli iç ortamlarda geçirmektedirler” şeklinde ifadeler ile başlamaktadır. İç ortamlarda geçirilen zamanın toplam içindeki oranı özellikle şehirlerde yaşayan çocuklar için >%90 gibi yüksek değerlere çıkabilmektedir. Okul, evden sonra en çok zaman geçirilen yer olarak günün 7-8 saatlik kısmını kaplamaktadır. Üstelik çocuklar henüz daha gelişimlerini tamamlamadıkları için kirleticilerin etkilerine daha açık ve hassastırlar ve yetişkinlerle karşılaştırıldığında vücutlarına göre daha fazla hava solumaktadırlar [1].

Dış hava ile karşılaştırıldığında bazı kirleticilerin iç hava derişimleri, 10 katına kadar çıkan, daha yüksek düzeylerde bulunmaktadır. Bu derişimleri belirleyen etmenler dış hava, iç kaynak şiddeti, havalandırma ve diğer mekanizmalarla kirleticilerin iç havadan giderim hızları, içeride karışım ve kimyasal tepkimeler olarak sıralanabilir [2]. İç ortam kirleticisi kaynakları birincil ve ikincil kaynaklar olarak iki ana grupta sınıflandırılabilir. Ana kaynaklar arasında ısınma, yemek pişirme vb. amaçlı yakıt yakma işlemleri, tütün içimi, insan ve hayvanların metabolik faaliyetleri, yüzey kaplamaları, boya, yapıştırıcı ve cilalar, temizlik malzemeleri, kişisel bakım ürünleri, bina yapımında kullanılan malzemeler ve tefrişat, solventler ve klorlanmış çeşme suyu sayılabilir. İkincil kaynaklar ise iç hava kimyasıdır ki, havada bulunan maddelerin tepkimelere girmesi sonucu bazı kirleticilerin derişimleri düşüp veya ortadan yok olurken başka kirleticilerin oluşmasıdır. Aslen ana kaynağı dışarıda olan kirleticiler binadaki açıklıklar ve çatlaklardan içeriye nüfuz edebilir. İnfiltrasyona ek olarak, kirleticiler havalandırma yoluyla dışarıdan içeriye taşınabilir. Esasen havalandırma içeride üretilen kirleticilerin dışarıya atılarak iç hava derişimlerini düşük tutmak üzere kullanılmaktadır. Aynı zamanda, kirleticilerin iç hava kimyasında yer alabilecekleri süreleri de azaltmaktadır. Dolayısıyla, hızları havalandırma hızından küçük olan tepkimelerin gerçekleşme ihtimali azalmakta sadece hız açısından havalandırma ile rekabet edebilecek tepkimeler gerçekleşmektedir. Bu tepkimeler gaz fazda veya yüzeylerde oluşmaktadır [3]. Dış havada tepkimelerin gerçekleşebileceği yüzeyler sınırlı iken içeride bunun için birçok geniş yüzey mevcuttur.

Çocuklarda bağıışıklık, solunum, sindirim, sinir ve üreme sistemleri gelişimlerini tamamlamamıştır. Dolayısıyla, henüz tam oluşmamış bazı anatomik bariyerler, organlarını ve gelişimlerini etkileyebilecek toksik maddelerin girişine izin verebilir; solunum yoluyla maruz kalınan Partikül Madde (PM)'nin ciğerlere ulaşma oranı yetişkinlere göre daha yüksek olabilir [4]. İç hava kirliliğinin iki ana ögesi havadaki gaz kirleticiler ve uçuşan tozlar (aerosoller, partikül madde) ise üçüncü parça da yerler ve diğer yatay yüzeylere çökelmiş olan tozun oluşturduğu ev tozudur. Ev tozu, bazı etmenlerin yardımıyla tekrar havaya karışabilen PM olarak bir kirleticisi iken, aynı zamanda yapısında bulunan inorganik ve organik maddeler için taşıyıcı ve oda sıcaklıklarında hem gaz hem de katı fazda bulunabilen organik kirleticiler için bir depo görevi görürler. Sıcaklığa bağılı olarak bu organik kirleticiler partikül fazdan geri havaya geçebilirler, dolayısıyla ev tozu zaman zaman bir kirleticisi kaynağı olarak da işlev görebilir. Çocuklar fiziksel olarak daha aktiftirler. Aktivitelerinin arttığı zaman dilimlerinde artan solunum hızları sebebiyle kirleticilere maruziyetleri de artar. Fiziksel aktivite emeklemeyi, yerde oynamayı, düşüp kalkmayı içerdiğinde ev tozuna çökelmiş haldeyken de maruz kalmalarına yol açar. Bunun üstüne, ellerini ağızlarına götürme davranışı da varsa ağız da maruziyet yolu olur.

Alerji ve alerjik astım ülkemiz de dahil olmak üzere gelişmekte olan ve gelişmiş ülkelerde yaygınlığı artan bir hastalıktır. Okullarda iç havada ölçülen kirleticilerin neredeyse tamamı astım ile ilişkilendirilmektedir [4]. İç hava kalitesi ile ilişkilendirilen diğer sağılık etkileri arasında baş ağrısı, baş dönmesi, yorgunluk, odaklanmada zorluk, göz-burun-boğaz mukozasında ve deride tahriş, burun tıkanıklığı, alerjik hassasiyet gelişimi, solunum zorluğu, alerjik rinit, atopik dermatit gibi akut ve kronik etkiler yer alırken, okula devam ve başarıyı da etkilediği yönünde bildirimler bulunmaktadır. Literatürdeki bu bildirimler çeşitli derleme çalışmalarında bir arada değerlendirilmiş, meta-analizleri yapılmış bazıları için tutarlı sonuçlar bulunduğu belirlenmiştir. Okumakta olduğunuz bu bildiri bir derleme çalışması olup yayınlanmış okul iç hava kalitesi ve sağılık etkileri ile ilgili çalışmaları bir araya getirip değerlendiren derlemelerin sonuçlarını sunmayı hedeflemektedir. Yöntem bölümünü takiben okullarda öne çıkan kirleticiler ve sağılık etkileri ayrı alt bölümler halinde sunulmaktadır.

## 2. YÖNTEM

Bu derleme “Web of Science” veritabanında “indoor air quality / pollution”, “school”, “health” kelimelerini kullanarak yapılan aramalarda bulunan “review” makalelerinin taranması ile bulunan 17 yayının derlenmesi yoluyla hazırlanmıştır. Bu yayınlar, *Atmospheric Environment*, *Atmospheric Pollution Research*, *Building and Environment*, *Environment International*, *Environmental Chemistry Letters*, *Environmental Engineering Science*, *Environmental Health Perspectives*, *Indoor Air*, ve *Journal of Toxicology and Environmental Health - Part B - Critical Reviews* dergilerinde yayınlanmıştır. Bu yayınların yedisi *Indoor Air*, üçü *Atmospheric Environment* dergilerinde yer alırken diğer dergilerden birer yayın bulunmaktadır. Derlenen 17 derleme makalesi 1997 ile 2015 yılları arasında yayınlanmış olup referanslarının toplam sayısı (mükerrer olmakla birlikte) 2016’dır. Ek olarak, derlemelerde yer almamış son yıllarda çıkmış yayınlar da dikkate alınmıştır.

## 3. OKUL İÇ HAVA KİRLİTİCİ DERİŞİMLERİ

Okul iç havasında bulunduğu en sık tespit edilen kirleticiler Uçucu Organik Bileşikler (UOB), PM, bioaerosoller, NO<sub>2</sub>, CO, SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> ve insan kaynaklı biyo-emisyonlar için havalandırmanın yeterliliğinin bir göstergesi olarak kullanılan ancak son yıllarda bir kirletici olduğu düşünülmeye başlanan CO<sub>2</sub> yer almaktadır.

