

ISITMA SEZONUNDA OFİSLERDE İÇ HAVA KALİTESİNİN ARAŞTIRILMASI

Hüsamettin BULUT

ÖZET

İç hava kalitesinin insanların sağlığı ve verimi ile doğrudan ilişkisi nedeniyle günümüzde önemi artmaktadır. Bu bakımdan çalışanların günün en az 8 saatini geçirdiği ofislerdeki iç hava kalitesinin sağlanması son derece önemlidir. Bu çalışmada, Şanlıurfa'da merkezi kalorifer sistemi ile ısıtılması yapılan ve doğal havalandırmalı ofislerde iç hava kalitesi araştırılmıştır. Bu amaçla, iç ve dış ortamın sıcaklık, bağıl nem, CO₂ miktarı ve partikül madde (PM₁, PM_{2.5}, PM₇, PM₁₀ ve Toplam PM) miktarları eş zamanlı olarak kış boyunca ölçülmüştür. İç hava kalitesinin durumu, dış ortam havası ve iç kirleticilere göre belirlenmeye çalışılmıştır. Ölçüm sonuçları istatistiksel olarak analiz edilmiştir. Ölçülen iç hava kalitesi parametreleri, çeşitli standartlarda verilen değerlerle karşılaştırılmıştır. İç hava kalitesinin artırılmasına yönelik önerilerde bulunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: İç hava kalitesi, ofis, CO₂, partikül madde, ısı konfor.

1. GİRİŞ

Günümüzde insanlar zamanlarının büyük çoğunluğunu kapalı iç ortamlarda geçirmektedirler. Bu durum beraberinde çeşitli problemler meydana getirmektedir. Bu noktada iç hava kalitesi kavramı öne çıkmaktadır. 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 [1]. 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 kirleticilerin, 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 [2, 3]. İç hava kalitesi ile bağlantılı 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 tanımlanmaktadır [1, 4]. Yapılan birçok çalışmada iç ortamdaki kirleticilerin seviyesi, dış ortama göre daha yüksek olduğu görülmüştür [5]. İnsanlar zamanlarının %90'ı gibi büyük bir kısmını iç hacimlerde geçirdiği ve bu hacimlerdeki kirleticilerin ortamdaki etkisini göz ardı etmediği dikkate alınırsa, iç hava kalitesinin neden önemli ve dikkat edilmesi gereken bir konu olduğu ortaya çıkar.

İnsanlar, içinde bulunduğu ortamın ısı özellikleri açısından konforlu olmasını isterler. Aslında sadece ısı konfor, sağlıklı ortamlar için yeterli değildir. Isı konfor, hastalıklara sebep olan bakteri ve kirleticilerin varlığını da dikkate alan iç hava kalitesinin bir parçasıdır. Yüksek değerlerdeki hastalık vakaları ve artan devamsızlık (görev yerinde olamamak) ortam iç hava kalitesi açısından binanın tümü hasta olarak kabul edilebilir. Daha geniş bir kapsamda, ergonomi, aydınlatma ve akustik gibi parametreler de hava kalitesi algılamasına etki edebilmektedir. İyi bir hava kalitesi, sadece konfor için değil sağlık ve verimlilik için de gereklidir. Son zamanlarda yapılan bağımsız birçok çalışma iç hava kalitesinin ofis çalışanlarının verimi üzerine önemli ve olumlu bir etkisi olduğunu göstermiştir [6]. Dolayısıyla ofislerde iç hava kalitesinin durumu tespit edilip sağlıklı bir iç hava ortamı oluşturulmalıdır.

İç hava kalitesi ile ilgili yurt dışı çalışmaları çok sayıda olmasına rağmen, Türkiye'de yapılan çalışmalar sınırlıdır. Yurtdışındaki çalışmalarda konu farklı boyutları ile ele alınmış ve farklı ortamlarda iç hava kalitesi

ölçümleri yapılarak konu analiz edilmiştir [7-27]. Fakat yurtiçinde birkaç iç hava kalitesi ölçüm araştırmasının dışında, yapılan çalışmalar genelde iç hava kalitesinin önemi ve genel konuları ile ilgilidir [28-47].

Bu çalışmanın temel amacı, ısıtma sezonunda ofis amaçlı kullanılan ortamlarda iç hava kalitesinin durumunu ortaya çıkarmak için iç hava kalitesine ait ölçümler almak ve sonuçları analiz etmektir.

2. YÖNTEM

İç hava kalitesinin durumu ve değerlendirilmesi ile ilgili çalışmalarda genellikle, sıcaklık, bağıl nem, hava hızı, karbondioksit (CO_2), solunabilinir 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 [7-12]. 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. Bu çalışmada el tipi lazer Partikül Madde Ölçer (Met One Aerocet 531), CO_2 Ölçer (Testo 535) ve Sıcaklık-Nem Ölçer (Impac Tastotherm-Hum RP 2) cihazları kullanılmıştır. İç hava kalitesi parametrelerine ait ölçümler Ocak-Mart 2007 tarihleri arası hafta içi mesai saatlerinde Harran Üniversitesi Osmanbey Yerleşkesi Mühendislik Fakültesi Binasında bulunan 11 farklı ofiste alınmıştır. Ofisler, öğretim elemanlarına ve yazı işlerine aittirler. Odaların temel özellikleri şunlardır; çift camlı PVC pencere, eşiksiz tek iç kapı, yerler suni mermer, duvarlar yağlı boya, klasik büro donanımı (Bilgisayar, masa, sandelye gibi). Ölçüm alınan bina şehir dışında olup trafik yoğunluğu yok denecek düzeyde azdır.

Ölçüm sonuçlarının değerlendirilmesi için, verilerin istatistiksel parametreleri hesaplanmıştır. Bu amaç için MINITAB istatistik programı [48] kullanılmıştır. Ayrıca ölçüm sonuçları çeşitli ülkelere ait standartlarda verilen değerlerle karşılaştırılmıştır. İç hava kalitesi parametreleri arasındaki ilişkiyi belirlemek için parametreler arasındaki ilişkiyi ifade eden korelasyon katsayısı hesaplanmıştır. 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 [48].

