



**Bu bir MMO
yayıdır**

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

İZMİR İLKÖĞRETİM OKULLARINDA İÇ HAVA KALİTESİ EĞİTİMİ PROJESİ UYGULAMA OKULUNDA İÇ HAVA KALİTESİ

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

**ORHAN EKREN
EGE ÜNİVERSİTESİ**

**MACİT TOKSOY
SİNAN AKTAKKA
ENEKO**



İZMİR İLKÖĞRETİM OKULLARINDA İÇ HAVA KALİTESİ EĞİTİMİ PROJESİ UYGULAMA OKULUNDA İÇ HAVA KALİTESİ

Tuğba UGRANLI
Sait C. SOFUOĞLU
Orhan EKREN
Macit TOKSOY
Sinan AKTAKKA

ÖZET

Çocuklar ortalama olarak hafta içi günlerde 8 saatlerini okulda geçirmektedir. Bu yüzden uzun süreli maruziyet sonucu okullarda iç hava kirliliği çocukların sağlığı ve akademik performansı üzerinde olumsuz etkiler yaratabilmektedir. Çocuklarda bu konuda farkındalık yaratmak hedefiyle Makina Mühendisleri Odası, İzmir Milli Eğitim Müdürlüğü ile işbirliği içinde, "İlköğretim Okullarında İç Hava Kalitesi Eğitimi" çalışmasını başlatmıştır. Bu proje çerçevesinde Nihat Gündüz Ortaokulunda bir örnek uygulama projesi yapılacaktır. Uygulama projesi öncesinde mevcut durumu belirlemek amacıyla Güz-2014 yarıyılında okulun bir sınıfında iç hava NO₂, toplam uçucu organik bileşikler (TUOB), PM_{2.5} ve bunlarla beraber CO₂, bağıl nem ve sıcaklık gibi konfor değişkenleri ölçülmüştür. Bu bildiride iç hava kirlleticilerinin derişim düzeyleri ve değişkenlikleri ile bina ile ilgili semptomların yaygınlığı değerlendirilmiştir. Ölçümlerde bir sürekli izleme cihazı kullanılmıştır. Ders saatlerinde ölçülen 5 günlük ortalama değerler standartlarla karşılaştırılmıştır. PM_{2.5} derişimleri standardın üstüne çıkmış ve risk teşkil etmiştir. Hafta 2, 3 ve 4'te kaydedilen TUOB ve CO₂ derişimleri de rehber değerleri aşmıştır. Konfor değişkenleri ise Hafta 1'de ölçülen sıcaklık değeri (27.1 °C) dışında konfor aralığındadır. Hafta içi ve hafta sonu gündüz ve gece olarak yapılan ölçümler sonucunda en yüksek değerler hafta içi gündüz saatlerinde ölçülmüştür. Uygulanan iki farklı senaryo ile TUOB ve CO₂ miktarlarının sınıfta öğrenci varken ve havalandırmanın düzenli olarak yapılmadığı zamanlarda daha yüksek değerlere ulaştığı görülmüştür. PM_{2.5} ise doğal havalandırmanın artırıldığı durumda muhtemelen dış hava kaynaklı olarak daha yüksek bir değere ulaşmıştır. Sonuç olarak PM_{2.5} TUOB ve CO₂ derişimleri partikül filtrelemeli bir mekanik havalandırma tesisatı kurularak azaltılabilir. Sınıf içinde var olan TUOB kaynakları da tespit edilip azaltılmalıdır.

Anahtar Kelimeler: Okul, İç hava kalitesi

ABSTRACT

Children spend approximately 8 hr in weekdays at schools. Therefore, long term exposure to these pollutants causes adverse effects on children's health and academic performance. To create awareness about this topic on children, a project was organized by Chamber of Mechanical Engineers (CME) in collaboration with İzmir Ministry of Education. An application project is to be conducted at a middle school (Nihat Gündüz Ortaokulu). To determine current situation before the project application, indoor air NO₂, total volatile organic compounds (TVOC), and PM_{2.5} along with the comfort variables of CO₂, RH %, and temperature were measured. This paper presents concentrations of the indoor air pollutants and comfort variables measured in a five-week period in Fall-2014 semester. A continuous monitoring device was used for the measurements. Five-day averages of the measured values were compared with the standards. Although NO₂ level was below the standards, PM_{2.5} for all weeks, and

TVOC and CO₂ levels measured in Week 2, 3, and 4 were exceeded the limits. Except temperature recorded in Week 1 (27.1 °C), all comfort variables were in the comfort range. The highest levels were measured in daytimes of weekdays. As a result of two scenarios applied, TVOC and CO₂ concentrations were higher when students were in classroom and ventilation was irregular. In contrast, PM_{2.5} level was higher with the increased natural ventilation probably because of the outdoor pollution. In conclusion, to be able to decrease PM_{2.5}, TVOC, and CO₂ levels below the standards, a mechanical ventilation with particle control could be installed. In addition, sources of VOCs in the classroom should be minimized.

Keywords: School, Indoor air quality

1. GİRİŞ

Kirletici konsantrasyonlarının iç hava ortamında dışarıya göre daha yüksek olduğunun ve insanların vakitlerinin çoğunu kapalı ortamlarda (ev, ofis, okul ve eğlence merkezleri) geçirdiğinin fark edilmesi üzerine, iç hava kirliliğine olan ilgi 1970'lerden sonra artmaya başlamıştır [1]. Tüm yaş grupları arasında çocukların kirleticilere yetişkinlerden daha duyarlı olduğu saptanmıştır. Çünkü çocukların vücut ağırlıklarına göre nefes alma oranları daha yüksek olmakla beraber, büyümeleri de oldukça hızlıdır [2]. Çocuklar ortalama olarak hafta içi günlerde 8 saatlerini okulda geçirmekte ve bu yüzden okullarda sınıfların iç hava kalitesi önemli bir araştırma konusu haline gelmiştir. Sınıfların iç hava kalitesini etkileyen muhtemel etkenler ders ve teneffüs uzunluğu, havalandırma oranı, bina yaşı, yapı malzemeleri, sınıf mevcudu, sınıfın temizlenme sıklığı ve dış hava kalitesidir.

En çok ölçülen iç hava kirleticileri nitrojen dioksit (NO₂), uçucu organik bileşikler (UOB), PM_{2.5} ile beraber karbondioksit (CO₂), bağıl nem ve sıcaklık gibi konfor değişkenleridir. Bu kirleticilere maruz kalınması halinde kısa veya uzun dönemli sağlığa olumsuz etkiler görülebilmektedir. NO₂ maruziyeti hassas gruplarda solunum yollarını etkilemekte olup astımı da tetikleyebilmektedir. UOB mukoza zarı üzerinde tahriş, yorgunluk ve konsantrasyon kaybı gibi etkiler yaratabilmektedir [3]. Toz maruziyeti ise diğer kirleticilerden farklıdır. Çünkü tozun solunumu veya deri yoluyla maruz kalınmasının yanında, toz yüzeyine tutunan iz elementler ve yarı uçucu bileşiklerde sağlık üzerinde olumsuz etkiler yaratmaktadır [4]. Konfor değişkenleri ise derse katılımı, performansı ve odaklanmayı etkilediği gibi solunum yolu enfeksiyonlarına ve alerjiye de yol açabilirler [5].

