

OKULLARDA İÇ HAVA KALİTESİ PROBLEMLERİ VE ÇÖZÜMLER

Hüseyin BULGURCU
Nadir İLTEN
Ahmet COŞGUN

ÖZET

Okullarda iç hava problemleri; kimyasal kirleticilerden, toz parçacıklarından ve biyolojik kirleticilerden (bakteriler, mantarlar ve virüsler) kaynaklanmaktadır. Bu problemlere, okullarımızda yetersiz havalandırmadan kaynaklanan O₂ yetersizliği, CO₂ ve nem oranlarının yüksekliği, kirlilikten kaynaklanan aşırı toz kalkması gibi faktörler de eklendiğinde mevcut durumun önemi daha açık şekilde görülecektir.

Bu çalışmada, Balıkesir ve Antalya illerindeki bazı ilk, orta ve yüksek okullarda yapılan CO₂, bağıl nem ve sıcaklık Ölçüm Değerleri ve bunların aylara göre değişimleri verilmiştir. Ayrıca bazı sınıflarda günlük CO₂ değişimleri ölçülmüştür. Kuşkusuz sınıf ortamlarında partikül madde (PM) ve bakteri kontrolü de yapılması olayın tehlike boyutunun dikkatlere sunulması yönünden daha faydalı olacaktır. Bu ölçümlerin gelecekte devam ettirilmesi hedeflenmektedir. Son olarak okullarımızda iç hava kalitesini arttırmak için mevcut ve yeni binalarda alınması gereken önlemler üzerinde durulmuştur.

Anahtar Sözcükler : İç hava, iç hava kalitesi, CO₂ ölçümü

ABSTRACT

Indoor air problems in school stem from chemical and biological (bacteria, fungus and viruses) pollutants, dust particles. The importance of present situation will be understood more clearly when considered O₂ deficiency, the high level of CO₂ and moisture, a great amount of dust because of insufficient airing in schools.

In this study, the results of CO₂, relative moisture and temperature measurement and their change monthly in some primary, secondary and high schools in Balıkesir and Antalya are evaluated. In addition, the change of diary CO₂ has been measured in some classrooms. The control of particle matter and bacteria in classroom will of course be more useful in order to be taken into account the level of danger. These measurements are planned to carry out in future. Consequently in the present and new schools precautions to be taken to increase the indoor air quality have been discussed.

Keywords : Indoor air, indoor air quality, CO₂ measurement

1. GİRİŞ

İnsanların birçoğu taze hava kirliliğinin sağlığa zararlarını bilmesine rağmen iç hava kalitesi (İHK) problemlerinin insan sağlığına önemli etkileri olduğunu bilmez. Amerikan Çevre Koruma Örgütü'nün (EPA) çalışmaları göstermiştir ki iç ortamdaki kirleticilerin seviyesi taze havadan yaklaşık 5-100 daha fazla olabilmektedir [1]. Taze hava kirliliğinin etkileri 20. yüzyılın başlarından itibaren bilinirken iç hava kalitesi sadece 30 yıl önce gündeme gelmiştir [2]. İnsanların zamanlarının %90'ını iç ortamlarda geçirdiği düşünülürse iç hava kirleticilerinin insan sağlığına etkileri daha iyi anlaşılacaktır [3].

68 kg ağırlığındaki bir insan 24 saat boyunca 12 m³(14.4 kg) hava solumaktadır. Çalışma şekline göre kullanılan hava miktarı değişmektedir (TABLO-1).

Tablo 1. 68 kg ağırlığındaki bir insanın hava ve oksijen ihtiyacı (20°C, 1 atm) [4]

Meşguliyet	Solunan Hava (m ³ /h)	Oksijen Sarfiyatı (m ³ /h)
Uyuma	0.360	0.0144
Oturma	0.420	0.0180
Ayakta Durma	0.480	0.0216
Hafif Beden İşİ	1.5 - 3.0	0.069 – 0.138

Normal atmosferden alınan %21 O₂ ve %0.033 CO₂ içeren havanın bileşimi akciğerlerden çıkarken %16-17 O₂ ve %4 CO₂'ye dönüşmektedir. Oksijen miktarı %15'in altına düşünce tehlike başlamaktadır. Çalışma halinde oksijen alt sınırı %17-18 civarındadır [4].