### 3.1. Uçucu Organik Bileşikler

Tanım olarak UOB sınıflamasının içine kaynama sıcaklığı 50-100 ile 240-260 °C arasında yer alan organik bileşikler girmektedir [5]. Bunlar arasında alifatik, aromatik, oksijenli ve halojenli hidrokarbonlar yer almaktadır. Oksijenli hidrokarbonlar arasında bulunan aldehitler düşük derişimlerde gösterdikleri tahriş edici özellikleri ve diğer UOB’e göre farklı örnekleme ve analiz yöntemleri gerektirmeleri sebebiyle genellikle ayrı bir grup olarak da değerlendirilmektedirler. Dolayısıyla, bu bölümde önce aldehitler, sonra da UOB ele alınacaktır.

#### 3.1.1. Aldehitler

İç havada en sık karşılaşılan aldehitler aseton, formaldehit ve asetaldehit iken tespit edilmiş olan diğerleri akrolein, benzaldehit, butiraldehit, glutaraldehit, kapronaldehit, krotonaldehit, 2,5-dimetilbenzaldehit, izovaleraldehit, propiyonaldehit, tolualdehit izomerleri ve valeraldehit olarak sıralanabilir. Bunlar arasında formaldehit, akrolein ve krotonaldehit diğerlerine göre hem suda yüksek çözünürlükleri hem de membran tahrişi özellikleri ile öne çıkmaktadır [5]. Ancak, tespit edilme sıklığına ve derişimlerin yüksekliği göz önüne alındığında formaldehit ve asetaldehit ön planda yer almaktadır. Formaldehit, hem akut, hem kronik-toksik, hem de kanserojenik sağlık etkileri dolayısıyla en çok çalışılmış olan iç hava kirleticilerinden birisi olarak karşımıza çıkmaktadır.

Formaldehit içeren reçinelerin kullanıldığı sunta, MDF vb. ahşap bazlı malzemeler, izolasyon malzemeleri, sigara dumanı, odun ateşi gibi bina-içi yanma ve endüstriyel baca gazları, motorlu taşıt egzozları gibi dış yanma kaynakları bulunmaktadır. İç kaynaklarının şiddeti sebebiyle dış havaya göre içeride genellikle daha yüksek derişimlerde ölçülen formaldehit, binaların ilk birkaç yılında havaya hızlı bir şekilde salınmakta sonrasında daha kararlı bir şekilde salıverilmeye devam etmektedir. Dolayısıyla, bina yaşı ile ilişkili bir şekilde, artan yaş ile derişimlerin düştüğü gözlenmiştir [4, 5]. Yüksek çözünürlüğü ve reaktivitesi nedeniyle iç hava formaldehit derişimleri nispi nem (RH) ile ve buhar basıncıyla ilişkisi sebebiyle sıcaklığa bağlı olarak da değişmektedir. Dolayısıyla, derişimleri mevsimsel olarak değişkenlik göstermekte genellikle sıcak aylarda daha yüksek düzeylerde bulunmaktadır [6].

Literatür, çoğunlukla iç hava derişimlerinin dış havaya göre daha yüksek olduğunu göstermektedir. Annesi-Maesano vd. [4] derlediği formaldehit ölçmüş olan çalışmalarda ortalama derişimlerin 3 ile 35 µg/m<sup>3</sup> arasında değiştiğini bildirmiştir. Ancak, yakın zamanda yayınlanmış çalışmalarda >100 µg/m<sup>3</sup> düzeyinde ortalama derişimler de bildirilmiştir [7, 8]. Bildirilen derişim aralıkları dikkate alındığında sıra

dışı derişimlere de rastlanmaktadır. Bunlardan en yüksek Kore'de ölçülmüş  $>1100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  düzeyindeki derişimler [9] iken bunları  $350 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ve  $140 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ile sırasıyla Fransa ve Avusturya'da ölçülmüş maksimum değerler izlemektedir [10, 11]. Daha önceki yıllarda ölçülmüş derişimler arasında da yüksek değerler (ortalama= $437 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , en yüksek= $562 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , Danimarka, mobil anasınıfı [12]) bulunmaktadır. Ülkemizde üç ilköğretim okulunda ölçülmüş ortalama derişimler sınıflarda  $19-55 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , anasınıflarında ise  $67-109 \mu\text{g}/\text{m}^3$  aralığında değişkenlik göstermiştir [13].

### 3.1.2. Uçucu Organik Bileşikler

Taranan derleme çalışmalarına göre okullarda en sık tespit edilen UOB benzen, *p*-diklorobenzen, etilbenzen, ksilen diklorometan, limonen, naftalin,  $\alpha$ -pinen, stiren, toluen gibi bileşikler iken Toplam UOB (TUOB) de en çok bildirilen derişimler arasında yer almaktadır. Ancak, literatürde TUOB belirlenmesi husunda bir görüş / uygulama birliği bulunmamaktadır. Avrupa Komisyonu kromatografik bir yöntemle belirlenen – belirlenemeyen tüm bileşiklerin toplam derişiminin toluen eşdeğeri olarak hesaplanması gerektiğini bildirmektedir. Ancak, genellikle kullanılan analitik yöntemle göre belirlenebilen belli sayıda bileşiğin derişimleri toplanmak suretiyle TUOB derişimi hesaplanmaktadır. Dolayısıyla, TUOB derişimlerinin karşılaştırılması pek de mümkün olmamaktadır.

UOB salımı yapan hem iç hem de dış kaynaklar bulunmaktadır. Dışarıda özellikle toluen ve benzen gibi bazı bileşiklerin önemli kaynakları (trafik, endüstri, vs.) vardır; ancak boya, ev ve kişisel bakım ürünleri, hobi malzemeleri, yapı ve dekorasyon malzemeleri, yapıştırıcı, toner, vb. kırtasiye malzemeleri gibi önemli iç kaynakları da bulunmaktadır [6, 14]. Binalar yeni iken kaynak şiddetinin yüksek olması sebebiyle, Kuzeye göre Güney Avrupa'da kaynaklardan buharlaşmanın sıcaklıkla artması sebebiyle [14], yaza göre kış mevsiminde sağlanan taze hava miktarının azalması sebebiyle, dış kaynakların etkisiyle yarı-kentsel ve kırsal alanlara göre şehir ve sanayi bölgelerinde derişimler daha yüksek bulunmaktadır [6, 14].

Literatür, genellikle iç hava derişimlerinin dış havaya göre daha yüksek olduğunu göstermektedir. Annesi-Maesano vd. [4] ortalama derişimlerin  $130 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 'e (en yüksek değer  $649 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) bulunduğunu bildirirken, de Gennaro ve arkadaşlarının [6] derlemesine göre TUOB Orta ve Güney Avrupa okullarında  $281 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 'e kadar ulaşmakta, Sarigannis vd. [14] derlemesinde yer alan okullardaki derişimler çok daha düşük kalmaktadır (maksimum, benzen,  $26 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Portekiz'de bir okulda görsel sanatlar dersinde yapıştırıcı ve boya kullanımı sırasında çok yüksek (13 ppm) bir derişim rapor edilmiştir; ki bu derişim eğer Hong Kong standardında kullanılmış olan çevrim [15] kullanılırsa  $30 \text{mg}/\text{m}^3$  değerine takabül eder ve ABD'de nem ve küf problemi olan bir okulda ölçülmüş olan  $23 \text{mg}/\text{m}^3$  [12] düzeyinden de yüksektir. Genel olarak, 1990'larda yayınlanmış çalışmalarda ortalama/ortanca TUOB derişimleri  $110$  ile  $3600 \mu\text{g}/\text{m}^3$  arasında değiştiği bildirilmiştir [12]. Son zamanlarda ise Portekiz ve Kore'de  $1000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 'e ulaşan ortalama ve  $2000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 'e yaklaşan en yüksek değerler rapor edilmiştir [16, 17]. Ülkemizde ise en yüksek ortalama derişimler sınıflar için  $111 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , anasınıfları için  $130 \mu\text{g}/\text{m}^3$  olarak bildirilmiştir [13]. Spesifik bileşikler için ölçülmüş olan derişimlere ülkemiz için yapılmış bir genel iç hava kalitesi derleme çalışmasından [18] ulaşılabilir ve TESKON İç Çevre Kalitesi Seminerlerinde yer alan bir bildiride Türkiye'deki okullarda yapılmış iç hava kalitesi çalışmalarının bir listesi bulunabilir [19].