İç ve dış ortam partikül madde konsantrasyonları arasındaki ilişki, iç ve dış ortam konsantrasyon oranı (iç /dış PM) olarak da ifade edilir [10, 19, 20]. Bu çalışmada, iç/dış PM oranları hesaplanmış ve elde edilen sonuçlar istatistiksel olarak analiz edilmiştir.

2.1. İç Hava Kalitesi Parametreleri

2.1. 1. İç Sıcaklık ve Bağıl Nem

İç ortam sıcaklığı, ısıl konfor şartlarından en önemli parametredir. Kış ve yaz durumuna göre insanların kendilerini rahat hissedebilecekleri bir düzeyde olmalıdır. Sıcaklık (T) ne çok düşük ne de çok yüksek derecelerde olmalıdır. Yaz şartlarında iç hava sıcaklığı daha çok dış sıcaklığa göre seçilmesine rağmen, kış aylarında iç ortam tasarım sıcaklığı ortamın kullanım amacı ve tipine göre belirlenmektedir. Isıtma sistemleri projelerinde mahal tipine göre bu sıcaklık değeri değişmektedir. Örneğin merkezi ısıtma tesisat projelerinde, konutlarda oturma odası için iç hava sıcaklığı 22 °C ve banyolar için 26 °C alınmaktadır. Büro hacimleri için iç hava sıcaklığı 20 °C olacağı kabul edilmektedir [49]. İç ortamdaki nem miktarı ısıl konforu belirleyen diğer faktördür. 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. İç ortamın nemi, genelde bağıl nem (BN) ile ifade edilir. İç ortam sıcaklığı değişik ortamlar için 15-26 °C ve iç ortam bağıl nemi ise %30 ile %70 arasında önerilmektedir [1, 50-52]. Esasen iç ortamın sıcaklık ve bağıl nem değerleri birlikte düşünülmesi gerekir. Bundan dolayı, sıcaklık ve bağıl neme göre konfor bölgeleri, yaz ve kış durumu için belirlenir [50].

2. 1. 2. CO_2 Miktarı

CO_2 iç hava kalitesini kontrol etmek için önerilen önemli bir iç hava kirleticisidir. Normalde atmosfer havasının hacimsel olarak %0,03'ü CO_2 'dir. Dış ortam havasında bulunan CO_2 , çevre özelliklerine göre 330 ile 500 ppm

arasındadır. Dolayısıyla iç ortamda CO₂'in olmaması mümkün değildir. 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 [53].

İnsanlar nefes alıp vermeleri ile iç ortama CO₂ verirler. Normal bir iş ile uğraşan bir insan saate 20 litre (0,02 m³) CO₂ üretir [1]. Bu yüzden iç ortamda havalandırma yapılmazsa insan sayısı artıkça, CO₂ derişimi artar. 1000 ppm CO₂ konsantrasyonu iç hava kalitesi için temel kabul edilmektedir [1, 2]. Eğer CO₂ miktarı bu seviyeden düşük ise iç ortamdaki hava, kabul edilebilir iç hava kalitesindedir. 1000 ppm CO₂ miktarı, Pettenkofer sayısı olarak da bilinmektedir [1]. Kabul edilebilir iç hava kalitesi oluşturmak için CO₂ hissedicileri havalandırma sistemleri ile kullanılarak, gerekli temiz dış hava iç ortama sevk edilmektedir.

2.1. 3. Partikül Madde

Partikül madde, insanların nefes almakla içine alabileceği kadar küçük olan geniş bir aralıkta havada bulunan maddeciklerin genel adıdır. Partikül maddeler gözle görülebilecek kadar büyük tozlardan bir çok filtreden geçebilecek mikroskobik partiküle kadar çok geniş aralıkta partikül boyutlarını kapsar. Partiküller katı veya sıvı olabilirler. 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.

Partiküller, tozlar, dumanlar, sis, dumanlı sis, virüs, bakteri, mantar sporları ve polenleri içeren bioaerosoller, kaba, ince, görünebilir veya görünemez, teneffüs edilebilir ve solunabilinir olarak sınıflandırılırlar [54]. 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. Bioaerosollar 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 [53].

Solunan hava tam bir partikül madde denizidir. Partiküllerin çoğu gözle görülmez. Normal bir insan saatte 0,5 m³ havayı teneffüs eder, çalışan bir insan ise saatte 8-9 m³ havayı solur. Solunan bu hava virüslere, bakterilere ve zararlı kirleticilere taşıyıcılık yapmaktadır [55]. Dolayısıyla, iç ortam havasında bulunan partikül maddelere maruz kalma sağlık problemlerine sebep olabilir. İnce partiküller, akciğerin iç kısımlarına kadar ilerleye bildiklerinden, insan sağlığına büyük tehdit oluştururlar.

Solunan partiküller madde, solunum yolları yüzeyleri ile temasa geçerek burada birikir. Partiküllerin vücuda giriş ve vücuttaki birikimleri aerodinamik çaplarına ve vücuda giriş özelliğine göre değişim gösterir. 10 µm'den büyük partiküller extrathoracic bölümde, 5-10 µm dan küçük partiküller ise burun solunumu ile vücuda girmişlerse bronşlarda, ağız solunumu ile vücuda girmişlerse akciğerlerde birikim gösterirler. Üst solunum sisteminde biriken partiküller, solunum sisteminin kendi temizleme mekanizması aracılığı ile vücuttan atılır [56].

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 [19]. 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 [20].

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. Ölçümler odanın birkaç noktasından soluma yüksekliğinde alınmıştır.

2.2. İç Hava Kalitesi İle İlgili Standartlarda Önerilen Sınır Değerler

Dünya'nın birçok ülkesinde, iç hava kalitesi ile ilgili kirleticiler için izin verilebilen maksimum sınırları belirleyen standartlar mevcuttur. Bu standartlar sürekli güncellenmektedir. Çizelge 1'de iç ortam ile ilgili değişik ülkelerin standartlarında iç hava kalitesi parametrelerine ait sınır değerler verilmiştir [9,10, 21, 22, 53, 57]. Çizelgeden görüldüğü gibi iç hava kalitesi parametrelerinde önerilen sınır değerler ülkelerde farklılık gösterebilmektedir.