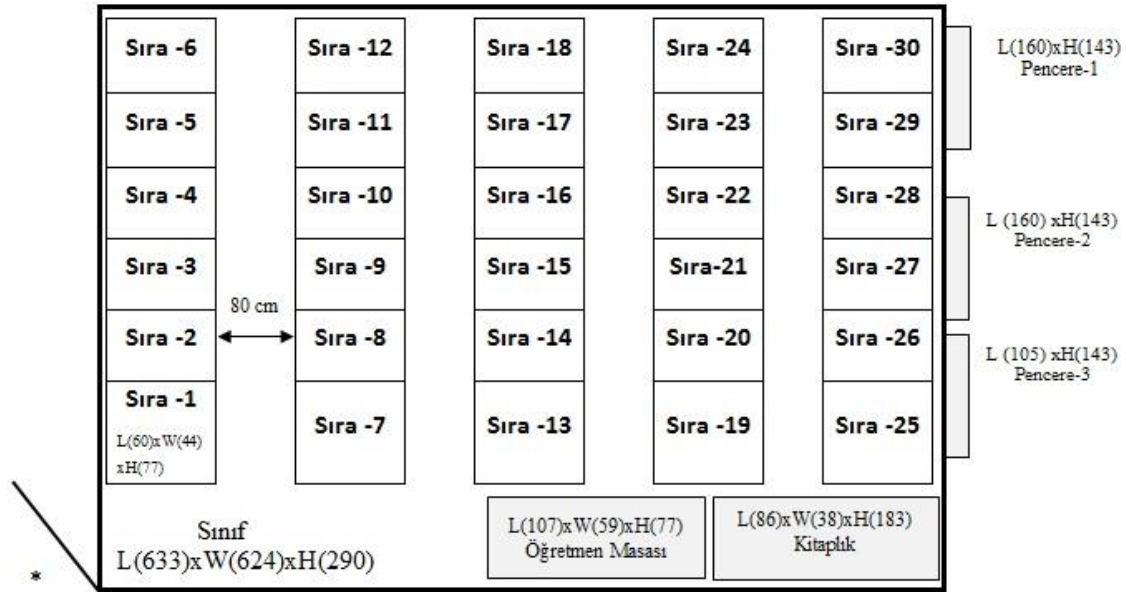
Lee ve Chang [6] yerleşim bölgesi, endüstriyel ve kırsal alanlarda bulunan beş ilkokulda iç hava kalitesini ölçmüştür. PM₁₀ ve NO₂ konsantrasyonlarının 24 saatlik ortalama değerleri sırasıyla 21-617 µg/m³ ve 15-213 µg/m³ arasında değişmektedir. En yüksek CO₂ derişimi yetersiz havalandırma sonucunda 5900 ppm olarak kaydedilmiştir. Ortalama sıcaklık ve bağıl nem ise sırasıyla 17.2-23.2 °C ve % 55.5-75.1 aralığındadır. Kolombiya'nın yarı kentsel alanında yer alan bir ilkokulun toz ve konfor değişkenleri Fox vd. [7] tarafından incelenmiştir. CO₂ derişimi boş sınıflarda 420 ppm iken, dolu sınıflarda bu değer 1017 ve 1736 ppm arasında değişkenlik göstermiştir. Toz miktarı ise dolu sınıflarda (57.9 µg/m³) boş sınıflardaki değer (7.5 µg/m³) yaklaşık olarak 8 katıdır. Annesi-Maesano vd. [8] tarafından gerçekleştirilen çalışmada altı şehirde seçilen ilkokullardaki NO₂ kirleticisinin beş günlük ortalama değeri yaklaşık olarak 27 µg/m³ olarak saptanmıştır. Buna ek olarak öğrenciler arasında düzenlenen anket sonucunda NO₂ alerjik astımın tetikleyicisi olarak belirlenmiştir. Babayigit ve arkadaşlarının [9] yürüttüğü çalışmada Keçiören, Ankara'da bulunan 31 ilkokulun 172 sınıfında ölçüm yapılmıştır. Ortalama CO₂ ve NO₂ değerleri sırasıyla 717.3 ppm ve 2 ppm'dir. Mann-Whitney U testinin sonucuna göre sınıf hacmi <6 m³ ve öğrenci sayısı >35 ise kirletici seviyelerinin daha yüksek ortalama değerlere ulaştığı saptanmıştır. Eskişehir'de ilkokullarda yürütülen bir başka çalışmada ise ortalama NO₂ derişimi 33.29 µg/m³'dür. Kentsel alanda bulunan ilkokullardaki NO₂ miktarı (27.06 µg/m³) kırsal bölgede ölçülen değerlerden (8.42 µg/m³) 3 kat daha fazladır.

Yayınlanmış bazı çalışmalarda da görüldüğü üzere ilkokullardaki öğrenciler hava kirleticilerine karşı hassas olup, ilkokullardaki iç hava kalitesi çalışmaları oldukça önem arz etmektedir. Bu çalışmanın çıkış noktası, Makina Mühendisleri Odası İzmir Şubesi tarafından İzmir Milli Eğitim Müdürlüğü işbirliği ile yürütülen İlköğretim Okullarında İç Çevre Kalitesi Eğitimi [10] ve Okullarda İç Hava Kalitesinin

İyileştirilmesi Örnek Uygulama [11] projeleridir; ve amacı (1) İzmir kentsel alanda bulunan uygulama okulunda iç hava kirletici düzeylerinin belirlenmesi ve (2) doğal havalandırma uygulamalarının iç hava kirleticileri üzerindeki etkisini saptamaktır. Bu kapsamda ölçülen kirleticiler NO₂, toplam uçucu organik bileşikler (TUOB) ve PM_{2.5}, konfor değişkenleri ise CO₂, bağıl nem ve sıcaklıktır.

2. MALZEME VE YÖNTEM

İzmir kabaca 4,000,000 nüfusuyla Türkiye'nin en büyük üçüncü kentidir ve Ege Bölgesinde yer almaktadır. Örnekleme yapılan Nihat Gündüz Ortaokulu (NGO) İzmir'in Bornova ilçesinde bulunmakta ve konum olarak Aydın çevreyoluna 475 m ve Çimentoş fabrikasına da 2.2 km uzaklıktadır. Seçilen sınıfta 30 öğrenci ve 1 öğretmen bulunmakta ve eğitim saatleri 8.40-14.30 arasında olup 10 dk ara verilmektedir. Sınıf hacmi 114.5 m³ olup 3 pencere bulunmakta ve mekanik havalandırma bulunmamaktadır. Okulda ısınma kömür kazanı ve panel radyatörlerle sağlanmaktadır. Koridorlar her akşam su ile paspaslanmakta, sınıflar ise her akşam süpürülüp çamaşır suyu (sodyum hipoklorit) + yüzey temizleyici ile silinmektedir. Bu sınıfta okul ilköğretim okulundan ortaokula dönüşmesinin öncesinden devam eden 30 dördüncü sınıf öğrencisi okumaktadır. Sınıf içindeki yerleşim Şekil 1'de gösterilmiştir.