### 3.2. Partikül Madde

İç hava kalitesi ile ilgili olarak aerodinamik çapı  $10 \mu\text{m}$ 'den,  $2,5 \mu\text{m}$ 'den,  $1 \mu\text{m}$ 'den ve  $100 \text{nm}$ 'den küçük partiküller, sırasıyla  $\text{PM}_{10}$ ,  $\text{PM}_{2,5}$ ,  $\text{PM}_1$  ve Ultra İnce Partiküller (UFP)'dir. Bunlar küçülen boyutla daha derinlere olmak üzere, solunum yollarında ilerleyebildiği için araştırılan havadaki uçsan toz parçacıklarıdır. PM dış hava için uzun süredir yapılan çalışmalarla insan sağlığına etkileri belirlenmiş hava kirleticilerinden birisidir. Bu partiküllerin oluşum mekanizmaları birbirinden farklıdır; dolayısıyla yapısal olarak içerikleri de fark etmektedir. Toksik elementler gibi yapılarında bulunabilecek tehlikeli maddelere ek olarak PM yüzeylerine adsorbe olan poliklorlu bifeniller, polibromlu difeniller gibi yarı-uçucu organik bileşikler de insan vücuduna taşıyabildikleri için sağlık açısından ayrıca bir öneme sahiptir.

Dış havada topraktan kalkan toz ve fosil yakıt yakan her türlü kaynak birer PM kaynağıdır. Bunlar içinde en kuvvetlileri kömür yakanlardır; ki, bunlar arasında termik santraller en yüksek miktarda salımı yapanlardır. Trafik, özellikle dizel motorlu araçlar diğer bir önemli kaynağı oluşturmaktadır; ki trafik şehirlerdeki en önemli kaynaktır. Trafikten özellikle PM<sub>2,5</sub> ve UFP emisyonu yüksektir [20]. İçerideki PM kaynakları tütün içilmesi, odun ve fosil yakıt yakılması, mum ve tütsü yakılması, yemek pişirilmesi (özellikle kızartma ve ızgara) olarak sıralanabilir. Bunların çoğu okullarda bulunan kaynaklar değildir. Okullar için önemli PM kaynakları arasında çocukların hareketleri sebebiyle geri havaya karışan çökelmiş toz ve okul bahçelerinden öğrenci bırakıp alan servis araçlarının egsozları sayılabilir. Bunlardan ilki özellikle PM<sub>10</sub>, ikincisi ise PM<sub>2,5</sub> ve UFP kaynağıdır [5, 20]. İç hava PM derişimleri genellikle dış havaya göre PM<sub>10</sub> için yüksek bulunurken diğer daha küçük boyutlardaki PM için pek farklı bulunmamaktadır. Yarı-kentsel ve kırsal alanlara göre kentsel alanlarda, yoğun trafiğe yakın okullarda, birim alana düşen öğrenci sayısının yüksek olduğu okullarda, şehirlerde yazın göre kış aylarında, kırsal alanda kışın göre yaz aylarında, temizliğin yeterince iyi yapılmadığı okullarda, ozon ve terpenler gibi iç hava kimyası tepkimelerinin olduğu yer ve okullarda daha yüksek bulunmuştur [6, 20-22].

Annesi-Maesano vd. [4] 33 ile 169 µg/m<sup>3</sup> arasında ortalama PM<sub>10</sub> derişimleri ölçüldüğünü bildirirken, Li ve Peng'in [20] bildirdiği ortalama derişimler batı ülkelerinde 13 ile 157 µg/m<sup>3</sup> arasında değişmekte, Hindistan'dan bir çalışma da ise 1181 µg/m<sup>3</sup> düzeyine ulaştığı belirtilmektedir. PM<sub>2,5</sub> içinse derişimlerin batı ülkelerinde 3,3 ile 88 µg/m<sup>3</sup> arasında, Hindistan ve Kore'de sırasıyla 71 ile 360 µg/m<sup>3</sup> [20] ve 48 ile 72 µg/m<sup>3</sup> arasında [4] olduğu bildirilmiştir. Ortalama UFP derişimleri 2,2×10<sup>3</sup> ile 25×10<sup>3</sup> partikül/cm<sup>3</sup> arasında değişirken yüksek derişimler yoğun trafiğe yakın veya havalandırma oranının düşük olduğu okullarda ölçülmüş, görsel sanatlar dersi sırasında (1,4×10<sup>5</sup> partikül/cm<sup>3</sup>) ve iç hava kimyası dolayısıyla deterjan kullanılarak temizlik yapıldığında derişimlerin çok daha yüksek düzeylere çıktığı belirtilmiştir [20].

### 3.3. Rutubet ve Biyoaerosol Kirleticileri: Küf, Bakteri, Alerjenler

Biyoaerosol kirleticileri, iç çevrelerde bulunabilecek canlılardan kaynaklanabilecek çok çeşitli kirleticileri içermektedir. Bunlar arasında virüsler, küfler, sporları ve mikotoksinleri, mantarlar ve glukanları, bakteriler ve endotoksinleri, toz akarı, ev hayvanları, haşere alerjenleri ve diğer alerjenler bulunmaktadır; ki genel ve alerji semptomları, soğuk algınlığına benzer semptomlar ve astım ile ilişkilendirilmişlerdir [12]. Ancak bu sağlık etkileri/belirtileri biyoaerosol kirleticilerinin varlığının bir göstergesi olan rutubetlilik ile de ilişkilendirilmiştir. Çünkü kaynak canlılar için en önemli iki gerekten biri olan su/nem rutubetli iç çevrelerde bol olarak bulunmaktadır. Nemin kaynağı (1) dışarıda olabilir: yağış veya toprak, (2) insanlar veya yemek pişirme, yıkanma, nemlendirme gibi aktiviteler, (3) inşaat sırasında su almış ve kurumaları için vakit olmamış bina malzemeleri ve (4) sıhhi tesisattan sızıntı olabilir [23]. Rutubet varlığının göstergeleri gözle görülebilir küf, nem lekeleri, pencere veya duvarlarda yoğunlaşma, geçmiş su basması, su hasarı ve koku olabilir; ki bunlar farklı kaynaklara işaret edebilirler [23]. Dolayısıyla, rutubet ile sağlık etkileri arasında ilişki kuran çalışmalar ilişkilendirme aracı olarak bu göstergeleri kullanmakta; dolaylı olarak belirlemeden biyoaerosol kirleticileri ile ilişki kurmaktadır.