Tablo 1. İç hava kalitesi ile ilgili standartlarda önerilen sınır değerler

	CO ₂	Partikül Madde	Bağıl nem	Sıcaklık
ABD ASHRAE	1000 ppm	PM10< 75 µg/m ³ (yıllık ortalama)	%30-60	20-25,5 °C
Almanya	5000ppm 9000ppm (15 dakika)		%30-70	20-26 °C
Kanada	3500 ppm	PM2.5 <40 µg/m ³ (8 saat) PM2.5 <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

3. TARTIŞMA VE DEĞERLENDİRME

Çizelge 2’de ölçüm parametrelerinin istatistiksel değerleri (ortalama, minimum, maksimum, standart sapma) verilmiştir. Çizelgeden iç ortam için ortalama sıcaklık 20,9 °C, ortalama bağıl nem %46.1, ortalama CO₂ 938,6 ppm olduğu görülmektedir. Sigara içilen ofislerde ortalama PM10=148,6 µg/m³ iken, diğer sigara içilmeyen ofislerde PM10=22,8 µg/m³’dir. Bu beklenen sonuç, sigara içilen odaların daha kirli havaya sahip olduklarını göstermektedir. PM miktarları açısından dış ortamın, iç ortama göre daha temiz olduğu görülmektedir. Bu durum ölçüm alınan yerin şehir dışında olması ve trafik yoğunluğunun olamamasından kaynaklanıyor olabilir.

Tablo 2. Ölçüm alınan ofislerde iç hava kalitesi parametrelerinin istatistiksel değerleri

Ortam	Değişken	Ortalama	Minimum	Maksimum	Standart Sapma
İç Hava	Sıcaklık [°C]	20,9	17,8	23,5	1,4
	Bağıl Nem [%]	46,1	34,5	57,5	5,4
	CO ₂ [ppm]	938,6	344,0	1685,0	350,0
	PM1 [µg/m ³]	2,4	0,0	37,0	6,2
	PM2.5 [µg/m ³]	11,3	2,0	74,0	12,3
	PM7[µg/m ³]	19,1	3,0	88,0	15,4
	PM10 [µg/m ³]	22,8	3,0	99,0	17,6
	TSP [µg/m ³]	32,0	4,0	126,0	23,2
İç Hava (Sigara içilen ofisler)	PM1 [µg/m ³]	41,0	8,0	136,0	45,7
	PM2.5 [µg/m ³]	120,6	30,0	485,0	155,2
	PM7[µg/m ³]	138,5	38,0	514,0	160,4
	PM10 [µg/m ³]	148,6	46,0	525,0	161,5
	TSP [µg/m ³]	167,4	66,0	541,5	161,4
Dış Hava	Sıcaklık [°C]	14,5	6,8	19,5	3,0
	Bağıl Nem [%]	53,4	27,9	94,2	17,2
	CO ₂ [ppm]	357,0	321,0	456,0	30,9
	PM1 [µg/m ³]	1,6	0,0	6,0	1,3
	PM2.5 [µg/m ³]	10,4	0,0	21,0	5,6
	PM7[µg/m ³]	19,1	4,0	46,0	10,3
	PM10 [µg/m ³]	22,9	6,0	58,0	12,8
	TSP [µg/m ³]	31,4	11,0	90,0	19,0

Çizelge 3'te iç ve dış ortamda alınan ölçüm parametreleri arasındaki ilişkiyi veren korelasyon katsayıları ve önem seviyeleri verilmiştir. Çizelgede üstteki birinci hücrede korelasyon katsayısı, alttaki hücrede ise önem seviyesi verilmiştir. Çizelgede $p=0,05$ önem seviyesine göre anlamlı olan sonuçlar koyu olarak işaretlenmiştir. Örneğin kişi sayısı ve CO_2 miktarı için korelasyon katsayısı 0,529, önem seviyesi $p=0$ 'dır. Bu durum parametreler arasında pozitif bir ilişki olduğunu göstermekte ve $p=0$ seçilen $p=0,05$ 'den küçük olduğundan sonuç istatistiksel olarak anlamlıdır. Çizelgeden görüleceği gibi iç ortam için sıcaklık hariç diğer parametrelerle ile kişi sayısı arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki mevcuttur. Kişi sayısı arttıkça iç ortamdaki bağıl nem, CO_2 ve PM değerlerinde de artış meydana gelmektedir. İç ortamdaki bağıl nem, CO_2 ve PM değerleri arasında da anlamlı bir ilişki görülmektedir. İç ortam CO_2 ve bağıl nem değerleri ile dış ortam CO_2 ve bağıl nem değerleri arasındaki ilişki de istatistiksel olarak anlamlı çıkmıştır. PM açısından iç PM'ler ve dış PM1 arasında önemli bir ilişki görülmektedir. Bu durum pencere ve dış kapılardan sızan hava ile birlikte küçük çaptaki PM1'in daha fazla içeri girmesinden kaynaklandığı sonucu çıkarılabilir.

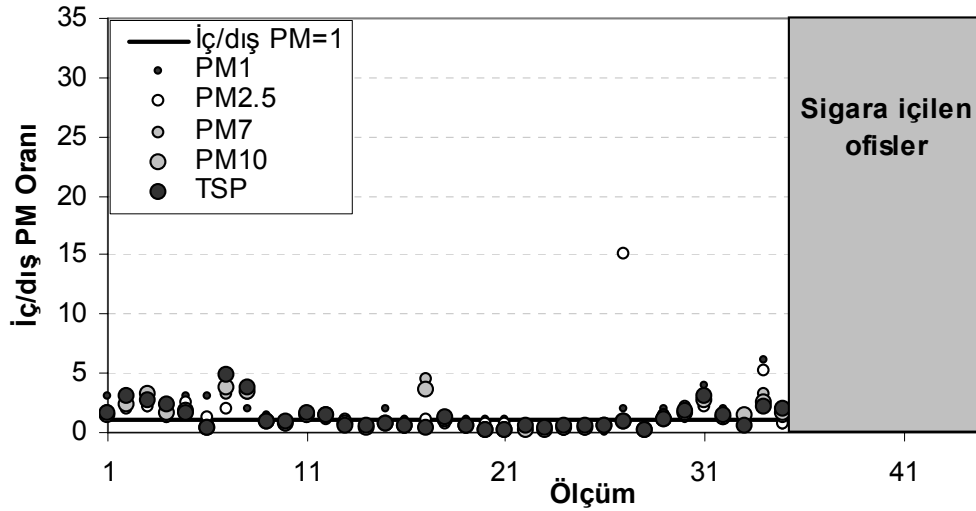
Tablo 3. İç ve dış ortamda alınan ölçüm parametreleri arasındaki korelasyon katsayıları ve önem seviyeleri