Özellikle okullarda iç hava kalitesi birçok nedenden dolayı çok önemlidir. Çocuklar tahriş edici hava kirleticilere karşı yetişkinlere kıyasla daha hassastırlar. İç havada yüksek seviyede ajanlar bulunduğu astım ataklarını tetiklediğinden, çocuklar arasında astım riski artar. İç hava kirleticilerine maruz kalan öğrenci ve öğretmenlerde konsantrasyon kabiliyeti azalır, tüm öğrenme ve öğretme süreçleri zarar görür [2].

Çocuklar iç hava kirliliğine karşı yetişkinlere kıyasla daha hassastırlar ve bu kirlenmeden daha kolay etkilenmektedirler. İç hava problemlerinden kaynaklanan hastalıkların belirtilerini şu şekilde özetlemek mümkündür: Burun tıkanmaları, burun kanamaları, öksürük, teneffüs zorlukları, göz sulanmaları, göz kızarıklıkları, ateşlenme, titreme, hızlı kalp atışı, kas ağrıları, işitme kayıpları, vb. gibi.

Her öğrenci ilköğretimden üniversiteyi bitirinceye kadar okul binaları içinde yaklaşık 20 000 saat hava teneffüs etmektedir. Bunu oran olarak ele aldığımızda yaşam süresinin en az %23'ünü kapsamaktadır[1]. Sınıfların kalabalık olması, ikili öğretim nedeniyle teneffüslerin kısa tutulması, sınıfların teneffüs esnasında havalandırılmaması, tavan yüksekliklerinin yeterli olmayışı, mekanik havalandırmanın bulunmayışı, pencerelerin sızdırmaz oluşu, vb. nedenlerle sınıf ve okul ortamları aşırı kirlenmektedir.

Ülkemizde basık tavanlı mekanik havalandırmasız kalabalık sınıflarda pencerenin soğuktan açılmadığı soğuk kış günlerinde iç hava kalitesi problemleri çok yoğun şekilde yaşanmaktadır. Öğrencilerin bu sezonda hastalıklardan dolayı devamsızlıkları artmakta, astım ve bronşit gibi kalıcı rahatsızlıklara neden olmaktadır.

Bu çalışmada; Balıkesir ve Antalya'da bazı okullarda CO₂, bağıl nem ve sıcaklık ölçümleri yapılarak değerlendirilmiştir.

2. KİRLİLİK KAYNAKLARI VE SAĞLIĞA ETKİLERİ

- İç hava kalitesini etkileyen kirleticiler;
- Yapı bileşenleri ve mekan içindeki döşeme ve dekorasyon malzemelerinden gelen kirleticiler,
- İç mekanlarda, insanlar ve makinalardan gelen kirleticiler,
- Taze havadan, havalandırma ve hava sızıntısı ile gelen kirleticiler

şeklinde sınıflandırılabilir.

Şayet kirleticilerin kaynakları kontrol edilmezse havalandırma/klima sistemi düzgün çalışsa bile İHK problemleri oluşabilir. Hava kirleticileri çok sayıdaki partiküllerden, liflerden, biyolojik aerosoller ve gazlardan oluşur.

Buna ilave olarak okul binalarında binanın yerleşim yeri, sınıfın konumu, yeri boyanmış olması, laboratuvar veya atölye amaçlı kullanılması kirlenmede etkili olmaktadır.

Tablo 2’de iç hava kirleticilerinin potansiyel kaynakları ve Tablo 3’de ise bu kirleticilerin insan sağlığına olan etkileri özetlenmiştir.

İç hava problemlerinden kaynaklanan hastalıkların belirtilerini şu şekilde özetlemek mümkündür:

- Burun kanamaları,
- Öksürük,
- Teneffüs zorlukları,
- Göz sulanmaları ve kızarıklıkları,
- Ateşlenme,
- Titreme,
- Hızlı kalp atışı,
- Kas ağrıları,
- İşitme kayıpları,
- Ağız ve burun içi kuruluğu,
- Baş ağrısı,
- Mide bulantısı,
- Kas seğirmesi,
- Tanımlanamayan alerjik reaksiyonlar vb rahatsızlıklarla karşı karşıya kalındığı tespit edilmiştir.

Bu şikayetlerin tümüne “hasta bina sendromu ” adı verilmektedir.[5]

Tablo 1’de iç hava kirleticilerinin potansiyel kaynakları ve Tablo 2’de ise bu kirleticilerin insan sağlığına olan etkileri özetlenmiştir.