Annesi-Maesano vd. [4] derlemesinde okullarda yapılan çalışmalarda 17000 (coloni forming units) CFU bakteri/m<sup>3</sup>, 18000 CFU küf/m<sup>3</sup> düzeylerine ulaşan derişimler ölçülürken, AB okullarında ortalama küf derişimi 320 CFU/m<sup>3</sup> iken 300 CFU/m<sup>3</sup> ile karşılaştırıldığında sınıfların %33'ünde konsantrasyonların standart değerden daha yüksek olduğunu bildirmiştir. Biyoaerosol kirleticilerine ev tozu yoluyla da maruz kalınabilmektedir. Yazarlar ayrıca, ev tozu küf derişimlerinin okullarda 45000 CFU/m<sup>3</sup> düzeyine kadar ulaşabildiğini bildirmiştir. Endotoksin derişimleri okullarda evlere göre daha yüksek bulunurken bunun kalabalık ile ilişkili olduğu ve Hollanda'da ortalama derişimlerin 6914 endotoksin unit (EU)/m<sup>2</sup>, Avustralya'da derişimlerin %95'inin 24570 EU/m<sup>2</sup> değerinin altında olduğu, dolayısıyla daha yüksek derişimlerin normal olmayan endotoksin kaynaklarına işaret edeceği belirtilmiştir [4]. Aynı derlemede, okullarda en çok kedi ve köpek alerjenleriyle karşılaşılmakta olduğu, bunları hamamböceği ve akar alerjenlerinin izlediği belirtilmektedir. Daha çok kreş ve anasınıflarında bulunan halı, yastık-yatak-perde gibi tekstil ürünleri ve açık rafların alerjenler için depo görevi gördüğü, evlerinde ev hayvanı olan çocukların okula taşımaları sonucu evlerinde hayvan olmayanların da okulda kedi ve köpek alerjenlerine maruz kaldığı bildirilmiştir. Uygulanan temizlik yöntemine göre alerjen derişimlerinin düşürülebildiği, hem kuru hem de ıslak temizleme yapılan okullarda bunlardan

sadece birisinin uygulandığı okullara göre derişimlerin daha düşük olduğu, hassasiyet için eşik değeri olarak kabul edilen 2 U/g Bla g 2 alerjeni derişiminin bir çalışmadaki okulların %65'inde aşıldığı bildirilmiştir [4].

### 3.4. Karbondioksit

CO<sub>2</sub> çok sayıda insanın bulunduğu iç çevrelerde, havalandırmanın insan kaynaklı emisyonları (CO<sub>2</sub> ve vücut kokusu) uzaklaştırma açısından yeterliliğinin bir göstergesi olarak kullanılagelmiş bir konfor değişkenidir. ASHRAE 62 havalandırma standardı kişi başına sağlanması gerekli taze havanın yanında CO<sub>2</sub>'in de rehber olarak alınabileceğini; sınıflar için önceden 1000 ppm değerinin kullanılabileceğini (1989) günümüzde ise dış hava derişimine 700 ppm eklenerek bulunacak değerin kullanılabileceğini belirtmektedir. Bunun yanında Britanya Eğitim Bakanlığının standardı (Building Bulletin 101) uzun bir ara verilmeden art arda yapılan dersler boyunca ortalama derişimin 1500 ppm'i, en yüksek değerin de 5000 ppm'i geçmemesi gerektiğini esas almaktadır. Bu değerlerin seçilmiş olması 5000 ppm düzeyine kadar CO<sub>2</sub>'e maruz kalmanın baş ağrısı vb. semptomlara yol açması, ciddi sağlık etkilerinin bu düzeyden başlayarak özellikle 20000 ppm üzerinde ortaya çıkıyor olması sebebiyledir [24]. Bununla birlikte, son yıllarda yapılan araştırmalar CO<sub>2</sub>'in de bir iç hava kirleticisi özelliklerine sahip olabileceğini göstermiştir. Satish vd. [25], daha önce yapılan küçük ölçekli bir çalışmanın sonuçlarından hareketle yaptıkları bir çalışmada, 600 ppm referans alındığında karar verme performansında 1000 ppm'de orta derecede ve istatistik olarak anlamlı bir azalma, 2500 ppm'de ise yüksek derecede ve istatistik olarak anlamlı bir düşme olduğu belirlemişlerdir.

Birim alana düşen öğrenci sayısı ve havalandırma oranına bağlı olarak değiştiği için literatürde geniş bir aralıkta değişkenlik gösteren CO<sub>2</sub> derişimleri bildirilmiştir. Literatür, sınıflarda derişimlerin 1000 ppm civarında veya biraz üzerinde olduğu, 2000-3000 ppm aralığında derişimlerle sıklıkla karşılaşıldığı ve 5000 ppm'e ulaşan derişimlerin de ölçüldüğünü göstermektedir [12]. Bazı AB ülkelerinin okullarında ortanca derişim yaklaşık 1500 ppm bulunmuş, ülkeler arasında sadece İsveç ve Norveç okullarında ortanca derişimin 1000 ppm seviyesinin altında bulunduğu görülmüştür [4].

### 3.5. Ana Kaynağı Dış Hava Olan Kirleticiler

Ana kaynağı dış hava olan bazı kirleticilerin iç hava derişimlerinin genel itibarla (özel bir iç kaynakları bulunmadığı sürece) ya dış havaya göre daha düşük ya da benzer düzeylerde olduğu ve dış hava ile benzer değişim eğilimleri gösterdiği bildirilmiştir. Bu kirleticiler, CO, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> ve SO<sub>2</sub> olarak sıralanabilir. CO derişimleri genellikle okulların iç havasında tespit edilememekte, ulaştığı en yüksek düzeyler de düşük değerlerde (3 ppm) kalmaktadır [4]. CO ve NO<sub>2</sub> derişimlerinin genellikle trafiğe yakın okullarda daha yüksek bulunduğu bildirilmektedir ve iç hava derişimlerinin dışarıya göre yüksek bulunduğu durumlar yemek pişirme ve sigara içimi gibi iç yanma kaynaklarıyla ilişkilendirilmiştir [6]. NO<sub>2</sub> için ölçülmüş en yüksek ve en düşük ortalama derişimler sırasıyla 92,5 ve 5 µg/m<sup>3</sup> olarak bildirilirken, en yüksek derişim olarak 250 µg/m<sup>3</sup> değerine rastlanmıştır [4]. SO<sub>2</sub> genelde okullarda ölçülmez veya az sayıda ölçüm yapılmış çalışmada düşük derişimler bildirilirken, Çin'de 61 - 641 µg/m<sup>3</sup> aralığında yüksek derişimler de rapor edilmiştir [4]. Ortalama O<sub>3</sub> derişimleri 5 – 81 µg/m<sup>3</sup> aralığında bulunmuş ve en yüksek derişim 192 µg/m<sup>3</sup> olarak bildirilmiştir [4].

## 4. OKUL İÇ HAVA KİRLETİCİLERİ VE SAĞLIK ETKİLERİ

Meija vd. [26] iç hava kirleticilerinin okul çağındaki çocuklar üzerindeki sağlık etkilerini maruziyeti dikkate alarak yaptıkları literatür derlemesinde epidemiyolojik çalışmaların okullardaki iç hava kalitesinin çocuklarda görülen sağlık etkilerini belirleyen ana faktörlerden biri olduğu sonucuna ulaşmıştır. Bu değerlendirmeye göre evdeki iç hava kalitesi de diğer bir ana faktördür. Ancak, ev ve okuldaki maruziyet ile ilişkili etkilerin birbirinden bağımsız olduğu yönünde deliller olduğu belirtilmiştir. Bu sonuç, her iki ana maruziyet kaynağının ayrı ayrı değerlendirilmesi gerekliliğini ortaya koymaktadır.