Ortam	Değişken	Kişi Sayısı	İç ortam						
			T	BN	CO_2	PM1	PM2.5	PM7	PM10
İç Hava	T	0,012							
		0,941							
	BN	0,373	-0,04						
		0,014	0,801						
	CO_2	0,529	0,009	0,308					
		0	0,954	0,044					
	PM1	0,429	-0,168	0,472	0,422				
		0,004	0,28	0,001	0,005				
	PM2.5	0,357	-0,118	0,426	0,384	0,972			
		0,019	0,451	0,004	0,011	0			
	PM7	0,397	-0,109	0,442	0,399	0,973	0,998		
		0,008	0,486	0,003	0,008	0	0		
	PM10	0,422	-0,108	0,452	0,406	0,975	0,995	0,999	
		0,005	0,49	0,002	0,007	0	0	0	
	TSP	0,474	-0,111	0,46	0,418	0,973	0,985	0,993	0,996
		0,001	0,478	0,002	0,005	0	0	0	0
Dış hava	T	0,028	0,397	-0,312	0,233	-0,201	-0,215	-0,208	-0,206
		0,857	0,008	0,041	0,132	0,196	0,166	0,181	0,186
	BN	-0,184	-0,367	0,438	-0,309	0,242	0,257	0,239	0,232
		0,238	0,015	0,003	0,044	0,119	0,097	0,122	0,135
	CO_2	0,374	-0,38	-0,028	0,534	0,081	0,059	0,075	0,08
		0,013	0,012	0,858	0	0,606	0,709	0,635	0,61
	PM1	0,256	-0,079	0,242	0,18	0,539	0,463	0,461	0,466
		0,097	0,615	0,118	0,249	0	0,002	0,002	0,002
	PM2.5	-0,253	-0,224	0,104	-0,294	0,163	0,154	0,135	0,128
		0,102	0,15	0,508	0,055	0,297	0,324	0,387	0,415
	PM7	-0,422	-0,257	-0,119	-0,196	0,004	0,005	-0,026	-0,042
		0,005	0,096	0,446	0,209	0,982	0,973	0,87	0,791
	PM10	-0,399	-0,258	-0,163	-0,119	-0,009	-0,013	-0,043	-0,058
		0,008	0,095	0,296	0,448	0,956	0,934	0,786	0,713
	TSP	-0,265	0,01	-0,249	0,082	-0,099	-0,103	-0,123	-0,135
		0,086	0,95	0,108	0,602	0,528	0,512	0,434	0,387

Tablo 4'te iç/dış PM oranlarına ait istatistiksel değerler verilmiştir. Çizelgeden iç/dış PM oranının sigara içilmeyen ofislerde ortalama 1,4 iken, sigara içilen ofislerde bu oran 10 olmaktadır. İç/dış PM oranının 1'den büyük olması, iç kirlenici kaynaklarının etkisini göstermektedir. Şekil 1'de ölçüm değerlerine göre iç/dış PM oranının değişimi verilmiştir. Şekildeki son ölçümler sigara içilen ofislerde alındığından oranın çok yüksek değerlere ulaştığı görülmektedir. Ölçümlerin önemli bir kısmında oranın 1'den küçük çıktığı görülmektedir.

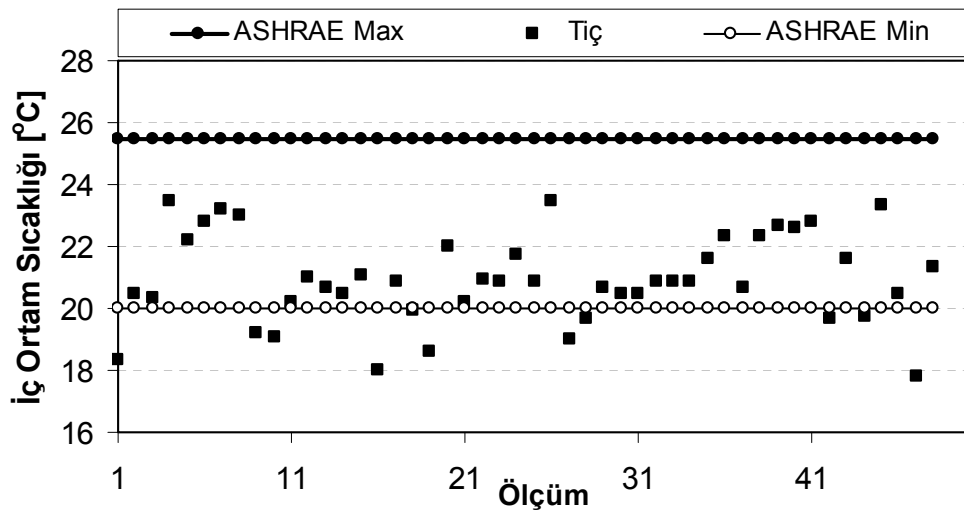
Tablo 4. İç/dış PM oranlarının istatistiksel değerleri

İç /Dış PM	Sigara İçilmeyen Ofisler			Sigara İçilen Ofisler		
	Ortalama	Minimum	Maksimum	Ortalama	Minimum	Maksimum
PM1	1,4	0,0	6,2	14,2	4,0	34,0
PM2.5	1,6	0,1	15,0	9,6	2,7	32,3
PM7	1,3	0,1	4,5	8,4	2,2	23,4
PM10	1,3	0,1	3,8	8,2	2,4	21,0
TSP	1,3	0,1	4,8	7,8	3,1	20,8