* Kapı altındaki boşluk: 80x2 cm

Not: Verilen tüm birimler cm cinsindedir.

Şekil 1. Örneklemeye alınan sınıfın planı

Seçilen sınıfta örnekleme 2014 yılının Ekim, Kasım ve Aralık aylarında yapılmıştır. 13-20 Ekim arasında alınan örnekler Hafta 1, 18-21 Kasım arasında alınan örnekler Hafta 2, 12-19 Aralık arasında alınan örnekler Hafta 3 ve 22-26 Aralık arasında alınan örnekler Hafta 4 olarak adlandırılmıştır. Aralık ayında ise havalandırmanın ve sınıftaki insan yoğunluğunun iç hava kalitesine etkisini gözlemleyebilmek için iki farklı senaryo uygulanmıştır. Hafta 3' de ders aralarında pencereler tamamen açılmış ve öğrencilerin hepsi dışarıya çıkarılmıştır (Senaryo 2). Hafta 4' de ise sınıf normal işleyişine bırakılmış ve herhangi bir müdahalede bulunulmamıştır (Senaryo 1). Okul saatlerinde yapılan ölçümler 6 saatlik olup, gece yapılan ölçümler ise 4 saatliktir. Ölçümlerde sürekli izleme cihazı olan EVM-7 kullanılmış ve ölçüm esnasında hava akış hızı 1.67 l/dk olarak sabitlenmiştir. Cihaz,

sınıfın ortasında, yerden 1.1 m yüksekliğe, çocukların müdahalesinden korumak üzere bir kabin içine yerleştirilmiş (Şekil 2) ve her 30 saniyede bir veri alınmıştır. İncelenen parametreler NO_2 , TUOB_3 , $\text{PM}_{2.5}$, CO_2 , bağıl nem ve sıcaklıktır. $\text{PM}_{2.5}$ örnekleri 90° optik ışık saçınım fotometre ile mg/m^3 cinsinden belirlenmiştir. Fakat cihaz üretici tarafından Arizona yol tozuna göre kalibrasyon edildiği için daha önce Toprak vd. [12] tarafından yürütülen çalışma sonucunda belirlenen düzeltme faktörü uygulanmıştır. TUOB fotoiyonizasyon detektörü ile ppb olarak biriminde ölçülmektedir. Toksik gaz sensörü ise NO_2 seviyesini (ppm) ölçmektedir. CO_2 (ppm) ölçümleri de non-dispersif infrared sensör ile saptanmaktadır.



Şekil 2. İzleme cihazının yerleştirildiği kabin ve sınıftaki yerleşimi

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. İç Hava Kirleticileri

Okullardaki hava kalitesini değerlendirmek için hem iç hava kalitesi standartları hem de öğretmenler için iş alanı olmasından dolayı iş güvenliği standartları kullanılabilir. Toprak vd. [12] tarafından derlenen iç hava kalitesi rehber değerleri ve iş güvenliği standart değerleri Tablo 1'de verilmiştir. 6 saatlik ölçüm periyodu Tablo 1'de belirtilen 8 saatlik periyodlara yakın olduğu için belirlenen ortalama değerler bu standartlarla Şekil 5'de karşılaştırılmıştır. Bunlara ek olarak Nordic Ventilation Group [13] sınıflandırması temel alınarak bazı kirleticilerin sağlık etki düzeyleri ve ilişkili sağlık etkileri gösterilmiştir [14] (Tablo 4).

Hafta içinde ders saatlerinde (8.30-14.30) anlık ölçülen kirlenici ve konfor değerlerinin gündüz ve gece ortalama, ortanca, minimum, maksimum ve standart sapma değerleri Tablo 2 de belirtilmiştir. Tablo 3'te ise hafta sonunda Hafta 1 için belirlenen istatistik değerleri gösterilmiştir. Sürekli izleme cihazının tespit sınırı ve hassasiyetinin 0,1 ppm olması ve derişimlerin ya bu değerin altında ya da civarında olması sebebiyle değışkenliği gösterebilecek bir veri seti elde edilememiştir. Dolayısıyla, bu bildiriye NO_2 derişimlerine yer verilememiştir.

Tablo 1. İç hava kalitesi sınır değerleri/ İş güvenliği standartları.

İç Hava Kirlenmecileri	İç Hava Kalitesi Rehber Değeri	Ortalama Süresi	İç Hava Kalitesi Rehber Değeri Kaynağı	İş Güvenliği Standardı	Ortalama Süresi	İş Güvenliği Standard Kaynağı
NO ₂ (ppm)	0.021	8 (sa)	Hong Kong	5	8 (sa)	OSHA, MAK
	0.05	1 (yıl)	USEPA	1	15 (dk)	NIOSH
	0.004	1 (yıl)	WHO	3	8 (sa)	ACGIH
	0.1	1 (sa)	German			
TUOB	0.03	1 (hafta)	German			
	261 (ppb)	8 (sa)	Hong Kong			
	600 (µg/m ³)	8 (sa)	Hong Kong			
PM _{2.5} (µg/m ³)	300 (µg/m ³)	8 (sa)	Seifert vd. [13]			
	65	24 (sa)	USEPA	5 000	8 (sa)	OSHA
CO ₂ (ppm)	100	1 (sa)	HC	3 000	8 (sa)	ACGIH
	1000	8 (sa)	Hong Kong	5 000	8 (sa)	OSHA, NIOSH, ACGIH
Sıcaklık (°C)	24.5-28	yaz	ASHRAE	10 000	1 (sa)	MAK
	23-25.5	kış		23-26	yaz	CSA
	20-25.5	-	Hong Kong	20-23.5	kış	
Bağıl nem (%)	30	yaz	ASHRAE			
	60	kış				
	30-60	-	Alberta			
	40-70	-	Hong Kong			

Hong Kong (2003) [16], USEPA (2000) [17], WHO (2000) [18], German (2006) [19], HC (1995) [20], ASHRAE (2004) [21], Alberta Infrastructure (2003) [22], OSHA (2004) [23], MAK (2000) [24], NIOSH (1992) [25], ACGIH (2001) [26], CSA (2005) [27]