Çalışmalar yoğun trafiğe ve endüstriyel kaynaklara yakın okullardaki öğrenciler arasında hastalıkların daha yaygın olduğunu göstermektedir [4, 26]. Bunda, hem dış hem de iç hava kirleticilerinin rolü olduğu düşünülmektedir. İç hava kalitesi bir taraftan bu önemli dış kirletici kaynaklarından etkilenirken, içeride bulunan kirletici kaynakları ile beraber ekstra yüksek maruziyetler oluşturmaktadır. Çeşitli iç çevreler için yapılan çalışmalara göre dış havanın iç hava kirliliğine katkısı tek kaynağı dış hava olan kirleticiler için %100 düzeyinde olması beklenirken hem iç hem de dış kaynağı olan kirleticiler için % 13-20 (UOB) ve % 35-64 (PM<sub>2.5</sub>) düzeylerinde olduğu hesaplanmıştır [2]. Ayrıca, kirletici kaynaklarına mesafe açısından belirleyici değişkenlerden bir grubun sosyo-ekonomik olduğu düşünülmekte ve bu konudaki az sayıda yapılmış çalışmaya göre ailesinin geliri düşük olan çocukların maruziyetlerinin, dolayısıyla da, yaşadıkları sağlık etkilerinin daha fazla olduğu bildirilmektedir [26]. Ayrıca, bu durumun gelir düzeyi en üst düzeyde olan sosyal-eşitlikçi ülkelerde bile gözlenebildiği belirtilmektedir. Takip eden bölümlerde okullarda iç hava kirleticileriyle sağlık ilişkisi literatürde sıkça karşılaşılan tekil ya da grup kirleticiler bazında sunulmuştur.

#### 4.1 Uçucu Organik Bileşikler

Lee ve arkadaşlarının [21] derlemesine göre UOB maruziyetinin astım riskini artırdığı ve çocukların hayat boyu astım riski ile pozitif ilişkisi olduğu; benzen, toluen ve etilbenzenin diğer UOB'e göre çocukluk astımında daha büyük rol oynadığı bildirilmiştir. Ayrıca, biyoaerosol kirleticilerinin ürettiği (mikrobiyal) uçucu organik bileşikler (MUOB)'den 1-octen-3-ol ile alerjik rinit arasında güçlü bir bağlantı olduğu; okullardaki MUOB derişimleriyle çocuklarda solunum ve alerjik semptomlarının yaygınlığının ilişkilendirilebildiği; MUOB'in etkileri arasında üst solunum yolu tahrişi, hırıltı (wheezing) ve astım gelişiminin bulunduğu da bildirilmiştir. Mevcut astım riskinin, UOB derişimindeki her 10 µg/m<sup>3</sup> artış ile 1,3 kat arttığı; aromatik n-alkanlar, terpenler ve bütanollerin derişimiyle kronik semptomların yaygınlığı arasında ilişki olduğu bulunmuştur [4]. Hayat boyu astım ve egzema riskinin ise her 25 µg/m<sup>3</sup> artış ile sırasıyla 1,17 ve 1,02 kat arttığı bildirilmiştir [21]. Hasta bina sendromu semptomlarıyla ilişki bildirilmiş kirleticiler arasında UOB yer almaktadır [12]. Formaldehit ile çeşitli sağlık etkileri arasında ilişki bildirmiş olan birçok çalışma bulunmaktadır. Bu ilişkiler arasında gece nefes alıp-verme güçlüğü, burun tıkanıklığı, atopik olmayan çocuklarda yeni astım teşhisi ve rinit bulunmaktadır [4]. UOB içinde yer alan kanser yapıcı bileşiklerin bazı AB ülkeleri için risk değerlerinin hesaplandığı derlemenin [14] bulgularına göre seviyeler kabul edilebilir risk düzeyinin (milyonda bir) 10 ila 100 kat daha yüksek seviyelerdedir. Aynı derlemenin kronik-toksik sağlık etkileri için bildirdiği risk düzeyleri formaldehit hariç neredeyse ihmal edilebilir seviyelerdedir. Formaldehit içinse kronik-toksik risklerin dikkate alınması gerekli seviyelerde bulunduğu bilidilmiştir [14].

#### 4.2 Partikül Madde

Uzun süreli ölçümlerin değerlendirildiği epidemiyolojik çalışmalar dış hava PM ile kardiyovasküler ve göğüs hastalıkları ile ilintili olarak artan ölüm riski gibi çeşitli sağlık etkileri arasında ilişki kurmuş bulunmaktadır [2, 6, 27]. Son yıllarda elde edilen bulgular, etkiler arasına şeker hastalığını ve yüksek tansiyonu da eklemek üzeredir [28, 29]. Ancak, iç havadaki PM ile sağlık etkileri arasındaki ilişkileri inceleyen çalışmaların geçmişi ve düzeyi dış hava kadar uzun ve derinlemesine değildir [30]; bununla birlikte, kronik sağlık etkileri için baskın bir risk kaynağı olduğu gösterilmiştir [31]. Genel olarak, PM ile çocuk sağlığı arasındaki ilişkiler şöyle sıralanabilir: PM<sub>2.5</sub> ile astım, astimatik bronşit, geceleri hırıltı ve kuru öksürük, PM<sub>1</sub> ile atopik dermatit teşhisi olan çocuklarda deride kaşıntı, PM<sub>10</sub> ile astım [21]; PM<sub>2.5</sub> ile egzersiz sonucu astım, solunum yolu inflamasyonu, PM<sub>10</sub> ile düzenli gündüz ve gece öksürük, akciğer fonksiyonunda azalma [4]; UFP ile oksidatif stres ve akciğerlerde inflamasyon [22].

Lee ve arkadaşlarının [21] derlemesine göre PM<sub>2.5</sub> ve PM<sub>10</sub> için bildirilmiş risk oranları (odds ratio, OR) 0,93 ile 1,45 arasındadır. En yüksek OR değerleri, PM<sub>10</sub>'daki her 37 µg/m<sup>3</sup> artış ile 1,45 kat astım semptomlarının ortaya çıkması riskinde artış ve her 19 µg/m<sup>3</sup> artış ile 1,4 kat astımlı çocuklarda bronşit riski artışı için bulunmuştur. PM<sub>2.5</sub> içinse her 7,1 µg/m<sup>3</sup> artış ile 1,7 kat mevcut bronşit ve 1,5 kat mevcut hırıltı riski artışı ile astımı olan çocuklarda her 15 µg/m<sup>3</sup> artış ile 1,4 kat bronşit riskinde artış yayınlanmış en yüksek değerler (OR) olarak bildirilmiştir.

### 4.3. Biyoaerosol Kirleticileri ve Rutubet

Tipik olarak rutubetli ortamlarda bulunan biyolojik kirleticilerin sağlık etkileri konusunda çok sayıda çalışma bulunmaktadır [23, 32]. Mevcut bilgi düzeyi rutubetli iç çevreler ile çeşitli alt ve üst solunum yolu semptomları arasında hem yetişkinler hem de çocuklar düzeyinde ilişki olduğunu göstermektedir [2]. Bu ortamlarda tipik olarak karşılaşılan küf, bakteri ve diğer organizmalar ile de (hipersensitivite pnömonisi gibi) çeşitli sağlık etkileri arasında ilişki bulunduğu düşünülmektedir [2]. Ancak, bazı durumlar ve şartlarda verilerin sebep-sonuç ilişkisi kurmak için mevcut epidemiyolojik verilerin yetersiz kaldığı da düşünülmektedir. Bunlara örnek olarak, küf sporlarına yüksek derişimlerde kısa süreli maruziyetin etkileri, küfler ile sistemik etkiler, küf toksinleri ile alerjik olmayan etkiler, mantar gluklanlar ile solunum semptomları arasında literatürde bildirilen çalışmalar verilmiştir [2].