Tablo 2 İç Hava Kirleticilerin Potansiyel Kaynakları [3]

Kirleticiler	Potansiyel Kaynakları	
Uçucu Organik Bileşikler	Parfümler, saç spreyleri Mobilya cilaları Temizlik solventleri Hobi ve sanat malzemeleri Pestisitler Halı ve iplik boyaları Tutkal, yapıştırıcı ve sızdırmazlık malzemeleri	Boyalar, vernikler, yapıştırıcı bantlar Ağaç koruyucular Kuru temizlenmiş elbiseler, güve ilaçları Hava tazeleyici kokular Depolanmış yakıtlar ve otomotiv ürünleri Kirlenmiş sular Plastikler
Formaldehit	Parçacık tutucular, kontra plaklar Dolaplar, mobilyalar	Formaldehit köpük yalıtım katkıları Halı ve kumaşlar
Pestisitler	Böcek ve karınca öldürücüler Fare ilaçları	Mantar ilaçları, mikrop öldürücüler Ot ilaçları
Kurşun	Kurşun esaslı boyalar	Dış tozlar ve toprak
Karbondioksit Karbon monoksit Azot dioksit	Uygunsuz çalıştırılan gaz veya yağ kazanları- sıcak su ısıtıcıları, ocaklar, odun sobaları	Havalandırmasız gaz sobaları-kerosen ısıtıcılar Tütün ürünleri, gazlı pişirme sobaları Araç egzozları
Kükürt dioksit	Kükürt içeren yakıtların yanması	
Solunabilir Parçacıklar	Ocaklar, odun sobaları Havalandırmasız gaz ısıtıcıları	Tütün ürünleri Havalandırmasız kerosen ısıtıcıları
Çevresel Tütün Dumanı	Tütün ürünleri	
Biyolojik Kirleticiler	Bitkiler, hayvanlar, kuşlar, insanlar Yastıklar, yataklar, ev tozları Islak veya nemli malzemeler	Durgun sular
Asbest	Boru ve kazan yalıtımı Tavan ve döşeme levhaları	Dekoratif spreylere Kaplama ve lambriyerler
Radon	Toprak ve kaya Bazı bina malzemeleri	Yer altı suları

Tablo 3 Kirleticilerin Sağlığa Etkileri [3]

Kirletici	T	B	U	Z	P/A	K	Açıklamalar
Uçucu Organik Bileşikler	X	X	X	X		X	Bu kirleticilerin çoğu sinirsel/davranışsal zehirleyici, karaciğer zehirleyici ve kalbi etkileyicidir.
Formaldehit	X					X	Alerjik tepkiler meydana getirebilir.
Pestisitler	X			X		X	Bu kirleticilerin bir çoğu beyni ve karaciğeri zehirleyici, üretken zehirleyici ve hassas hale getiricidir.
Kurşun	X			X		X	Beyni zehirleyici ve geriye dönülmez davranışsal etkiler.
Karbon monoksit		X					Hastalarda boğulma (anjin) etkisini güçlendirir, frekansını artırır; sağlıklı yetişkin erkeklerde iş gücünü azaltır, baş ağrıları, göz küçülmesi, sağlıklı yetişkinlerde değişken belirtiler gösterebilir; hastalarda kalp-akciğer uyumsuzluğunu şiddetlendirir.
Karbon dioksit		X					Solunum uyarıcı etki yapar; arttırılmış solunum ve insanlarda yorucu görevleri yapma kabiliyetini azaltır; kandaki pH ve pCO ₂ oranları değişir; böbreklerde kireçlenme ve akciğer alveollerinde yapısal değişiklikler.
Azot dioksit	X						Astımlılarda ciğer fonksiyonlarında azalma; çocuklarda ve yetişkinlerde akciğer fonksiyonlarını etkiler; hayvanlarda ve çocuklarda diğer zehirleyicilerle birlikte etkileşimli hale gelir; hayvanlar üzerinde yapılan çalışmalar bağıışıklık kabiliyetini azalttığını göstermiştir.
Kükürt dioksit	X						Normal erkeklerde ve astımlılarda ciğer fonksiyonlarını azaltır; hayvanlar üzerinde yapılan çalışmalarda ciğer fonksiyonlarını azalttığı görülmüştür.
Biyolojik Kirleticiler	X					X	Enfeksiyon hastalıkları; alerjik reaksiyonlar; zehirleyici etkiler.
Çevresel tütün dumanı	X					X	Mukoza zarlarını tahriş eder, kalp dolaşım sisteminde stres oluşturur, çocuklarda şiddetli ve ölümcül solunum etkileri
Polisilik aromatik hidrokarbonlar	X					X	Bazıları tahriş edicidir ve kalp dolaşım sistemini etkileyebilir
Asbest	X					X	Uzun süre teneffüs edenlerde asbest hastalığı olan mezotelizma oluşturur.
Radon						X	
AÇIKLAMA: T:Tahriş edici B: Boğucu U:Uyuşturucu Z: Zehirli P/A: Patolojik-alerjik K:Kanserojen							