Hafta içi gündüz saatlerinde ölçülen en yüksek ve en düşük 5 günlük ortalama TUOB değerleri 222 ve 104 ppb olarak sırasıyla Hafta 4 ve Hafta 1'de kaydedilmiştir. En yüksek değerler Hafta 4 de ölçülmesi ise uygulanan Senaryo 1 ile bağlantılı olabilir. Hafta içi gece ölçümleri sonucunda Hafta 3 haricinde değerlerin ortalama olarak % 8 oranında düştüğü görülmüştür. Akşam kullanılan temizlik ürünlerinin gündüz artan sıcaklık ve havalandırma sonucu havaya daha çok karışması ve öğrencilerin kullandığı çeşitli malzemeler gündüz saatlerinde TUOB derişimlerinin artmasına sebep olmuş olabilir. Temizlik için kullanılan yüzey temizleyici ile birlikte çamaşır suyu kullanılıyor olması yeni UOB oluşumuna da sebebiyet veriyor olabilir [28]. Ayrıca bina yapı malzemelerinden ve sınıftaki çeşitli kaynaklardan salımda olabilmektedir. Hafta sonu gündüz saatlerinde ölçülen 2 günlük ortalama değer ise 103 ppb ve bu değer akşam saatlerinde 83 ppb'ye düşmüştür (Tablo 3). Hafta 2, 3 ve 4' de ölçülen ortalama değerler Seifert vd. [13] tarafından belirlenmiş olan rehber değerine üzerine çıkmıştır. Bu da havalandırmanın yetersizliğini ve sınıf içinde var olan kaynakların azaltılması gerektiğini göstermektedir.

Tablo 2 ve Tablo 3 göstermektedir ki, PM_{2.5} konsantrasyonları gündüz saatlerinde geceye göre daha yüksek değerlere ulaşmıştır. Hafta içi gündüz ölçülen en yüksek 5 günlük ortalama değer 640 µg/m³'tür (Hafta 3). Hafta sonu ise bu değer 100 µg/m³ e düşmüştür. Muhtemelen gündüz saatlerinde öğrenci varlığıyla dışarıdan içeriye taşınmakta ve hareketlerinden dolayı çökelmiş tozlar tekrar havaya karışmakta, dolayısıyla konsantrasyonun yükselmesine neden olmaktadır. Gece saatlerinde ise boşalan sınıfta tozlar yere çökelmekte ve böylece havadaki toz miktarı azalmaktadır. Uygulanan senaryolar sonucunda da, PM_{2.5} derişimi Senaryo 2'de daha yüksek çıkmış ve dış havanın da bir kaynak olarak sayılabileceğini göstermiştir. Ayrıca okula oldukça yakın mesafede bulunan bir çimento fabrikası ve diğer daha küçük ölçekli endüstriyel tesisler, yakında bulunan çevre yollarından akan trafik ve okulun etrafındaki boş, toprak araziler sınıftaki PM_{2.5} miktarını etkileyen etmenler olabilir. Ölçülen değerlerin hepsi USEPA [16] tarafından belirtilmiş olan limit değerine üstündedir (Şekil 5).

Tablo 2. Hafta içi ölçülen iç hava kirleticileri ve konfor değişkenleri için tanımlayıcı istatistikler

Kirleticiler	Hafta	Gündüz			Gece		
		5 Günlük Ortalama	Ortanca (Min-Mak) ^a	Standart Sapma	5 Günlük Ortalama	Ortanca (Min-Mak)	Standart Sapma
TUOB (ppb)	1	104	95.0 (0.00-1504)	103	85.7	86.0 (0.00-719)	41
	2	175	155 (97.0-390)	77.1	137	115 (0.00-420)	53
	3	144	125 (0.00-928)	62.1	128	124 (0.00-294)	20
	4	222 ^c	184 (0.00-935) ^c	141 ^c	149	158 (0.00-233)	32
PM _{2.5} (µg/m ³)	1	300	300 (30-1130)	191	260	260 (50-710)	140
	2	240	190 (20-1000)	174	120	120 (70-210)	20
	3	640	540 (60-2708)	431	540	370 (0.07-1420)	380
	4	490	410 (100-1810)	350	570	430 (140-2610)	420
CO ₂ (ppm)	1	958	916 (351-2998)	456	376	368 (329-542)	36
	2 ^b	1924	1708 (387-5132)	1010	406	386 (365-491)	36
	3	1182	971 (380-5486)	864	435	423 (376-601)	31
	4	2107 ^c	1958 (401-5032) ^c	928 ^c	500	482 (433-746)	49
Bağıl nem %	1	45.1	46.4 (28.0-55.3)	6.54	46.7	46.9 (40.8-55.7)	2.81
	2	58.0	50.2 (41.8-100)	20.1	62.5	55.2 (49.5-100)	18.3
	3	48.9	49.0 (40.7-54.6)	3.62	49.5	49.3 (46.8-57.1)	1.82
	4	44.8	43.4 (37.3-60.7)	5.05	45.1	42.3 (37.1-68.1)	7.13
T (°C)	1	27.1	27.8 (21.4-29.8)	1.82	27.1	26.9 (25.1-28.2)	0.54
	2	25.5	25.5 (23.7-27.1)	0.64	23.8	24.0 (20.2-24.3)	0.79
	3	23.9	23.0 (17.2-26.4)	1.92	21.9	22.1 (18.6-23.0)	0.80
	4	24.3	24.3 (17.0-27.3)	1.60	21.0	20.9 (18.8-22.2)	0.67

^a Anlık değerlerin istatistikleri verilmiştir. ^b 3 günü, ^c 4 günü kapsayan istatistik değerleri verilmiştir.

Tablo 3. Hafta sonu ölçülen iç hava kirleticileri ve konfor değişkenleri

Kirleticiler	Hafta	Gündüz			Gece		
		2 Günlük Ortalama	Ortanca (Min-Mak)	Standart Sapma	2 Günlük Ortalama	Ortanca (Min-Mak)	Standart Sapma
TUOB (ppb)	1	103	95 (0.00-329)	29	83	83 (0.00-271)	17
PM _{2.5} (µg/m ³)	1	100	70 (10-270)	70	30	20 (10-120)	20
CO ₂ (ppm)	1	329	332 (299-409)	15	330	332 (312-405)	11
Bağıl nem %	1	43.7	45.6 (36.6-51.7)	4.56	39.4	39.5 (34.3-49.1)	4.14
T (°C)	1	27.0	26.9 (24.4-27.7)	0.64	26.7	26.5 (24.9-27.5)	0.56

