

KONUTLARDA İÇ HAVA KALİTESİ İLE İLGİLİ ÖLÇÜM SONUÇLARININ ANALİZİ

Hüsamettin BULUT

ÖZET

İç hava kalitesinin insanların sağlığı ve verimi ile doğrudan ilişkisi nedeniyle günümüzde önemi artmaktadır. Bu bakımdan temel yaşam alanı olan konutlardaki iç hava kalitesinin durumunun tespit edilmesi son derece önemlidir. Bu çalışmada, Şanlıurfa'da merkezi kalorifer sistemi ile ısıtılması sağlanan ve doğal havalandırmalı bir konutta iç hava kalitesi ölçümleri yapılmıştır. İç hava kalitesi parametreleri olarak, sıcaklık, bağıl nem, CO₂ ve partikül madde (PM₁, PM_{2.5}, PM₇, PM₁₀ ve toplam asılı PM- TSP) miktarları ölçülmüştür. Dış ortam havası için de aynı parametreler eş zamanlı olarak ölçülerek iç ve dış ortam havası arasındaki ilişki araştırılmıştır. Ölçülen iç hava kalitesi parametreleri, değişik ülkelerin standartlarında verilen değerlerle karşılaştırılmıştır. Ayrıca ısı konfor açısından iç ortamın durumu değerlendirilmiştir.

1. GİRİŞ

Günümüzde insanlar daha fazla kapalı ortamlarda bulunmaktadır. İnsanların en fazla zaman geçirdiği kapalı ortamlardan biri de temel yaşam alanı olan konutlardır. İnsan doğası yapısı bulunduğu ortamın ve soluduğu havanın temiz ve sağlıklı olmasını ister. Fakat günümüzde kapalı ortamları ve havasını kirleten birçok kaynak mevcuttur. Bu durum, insanların yaşadığı ortamların konfor açısından ısı şartları sağlamasına karşılık, bina ve iç hava kalitesi ile ilgili şikâyetleri ve sorunları ortaya çıkarmaktadır. İç hava kalitesi ile ilgili olarak Tight Building Syndrom -TBS (Kapalı Bina Sendromu), Sick Building Syndrom-SBS (Hasta Bina Sendromu) ve Building Related illness-BRI (Bina Bağlantılı Hastalıklar) olarak adlandırılan sağlık problemleri belirlenmiştir [1, 2]. Yapılan birçok araştırmada iç ortamdaki kirlenmelerin seviyesi, dış ortama göre daha yüksek olduğu görülmüştür [3]. İnsanların zamanlarının %90 gibi büyük bir kısmını iç hacimlerde geçirdiği ve bu hacimlerdeki kirlenmelerin ortamdaki uzaklaştırılmadığı dikkate alınırsa iç hava kalitesinin neden önemli ve dikkat edilmesi gereken bir konu olduğu ortaya çıkar.

Günümüzde sıcaklık ve nem gibi değerlerin kontrol edildiği "konfor" ile birlikte, iç hava kalitesinin de kontrol edildiği "sağlık" daha önemli olmaktadır. İç hava kalitesi, iç ortam havasının temizliği ile ilgili olup karmaşık bir yapıya sahiptir. İç hava kalitesi havadaki, insanın rahatlık ve sağlığını etkileyen ısı olmayan tüm noktaları kapsar [2]. İnsanların içinde bulunduğu havadan farklı beklentileri olduğu ve farklı algılamalarından dolayı, iç hava kalitesi için kesin sınırlar çizmek veya tanımlamak zordur. Bundan dolayı, "kabul edilebilir iç hava kalitesi" terimi ortaya çıkmıştır. ASHRAE 62-1989 ve 2001 Standardında kabul edilebilir iç hava kalitesi " İçinde, bilinen kirlenmelerin, yetkili kuruluşlar tarafından belirlenmiş zararlı konsantrasyonlar seviyelerinde bulunmadığı ve bu hava içinde bulunan insanların %80 veya daha üzerindeki oranın havanın kalitesiyle ilgili herhangi bir memnuniyetsizlik hissetmediği havadır" olarak açıklanmaktadır [4, 5].

İç hava kalitesi kavramı, 1980 yılından sonra ortaya çıkmıştır. Konu ile ilgili yurt dışı çalışmalar çok olmasına rağmen, konunun Türkiye'de yeni olmasından ve çok önem verilmemesinden dolayı yapılan çalışmalar sınırlıdır. Buna rağmen ülkemizde iç hava kalitesi ile ilgili değerli çalışmalar vardır [6-18]. Fakat değişik ortamlar için iç hava kalitesi ölçümü ile ilgili çalışmalar çok azdır [19-23].

Konutlarda da iç hava kalitesi sakinlerin temel problemlerinden biri olmaktadır. İç hava kalitesinin insanların sağlığı ve verimi ile doğrudan ilişkisi nedeniyle günümüzde önemi artmaktadır. Bu bakımdan temel yaşam alanı olan konutlardaki iç hava kalitesinin durumunun tespit edilmesi son derece önemlidir. Bu çalışmada, Şanlıurfa'da merkezi kalorifer sistemi ile ısıtılması sağlanan ve doğal havalandırılmalı bir konutta iç hava kalitesi ile ilgili ölçümler yapılmış ve sonuçlar tartışılmıştır.

2. MATERYAL VE METOD

İç hava kalitesini bozan kirleticiler iç ortam ve dış ortam kaynaklıdır. İç ortam kirlilik kaynaklarının başında insan gelmektedir. Bunun yanında iç ortamda bulunan halılar, mobilyalar, temizlik için kullanılan maddeler, sigara dumanı, soba dumanı ve çeşitli amaçlar için kullanılan alet ve cihazlar diğer iç kirleticilerdir. Dış ortam kirleticileri ise atmosfer havasındaki tozlar, polenler, araba egzozları ve endüstriyel kaynaklı havaya atılan kirleticiler olabilir. Dış ortam havasında bulunan kirleticiler, içeri verilen dış hava veya içeri sızan dış hava ile iç hava kalitesini olumsuz etkilerler. Sonuçta iç hava kalitesi düşük olan ortamlarda kirleticilere maruz kalan kişiler, alerji, enfeksiyon, zehirlenme ve yorgunluk gibi çeşitli sağlık problemleri ve rahatsızlıklar yaşarlar.