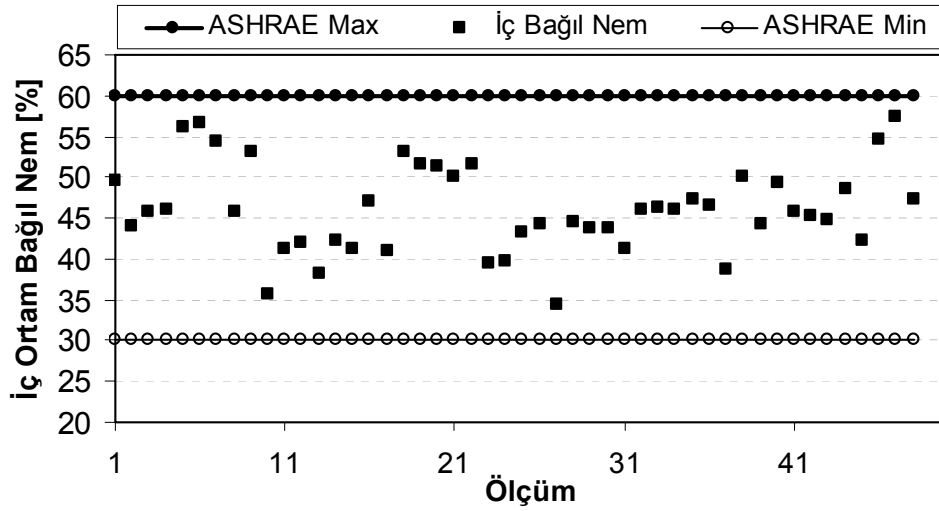


Şekil 1. İç/dış PM oranının değişimi

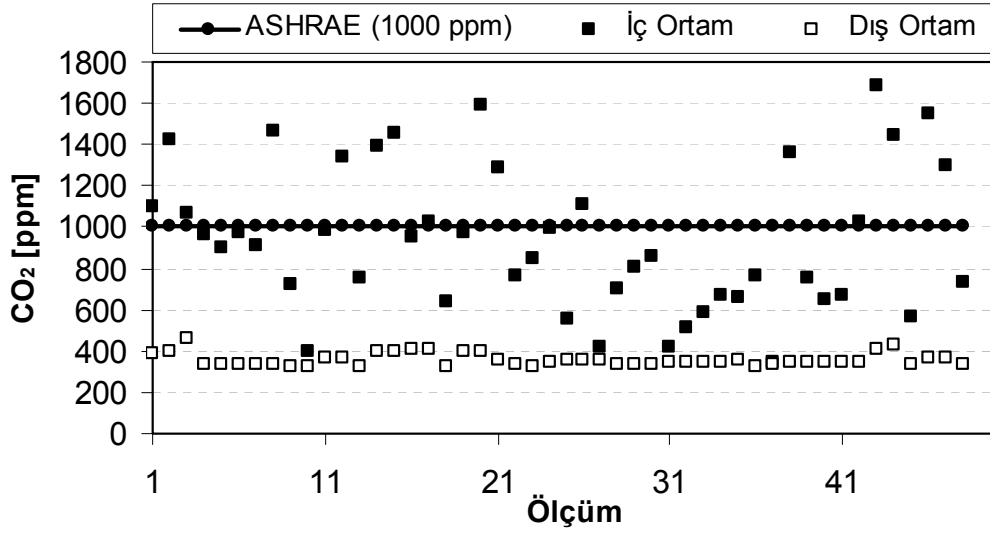
İç ortam sıcaklığının ölçümlere göre değişimi Şekil 2’de verilmiştir. Şekilden iç sıcaklığın genelde kabul edilebilir konfor şartlarında olduğu görülmüştür. Şekil 3’te ise iç bağıl nemim değişimi görülmektedir. Şekilden iç bağıl nemin ASHRAE tarafından önerilen sınırlar arasında kaldığı görülmektedir. Şekil 4’te CO₂ miktarının değişimi gösterilmiştir. CO₂ miktarının ASHRAE’nin önerdiği 1000 ppm’in üzerine çıktığı durumlar gözlenmesine rağmen Kanada standardı tarafından önerilen 3500 ppm değerine yaklaşmadığı tespit edilmiştir.