3.2. Çevresel Konfor Değişkenleri

Sınıflar gibi küçük bir alanda çok sayıda öğrencinin bulunması havalandırmanın solunum yoluyla havaya bıraktıkları CO₂'i yeterince uzaklaştırılamaması sonucu derişimleri dış havada bulunan ~400 ppm düzeyinin üzerinde >2000 ppm seviyelerine çıkabilmektedir. CO₂ kaynaklı sağlık etkileri ancak 5000 ppm düzeyinden sonra görülmeye başlamakta, bundan düşük derişimlerde ise baş ağrısı vb. genel semptomlara sebep olabilmektedir. Ancak, 600 ppm referans alındığında, karar verme

performansı 1000 ppm'de orta derecede ve istatistik olarak anlamlı azalmış, 2500 ppm'de ise yüksek derecede ve istatistik olarak anlamlı bir düşme olduğu belirlenmiştir [29]. Literatürde yer alan diğer çalışmalar da, iç hava kalitesinin okulda akademik performans ve devamı [2], hafıza ve odaklanmayı [30] ve hata yapma oranını [31] etkilediğini göstermektedir. Ancak, esas olarak CO₂, havalandırmanın yetersizliği için bir göstere olmakta, dolayısıyla CO₂ yüksek ise iç kaynakları olan diğer kirleticilerin de iç hava da bulunma ihtimalinin yüksek olduğuna işaret etmektedir. Hafta içi ölçülen en yüksek 5-günlük ortalama CO₂ değeri (2107 ppm) Senaryo 1 uygulanan Hafta 4'te kaydedilmiştir. Gece saatlerinde bu değer yaklaşık % 76 azalmış ve 500 ppm'e düşmüştür. Hafta 5'te Senaryo 1 gereği öğrencilerin teneffüste sınıfta bulunmalarına ve cam açılmasına müdahale edilmemiş, bu da CO₂ değerinin ders aralarında tüm öğrencilerin dışarı çıkarılıp pencerelerin açılarak havalandırma yapıldığı Senaryo 2 (Hafta 3)'e göre oldukça yüksek bulunmasına neden olmuştur. Hafta içi gece ölçülen değerler 376-500 ppm arasında değişmektedir. Hafta sonunda gündüz ve gece ölçülen değerler ise aynı olup 330 ppm'dir. Bu da göstermiştir ki, CO₂ derişimini etkileyen en önemli faktörler sınıfta öğrencilerin varlığı ve havalandırma değildir. Gece saatlerinde ve hafta sonunda sınıfta öğrenci olmaması, insan kaynaklı CO₂ üretimini engellemiş ve değerleri ortalama olarak 3 kat aşağıya çekmiştir. Şekil 5'te görüldüğü üzere, Hafta 2, 3 ve 4, Hong Kong'da [17] uygulanan limit değerinin üzerine çıkmış ve Tablo 4'e göre genellikle yüksek veya orta düzeyde sağlık etkileri yaratabilecek düzeylere ulaşmıştır.

Tablo 4. Kirleticilerin sağlık etki düzeyleri ve etkileri

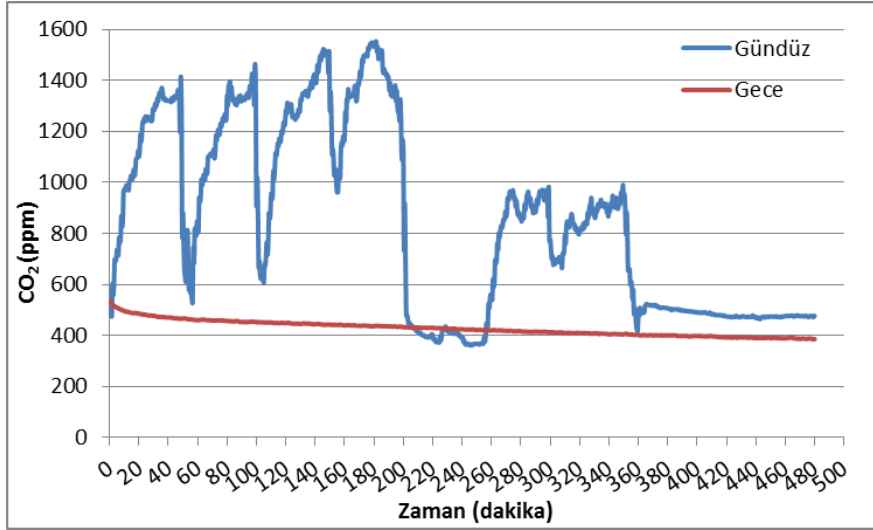
Kirleticiler	Hafta	Etki Düzeyi ^a	Sağlık Etkileri ^a
TUOB	1	yok ^b	
	2	yok ^b	
	3	yok ^b	hasta bina sendromu
	4	yok ^b	
	5	yok ^b	
CO ₂	1	orta	
	2	yüksek	
	3	düşük	ağır hava
	4	orta	
	5	yüksek	
T	1	yüksek	
	2	yüksek	
	3	düşük	cereyan, soğuk, sıcak, kuruluk, hasta bina sendromu
	4	düşük	
	5	orta	

^a Nordic Ventilation Group [13], ^b Seifert vd.[15]

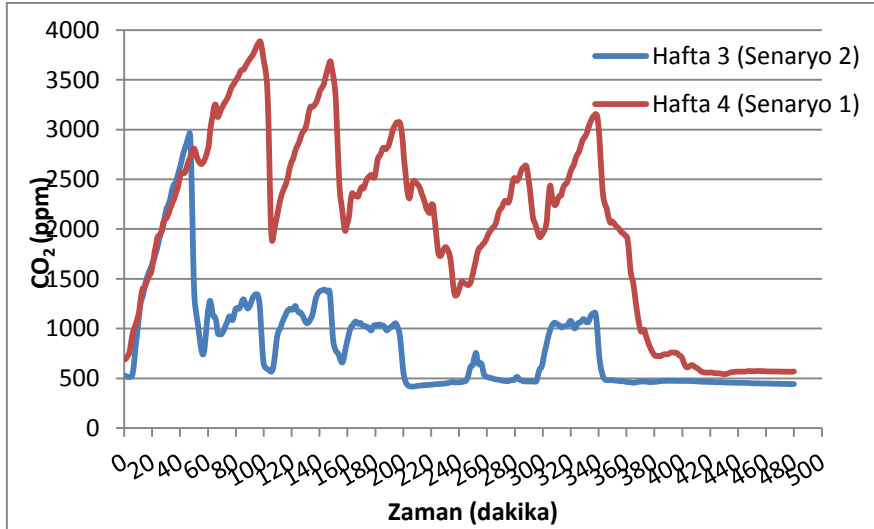
CO₂ derişimlerinin 480 dakikalık hareketli ortalamalarının çizildiği grafikleri Hafta 1'in ilk günü için gündüz ve gece karşılaştırmalı olarak Şekil 3'te verilmiştir. Görüldüğü gibi CO₂ değerleri ders saatlerinde artmış ve ders sonlarında en üst değerlere ulaşmış, teneffüs saatlerinde de daha düşük seviyelere inmiştir. Şekil 4'te ise Aralık ayında Hafta 3 ve Hafta 4 de uygulanan Senaryoların karşılaştırıldığı grafik haftaların ilk günü için sunulmuştur. Şekillerde de görüldüğü üzere Senaryo 1'in uygulandığı durumda Senaryo 2'ye göre daha yüksek derişimlere ulaşılmıştır. Ek olarak, British Department of Education [32] tarafından belirlenen standarda göre ara vermeden yapılan eğitim süresince ortalama ve maksimum CO₂ derişimleri sırasıyla 1500 ve 5000 ppm'i geçmemelidir. Belirtilen günler için öğle arasına kadar (08.30-12.00) hesaplanan bu değerler Senaryo 1 için sırasıyla 2658 ve 3919 ppm iken, Senaryo 2 de 1199 ve 2985 ppm'dir. İki senaryo için de maksimum değerler <5000 ppm iken, Senaryo 1 de ortalama değer % 77 oranında aşılmıştır.