İç hava kalitesinin durumu ve değerlendirilmesi ile ilgili çalışmalarda genellikle, sıcaklık, bağıl nem, hava hızı, karbondioksit (CO_2), solunabilir asılı partikül madde (PM), uçucu organik bileşikler (VOC), azot oksitler (NO_x), karbonmonoksit (CO), ozon (O_3), kükürtdioksit (SO_2), radon, formaldehitler (HCHO), bakteri sayımı gibi parametrelerin ölçümleri yapılmaktadır [24-28]. Bu çalışmada, iç hava kalitesi parametreleri olarak, sıcaklık, bağıl nem, CO_2 ve partikül madde (PM1, PM2.5, PM7, PM10 ve Toplam asılı PM-TSP) miktarları ölçülmüştür. Dış ortam havası için de aynı parametreler eş zamanlı olarak ölçülmüştür. Ölçümlerde kullanılan cihazlar şekil 1'de verilmiştir. Ölçümler Şanlıurfa il merkezinde bulunan katı yakıtlı merkezi kalorifer sistem ile ısıtılması sağlanan bir apartmanın 3. katında bulunan 100 m²'lik bir konutta alınmıştır. Apartman, ana caddeden 2 blok ötede ve bulunduğu sokak az düzeyde trafik yoğunluğuna sahiptir. Konut doğal havalandırılmalıdır. Konutun pencereleri tek camlı ve ahşaptır. Tablo1'de ölçüm alınan odaların özellikleri verilmektedir.



Partikül Madde Ölçer
(Met One Aerocet 531.)



CO_2 Ölçer
(Testo 535)



Sıcaklık-Nem Ölçer
(Impac Tastotherm-Hum RP 2)

Şekil 1. Çalışmada kullanılan ölçüm cihazları

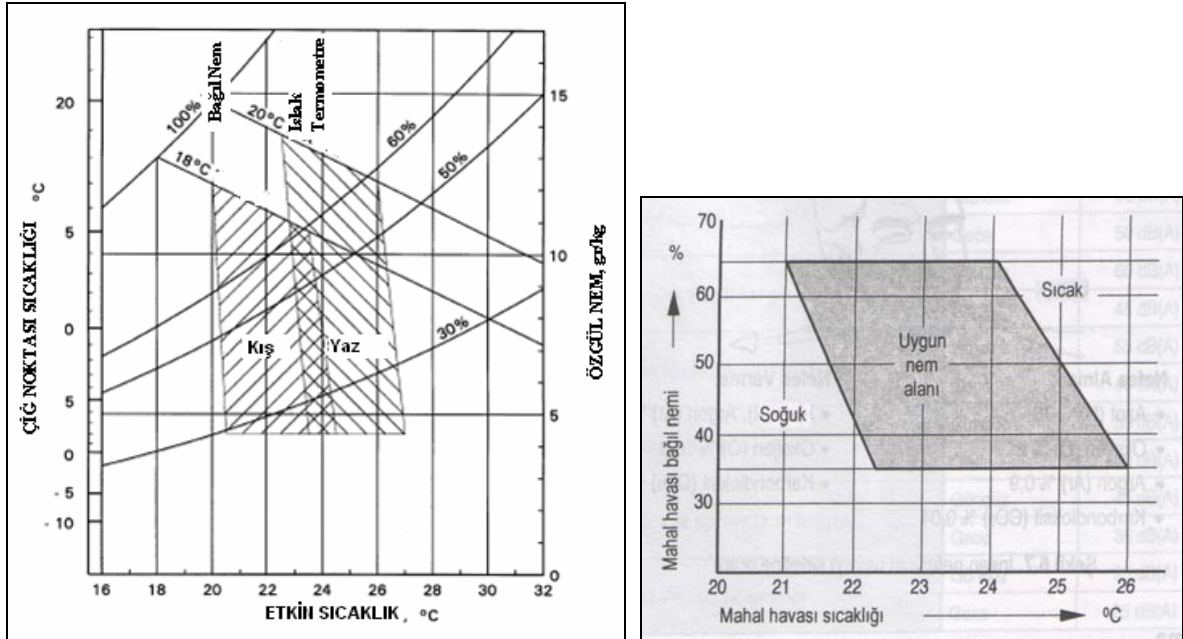
Tablo 1. Ölçüm alınan mahallerin özellikleri

Mahal	Kişi sayısı, n	Alan [m ²]	Özellikler
Oturma odası	5	16	Yerler tamamen halı ile kaplı, oturma takımı ve televizyon var, Yemekler odada yeniliyor, sigara içilmiyor. Balkon var. İki duvarında da pencere var.
Misafir odası	1	15	Koltuk takımı var, bilgisayar var. Sigara içilmiyor. Balkon var. İki duvarında da pencere var.
Mutfak	1	8	Ocak, buzdolabı, bulaşık ve çamaşır makinası var. Yerler tam olarak serili değil. Kapısı ölçüm alınan iki odayı da görmüyor.

2.1. İç Hava Kalitesi Parametreleri

2.1.1. Hava Sıcaklığı ve Bağıl Nem

İç ortam sıcaklığı ve nemi, ısıl konforun en önemli parametrelerindendir. İnsan ancak belirli sıcaklık ve bağıl nem değerlerinde kendisini konforlu hisseder. Normalin üzerindeki nemli ve sıcak hava, sıkıntı veren havadır. Düşük nemde ise burun ve ağızda kuruluk olur ve vücut hızla su kaybettiğinden, sık sık su içme ihtiyacı hisseder. Sıcaklık ve nem birbirinden ayrı düşünülmeyişi için sıcaklık ve bağıl neme göre konfor bölgeleri verilmiştir [29, 30]. Yaz şartlarında iç hava sıcaklığı daha çok dış sıcaklığa göre seçilmesine rağmen, kış aylarında iç ortam tasarım sıcaklığı ortamın kullanım amacı ve tipine göre de belirlenmektedir. İç ortam sıcaklığı değişik ortamlar için 15-26 °C ve iç ortam bağıl nemi ise %30 ile %70 arasında önerilmektedir [2, 29-33]. Bu çalışmada, hava sıcaklığı (T) ve bağıl nem (BN) el tipi bir sıcaklık-nem ölçeği ile ölçülmüştür (Şekil 1).

**Şekil 2.** Hava sıcaklığı ve neme göre konfor bölgeleri [29,30]

2.1. 2. CO₂ Miktarı

CO₂ iç hava kalitesini kontrol etmek için önerilen önemli bir iç hava kirleticisidir. Normalde atmosfer havasının hacimsel olarak %0.03'ü CO₂'dir. Dış ortam havasında bulunan CO₂, çevre özelliklerine göre 330 ile 500 ppm arasındadır. Dolayısıyla iç ortamda CO₂' in olmaması mümkün değildir.

İnsanlar nefes alıp vermeleri ile iç ortama CO₂ verirler. Normal bir iş ile uğraşan bir insan saate 20 litre (0.02 m³) CO₂ üretir [2]. Bu yüzden iç ortamda havalandırma yapılmazsa insan sayısı artıkça, CO₂ derişimi artar. 1000 ppm CO₂ konsantrasyonu iç hava kalitesi için temel kabul edilmektedir [2, 4]. Eğer CO₂ miktarı bu seviyeden düşük ise iç ortamdaki hava, kabul edilebilir iç hava kalitesindedir. 1000 ppm CO₂ miktarı, Pettenkofer sayısı olarak da bilinmektedir [2]. Kabul edilebilir iç hava kalitesi oluşturmak için CO₂ hissedicileri havalandırma sistemleri ile kullanılarak, gerekli temiz dış hava iç ortama sevk edilmektedir.