3. OKULLARDA İÇ HAVA KALİTESİ

İlköğretim okullarımızda öğrenci başına 1,3 / 2 m² alan düşmektedir. Bu öğrenci yoğunluğu orta öğretim ve yükseköğretim kurumlarında 2 / 2,5 m²'ye kadar çıkmakla birlikte gelişmiş ülkelerde bu yoğunluk öğrenci başına 3-5 m²'lere çıkmaktadır. Ayrıca dersliklerdeki tavan yüksekliklerinin düşük tutulması, pencerelere yeterli vasistas konulmaması problemin ana kaynağını oluşturmaktadır.

Okullarda İHK problemleri CO₂ konsantrasyonlarının yüksekliği, O₂ yetersizliği, bağıl nem, partikül madde ve bakteri miktarlarının yüksek olması sonuçlarını doğurmaktadır.

ASHRE uygun iç hava kalitesini sağlamak için 62.1-1999 standardını geliştirmiştir. Bu standart uygun iç hava kalitesini sağlamak üzere iki prosedür ortaya koymaktadır. İlk adım TABLO-4'de verilen hava debilerini belirlemektir. Daha sonraki adım özel kirlilik kaynaklarının bilinmesi ve buna göre çözüm üretilmesidir.

Tablo 4 ASHRAE Standart 62.1-1999'a göre havalandırma için gerekli taze hava miktarları[6]

Uygulama	Maksimum İnsan Yoğunluğu	Taze hava İhtiyaçları		İstekler
		İnsan/100m ²	L/s-kişi	
EĞİTİM				Laboratuar hayvanlarının bulunduğu yerler ve özel işlem odalarında özel kirletici kontrol sistemleri gerekli olabilir. Normalde taze hava beslemesi yapılır Yerel mekanik egzoz sistemlerinde havanın karıştırılması istenmez.
Sınıflar	50	8		
Laboratuarlar	30	10		
Atölyeler	30	10		
Müzik Sınıfları	50	8		
Kütüphaneler	20	8		
Soyunma Odaları			2.5	
Koridorlar			0.5	
Konferans Salonu	150	8		
Sigara Salonları	70	30		

Bir ortamın minimum taze hava ihtiyacı 62.1.1999 standardında verilmiştir. Toplam besleme havası, minimum taze hava ve uygun geri dönüşüm havasından oluşmaktadır. En uygun besleme havası, ısıtma ve soğutma yüklerine göre belirlenmelidir.

HVAC sistemi, ortam sıcaklığını ve nem şartlarını minimum dış ile karşılayabilmelidir. Örnek olarak değişken debili havalandırma (VAV) sistemiyle sınıfların minimum taze hava ile beslenmesi VAV kutularıyla sağlanabilir. Bazı durumlarda sınıflara fazla hava verilir ve sınıf aşırı soğur. Bu durumda hava debisini azaltmak yerine tekrar ısıtma yapmak tercih edilebilir.

Uygun taze hava miktarının sağlanması, okullar için sadece ilk adımdır. Her ortam için doğru miktarda taze hava dağıtımı esastır. Belirli bir bölüme hava şartlandırma sistemler doğrudan terminal çıkışına kanallarla bağlanabilir ve uygun dağıtım için hava dengelemesi yapılır.