Bağıl nem ve sıcaklık ise ısıl konfor belirtisi olan iki değişkendir. En yüksek hafta içi gündüz bağıl nem değeri Hafta 2'de % 58.0'dir. Diğer haftalarda da ölçülen değerler % 40'ın üzerindedir (Tablo 2). Hafta

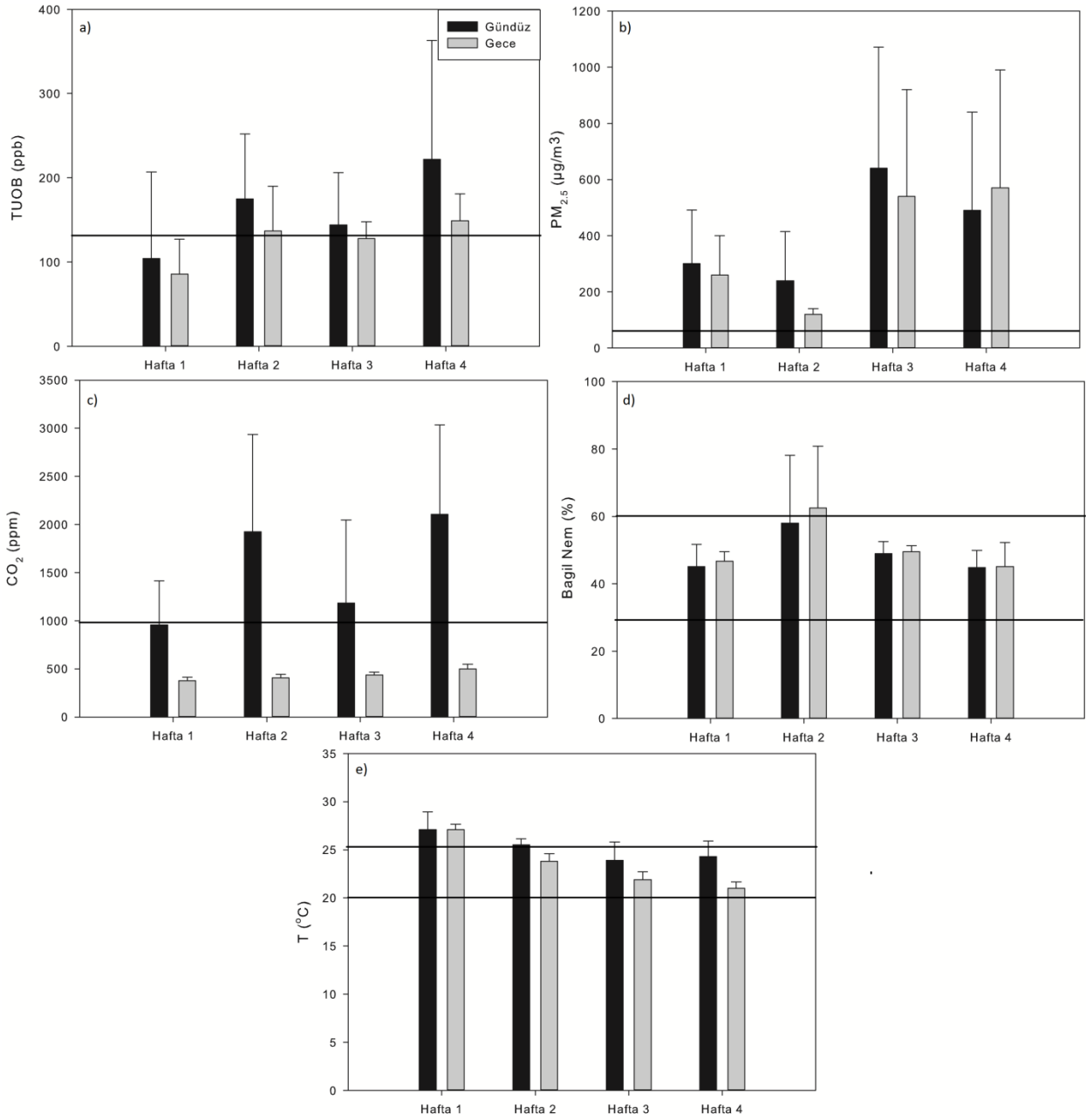
sonu ölçülen seviye gece ve gündüz için sırasıyla % 39.4 ve % 43.7'dir. Hafta 2' de gece ölçülen veri dışındaki tüm değerlerin konfor bölgesi olan % 30-60 aralığında kaldığı gözlemlenmiştir. Sıcaklık değerleri hafta içi gündüz saatlerinde 23.9 ve 27.1 °C arasında değişirken gece saatlerinde ise bu değerler 21.0 ve 27.1 °C aralığına düşmüştür (Şekil 5). Hafta sonu için ölçülen değerler de Tablo 3' de gösterilmiştir. ASHRAE [20] ve CSA [26] tarafından kış için belirlenen sıcaklık konfor aralıkları sırasıyla 23-25.5 °C ve 20-23.5 °C'dir. Hafta 1 dışında ölçülen değerler iki standardın alt ve üst değerlerinin birleştirilmesiyle oluşan 20-25.5 °C aralığının içinde kalmıştır (Şekil 5). Sınıftaki ısı konforunun detaylı değerlendirilmesi Ekren vd. [11] tarafından yapılmıştır.