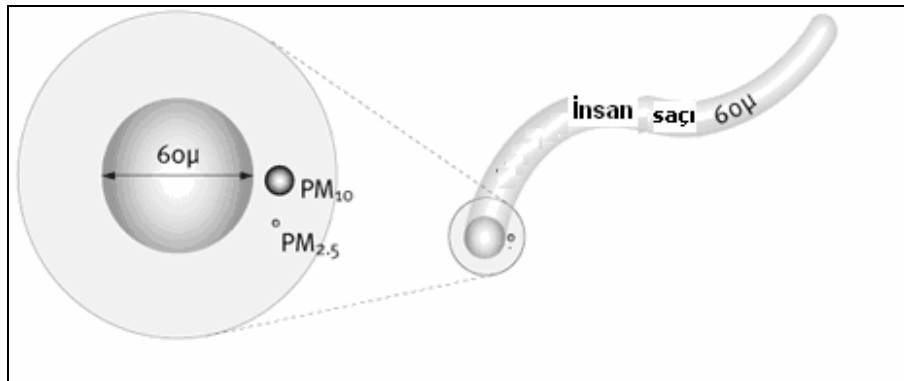
CO₂ zehirli bir gaz değildir fakat oksijensizlikten boğma tehlikesi ortaya çıkarabilir. Konsantrasyon değeri 35000 ppm'i geçtiğinde, merkezi nefes sinir alıcıları tetiklenir ve nefes alma noksanlığına sebep olur. Daha yüksek konsantrasyonlarda oksijen azlığından dolayı merkezi sinir sistemi görevini yapamamaya başlar. Ofis binaları ve okullar gibi endüstriyel olmayan çevrelerde CO₂ konsantrasyonu sakinlerin yoğunluğu, havalandırmanın dağıtılma şekline ve oturlan ortama dışardan sağlanan dış hava miktarına bağlı olarak 400 ile 1500 ppm arasında ölçülmesi beklenir [34]. Bu çalışmada CO₂ miktarı el tipi CO₂ ölçer cihazı ile ölçülmüştür (Şekil 1).

2.1. 3. Partikül Madde

Partikül madde, insanların nefes almakla içine alabileceği kadar küçük olan geniş bir aralıkta havada bulunan maddeciklerin genel adıdır. İç ortam havasında bulunan partikül maddelere maruz kalma öksürük ve hırıltı gibi solunum semptomlarına sebep olabilir. Partikül madde PM olarak kısaltılarak ifade edilir. İnsan sağlığı ile ilgili partiküller çapı 10 μm (PM10)'den daha küçük, özellikle 2.5 μm (PM2.5)'den küçük olanlar solunabilir partiküller olarak bilinirler. İnce partiküller, akciğerin iç kısımlarına kadar ilerleye bildiklerinden, insan sağlığına büyük tehdit oluştururlar.

Hava kirleticileri, partikül ve gazlar olmak üzere iki ana sınıfa ayrılabilirler. Partikül sınıfı gözle görülebilecek kadar büyük tozlardan bir çok filtreden geçebilecek mikroskobik partiküle kadar çok geniş aralıkta partikül boyutlarını kapsar. Partiküller katı veya sıvı olabilirler.

İnsan saçının ortalama boyutu 60 μm 'dir. Şekil 3'te partikül maddelerin boyutları insan saçına göre kıyaslanarak gösterilmiştir.



Şekil 3. Partikül maddelerin insan saçına göre boyutları

İç ortam partikül madde konsantrasyonları, iç ortam kirletici kaynakları, bina malzemeleri, insan davranışları ve aktiviteleri, havalandırma ve partikül boyut dağılımı gibi bir çok faktörden meydana gelen kompleks bir kombinasyondur [35]. İç ortam partikül konsantrasyonları iç ve dış kirlilik kaynaklardan ortaya çıktığı kabul edilir. Bununla birlikte her iki kaynak hava değişim oranı, dış hava kirliliği, iç ortamdaki aktivite tipi ve partikülün çapı gibi birçok değişkene bağlıdır [36].

Partiküller, tozlar, dumanlar, sis, dumanlı sis, virüs, bakteri, mantar sporları ve polenleri içeren bioaerosoller, kaba, ince, görünebilir veya görünemez, teneffüs edilebilir ve solunabilir olarak sınıflandırılırlar. Gaz sınıfı kirleticiler, havada serbest molekül ve atom olarak bulunan kimyasal kirleticileri içerir [37]. Tozların çapı 0.1 μm ile 25 μm arasında, duman parçacıkları tipik olarak 0.25 μm dolaylarındadırlar, duman ise genellikle 0.1 μm den daha küçüktürler.

Bioarerosollar ise genellikle 1 µm den daha küçüktürler. Partikül madde miktarı genellikle birim hacimdeki kütle veya parçacık adedi olarak verilir. Partikül madde miktarı endüstriyel ortamlarda µg/m³ veya mg/m³ olarak, ofis binalarında ve endüstriyel temiz odalarda ise adet/m³ olarak ifade edilir [34].

Bu çalışmada, iç havadaki partikül madde olarak çapları, 1µm (PM1), 2.5 µm (PM2.5), 7 µm (PM7), 10 µm (PM10)'den küçük olanlar ve toplam asılı partikül miktarı (TSP), el tipi lazer partikül ölçer ile ölçülmüştür (Şekil1). Ölçümler odanın birkaç noktasından soluma yüksekliğinde alınmıştır.

2.2. Dış Havadan İçeri Giren Sızıntı Havası

Binalarda hava kalitesini kontrolü için havalandırma ve temizleme olmak üzere iki yaklaşım vardır. Dış hava ile havalandırma oksijen sağlamak için gereklidir ve genellikle filtreleme ile bağlantılı olmak üzere bu tür havalandırma yeterlidir [41]. Normal bir insan için (Aktivite seviyesi 1.2 met) iç ortamdaki CO₂ seviyesi 1000 ppm'i geçmemsi için gerekli dış hava miktarı yaklaşık olarak 30 m³/h'tır [2, 41].