Küfler ve sporlarının hassas kişilerde alerjik reaksiyonlara yol açtığı ve burun akması, gözlerde sulanma, öksürme, hapşırma ve ateşlenme gibi semptomların gözlemlendiği [12], yüksek derişimlerde öğrenci ve öğretmenlerde semptom ve astım yaygınlığının arttığı, gece öksürük ve kalıcı öksürük riskinin arttığı bildirilmiştir [4]. Bakteriler de benzer şekilde mevcut astım riski ile ilişkilendirilmiştir [4]. Bakteriyel endotoksinlerin soğuk algınlığına benzer semptomlar ortaya çıkardığı da bildirilmiştir [12]. Okullarda en çok karşılaşılanlar olan kedi ve köpek alerjenlerinin yıl(lar) boyu süren semptomlar ve alerjik inflamasyon, mevcut astım, hırıltı, nefessiz kalma ile ilişkilendirildiği; diğer sık karşılaşılan alerjen olan hamamböceği alerjenlerinin ise bunlara karşı hassasiyet kazanmış astımlı çocuklar için önem taşıdığı; son olarak at alerjenlerinin nefessiz kalma, mevcut astım ve hırıltı ile ilişkili olduğu bildirilmiştir [4]. Yatak, yastık, perde vb. gelişme ortamlarının bulunduğu kreş ve anasınıflarında toz akarı alerjenlerinin de bulunduğu bilinmekte ve hassaslaşmış kişilerde astıma sebep olabildiği ve astım atağına yol açabildiği bildirilmiştir [12].

### 4.4. Ana Kaynağı Dış Hava Olan Kirleticiler

İç havaya göre genellikle dış havada daha yüksek derişimlerde bulunan dolayısıyla ana kaynağı dış hava olan kirleticilerden NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> ve SO<sub>2</sub> solunum yolu hastalıkları ve alerji ile ilişkilendirilmiştir. Annesi-Maesano ve arkadaşlarının derlemesine [4] göre iç havada NO<sub>2</sub>, mevcut astım, astım atağı, ve akciğer fonksiyonunda düşüş; O<sub>3</sub> gece nefessiz kalma atağı ve akciğer fonksiyonunda düşüş; SO<sub>2</sub> ise gece nefessiz kalma atağı ve egzersize bağlı astım ile ilişkilidir. Diğer yandan, Lee ve arkadaşlarının derlemesine [21] göre NO<sub>2</sub>, çocuklar arasında bronşit ve balgam yaygınlığını artıran en önemli faktör olup atopik dermatit, astım ve astım atağı, hırıltı, egzama ve öksürük ile ilişkilendirilmiştir. Aynı derlemede, benzer semptomlar ve astım ile O<sub>3</sub> ve SO<sub>2</sub>'in de ilişkilendirilmiş olduğu bildirilmiştir. Ayrıca, bu kirleticilerin bir arada bulunmalarını dikkate alan çalışmalarda, birinin diğerinin etki seviyesini yükseltebildiğinden de bahsedilmektedir [2].

NO<sub>2</sub> için bildirilen OR değerleri 0,87 – 2,1 aralığında yer alırken bunlardan en yüksekleri her 19 µg/m<sup>3</sup> artış ile astım yaygınlığı için 2,1 ve her 17 µg/m<sup>3</sup> artış ile astımlı çocuklarda bronşit yaygınlığı için 1,83'tür [21]. Aynı derlemede, O<sub>3</sub> içinse OR aralığı 0,79 – 1,54 olup en yüksekleri derişimdeki her 10 µg/m<sup>3</sup> artış ile astım yaygınlığı (1,54) ve hırıltı (1,37) için bildirilmiştir. OR aralığı SO<sub>2</sub> için de benzerdir (0,87 – 1,52) ve yüksek değerler, her 69 µg/m<sup>3</sup> artış ile mevcut astım riski için 1,52; her 5 µg/m<sup>3</sup> artış ile hayat boyu astım riski için 1,26; ve her 6,65 µg/m<sup>3</sup> artış ile maruziyetle aynı gün astımın ortaya çıkması için 1,23 olarak bildirilmiştir [21].

### 4.5. Havalandırma ve Bina ile İlgili Diğer Etmenler

ASHRAE Standard 62-1999 sınıflar için kişi başı minimum 8 L/s havalandırma hızı tavsiye ederken, 2013'de güncellenen versiyon 5 L/s tavsiye etmektedir. Ancak, güncel standart, tavsiye edilen havalandırma hızı ile beraber öğrenci başına düşen alanı da göz önüne alır (anaokulundan liseye kadar farklı yaş gruplarına göre 3 – 4 m<sup>2</sup>). Tipik bir Amerikan sınıfı için bu hız yaklaşık 3 ach havalandırma oranına karşılık gelmektedir [12]. Dolayısıyla, ülkemizdeki gibi sınıfların kalabalık olduğu durumlarda (1 – 1,5 m<sup>2</sup>/öğrenci) tavsiye edilen minimum havalandırma hızı sınıfta insan biyo-emisyonlarının ve kirleticilerin birikimini engellemekte kuvvetle muhtemel yetersiz kalacaktır. Kaldı ki, devlet okullarında mekanik havalandırma bulunmamakta doğal havalandırma mevsimsel değişkenlik

gösteren düzensiz bir şekilde kullanılmaktadır. ASHRAE 62-1999 standardının geçerli olduğu yıllarda mekanik havalandırma yapılan Amerikan okullarında tüm bina temel alındığında 4,5 – 31 L/s/kişi olarak bulunan havalandırma hızları sınıflar baz alındığında 1,6 L/s/kişi olarak bulunmuş; Danimarka'da ise 1,8 – 15,4 L/s/kişi aralığında ve ortalama 6,4 L/s/kişi olduğu bildirilmiştir [12]. Bazı AB ülkelerinin havalandırma standartları sınıflarda 3 ile 8 L/s arasında değişen havalandırma hızları uygulamakta iken EN15251-2007 AB standardı farklı sınıflamalar ile 4 – 10 L/s/kişi havalandırma hızları listelemektedir [33]. EN13779-2004 standardında listelenen 5 – 20 L/s/kişi havalandırma hızları, dış havanın 250 ile 1200 ppm üzerinde CO<sub>2</sub> derişimlerine karşılık gelirken, ASHRAE 62-2013 dış havanın 700 ppm üzerinde iç hava CO<sub>2</sub> derişimlerini esas almayı tavsiye etmektedir. Esas alınması tavsiye edilen bu CO<sub>2</sub> derişimleri, İngiliz okullarında uygulanan standart olan art arda uzun bir ara verilmeden yapılan dersler boyunca ortalama ve maksimum CO<sub>2</sub> derişimlerinin sırasıyla 1500 ppm ve 5000 ppm geçmemesini ve havalandırma hızının minimum 3 L/s/kişi olabileceğini söylemektedir (British Department of Education, Building Bulletin 101 – 2006).

Çeşitli kirlenici derişimlerinin yüksek olması sebebiyle düşük mekanik havalandırma hızlarında doğal havalandırma okullara göre üst solunum yollarında inflamasyon artışı görüldüğü; <0,68 ach havalandırma oranlarının mevcut astım, mukozada tahriş, baş dönmesi, el ve yüzde kaşıntı veya tahriş, boğazda kuruluk veya tahriş, gözlerde kuruluk, tahriş veya kaşıntı, baş ağrısı, burun akması, burunda kuruluk, tahriş veya tıkanıklık ile ilişkilendirildiği bildirilmiştir [4]. EUROVEN grubunun literatür değerlendirmesi [34] sonuçlarına göre havalandırma ile sağlık (inflamasyon, enfeksiyonlar, astım, alerji ve hastalık izni) arasında kuvvetli bir bağ bulunmakta; ofislerde 25 L/s/kişi değerinden daha düşük havalandırma hızlarında hasta bina sendromu (HBS) semptomları riski artmakta; >0,5 ACH havalandırma oranları Nordic ülkeleri evlerinde toz akarı istilasını derecesini düşürmekte dolayısıyla daha düşük havalandırma oranları alerjileri şiddetlendirebilmekte; doğal ve mekanik havalandırma binalara göre hava şartlandırma (air conditioning) bulunan binalarda HBS riski yükselmekte (çalışmalar genel itibarla geçiş ve soğuk sezonlarda yapıldığı için sıcak sezonlarda hava şartlandırmanın termal faydaları dikkate alınmamış); HVAC sistemlerinin uygun olmayan tasarım, bakım ve işletimi HBS semptom riskini artırmakta; insan kaynaklı biyo-emisyonlardanansa kirlenici kaynaklarının önemli olduğu dolayısıyla havalandırma hızı tasarımından önce kaynak kontrolü gereklidir.