Şekil 3. CO₂ derişimlerinin gündüz ve gece saatlerinde anlık değişimi



Şekil 4. CO₂ derişimlerinin Hafta 3 ve Hafta 4 için anlık değişimi



Şekil 5. İç hava kirleticileri ve konfor değişkenlerinin hafta olarak karşılaştırılması (a) TUOB (b) PM_{2.5} (c) CO₂ (d) Bağıl nem (e) Sıcaklık

4. SONUÇ

Çalışma kapsamında Nihat Gündüz Ortaokulunda seçilen bir sınıfta Ekim, Kasım ve Aralık-2014 aylarının belirtilen haftalarında iç hava kalitesi ölçülmüştür. Hafta içi günlerde ders saatlerinde elde edilen 5 günlük ortalama değerler standartlarla karşılaştırılmıştır. PM_{2.5} konsantrasyonları ile beraber Hafta 2, 3 ve 4'de kaydedilen TUOB ve CO₂ konsantrasyonları rehber değerlerin üzerine çıkmıştır. Bu da sınıftaki havalandırmanın yetersiz olduğunun ve sınıf içinde var olan TUOB kaynaklarının azaltılması gerektiğinin bir işaretidir. Senaryo 1'de kaydedilen TUOB ve CO₂ değerleri bu kirleticiler açısından Senaryo 2'ye göre daha yüksek olarak saptanmıştır. Bu da sınıftaki öğrenci varlığının ve



doğal havalandırmanın TUOB ve CO₂ derişimleri üzerinde etkisi olduğunu göstermiştir. PM_{2.5} için ise tam tersi durum söz konusudur; dış hava kalitesinin iç havayı etkilediğini göstermektedir. Hafta 1’de ölçülen sıcaklık değeri dışında tüm konfor değerleri de istenilen konfor aralığında kalmıştır. Genel olarak hafta içi gündüz saatlerinde ölçülen değerler hafta içi gece saatlerinde ve hafta sonu ölçülen değerlerden daha yüksektir. Yapılan ölçümler sonucunda TUOB ve CO₂ derişimlerinin istenilen değerlerde olabilmesi için doğal havalandırma yetersiz kalmıştır ve PM_{2.5} derişimin etkilemektedir. Bu yüzden PM_{2.5} TUOB ve CO₂ derişimleri partikül kontrollü bir mekanik havalandırma tesisatı kurularak azaltılabilir. Sınıf içinde var olan TUOB kaynakları da tespit edilip azaltılmalıdır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmayı mümkün kıldığı için Makina Mühendisleri Odası İzmir Şubeye teşekkürü bir borç biliriz. Ayrıca, iç çevre kalitesi ölçümlerini yaptığımız izleme cihazını projede kullanılmak üzere ödünç veren DEÜ Tıp Fakültesi Göğüs Hastalıkları Anabilim Dalından Prof.Dr. Arif H. Çımrın’a, izleme cihazının yerleştirildiği kabini tasarlayıp imal ettikleri ve projemize başışladıkları için Eneko Havalandırma ve Isı Ekonomisi Sistem Teknolojileri Makina San. ve Tic. A.Ş.’ne müteşekkiriz. Son olarak, Nihat Gündüz Ortaokulu Müdürü Osman Alemdar ve Sınıf Öğretmeni Özlem Atik Durkaç’ın misafirperverlik ve yardımları sayesinde çalışmanın ilerleyebildiğini belirtir kendilerine şükranlarımızı sunarız.

KAYNAKLAR

- [1] STOLWIJK, J.A.J., “Risk Assessment of Acute Health and Comfort Effects of Indoor Air Pollution”, Annals of the New York Academy of Sciences, 641, p. 56-62, 1992.
- [2] MENDELL, M.J. ve HEATH, G.A., “Do Indoor Pollutants and Thermal Conditions in Schools Influence Student Performance? A Critical Review of the Literature”, Indoor Air, 15(1), p. 27-52, 2005.
- [3] BERNSTEIN, J. A., ALEXIS, N., BACCHUS, H., BERNSTEIN, I. L., FRITZ, P., HORNER, E., MAOSAN, N. Li, S., NEL, A., OULLETTE, J., REIJULA, K., REPONEN, T., SELTZER, J., SMITH, A., TARLO, S. M., “The Health Effects of Nonindustrial Indoor Air Pollution”, Journal of Allergy and Clinical Immunology, 121(3), p. 585-591, 2008.
- [4] BUTTE, W. ve HEINZOW, B., “Reviews of Environmental Contamination and Toxicology”, Reviews of Environmental Contamination and Toxicology, Vol 175, Springer: New York, p. 2, 2002.
- [5] ARUNDEL, A.V., STERLING, E. M., BIGGIN, J. H., STERLING, T. D., “Indirect Health Effects of Relative Humidity in Indoor Environments”, Environmental Health Perspectives, 65, p. 351-361, 1986.
- [6] Lee, S.C. ve Chang, M., “Indoor Air Quality Investigations at Five Classrooms”, Indoor Air International Journal of Indoor Air Quality and Climate, 9(2), p.134-138, 1999.
- [7] Fox, A., Harley, W., Feigley, C., Salzberg, D., Sebastian, A., Larsson, L., “Increased Levels of Bacterial Markers and CO₂ in Occupied School Rooms”, Journal of Environmental Monitoring, 5(2), p. 246-252, 2003.
- [8] ANNESI-MAESANO, I., HULIN, M., LAVAUD, F., RAHERISON, C., KOPFERSCHMITT, DE BLAY, C. F., CHARPIN, D. A., DENIS, C., “Poor Air Quality in Classrooms Related to Asthma and Rhinitis in Primary Schoolchildren of the French 6 Cities Study”, Thorax, 67(8), p. 682-688, 2012.
- [9] Babayigit, M.A., BAKIR, B., TEK BAS, O. F., OGUR, R., KILIC, A., ULUS, S., “Indoor Air Quality in Primary Schools in Kecioren, Ankara”, Turkish Journal of Medical Sciences, 44(1), p.137-144, 2014.