Bu çalışmada, konut doğal havalandırılmalı olduğundan dış kapı ve pencerelerden enfiltrasyon (sızıntı) yoluyla iç ortama geçen dış hava miktarı aşağıdaki gibi hesaplanmıştır;

Sızıntı yoluyla ısı kaybı,

$$Q = \frac{1}{3.6} \sum (al)RHZ_e \Delta T \quad (1)$$

denklemleri ile belirlenir [32]. Ayrıca, bu ısı kaybı,

$$Q = \dot{V} \rho C \Delta T \quad (2)$$

denklemleri ile de tespit edilebilir. (1) ve (2) denklemleri eşitlenip gerekli işlemler yapıldığında dış hava miktarı, $\dot{V}$, [m³/h] olarak;

$$\dot{V} = 0.805 \sum (al)RHZ_e \quad (3)$$

hesaplanabilir. Denklemlerdeki terimler;

a: Sızdırganlık katsayısı (m³/mh),

l : Dış duvarlar üzerinde bulunan pencere veya kapıların açılan kısımlarının çevre uzunluğu (m),

R: Oda durum katsayısı (Yapı iç hacminin rüzgâr geçirgenlik katsayısı) (Boyutsuz),

H: Bina durum katsayısı (Rüzgar etkinliği katsayısı) (kJ/m³K),

ΔT: İç ve dış sıcaklıklar arasındaki fark (K),

Z_e : Köşe açıklıkları etki katsayısı (Her iki dış duvarında pencere olan odalar için 1.2, diğer odalar için 1 alınır),

olarak tanımlanmıştır. R, H, a katsayıları tablolardan alınmıştır [32]. "l" değeri ise mahallerde pencere ve kapıların açılan kısımları ölçülerek tespit edilmiştir. Denklem 2'de ortalama dış hava sıcaklığı göz önüne alınarak, ρ, hava yoğunluğu 1.235 kg/m³ ve C, hava özgül ısı ise 1006 J/kg K olarak alınmıştır [42].

Odanın hava değişim sayısı, HDS [1/saat],

$$HDS = \frac{\dot{V}}{V_{oda}} \quad (3)$$

denklemden hesaplanır. V_{oda} odanın hacmini [m³] göstermektedir.

2.2. İç Hava Kalitesi ile ilgili standartlar

Tablo 2’te iç ortam kalitesi ile ilgili değişik ülkelere ait standartların karşılaştırılması verilmiştir [26, 27, 34, 38-40]

Tablo 2. İç hava kalitesi ile ilgili standartlarda önerilen sınır değerler

	CO ₂	Partikül Madde	Bağıl nem	Sıcaklık
ABD ASHRAE ^a	1000 ppm	PM10< 75 µg/m ³ (yıllık ortalama)	%30-60	20-25.5 °C
ABD EPA /NAAQS ^b		50 gr/m ³ (1 yıl)		
ABD NIOSH ^c	5000ppm 30 000ppm (15 dakika)			
ABD OSHA ^d	10 000ppm 30 000ppm (15 dakika)	5 mg/m ³ (8 saat) solunabilir toz		
ABD ACGIH ^e	5000ppm 9000ppm (15 dakika)	3 mg/m ³ (8 saat)		
Almanya MAK ^f	5000ppm 9000ppm (15 dakika)		%30-70	20-26 °C
Kanada	3500 ppm	PM2.5 <40 µg/m ³ (8 saat) 100 µg/m ³ (1 saat)	%30-80 (yaz) %30-55 (kış)	
Çin		PM10< 150 µg/m ³		
WHO		PM10< 20 µg/m ³ (yıllık ortalama) PM10< 50 µg/m ³ (24 saat)		
İngiltere		PM10< 50 µg/m ³		
Norveç		PM2.5< 20 µg/m ³		
Avrupa Birliği		PM2.5 < 35 µg/m ³		
Hong Kong	800 ppm (1. düzey) 1000 pmm (2. düzey)	PM10< 20 µg/m ³ (1. düzey) PM10< 180 µg/m ³ (2. düzey) (8 saat ortalama)	%40-70	20-25.5 °C

^aASHRAE : American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers

^bEPA /NAAQS : Environmental Protection Agency/ National ambient air quality standards

^cNIOSH : National Institute of Occupational Safety And Health

^dOSHA : Occupational Safety and Health Administration

^eACGIH : American Conference of Governmental Industrial Hygienists

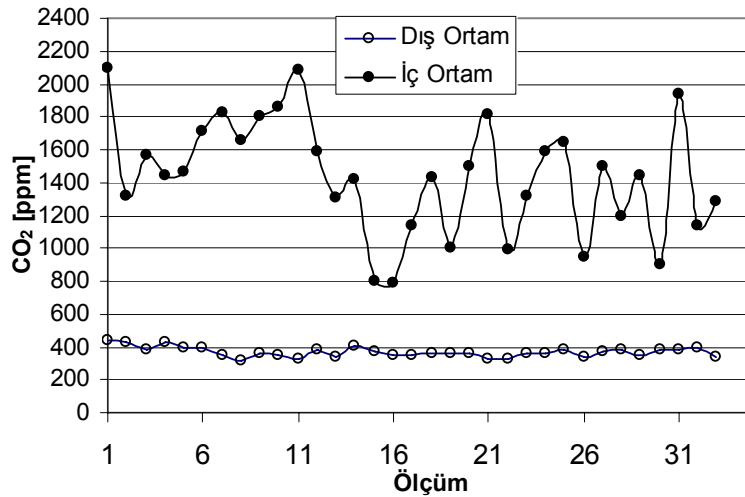
^fMAK : German Maximale Arbeitsplatz Konzentrationen

3. TARTIŞMA VE DEĞERLENDİRME

İç hava kalitesi parametrelerine ait ölçümler Ocak-Mart 2007 tarihleri arası evde oturanlarının bir arada olduğu akşam saatlerinde değişik günler için alınmıştır. Örnek olarak alınan bazı ölçüm sonuçları Tablo 3'te verilmiştir. Tablo 4'te ise tüm ölçümlere ait istatistiksel değerler verilmiştir. Tablodan oturma odası için ortalama sıcaklık 23 °C, ortalama bağıl nem %53, ortalama CO₂ 1440 ppm ve ortalama PM₁₀=175 µg/m³ olduğu görülmektedir. Şekil 4'te oturma odası için iç ve dış ortam CO₂ miktarının değişimi verilmiştir. Şekilden dış hava CO₂ değerinin fazla değişmediği fakat iç ortam CO₂ miktarının salınım yaptığı görülmektedir.

Tablo 3. Oturma odasında farklı zamanlarda alınmış bazı iç hava kalitesi ölçüm değerleri

Tarih	Saat	Kişi sayısı		T [°C]	BN [%]	CO ₂ [ppm]	PM1 [µg/m ³]	PM2.5 [µg/m ³]	PM7 [µg/m ³]	PM10 [µg/m ³]	TSP [µg/m ³]
25.01.2007	19:00	5	İç	25	46	1446	12	62	108	138	236
			Dış	13	45	430	42	229	297	348	421
25.02.2007	22:35	6	İç	24	46	1141	1	22	47.5	62.5	99.5
			Dış	11	31	354	0	12	19	24	31
25.03.2007	20:00	5	İç	23	56	1290	3	52	124	168	296
			Dış	14	52	340	2	13	21	27	37



Şekil 4. 23 Ocak-25 Mart 2007 tarihleri arasında Oturma Odası için alınan iç ve dış ortam CO₂ miktarının değişimi