Havalandırma (insan biyo-emisyonları açısından) etkinliğinin göstergesi olan CO<sub>2</sub> derişimi ile sağlık etkileri arasında ilişki kurmuş çalışmalar vardır. Renovasyon ile CO<sub>2</sub> derişimini <1000 ppm seviyesinde tutan havalandırma hızında genel sağlık semptomlarında anlamlı bir azalma görülmüş; CO<sub>2</sub> düzeyleri ile astım atağı, astım ilacı kullanımı, mevcut astım, rinit ve gece kuru öksürük ile ilişki olduğu bildirilmiştir: CO<sub>2</sub> derişimindeki her 100 ppm artış ile astım atağı, astım ilacı kullanımı ve mevcut astım riski sırasıyla 1,18; 1,15 ve 1,18 kat artmıştır [4].

Bina içinde kullanılan malzemelerin de sağlığa etkileri vardır. Plastik yer döşemesi ile teşhisi konmuş alerjiler arasında (OR=1,33), öğretmenlerde kronik semptomlar ile duvardan duvara halı döşemesi arasında, sınıfta rafların bulunması ile mevcut astım arasında (OR=1,4), temizlik sıklığı ve kullanılan temizlik malzemeleri ile öğrenci ve öğretmen sağlığı arasında ilişki bulunduğu bildirilmiştir [4]. Ayrıca, kırsal okulların sınıflarında iç hava kirlenici (NO<sub>2</sub>, PM<sub>2.5</sub>, formaldehit ve asetaldehit) derişimlerinin şehirlerde bulunan okullara göre altı katına kadar daha yüksek olabildiği, bununla birlikte, kırsal okul öğrencileri arasında astım ve alerji yaygınlığının kentsel okul öğrencilere göre daha az yaygın olduğu belirtilmiştir [4].

## 5. İÇ HAVA KALİTESİ – OKULA DEVAM VE AKADEMİK BAŞARI

Mendell ve Heath'in 2005 yılında yayınladıkları ilgili literatürü kritik ederek yaptıkları derleme [1] çok kaliteli veri bulunmamasına rağmen mevcut bulguların Amerikan okullarında yaygın olarak karşılaşılan iç çevre şartlarında okul çocuklarını sağlığını ve akademik performansını etkilediğine işaret eden deliller olduğu sonucuna ulaşmıştır. Bu delillerden kuvvetli olanlar, yüksek iç hava NO<sub>2</sub> derişimlerinin çocukların okula devamını düşürdüğüne işaret edenlerdir. Diğer deliller ise düşük dış hava havalandırma hızları ile başarının düşüşüne işaret etmektedir.

Mendell ve Heath [1] ek olarak, bina-içi kaynaklardan yayılan biyoerosol kirleticileri ve kimyasal kirleticilere maruziyet, rutubet gibi bina özellikleri ve dış hava (ve muhtemelen iç hava) kirleticilerine maruziyet ile okula devamı azaltan solunum yolu enfeksiyonları, astım, alt solunum yolu semptomları ve alerji arasında ilişki olduğunu gösteren geniş bir literatür olduğu sonucuna ulaşmıştır. Bu derlemede bildirildiğine göre alerjik rinit ile başarı ve devamda azalma arasında doğrudan ilişki bulunduğu; alerjik alveolit, atopi, akciğer inflamasyonu ve birçok solunum semptomu ile çeşitli iç hava kirleticileri arasında ilişki olduğu dolayısıyla başarı ve devamda azalmaya muhtemelen yol açtığı ancak konunun çok az incelenmiş olduğu sonuçlarına ulaşmıştır.

Başka araştırmacılar tarafından okula devam ile CO<sub>2</sub> ve O<sub>3</sub> derişimleri ve sıcaklık arasında ilişki bulunmuş olduğu Annesi-Maesano vd. [4] tarafından bildirilmiştir. Satish vd. [25] yaptıkları deneylerde 600 ppm CO<sub>2</sub> derişimi referans olarak alındığında, 1000 ppm'de karar verme performansında orta derecede anlamlı bir azalma, 2500 ppm'de ise yüksek derecede anlamlı bir azalma olduğunu belirlemişlerdir. Literatürde yer alan diğer çalışmalar da, iç hava kalitesinin hafıza ve odaklanmayı [35] ve hata yapma oranını [36] etkilediğini göstermektedir. Daisey ve arkadaşlarının [12] aktardığına göre <1500 ppm derişimleriyle karşılaştırıldığında yüksek CO<sub>2</sub> derişimleriyle (1500-4000 ppm) baş ağrısı, baş dönmesi, başta ağırlık, yorgunluk, odaklanmada zorluk ve rahatsız eden koku arasında anlamlı ilişki bulunmuştur. Ayrıca, yüksek CO<sub>2</sub> derişimlerinde üst solunum yollarında tahrişin de daha yüksek olduğu görülmüş ancak istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır. Ancak, yüksek CO<sub>2</sub> derişimlerinde test başarısında düşme görüldüğü bildirilmiştir.

## 6. SONUÇ

İç hava kalitesi ve sağlık etkileri ile ilgili derlemelerdeki bilgilerin derlendiği bu çalışmada, okul iç hava kirletici derişimleri, kirleticilerin sağlığa, okul başarısı ve devamına etkisi konuları ele alınmıştır. Literatür okul iç hava kirletici derişimlerinin bir çok etmene bağlı olarak değişkenlik gösterdiğini, farklı coğrafi konularda, ana dış hava kirletici kaynaklarına farklı mesafelerde, farklı iç kirletici kaynakları ve şiddetlerinde, farklı havalandırma mekanizmalarında, çeşitli ülkelerde çeşitli düzeylerin ölçülmüş olduğunu göstermiştir. Hem semptom hem de hastalık düzeylerinde birçok kirletici ile sağlık etkileri arasında ilişkiler bulunduğu görülmüştür. İlişki olduğu belirlenmiş sağlık etkileri arasında alerji, astım, genel ve alerji semptomları, diğer solunum yolu semptomları en sık rastlananlar olarak yer alırken, bu ilişkilerin okula devamda azalmaya ve okul başarısında düşüşe yol açabildiği bildirilmiştir. Kirletici derişimlerinin düşürülmesi için kaynak kontrolü ve havalandırma ana çözümler olarak belirtilmiştir. Havalandırma için uygun/doğru tasarım, bakım ve işletimin esas olduğu vurgulanmıştır. Sonuç olarak ülkemizde çocukların sağlığını korumak için okullarda maruziyet temelli iç hava kalitesi ve/veya havalandırma standartları, kirlilik önleyici / azaltıcı uygulamalar vb. iç hava kalitesi yönetimi araçlarına ihtiyaç duyulmaktadır.