Şekil 2. Ofislerde iç ortam sıcaklığının değişimi

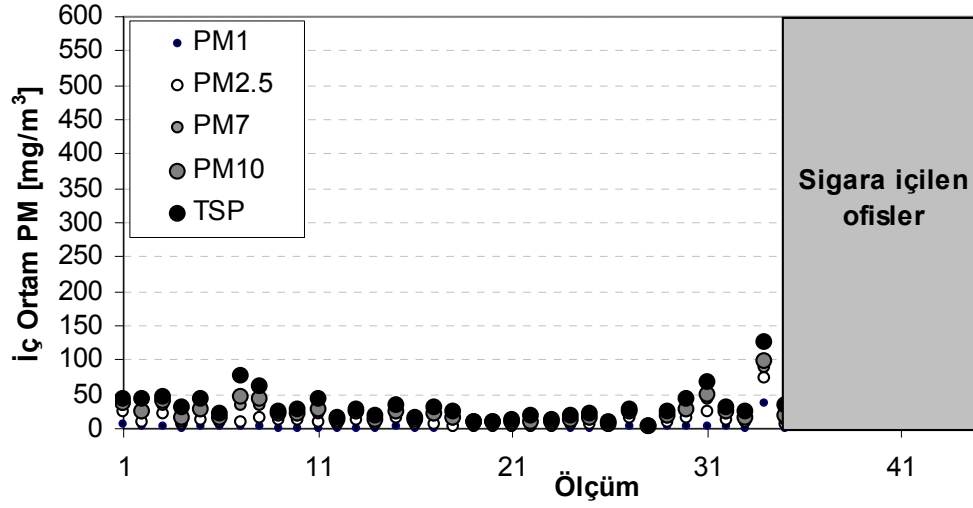


Şekil 3. İç ortam bağıl nemin değişimi

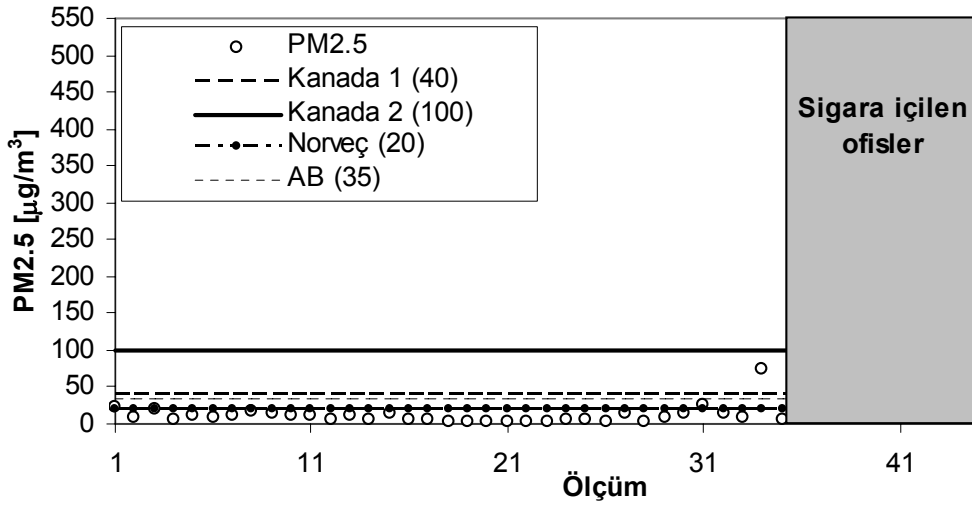


Şekil 4. İç ve dış ortamdaki CO₂ miktarının değişimi

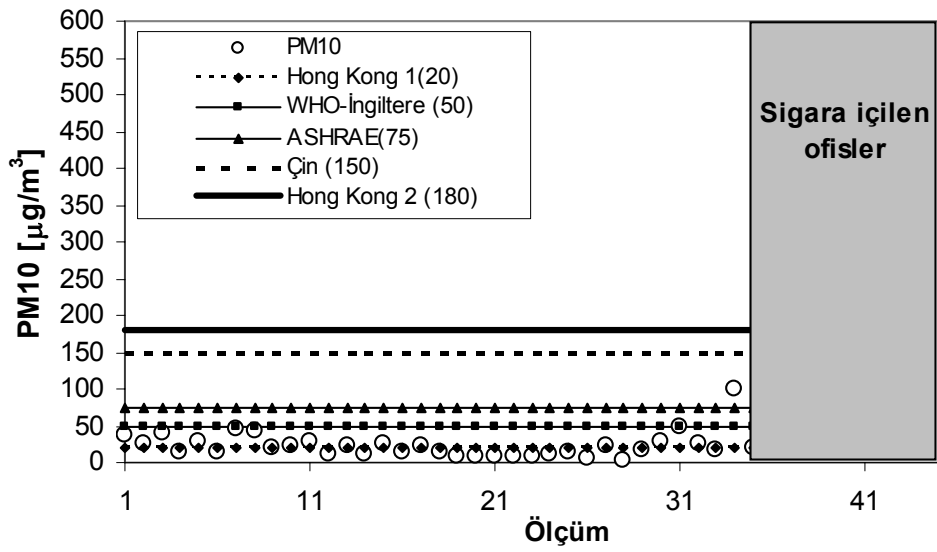
Şekil 5'te değişik çaplardaki PM'lerin değişimi sigara içilen ve içilmeyen ofisler için verilmiştir. Şekilden sigara içilen ofislerde tüm PM miktarlarının yüksek değerlerde olduğu görülmektedir. Şekil 6'da ölçülen PM_{2.5} miktarının, değişik ülkelere ait standartlarda önerilen sınır değerleri ile karşılaştırılması verilmiştir. Şekilden sigara içilmeyen ofislerde PM_{2.5} miktarının standartlarda önerilen değerlerin altında kaldığı tespit edilmiştir. Ölçülen PM₁₀ miktarının standartlarda verilen sınır değerleri ile karşılaştırılması ise Şekil 7'de verilmiştir. Sigara içilmeyen ortamlarda PM₁₀ miktarının Hong Kong 1. düzey sınır değeri hariç diğer standartlarda önerilen sınır değerlerinin altında kalmıştır.



Şekil 5. İç ortamdaki partikül madde değişimi



Şekil 6. Ofislerdeki PM2.5 miktarının standartlarda verilen değerlerle karşılaştırılması



Şekil 7. Ofislerdeki PM10 miktarının standartlarda verilen değerlerle karşılaştırılması

4. SONUÇ ve ÖNERİLER

Doğal havalandırılmalı ve merkezi kaloriferli ofislerde ısıtma sezonu boyunca iç hava kalitesi ölçümleri yapılmıştır. Sıcaklık, bağıl nem, karbondioksit ve partikül madde (PM1, PM2.5, PM7, PM10 ve TSP) miktarları, iç hava kalitesi parametreleri olarak ölçülmüştür. Aynı parametreler dış ortam havasında da ölçülmüştür. İç ortamda bağıl nem değerleri kabul edilebilir ısıl konfor sınırları içinde kaldığı tespit edilmiştir. İç hava sıcaklığının da genelde kabul edilebilir düzeylerde olduğu belirlenmiştir. Ölçülen CO₂ miktarının ise kabul edilebilir iç hava kalitesi için ASHRAE tarafından önerilen 1000 ppm değerini zaman zaman aşmasına rağmen Kanada standartlarında belirtilen 3500 ppm değerini geçmediği tespit edilmiştir.

Partikül madde kirleticilerinin genelde iç kaynaklı olduğu görülmüştür. Sigara içilen ofislerde PM miktarının, sigara içilmeyen ofislerdeki değerlerden ve standartlarda belirtilen sınırlardan çok büyük değerlerde olduğu tespit edilmiştir. Sigara içilmeyen ofislerdeki kirleticici miktarların standartlarda belirtilen sınır değerlerin altında kaldığı gözlenmiştir. Sigara içildikten sonraki zamanlarda ölçüm alınmasına rağmen değerlerin çok yüksek olduğu görülmüştür. Bu durum kışın pencere ve kapıların kapalı olması nedeniyle içerideki kirleticilerin iç ortamın havasında uzun süre kaldıklarını göstermektedir.

Merkezi kalorifer sistemi ile ısıtılması yapılan ofislerde iyi bir iç hava kalitesi oluşturmak için havalandırma sisteminin yapılması gerekir. Havalandırma sisteminde filtrasyonun yani hava temizliğinin iyi yapılması gerekir.

Enerji tasarrufu ve sağlıklı ortamlar için çalışanların iç hava kalitesi ile ilgili bilgilendirilmesi gerekir. Ofis binalarında sigara içme odaları tesis edilmelidir. Fotokopi ve yazıcı gibi özel amaçlı makine veya cihazlar için ayrı ortamlar olmalıdır. İç ortam havası için kirleticici kaynağı olabilecek halı ve mobilyadan kaçınılmalıdır.