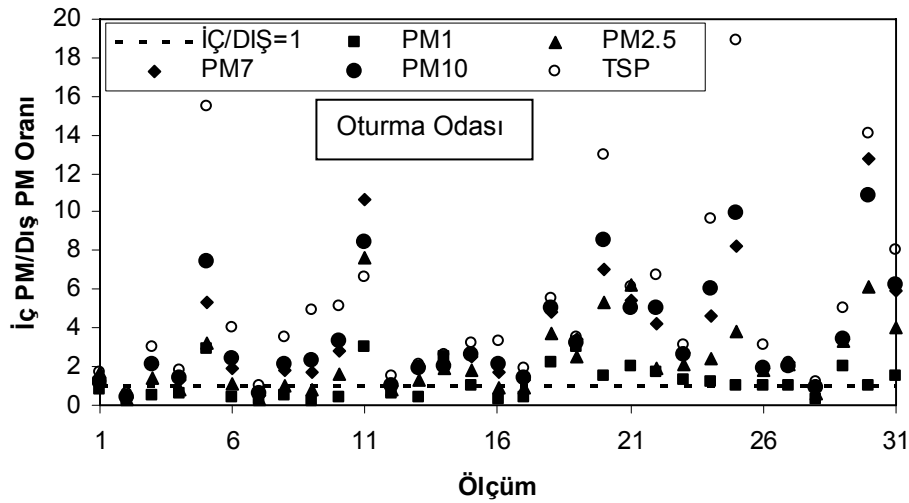
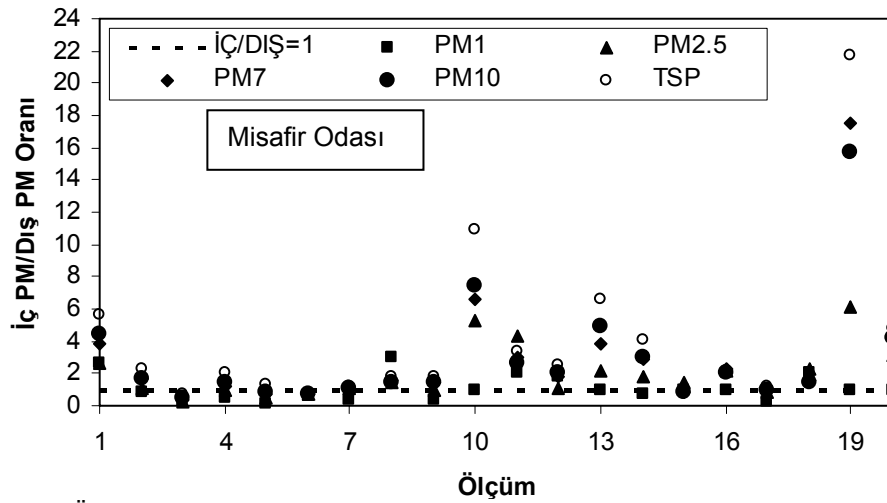
İç ve dış ortam partikül madde konsantrasyonları arasındaki ilişki, iç ve dış ortam konsantrasyon oranı (iç PM/dış PM) olarak ifade edilir [27,35, 36]. Tablo 5'te iç ve dış PM oranlarına ait istatistiksel değerler verilmiştir. Tablodan oranın 1'den büyük olduğu görülmektedir. Bu durum kirletici olarak partikül madde miktarlarının iç ortam kaynaklı olduğunu göstermektedir. İç ve dış ortam konsantrasyon oranı, küçük PM'lerden büyük PM'lere doğru gidildikçe artışı gözlenmiştir. Bu durum iç ortamdaki hareketlilik ve kirletici kaynaklara bağlanabilir. Şekil 5 ve 6'da ölçüm değerlerine göre iç PM/dış PM oranının değişimi sırasıyla oturma odası, misafir odası için verilmiştir. Şekil 5 ve 6'dan küçük PMlerin (1 ve 2.5) iç ve dış oranlarının 1 civarında olduğu görülmektedir.

Tablo 4. İç hava kalitesi parametrelerine ait ölçümlerin istatistiksel değerleri

Mahal		Değişken	Ortalama	Medyan	Standart Sapma	Minimum	Maksimum
Oturma Odası	İç hava	T [°C]	23	24	1.4	19	25
		BN [%]	53	53	5.2	42	63
		CO ₂ [ppm]	1440	1446	352.3	784	2092
		PM1 [µg/m ³]	6	4	4.0	1	14
		PM2.5 [µg/m ³]	57	50	29.3	22	142
		PM7[µg/m ³]	132	120	71.6	48	373
		PM10 [µg/m ³]	175	157	94.5	63	488
		TSP [µg/m ³]	314	279	165.6	100	766
	Dış hava	T [°C]	12	13	3.9	3	18
		BN [%]	62	58	16.6	31	95
		CO ₂ [ppm]	369	364	31.4	313	443
		PM1 [µg/m ³]	10	6	12.7	0	48
		PM2.5 [µg/m ³]	45	30	48.2	4	229
		PM7[µg/m ³]	68	49	61.6	7	297
		PM10 [µg/m ³]	84	59	73.6	8	348
		TSP [µg/m ³]	105	81	91.4	10	421
Misafir Odası	İç hava	T [°C]	23	23.5	1.7	18	25
		BN [%]	51	52	5.1	39	59
		CO ₂ [ppm]	1129	1151	280.8	683	1628
		PM1 [µg/m ³]	5	3	4.0	0	14
		PM2.5 [µg/m ³]	41	38	16.4	15	79
		PM7[µg/m ³]	84	76.5	33.6	30	159
		PM10 [µg/m ³]	106	100.5	44.9	39	204
		TSP [µg/m ³]	167	156	78.6	64	412
	Dış hava	T [°C]	12	12	3.4	6	18
		BN [%]	65	63.5	16.8	42	95
		CO ₂ [ppm]	364	366	22.4	325	400
		PM1 [µg/m ³]	10	3.5	12.8	0	44
		PM2.5 [µg/m ³]	39	28.5	37.7	4	146
		PM7[µg/m ³]	60	53	47.4	7	158
		PM10 [µg/m ³]	73	58	56.5	8	201
		TSP [µg/m ³]	90	70.5	69.6	10	260
Mutfak	İç hava	T [°C]	23	24	2.0	20	25
		BN [%]	51	52	5.2	49	63
		CO ₂ [ppm]	1289	1171	319.0	1020	1850
		PM1 [µg/m ³]	2	2.5	1.8	0	5
		PM2.5 [µg/m ³]	33	32	14.5	19	59
		PM7[µg/m ³]	64	64	22.3	39	99
		PM10 [µg/m ³]	77	76.5	25.2	48	116
		TSP [µg/m ³]	107	110.5	28.9	66	146
	Dış hava	T [°C]	15	13.5	2.1	13	18
		BN [%]	56	56	7.8	46	65
		CO ₂ [ppm]	372	380	23.5	340	400
		PM1 [µg/m ³]	3	2.5	2.3	0	7
		PM2.5 [µg/m ³]	21	20.5	12.2	6	38
		PM7[µg/m ³]	47	49.5	31.8	8	79
		PM10 [µg/m ³]	64	66.5	42.7	13	107
		TSP [µg/m ³]	86	85	57.2	19	149