- [10] TOKSOY, M. vd. "Okullarda İç Hava Kalitesi Eğitimi: Pilot Çalışma İzmir", 12. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, Okullarda İç Çevre Kalitesi Semineri, İzmir, 2015.
- [11] EKREN, O., vd. "Okullarda İç Hava Kalitesinin İyileştirilmesi Örnek Uygulama", 12. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, Okullarda İç Çevre Kalitesi Semineri, İzmir, 2015.
- [12] TOPRAK, M., GÜRSOY, G., DEMİRAL, Y., ÇİMRİN, A. H., SOFUOĞLU, S. C., "Üniversite Laboratuvarlarında İç Hava Kalitesi ve Çalışanların Mesleki Risk Etmenleri", Hava Kirliliği Araştırmaları Dergisi, 2, p. 87-95, 2013.
- [13] Nordic Ventilation Group, "Indoor Climate Problems – Investigation and Remedial Measures", NORDEST Project No: 996-91, Finland, 100 sayfa, 1993.
- [14] GODISH, T., Indoor Environmental Quality, Lewis, Boca Raton, FL, p.239, 2000.
- [15] SEIFERT, B., ENGLERT, N., SAGUNSKI, H., WITTEN, J., "Guideline values for indoor air pollutants" Proceedings of the 8th International Conference on Indoor Air Quality and Climate, Indoor Air'99, August 8–13, 1999, Edinburgh, Scotland, pp. 499–504, 1999.
- [16] Hong Kong, "A Guide on Indoor Air Quality Certification Scheme for Offices and Public Places", The Government of the Hong Kong Special Administrative Region Indoor Air Quality Management Group, Hong Kong, 36 sayfa, 2003.
- [17] U.S. EPA (U.S. Environmental Protection Agency), "National Ambient Air Quality Standards", 2000.
- [18] WHO (World Health Organization), "Air Quality Guidelines for Europe, 2nd Edition", World Health Organization Regional Publications, European Series No: 91, Copenhagen, 288 sayfa, 2000.
- [19] German (German Federal Environmental Agency), 2006.
<http://www.umweltbundesamt.de/en/topics/health/commissions-working-groups/ad-hoc-working-group-for-indoor-air-guide-value>, erişim Mayıs 2014.
- [20] HC (Health Canada), "Exposure Guidelines for Residential Indoor Air Quality: A Report of the Federal Provincial Advisory Committee on Environmental and Occupational Health, Ottawa, 29 sayfa, 1995.
- [21] ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning), "Standard 55-2004, Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy", Atlanta, 7 sayfa, 2004.
- [22] Alberta Infrastructure, "Indoor Air Quality Guideline", Technical Services Branch-2003, Edmonton, 10 sayfa, 2003.
- [23] OSHA, 2004.
http://www.osha.gov/pls/oshaweb/owadisp.show_document?p_table=STANDARDS&p_i_d=9992, erişim Temmuz 2013.
- [24] MAK (Maximum Concentration at the Workplace), Maximum Concentrations at the Workplace and Biological Tolerance Values for Working Materials, 2000.
- [25] NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health), 1992.
<http://www.cdc.gov/niosh/idlh/124389.html>, erişim Temmuz 2013.
- [26] ACGIH (The American Conference of Governmental Industrial Hygienists), "Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents and Biological Exposure Indices", 2001.
- [27] CSA (Canadian Standards Association), "CSA Standard Z412-00, r2005-Guideline on Office Ergonomics", 2005.
- [28] ODABASI, M., ELBİR, T., DUMANOĞLU, Y., SOFUOĞLU, S.C., "Halogenated Volatile Organic Compounds in Chlorine-bleach-containing Household Products and Implications for Their Use". Atmospheric Environment, 92, 376-383, 2014.
- [29] 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.
- [30] 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.



- [31] TWARDELLA, D., MATZEN, W., LAHRZ, T., NURGHARDT, R., SPEGEL, H., HENDROWARSİTO, L., FRENZEL, A. C., FROMME, H., "Effect of Classroom Air Quality on Students' Concentration: Results of a Cluster-randomized Cross-Over Experimental Study". *Indoor Air*, 22, 378-87, 2012.
- [32] British Department of Education, "Ventilation of School Buildings: Regulation Standards Design Guidance, Building Bulletin 101." Version 1.4.2006.

ÖZGEÇMİŞ

Tuğba UGRANLI

İYTE Kimya Mühendisliği bölümünden mezun oldu. İYTE Çevre Mühendisliği Bölümünde yüksek lisansına devam ediyor olup, bir yıldır bu bölümde araştırma görevlisi olarak çalışmaktadır. Bina-içi hava kirliliği, hava kirliliği ve maruziyet ve risk değerlendirmesi, kalıcı ve organik kirleticilerin (KOKlar) atmosferde belirlenmesi konularında çalışmaktadır.

Sait C. SOFUOĞLU

DEÜ Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü'nden 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. Süleyman Demirel Üniversitesi Çevre Mühendisliği ve İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Kimya Mühendisliği bölümlerinde Yardımcı Doçent unvanı ile çalışan SC Sofuoğlu, halen İYTE'de Prof.Dr. unvanı ile öğretim üyesi olarak çalışmaktadır. Bina-içi hava kirliliği, hava kirliliği ve maruziyet ve risk değerlendirmesi konularında araştırmalar yapmakta ve bu konularda dersler vermektedir.

Orhan EKREN

Lisans eğitimini Dokuz Eylül Üniversitesi Makina Mühendisliği bölümünde 1999 yılında tamamlamıştır. 2003 yılında İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Enerji Mühendisliği'nden yüksek lisans derecesi ile mezun olmuştur. Aynı bölümde, 2000-2003 yılları arasında araştırma görevliliği yapmıştır. 2009 yılında Dokuz Eylül Üniversitesi Makina Mühendisliği bölümünü Termodinamik anabilim dalından doktor unvanını almıştır. 2011 yılında doktora sonrası araştırma için, Southern Illinois University Makina Mühendisliği bölümünde bir yıl süreyle araştırmacı olarak görev almıştır. 2003-2005 yılları arasında DSİ 21.Bölge Müdürlüğünde kontrol mühendisi olarak görev almıştır. 2005- yılından buyana Ege Üniversitesi'nde öğretim elemanı olarak çalışmaktadır. 2014 mart ayından itibaren Ege Güneş Enerjisi Enstitüsü'nde Doç.Dr. unvanı ile çalışmalarını sürdürmektedir. Çalışma konuları arasında, Yenilenebilir Enerji Kaynakları, Hibrid Enerji Sistemleri Boyutlandırması, Soğutma Sistem Kapasitesi Modülasyonu ve Enerji Verimliliği, Enerji Depolama, HVAC&R, Isı Pompası Sistemleri, Alternatif Soğutma Yöntemleri yer almaktadır.

Macit TOKSOY

Macit TOKSOY 1949 doğumludur. İTÜ 1972 mezunudur. 1972 – 2013 seneleri arasında Ege Üniversitesi, North Carolina State Üniversitesi, Dokuz Eylül Üniversitesi ve İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsünde ısı transferi, enerji depolama, enerji verimliliği, jeotermal bölge ısıtması ve jeotermal elektrik santralleri alanlarında akademik hayatını sürdürmüştür. 2013 Yılından bu yana Eneko Havalandırma ve Isı Ekonomisi Sistem Teknolojileri şirketinde ısı geri kazanımlı havalandırma teknolojisi alanında çalışmaktadır. Akademik alanlarının yanında uluslararası spor etkinliklerinin planlanması ve lojistik yönetimi ilgi alanıdır. Üniversitede İzmir Yaz ve Erzurum Kış Oyunlarında, Mersin Akdeniz Oyunlarında üst düzey yöneticilik yapmıştır.

**Sinan AKTAKKA**

1972 yılında Kütahya / Tavşanlı'da doğmuştur. 1989 yılında Çınarlı Endüstri Meslek Lisesi Elektronik Bölümünde lise eğitimini, 1993 yılında Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümünde lisans eğitimini ve 1997 yılında Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Termodinamik Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimini tamamlamıştır. 1995 yılından bu yana HVAC sektöründe çeşitli firmalarda Proje ve Tasarım Mühendisi olarak görev almıştır. 2011 yılından bu yana ENEKO A.Ş.'de Ar-Ge yöneticisi olarak görev yapmaktadır. 2004 yılından itibaren MMO'da MİEM ve PBK kapsamında Havalandırma Tesisatı ve Klima Tesisatı Eğitimlerini vermektedir. MMO, TTMD ve ASHRAE üyesidir.