Sonuç olarak, sağlıklı ve verimli bir yaşam için soluduğumuz havanın temiz olması yani iyi bir iç hava kalitesinin sağlanması gerekir. Bu amaç doğrultusunda Türkiye için farklı amaçlar için kullanılan kapalı ortamlar için iç hava kalitesi ile ilgili standartların ortaya konulması ve uygulanması gerekir.

KAYNAKLAR

- [1] Schramek, E., 1999, Recknagel-Sprenger Schramek- Isıtma ve Klima Tekniği El Kitabı, TTMD, Ankara.
- [2] ASHRAE, 1989, Standard 62- 1989- Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Atlanta.
- [3] ASHRAE, 2001, Standard 62- 2001- Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Atlanta.
- [4] Bas, E., 2004, Indoor Air Quality-A Guide for Facility Managers, The Fairmont Pres, Lilburn, Georgia.
- [5] Montgomery, D.D., Kalman, D.A., 1988, Indoor/outdoor air quality: reference pollutant concentrations in complaint-free residences, Applied Industrial Hygiene, 4, 17-20.
- [6] Fanger, P. O., 2004, How to make indoor air quality one hundred times beter while saving energy, VI. Uluslararası Yapıda Tesisat Teknolojisi Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 1- 10, TTMD Derneği, İstanbul.
- [7] Lee, S.C., Li, W., Ao, C., 2002, Investigation of indoor air quality at residential homes in Hong Kong: a case study, Atmospheric Environment, 36, 225-237.
- [8] Lee, S.C., Chang, M., 2000, Indoor and outdoor air quality investigation at schools in Hong Kong, Chemosphere, 41, 109-113.
- [9] Guo, H., Lee, S.C., Chan, L.Y., 2004, Indoor air quality in ice skating rinks in Hong Kong, Environmental Research, 94, 327-335.
- [10] Stranger, M., Potgieter-Vermaak, S.S., Van Grieken, R., 2007, Comparative overview of indoor air quality in Antwerp, Belgium, Environment International, 33, 789-797.
- [11] Shaw, C.Y., Salares, V., Magee, R.J., Kanabus-Kaminska, M., 1999, Improvement of indoor air quality in four problem homes, Building and environment, 34, 57-69.
- [12] Chaloulakou, A., Mavroidis, I., 2002, Comparison of indoor and outdoor concentrations of CO at a public school. Evaluation of an indoor air quality model, Atmospheric Environment, 36, 1769-1781.
- [13] Mui, K.W., Chan, W.T., 2006, Building calibration for IAQ management, Building and Environment, 41(7), 877-886.
- [14] Kalokotroni, M., Ge, Y.T., Katsoulas, D., 2002, Monitoring and modelling indoor air quality and ventilation in classrooms within a purpose-designed naturally ventilated school, Indoor and Built Environment, 11(6), 316-326.

- [15] Zhang, G., Spickett, J., Rumchev, K., Lee, A.H., Stick, S., 2006, Indoor environmental quality in a low allergy school and three standard primary schools in western Australia, *Indoor and Built Environment*, 16(1), 74-80.
- [16] Noh, K., Jang, J., Oh, M., 2007, Thermal comfort and indoor air quality in the lecture room with 4-way cassette air-conditioner and mixing ventilation system, *Building and Environment*, 42, 689-698.
- [17] Hui, P., Wong, L., Mui, K., 2007, Evaluation of professional choice of sampling locations for indoor air quality assessment, *Building and Environment*, 42, 2900-2907.
- [18] Becker, R., Goldberger, I., Pacuik, M., 2007, Improving energy performance of school buildings while ensuring indoor air quality ventilation, *Building and Environment*, 42, 3261-3276.
- [19] Li, Y., Chen, Z., 2003, A balance-point method for assessing the effect of natural ventilation on indoor particle concentrations, *Atmospheric Environment*, 37, 4277-4285.
- [20] Branis, M., Rezacova, P., Domasova, M., 2005, The effect of outdoor air and indoor human activity on mass concentrations of PM₁₀, PM_{2.5}, and PM₁ in a classroom, *Environmental Research*, 99, 143-149.
- [21] Berube K.A., Sextona, K.J., Jonesb, T.P., Morenoa, T., Andersona, S., Richards, R.J., 2004, The spatial and temporal variations in PM₁₀ mass from six UK homes, *Science of the Total Environment*, 324, 41-53.
- [22] Mestl, H.E.S., Aunan, K., Seip, H.M., 2007, Health benefits from reducing indoor air pollution from household solid fuel use in China-Three abatement scenarios, *Environment International*, 33, 831-840.
- [23] Kukadia, V., Palmer, J., 1998, The effect of external atmospheric pollution on indoor air quality: a pilot study, *Energy and Buildings*, 27, 223-230.
- [24] Wang, X., Bi, X., Sheng, G., Fu, J., 2006, Hospital indoor PM₁₀/PM_{2.5} and associated trace elements in Guangzhou, China, *Science of the Total Environment*, 366, 124-135.
- [25] Zhang, Q., Zhang, G., 2007, Study on TVOCs concentration distribution and evaluation of inhaled air quality under a re-circulated ventilation system, *Building and Environment*, 42, 1110-1118.
- [26] Halios, C.H., Helms, C.G., 2007, On the estimation of characteristic indoor air quality parameters using analytical and numerical methods, *Science of the Total Environment*, 381, 222-232.
- [27] Jones, A.P., 1999, Indoor air quality and health, *Atmospheric Environment*, 33, 4535-4564.
- [28] Esin, T., 2004, İnsan sağlığını etkileyen iç hava kalitesinin oluşumunda yapı malzemelerinin rolü, *Yapı*, 275, 99-103.
- [29] İlten, N., Bulgurcu, H., 2002, Evlerde iç hava kalitesi ile ilgili bir araştırma, 4. Balıkesir Mühendislik Sempozyumu Bildiriler Kitabı, Balıkesir.
- [30] Kaya, M., 2003, Sağlıklı ve verimli çalışma ortamı için iç hava kalitesi, *Termodinamik*, 125.
- [31] Aslan, D.E., 1997, İç hava kalitesi ve kontrolü, III. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi, Teskon 97, İzmir.
- [32] Dönmez, O., 2003, İç Hava Kalitesi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- [33] Gürdallar, M., 2003, Hijyen ve iç hava kalitesi bakımından HVAC sistemlerinin temizliği, VI. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi Bildiriler Kitabı, 1-13, İstanbul.
- [34] Vural, S.M., Balanlı, A., 2005, Yapı ürünü kaynaklı iç hava kirliliği ve risk değerlendirmede ön araştırma, *YTÜ Mim. Fak. E-dergi*, 1(1), 28-39.
- [35] Kapkın, Ş., Uzal, E., 2005, 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, Antalya.
- [36] Alyüz, B., Veli, S., 2006, İç ortam havasında bulunan uçucu organik bileşikler ve sağlık üzerine etkileri, *Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 7(2), 109-116.
- [37] Köksal, Y., 2001, Kapalı mahallerde hava kalitesinin iyileştirilmesi, V. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi Bildiriler Kitabı, 625-6451, İzmir.
- [38] Sofuoğlu, S.C., 2006, Predicting prevalence of building related symptoms in office buildings using artificial neural Networks, Türk Tesisat Mühendisleri Derneği, VII. Uluslararası Yapıda Tesisat Teknolojisi Sempozyumu, İstanbul.
- [39] Vaizoğlu, S. A., 1997, Ankara'da Evlerde Kış Dönemi Radon Konsantrasyonunun Belirlenmesi, Halk Sağlığı (Çevre Hekimliği) Bilim Uzmanlığı Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [40] Karakoç, H., Işıklı, B., Atmaca, F., Toka, S., Kaba, Ş., 2005, Uçaklarda iç hava kalitesi ve neden olabileceği problemler, VII. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi Bildiriler Kitabı, 431-441, İzmir.
- [41] Gönüllü, M.T., Bayhan, H., Avşar, Y., Arslankaya, E., 2002, YTÜ Şevket Sabancı Kütüphane binası iç ortam havasındaki partiküllerin incelenmesi, Harran Üniversitesi 4.GAP Mühendislik Kongresi (Uluslararası Katılımlı) Bildiriler Kitabı, 1384- 1389, Şanlıurfa.
- [42] Bulgurcu, H., İlten, N., Coşgun, A., 2005, Okullarda iç hava Kalitesi problemleri ve çözümler, VII. Ulusal Tesisat Kongresi Bildiriler Kitabı, 601-615, İzmir.
- [43] Evcı, D., Vaizoğlu, S., Özdemir, M., Aycan, S., Güler, Ç., 2005, Ankara'da 46 kahvehanede formaldehit düzeylerinin belirlenmesi, *TSK Koruyucu Hekimlik Bülteni*, 4(3), 129-135.