Tablo 5. İç ve dış ortam partikül madde konsantrasyon oranlarına (iç PM/dış PM) ait istatistiksel değerler

	PM	Ortalama	Medyan	Standart Sapma	Minimum	Maksimum
Oturma Odası	PM1	1.147	1	0.87	0.17	3
	PM2.5	2.385	1.85	1.882	0.27	7.67
	PM7	3.476	2.25	2.937	0.36	12.75
	PM10	3.666	2.44	2.86	0.4	10.85
	TSP	5.24	3.51	4.553	0.56	18.87
Misafir odası	PM1	1.067	1	0.811	0.17	3
	PM2.5	2.015	1.455	1.614	0.22	6.17
	PM7	2.922	1.59	3.769	0.35	17.5
	PM10	2.945	1.6	3.485	0.44	15.69
	TSP	3.85	2.08	4.88	0.73	21.68
Mutfak	PM1	0.933	1	0.447	0.43	1.67
	PM2.5	1.843	1.7	0.841	0.89	3.17
	PM7	2.085	1.425	1.574	0.82	4.88
	PM10	1.818	1.24	1.319	0.75	4.08
	TSP	1.908	1.27	1.442	0.84	4.47

**Şekil 5.** Ölçüm sonuçlarına göre oturma odasında iç PM/dış PM oranının değişimi**Şekil 6.** Ölçüm sonuçlarına göre misafir odasında iç PM/dış PM oranının değişimi

Korelasyon katsayısı iki değişken arasındaki doğrusal ilişkiyi gösterir. Korelasyon katsayısı -1 ile +1 arasında değer alır. Bir değişken artarken diğeri azalıyorsa korelasyon katsayısı negatif, her ikisi de artıyorsa korelasyon katsayısı pozitif değer alır. İlişkinin istatistiksel olarak önemli olup olmadığı seçilen önem seviyesi (genellikle $\alpha=0.05$ seçilir) ile hesaplanan önem seviyesi (p değeri) karşılaştırılarak belirlenir. Eğer p değeri, $\alpha=0.05$ değerinden küçükse ilişki istatistiksel olarak önemlidir [43]. Bu çalışmada, iç hava kalitesi parametreleri arasında ilişki korelasyon katsayıları ve p değerleri hesaplanarak araştırılmıştır. Oturma odasında iç ortam bağıl nemi ile CO₂ arasındaki korelasyon katsayısı 0.529, p değeri 0.002 hesaplanmıştır. $\alpha=0.05$ önem seviyesinde, bağıl nem ile CO₂ arasındaki pozitif doğrusal bir ilişki ve istatistiksel olarak önemli olduğu söylenebilir. Bağıl nem ile PM10 arasında korelasyon katsayısı -0.409 (p=0.022) ve Bağıl nem ile TSP arasında -0.456 korelasyon katsayısı (p=0.010) bulunmuştur. Bağıl nem ile diğer partikül madde miktarları (PM1, PM2.5 ve PM7) arasında anlamlı bir ilişki tespit edilmemiştir. Sıcaklık ile partikül madde miktarları arasında $\alpha=0.05$ önem seviyesinde anlamlı bir korelasyon bulunmamıştır. İç ortamdaki ve dış ortamdaki partikül maddeler arasında sadece PM1'ler arasında anlamlı bir ilişki (korelasyon katsayısı=0.608, p=0) tespit edilmiştir.

Tablo 6'da ölçüm alınan mahallere ait sızıntı yoluyla içeri giren dış hava miktarı, hava değişim katsayıları (HDK) ve kişi başı 30 m³/h dış hava ihtiyacına göre gerekli dış hava miktarı değerleri verilmiştir. Tablodan hava değişim katsayısının 1 ile 2 arasında olduğu görülmektedir. Bu değerler TS 825'te hava değişim sayısı için belirtilen değerlerle uyumlu çıkmıştır. TS 825'te doğal havalandırma yapılan binalarda, milli ve milletlerarası yetkili kuruluşlardan uygunluk belgesine sahip firmaların pencere sistemlerinin kullanılması halinde hava değişim sayısı değerinin 1 defa/h, diğer pencere sistemleri için hava değişim sayısının 2 defa/h olabileceği belirtilmektedir [44]. Tablodan sızıntı yoluyla içeri giren dış hava miktarının havalandırma için yeterli olmadığı görülmektedir. Bu durum iç ortamdaki kirlenici derişimlerini de istenen seviyelere düşürememektedir.

Tablo 6. Sızıntı yoluyla iç ortama geçen dış hava miktarları ve standartlara göre verilmesi gereken dış hava miktarları

Mahal	Kişi sayısı	Hacim [m ³]	Sızıntı dış hava miktarı [m ³ /h]	HDK [1/h]	Gerekli dış hava miktarı [m ³ /h]
Oturma odası	5	46.4	84	1.81	150
Misafir odası	1	41	84	2.0	30
Mutfak	1	21	20	0.95	30

İç ortamda CO₂ ortalama 1440 ppm olup, Hong Kong, Almanya MAK, ve ASHRAE 62'ye göre sınır değer olan 1000 ppm'den genellikle yüksek çıkmıştır. Oturma odasında ölçümlerin %85'i, misafir odasında ise ölçümlerin %65'i belirtilen 1000 ppm'den daha yüksek çıkmıştır. Diğer standartlarda verilen 3500 ppm ve 5000 ppm sınırlarının çok altında kaldığı görülmüştür. ABD OSHA'nın verdiği değerlerin konfor için değil tehlike sınırı için olduğu hatırlanmalıdır.

Bağıl nem ve sıcaklık değerleri daima Hong Kong standartlarının önerdiği aralıkta kalmıştır. ASHRAE standardında sıcaklıklar bağıl nem ile verilmesine rağmen, ölçümler verilen sınırlar arasında kalmıştır. Oturma odası için ölçümlerin %9'u gibi küçük bir kısmı sadece ASHRAE standardında verilen %60 bağıl nem sınırını aşmıştır. Diğer mahallerde bu sınırın üstüne çıkılmamıştır. Kanada standartları tarafından bağıl nem için önerilen %55 üst sınırı ölçümlerin %45'inde oturma odasında geçilmiştir. Misafir odasında ise bu sınır, ölçümlerin %20'inde geçilmiştir. Ölçümlerin hiç birinde ASHRAE ve Kanada standartlarında bağıl nem için belirlenen %30 değerinin altında görülmemiştir. Bu çalışmada iç ortam sıcaklığı ölçüm değerlerinin, konutlar için iç ortam tasarım sıcaklığı olan 20 °C'den [32] çoğunlukla büyük olması ayrıca dikkat çekicidir.