## KAYNAKLAR

- [1] MENDELL, M.J., HEATH, G.A., "Do indoor pollutants and thermal conditions in schools influence student performance? A critical review of the literature". *Indoor Air*, 15, 27-52, 2005.
- [2] MITCHELL, C.S., vd., "Current state of the science: Health effects and indoor environmental quality". *Environmental Health Perspectives*, 115, 958-964, 2007.
- [3] WESCHLER, C.J., "Chemistry in indoor environments: 20 years of research". *Indoor Air*, 21, 205-218, 2011.
- [4] ANNESI-MAESANO, I., vd., "INDOOR AIR QUALITY AND SOURCES IN SCHOOLS AND RELATED HEALTH EFFECTS". *Journal of Toxicology and Environmental Health-Part B-Critical Reviews*, 16, 491-550, 2013.
- [5] GODISH, T., "Indoor Environmental Quality". Boca Raton, FL: CRC Press LLC. 2001.
- [6] DE GENNARO, G., vd., "Indoor air quality in schools". *Environmental Chemistry Letters*, 12, 467-482, 2014.



- [7] FERREIRA, A.M., CARDOSO, S.M., "Exploratory study of air quality in elementary schools, Coimbra, Portugal". *Rev Saude Publica*, 47, 1059-68, 2013.
- [8] ELBAYOUMI, M., RAMLI, N.A., MD YUSOF, N.F.F., AL MADHOUN, W., "Spatial and seasonal variation of particulate matter (PM10 and PM2.5) in Middle Eastern classrooms". *Atmospheric Environment*, 80, 389-397, 2013.
- [9] SOHN, J., YANG, W., KIM, J., SON, B., PARK, J., "Indoor air quality investigation according to age of the school buildings in Korea". *J Environ Manage*, 90, 348-54, 2009.
- [10] WALLNER, P., vd., "Indoor air in schools and lung function of Austrian school children". *J Environ Monit*, 14, 1976-82, 2012.
- [11] POULHET, G., vd., "Investigation of formaldehyde sources in French schools using a passive flux sampler". *Building and Environment*, 71, 111-120, 2014.
- [12] DAISEY, J.M., ANGELL, W.J., APTE, M.G., "Indoor air quality, ventilation and health symptoms in schools: an analysis of existing information". *Indoor Air*, 13, 53-64, 2003.
- [13] SOFUOGLU, S.C., ASLAN, G., INAL, F., SOFUOGLU, A., "An assessment of indoor air concentrations and health risks of volatile organic compounds in three primary schools". *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 214, 38-46, 2011.
- [14] SARIGIANNIS, D.A., KARAKITSIOS, S.P., GOTTI, A., LIAKOS, I.L., KATSOYIANNIS, A., "Exposure to major volatile organic compounds and carbonyls in European indoor environments and associated health risk". *Environment International*, 37, 743-765, 2011.
- [15] UGRANLI, T., TOPRAK, M., GURSOY, G., CIMRIN, A.H., SOFUOGLU, S.C., "Indoor environmental quality in chemistry and chemical engineering laboratories at Izmir Institute of Technology". *Atmospheric Pollution Research*, 6, 147-153, 2015.
- [16] PEGAS, P.N., vd., "Indoor and outdoor characterisation of organic and inorganic compounds in city centre and suburban elementary schools of Aveiro, Portugal". *Atmospheric Environment*, 55, 80-89, 2012.
- [17] YOON, C., LEE, K., PARK, D., "Indoor air quality differences between urban and rural preschools in Korea". *Environ Sci Pollut Res Int*, 18, 333-45, 2011.
- [18] GÜLLÜ, G., "Türkiye'de İç Ortam Hava Kirliliği Çalışmaları". *Hava Kirliliği Araştırmaları Dergisi*, 2, 146 – 158, 2013.
- [19] İÇ ÇEVRE KALİTESİ ÇALIŞMA GRUBU. "Okullarda İç Hava Kalitesi Eğitimi: Pilot Çalışma İzmir", 12. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, Okullarda İç Çevre Kalitesi Semineri, İzmir, 2015.
- [20] LIN, C.C., PENG, C.K., "Characterization of Indoor PM10, PM2.5, and Ultrafine Particles in Elementary School Classrooms: A Review". *Environmental Engineering Science*, 27, 915-922, 2010.
- [21] LEE, J.Y., LEE, S.B., BAE, G.N., "A review of the association between air pollutant exposure and allergic diseases in children". *Atmospheric Pollution Research*, 5, 616-629, 2014.
- [22] WEICHENTHAL, S., DUFRESNE, A., INFANTE-RIVARD, C., "Indoor ultrafine particles and childhood asthma: exploring a potential public health concern". *Indoor Air*, 17, 81-91, 2007.
- [23] BORNEHAG, C.G., vd., "Dampness in buildings and health - Nordic interdisciplinary review of the scientific evidence on associations between exposure to "dampness" in buildings and health effects (NORDDAMP)". *Indoor Air-International Journal of Indoor Air Quality and Climate*, 11, 72-86, 2001.
- [24] TOKSOY, M., SOFUOGLU, S.C., EKREN, O., UFUKTEPE, E., VARLIK, N. "Sınıflarda Havalandırma Debininin Belirlenmesi", 12. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, Okullarda İç Çevre Kalitesi Semineri, İzmir, 2015.
- [25] SATISH, U., vd., "Is CO2 an indoor pollutant? Direct effects of low-to-moderate CO2 concentrations on human decision-making performance". *Environ Health Perspect*, 120, 1671-7, 2012.
- [26] MEJIA, J.F., CHOY, S.L., MENGERSEN, K., MORAWSKA, L., "Methodology for assessing exposure and impacts of air pollutants in school children: Data collection, analysis and health effects - A literature review". *Atmospheric Environment*, 45, 813-823, 2011.
- [27] CESARONI, G., vd., "Long term exposure to ambient air pollution and incidence of acute coronary events: prospective cohort study and meta-analysis in 11 European cohorts from the ESCAPE Project". *BMJ*, 348, f7412, 2014.
- [28] FUKS, K., vd., "Long-term urban particulate air pollution, traffic noise, and arterial blood pressure". *Environ Health Perspect*, 119, 1706-11, 2011.
- [29] TAMAYO, T., vd., "Is particle pollution in outdoor air associated with metabolic control in type 2 diabetes?". *PLoS One*, 9, e91639, 2014.



- [30] JONES, A.P., "Indoor air quality and health". Atmospheric Environment, 33, 4535-4564, 1999.
- [31] FISK, W.J., "Health benefits of particle filtration". Indoor Air, 23, 357-368, 2013.
- [32] BORNEHAG, C.G., vd., "Dampness in buildings as a risk factor for health effects, EUROEXPO: a multidisciplinary review of the literature (1998-2000) on dampness and mite exposure in buildings and health effects". Indoor Air, 14, 243-57, 2004.
- [33] IANNIELLA, E., "Ventilation systems and IAQ in school buildings". REHVA Journal, March, 26-29, 2011.
- [34] WARGOCKI, P., vd., "Ventilation and health in non-industrial indoor environments: report from a European Multidisciplinary Scientific Consensus Meeting (EUROVEN)". Indoor Air, 12, 113-128, 2002.
- [35] BAKÓ-BIRÓ, Z., CLEMENTS-CROOME, D.J., KOCHHAR, N., AWBI, H.B., WILLIAMS, M.J., "Ventilation rates in schools and pupils' performance". Building and Environment, 48, 215-223, 2012.
- [36] TWARDELLA, D., vd., "Effect of classroom air quality on students' concentration: results of a cluster-randomized cross-over experimental study". Indoor Air, 22, 378-87, 2012.

## ÖZGEÇMİŞ

### Sait C. SOFUOĞLU

DEÜ Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü'den mezun oldu. İTÜ Çevre Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak iki yıl çalıştı. Öğrenimine ABD'de devam edip yüksek lisans ve doktorasını Illinois Institute of Technology'den aldı. İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Kimya Mühendisliği bölümünde Prof.Dr. unvanı ile çalışan SC Sofuoğlu bina-içi hava kirliliği, hava kirliliği ve maruziyet ve risk değerlendirmesi konularında araştırmalar yapmakta ve bu konularda dersler vermektedir.