- [44] Çoşgun, A., Mutlu, İ.B., Yüçetürk, G., 2005, Okullarında iç hava kalitesinin incelenmesi, İklim 2005-Ulusal İklimlendirme Sempozyumu Bildiriler Kitabı, Antalya MMO Yayın No: E/2005/387, 244-251, Antalya.
- [45] Keskin, Y., Özyaral, O., Başkaya, R., Lülecı, N.E., Avcı, S., Acar, M.S., Aslan, H., Hayran, O., 2005, Bir lise binası kapalı alan atmosferine ait mikrobiyolojik içeriğın hasta bina sendromu açısından öğretmen ve öğrenciler üzerindeki etkileri, Astım Allerji İmmünoloji, 3(3), 116-130.
- [46] Okutan, C., 1999, Klima ve havalandırma sistemlerinde iç hava kalitesi, Tesisat Dergisi, 37, 91-95..
- [47] Çobanoğlu, N., Kiper, N., 2006, Bina içi solunan havada tehlikeler, Çocuk sağlığı ve hastalıkları dergisi, 49, 71-75.
- [48] MINITAB, 2000, Minitab Statistical Software, Help Document, 13.2 Version.
- [49] Karakoç, H., 2006, Kalorifer Tesisatı Hesabı, DemirDöküm Teknik yayınları, No:9.
- [50] ASHRAE, 2003, ASHRAE HandbookCD, 2001 Fundamentals, Chapter 8: Thermal Comfort, Atlanta, USA.
- [51] Doğan, H., 2002, Havalandırma ve İklimlendirme Esasları, Seçkin Yayınevi, Ankara.
- [52] Önen, E., 1985, Havalandırma ve Klima Tesisatı, Bayındırlık ve İskan bakanlığı, Teknik El kitabı No: 9, Başbakanlık Basımevi, Ankara.
- [53] ASHRAE, 2003, ASHRAE HandbookCD, 2001 Fundamentals, Chapter 9: Indoor Environmental Health, Atlanta, USA.
- [54] ASHRAE, 2003, ASHRAE HandbookCD, 2001 Fundamentals, Chapter 12: Air Contaminants, Atlanta, USA.
- [55] Korkmaz, A., 2007, Hastane iklimlendirme sistemlerinde filtre seçimi ve filtrenin önemi, Tesisat Mühendisliği Dergisi, 98, 27-30.
- [56] Yeşilyurt, C., Akcan, N., 2007, Hava Kalitesi İzleme Metodolojileri ve Örneklem Kriterleri, T.C. Sağlık Bakanlığı, Refik Saydam Hıfzısıhha Merkezi Başkanlığı Çevre Sağlığı Araştırma Müdürlüğü, http://www.shm.saglik.gov.tr/hki/pdf/hava_metot.pdf.
- [57] HKGCC, 2006, The Clean Air Charter-A Business Guidebook, Hong Kong General Chamber of Commerce, www.cleanair.hk.

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. 2003 yılında Harran Üniversitesi, Makina Mühendisliği Bölümüne Yrd. Doç. olarak atandı. 2005 yılında Makina Mühendisliği Enerji Bilim Dalında Doçent oldu. Halen Harran Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölüm Başkan Yardımcılığı görevini sürdürmektedir. Çalışma alanları ısıtma ve soğutma sistemleri için iklim verileri ve enerji analizi, ısıtma-soğutma ve güneş enerjisi sistemleri uygulamalarıdır. TTMD ve MMO üyesidir.