Kanada standartlarında PM2.5<40 µg/m³ sınırı oturma odası için ölçümlerin %73'de, misafir odası için ölçümlerin %45'inde geçilmiştir. PM2.5<100 µg/m³ sınırı ise geçilmemiştir. Tüm ölçümler, Norveç standartlarında verilen PM2.5<20 µg/m³ sınırını aşmıştır. Avrupa Birliği standartlarında önerilen PM2.5<35 µg/m³ sınırı oturma odası için ölçümlerin %70'de, misafir odası için ölçümlerin %60'ında geçilmiştir. Ölçüm değerleri, EPA, OSHA ve ACGIH tarafından PM2.5 için verilen sınırların çok çok altında kalmıştır.

Çin standartlarında verilen $PM_{10} < 150 \mu g/m^3$ sınırının altında oturma odasında ölçümlerin %51'inde görülmüştür. Misafir odasında ise standartta verilen değerlerin altında kalınmıştır. Dünya sağlık örgütü (WHO) tarafından önerilen $PM_{10} < 20 \mu g/m^3$ ve $PM_{10} < 50 \mu g/m^3$ şartları hiçbir ölçümde sağlanamamıştır. Benzer şekilde Hong Kong tarafından 1. düzey olarak verilen $PM_{10} < 20 \mu g/m^3$ şartı da hiç görülmemiştir. Hong Kong standartlarında 2. düzey olarak önerilen $PM_{10} < 180 \mu g/m^3$ şartı ölçümlerin %64'ünde oturma odası için sağlanmıştır. Misafir odası için ise ölçümlerin tümünde $PM_{10} < 180 \mu g/m^3$ şartı görülmüştür. ASHRAE Standart 62'göre $PM_{10} < 75 \mu g/m^3$ şartı oturma odasında %6'lık oranda, misafir odasında ise %30 oranda sağlanmıştır.

SONUÇLAR

Doğal havalandırmalı ve merkezi kaloriferli bir konuta iç hava kalitesi ölçümleri yapılmıştır. İç hava kalitesi parametreleri olarak, sıcaklık, bağıl nem, karbondioksit ve partikül madde (PM_{10} , $PM_{2.5}$, PM_{7} , PM_{10} ve TSP) miktarları ölçülmüştür. Benzer parametreler dış ortam havasında da ölçülmüştür. İç ortam sıcaklık ve bağıl nemin konfor sınırları içinde kaldığı tespit edilmiştir. CO_2 miktarının genellikle 1000 ppm'den yüksek olduğu görülmüştür. Partikül madde konsantrasyonlarının standartlarda verilen sınır değerlerden genellikle daha büyük çıktığı belirlenmiştir. Oturma odasındaki faaliyetlerden dolayı iç hava kalitesi parametrelerinin, misafir odasındakine göre daha yüksek değerlerde olduğu tespit edilmiştir. İç ortam ve dış ortam partikül madde oranlarının çoğunlukla 1'den büyük çıktığı görülmüştür. İnsan ve iç ortamdaki halı, mobilya gibi iç ortam kirleticilerinin iç hava kalitesinin bozulmasında daha çok rol aldığı tespit edilmiştir. Kapı ve pencerelerden sızan dış hava miktarının havalandırma için yeterli miktarda olmadığı görülmüştür.

Ocak ve yemeklerden çıkan koku ve kirleticilerin mutfaklardan aspiratörlerle atılması gerekir. Düşük seviyede partikül madde miktarı için iç ortamdaki partikül maddeleri filtre eden cihazlar kullanılabilir. İç ortama konulacak halı ve mobilyalar alınırken çok toz üreten veya tozu çabuk yayan türden almamak gerekir.

İyi bir iç hava kalitesi için kontrollü havalandırma ve iklimlendirilme yapılmalıdır. Bu uygulamada kirli iç hava, temiz dış hava ile değiştirilmesi esasına dayanır. Dış hava kalitesi istenen değerlerde değilse çeşitli filtrelerden geçirilmesi gerekir.

Sonuç olarak, temel yaşam alanı olan konutlardaki iç hava kalitesinin izlenip kontrol edilmesi gerekir. Kabul edilebilir bir iç hava kalitesi için gerekli önlemler alınmalıdır. Bunun için yeterli miktarda temiz havanın verilmesi, kirleticilerin kontrol edilmesi ve ısıl konforun sağlanması gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] BAS, E., "Indoor Air Quality-A Guide for Facility Managers", The Fairmont Pres, 2004.
- [2] SCHRAMEK, E., "Recknagel-Sprenger Schramek- Isıtma ve Klima Tekniği El Kitabı", TTMD, Ankara. 1999.
- [3] MONTGOMERY, D.D., KALMAN, D.A., Indoor/outdoor air quality: reference pollutant concentrations in complaint-free residences, Applied Industrial Hygiene, 4 ,17-20, 1988.
- [4] ASHRAE, "Standard 62- 1989- Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality", American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Atlanta, 1989.
- [5] ASHRAE, "Standard 62- 2001- Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality", American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Atlanta, 2001.
- [6] ESİN, T., İnsan sağlığını etkileyen iç hava kalitesinin oluşumunda yapı malzemelerinin rolü, Yapı, 275, 99-103, 2004.
- [7] İLTEN, N., BULGURCU, H., Evlerde iç hava kalitesi ile ilgili bir araştırma, 4. Balıkesir Mühendislik Sempozyumu Bildiriler Kitabı, Balıkesir, 2002.
- [8] KAYA, M., Sağlıklı ve verimli çalışma ortamı için iç hava kalitesi, Termodinamik, 125, 2003.

- [9] ASLAN, D.E., İç hava kalitesi ve kontrolü, III. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi, Teskon 97, 1997.
- [10] DÖNMEZ, O., "İç Hava Kalitesi", İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, Ocak 2003.
- [11] GÜRDALLAR, M., Hijyen ve iç hava kalitesi bakımından HVAC sistemlerinin temizliği, VI. Ulusal Tesisat ve Mühendislik Kongresi Bildiriler Kitabı, 1-13, 2002.
- [12] VURAL, S.M., BALANLI, A., Yapı ürünü kaynaklı iç hava kirliliği ve risk değerlendirmede ön araştırma, YTÜ Mim. Fak. E-dergi, 1, 1, 28-39, 2005.
- [13] KAPKIN, Ş., UZAL, E., Kapalı ortamlardaki hava kalitesini etkileyen parametreler ve toplu taşımacılıkta iç hava kalitesinin bilgisayar destekli analizi, İklim 2005-Ulusal İklimlendirme Sempozyumu Bildiriler Kitabı, Antalya MMO Yayın No: E/2005/387, 171-178, 2005.
- [14] ALYÜZ, B., VELİ, S., İç ortam havasında bulunan uçucu organik bileşikler ve sağlık üzerine etkileri, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 7, 2, 109-116, 2006.
- [15] KÖKSAL, Y., Kapalı mahallerde hava kalitesinin iyileştirilmesi, V. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi Bildiriler Kitabı, 625-645, 2001.
- [16] SOFUOĞLU, S.C. Predicting prevalence of building related symptoms in office buildings using artificial neural Networks, Türk Tesisat Mühendisleri Derneği, VII. Uluslararası Yapıda Tesisat Teknolojisi Sempozyumu, İstanbul, 2006.
- [17] VAİZOĞLU, S. A., "Ankara'da Evlerde Kış Dönemi Radon Konsantrasyonunun Belirlenmesi", Halk Sağlığı (Çevre Hekimliği) Bilim Uzmanlığı Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, 1997.
- [18] KARAKOÇ, H., IŞIKLI, B., ATMACA, F., TOKA, S., KABA, Ş., Uçaklarda iç hava kalitesi ve neden olabileceği problemler, VII. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi Bildiriler Kitabı, 431-441, 2005.
- [19] GÖNÜLLÜ, M.T., BAYHAN, H., AVŞAR, Y., ARSLANKAYA, E., YTÜ Şevket Sabancı Kütüphane binası iç ortam havasındaki partiküllerin incelenmesi, Harran Üniversitesi 4.GAP Mühendislik Kongresi (Uluslararası Katılımlı) Bildiriler Kitabı, 1384- 1389, 2002.
- [20] BULGURCU, H., İLTEN, N., COŞGUN, A., Okullarda iç hava Kalitesi problemleri ve çözümler, VII. Ulusal Tesisat Kongresi Bildiriler Kitabı, 601-615, 2005.
- [21] EVCI, D., VAİZOĞLU, S., ÖZDEMİR, M., AYCAN, S., GÜLER, Ç., Ankara'da 46 kahvehanehanede formaldehit düzeylerinin belirlenmesi, TSK Koruyucu Hekimlik Bülteni, 4, 3, 129-135, 2005.
- [22] COŞGUN, A., MUTLU, İ.B., YÜCETÜRK, G., Okullarında iç hava kalitesinin incelenmesi, İklim 2005-Ulusal İklimlendirme Sempozyumu Bildiriler Kitabı, Antalya MMO Yayın No: E/2005/387, 244-251, 2005.
- [23] KESKİN, Y., ÖZYARAL, O., BAŞKAYA, R., LÜLECİ, N.E., AVCI, S., ACAR, M.S., ASLAN, H., HAYRAN, O., Bir lise binası kapalı alan atmosferine ait mikrobiyolojik içeriğin hasta bina sendromu açısından öğretmen ve öğrenciler üzerindeki etkileri, Astım Allerji İmmünoloji, 3, 3, 116-130, 2005.
- [24] LEE, S.C., LI, W., AO, C., Investigation of indoor air quality at residential homes in Hong Kong: a case study, Atmospheric Environment, 36, 225-237, 2002.
- [25] LEE, S.C., CHANG, M., Indoor and outdoor air quality investigation at schools in Hong Kong, Chemosphere, 41, 109-113, 2000.
- [26] GUO, H., LEE, S.C., CHAN, L.Y., Indoor air quality in ice skating rinks in Hong Kong, Environmental Research, 94, 327-335, 2004.
- [27] STRANGER, M., POTGIETER-VERMAAK, S.S., VAN GRIEKEN, R., Comparative overview of indoor air quality in Antwerp, Belgium, Environment International, 33, 789-797, 2007.
- [28] SHAW, C.Y., SALARES, V., MAGEE, R.J., KANABUS-KAMINSKA, M., Improvement of indoor air quality in four problem homes, Building and environment, 34, 57-69, 1999.
- [29] ASHRAE, "ASHRAE HandbookCD, 2001 Fundamentals, Chapter 8: Thermal Comfort", Atlanta, USA, 2003.
- [30] DOĞAN, H., "Havalandırma ve İklimlendirme Esasları", Seçkin Yayınevi, Ankara, 2002.
- [31] DOĞAN, H., "Uygulamalı Havalandırma ve İklimlendirme Tekniği", Seçkin Yayınevi, Ankara, 2002.
- [32] KARAKOÇ, H., "Kalorifer Tesisatı Hesabı", DemirDöküm Teknik yayınları, No:9, 2006.
- [33] ÖNEN, E., "Havalandırma ve Klima Tesisatı", Bayındırlık ve İskan bakanlığı, Teknik El kitabı No: 9, Başbakanlık Basımevi, Ankara, 1985.
- [34] ASHRAE, "ASHRAE HandbookCD, 2001 Fundamentals, Chapter 9: Indoor Environmental Health", Atlanta, USA, 2003.

- [35] LI, Y., CHEN, Z., A balance-point method for assessing the effect of natural ventilation on indoor particle concentrations, *Atmospheric Environment*, 37, 4277–4285, 2003.
- [36] BRANIS, M., REZACOVA, P., DOMASOVA, M., The effect of outdoor air and indoor human activity on mass concentrations of PM10, PM2.5, and PM1 in a classroom, *Environmental Research*, 99, 143–149, 2005.
- [37] ASHRAE, “ASHRAE HandbookCD, 2001 Fundamentals, Chapter 12: Air Contaminants”, Atlanta, USA, 2003.
- [38] HKGCC, “The Clean Air Charter-A Business Guidebook”, Hong Kong General Chamber of Commerce, www.cleanair.hk, 2006.
- [39] BERUBE K.A., SEXTON, K.J., JONES, T.P., MORENO, T., ANDERSON, S., RICHARDS, R.J., The spatial and temporal variations in PM10 mass from six UK homes, *Science of the Total Environment*, 324, 41–53, 2004.
- [40] MESTL, H.E.S., AUNAN, K., SEIP, H.M. Health benefits from reducing indoor air pollution from household solid fuel use in China-Three abatement scenarios, *Environment International*, 33, 831–840, 2007.
- [41] KREIDER, J.F., RABL, A, “Heating and Cooling of Buildings- Design for Efficiency”, McGraw-Hill, Inc., 1994.
- [42] TAMER, Ş., “Klima ve Havalandırma”, Meteksan A.Ş., Ankara, 1990.
- [43] MINITAB, Minitab Statistical Software, Help Document, 13.2 Version, 2000.
- [44] TS 825, “Binalarda Isı Yalıtım Kuralları”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1998.

ÖZGEÇMİŞ

Hüsamettin BULUT

1971 yılında doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Batman’da tamamladı. 1993 yılında Çukurova Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. Aynı yıl Harran Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümünde araştırma görevlisi olarak göreve başladı. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği Anabilim Dalında 1996 yılında Yüksek Lisansını, 2001 yılında Doktorasını ise tamamladı. 1993-1998 yılları arasında Harran Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümünde, 1998-2001 yılları arasında ise Çukurova Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak çalıştı. Halen Harran Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümünde Doç. Dr. olarak çalışmaktadır. Ayrıca Harran Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölüm Başkan Yardımcılığı ve Endüstri Mühendisliği Bölüm Başkanlığı görevlerini sürdürmektedir. Çalışma alanları ısıtma ve soğutma sistemleri için iklim verilerinin analizi, enerji analizi, güneş enerjisi, ısıtma ve soğutma sistemleri ve uygulamalarıdır.