Tek bir mekanik havalandırma sistemi çoklu ortamları beslediğinde daha dikkatli olunmalıdır. ASHRAE Standart 62.1.1999 bu konu ile ilgili aşağıdaki bağıntıyı vermiştir[6]:

$$Y = \frac{X}{(1 + X - Z)} \quad [1]$$

Burada:

Y: Toplam besleme havasındaki taze hava oranı düzeltme faktörü

X: Tüm taze hava toplamlarının toplam havadaki oranı

Z: Kritik ortam besleme havasındaki taze hava oranı.

Kritik Ortam: Besleme havasında en fazla taze hava ihtiyacı olan ortamdır.

Örnek olarak bir klima santralının aşağıdaki bölümleri beslediğini farz edelim (TABLO-5).

Tablo 5. Bir okul için düzenlenen klima santralının taze hava toplam hava debileri [7]

Ortam	Taze hava Debisi(L/s)	Toplam Hava Debisi(L/s)
5 Sınıf	900x5	2400x5
1 Laboratuar	1200	2400
Koridor	100	600
Toplam	5800	15000

Bu örneğe göre klima santralinin minimum taze hava ihtiyacı $5800/15000 = \%38.66$ bulunur. Bu değerler göre hesap yapmak doğru değildir. Çünkü kritik ortam laboratuardır. Laboratuarda $\%50$ taze hava gerekmektedir. 62.1-1999 standardından alınan eşitlik kullanılarak:

$$X = 5800/15000 = 0,3866$$

$$Z = 1200/2400 = 0,50$$

$$Y = 0,3866/(1+0,3866-0,50) = 0,436$$

Klima santralinin minimum taze hava ayarı $\%44$ olmalıdır.

Talep Kontrollü Havalandırma; taze hava miktarını ortamın ihtiyacına göre düzenleyerek karşılamaktadır. Tipik olarak, insan yoğunluğunun önemli ölçüde değiştiği ortamlarda kullanılır. Karbondioksit (CO_2), ortamdaki biyolojik etkilerin miktarı için mükemmel bir ölçüm kaynağıdır. İnsanlar CO_2 üretir ve biyolojik etki oranları onların aktivitelerine bağlıdır.

Talep kontrollü havalandırma sisteminin tasarımı için, herhangi bir çeşitlendirme yapmaksızın taze hava ihtiyacı belirlenir. CO_2 sensörleri, tek bölgeli sistemlerde ortama veya dönüş hava kanalına yerleştirilir. Çok bölgeli sistemlerde CO_2 sensörleri her bölgede veya en az kritik olarak kabul edilen bölgede bulunmalıdır. Müsaade edilen maksimum CO_2 konsantrasyonu hesaplanır. Tipik olarak, dış ortam CO_2 konsantrasyonları 300 ppm iken 1000 ppm olarak alınır.

Minimum havalandırma seviyesi, mutlaka CO_2 seviyelerini sağlamalıdır. Bu seviye; bina yapı bileşenlerinden, halılardan vb kaynaklanan kirleticilerin toplamı anlamındadır. Mevcut 62.1.1999 standardı bu minimum seviyeyi sağlamaz. Buna bir ilave yapılması tavsiye edilmektedir.

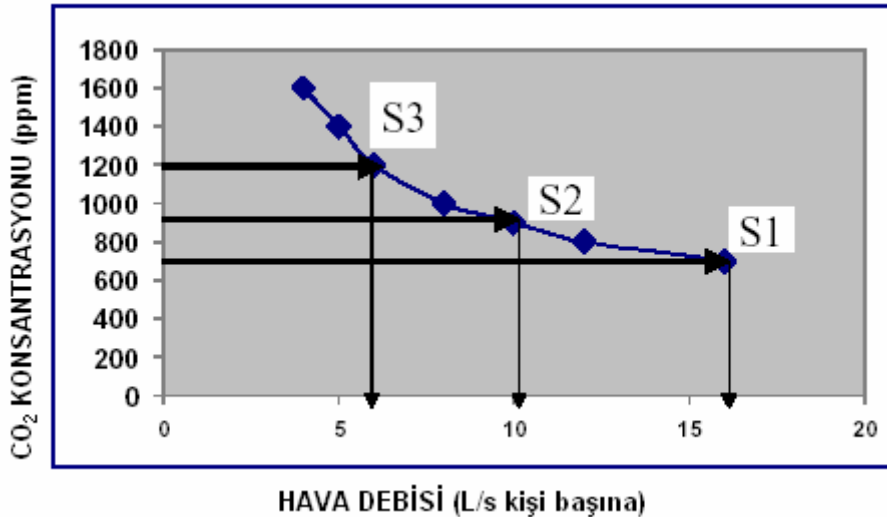
Finlandiya'daki okullarda yapılan bir araştırmada kişi başına üç farklı taze hava debisi verilerek aşağıdaki CO_2 konsantrasyon değerleri elde edilmiştir [7]:

A seviyesi (iyi) S1: 16 L/s kişi başına (700 ppm),

B seviyesi (orta) S2: 10 L/s kişi başına (900 ppm),

C seviyesi (zayıf) S3: 6 L/s kişi başına (1200 ppm)

Bu değerlerde göstermektedir ki iyi tasarlanmış bir havalandırma ile okullardaki İHK problemleri büyük ölçüde önlenebilecektir.



Şekil 1. Farklı havalandırma debilerinde sınıftaki CO_2 konsantrasyonlarının değişimi [7]

4. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu araştırma Balıkesir ilinde bulunan üç adet orta ve üç adet yüksek öğretim kurumlarında ocak, mart ve nisan aylarında yapılan CO₂, sıcaklık ve bağıl nem ölçümlerini kapsamaktadır.

Araştırma için Balıkesir Üniversitesi Rektörlüğüne ve Balıkesir Valiliğine 9 Aralık 2003 tarihinde dilekçeyle başvurulmuş olup gerekli onay 05-01-2004 tarihinde alınmıştır. Yine bu araştırma için Antalya Valiliğinden ilgili okullarda ölçüm yapılabilmesi için gerekli OLUR alınmıştır.

Ölçümler için ilköğretim kurumlarından Antalya İstiklal İlköğretim Okulu ve Baraj İlköğretim Okulu, orta öğretim kurumlarından Balıkesir Ticaret Meslek Lisesi, Balıkesir Merkez Endüstri Meslek Lisesi ve Bahçelievler Lisesi, Antalya Merkez Endüstri Meslek Lisesi, yükseköğretim kurumlarından ise Necatibey Eğitim Fakültesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi ve Balıkesir Meslek Yüksekokulu seçilmiştir.

Balıkesir'deki ölçümlere valilik onayının gecikmesinden dolayı Ocak ayı ortasında başlanabilmiş, Şubat ayının sömestr tatili olması nedeniyle Mart ayı başında ve Nisan ayı ortalarında yapılabilmektedir. Antalya'daki ölçümler ise Kasım, Aralık-2004 ve Ocak 2005 tarihlerinde yapılmıştır. Ölçümlerin dersleri aksatmaması için teneffüs saatleri kulanmıştır.

Ölçüm cihazı olarak TESTO-532 CO₂ ölçüm cihazı (Şekil-2), oda tipi sıcaklık-nem ölçer (Şekil-3) kullanılmıştır. Sınıf ortamlarında ölçümler için en az üç farklı noktadan örnekleme yapılmış olup bunların ortalaması alınmıştır.



Şekil 2. TESTO-532 CO₂ ölçüm cihazı



Şekil 3. Oda tipi sıcaklık-nem ölçer

Tablo 6. Balıkesir Ticaret Meslek Lisesi Ölçüm Değerleri

ÖLÇÜM TARİHİ	ÖLÇÜM YERİ	ALAN m ²	ÖĞRENCİ SAYISI	DIŞ HAVA		İÇ HAVA		
				Sıcaklık (°C)	Bağıl nem (%)	Sıcaklık (°C)	Bağıl nem (%)	CO ₂ (ppm)
9-01-2004	Hz-A	40	22	5,5 °C 426 ppm	38	20,5	60	3028
	Hz-B	50	25			20,1	61	3081
	11 A	50	33			19,8	50	2695
	11 D	50	32			20,8	56	3519
	11 E	50	32			21,8	61	4444
	11 F	50	32			21,7	63	4961
	10 A	50	21			20,6	56	2364
	Koridor	65	?			19,9	51	2013
2-03-2004	Hz-A	40	22	16,3 C 329 ppm	42	23,1	44	1100 (PA)
	Hz-B	50	25			23,1	50	2311
	11 A	50	33			23,0	47	1096
	11 D	50	32			22,7	42	1993
	11 E	50	32			22,7	42	1448
	11 F	50	32			22,8	50	1455
	10 A	50	21			23,2	50	2574
	Koridor	65	?			24,0	46	845
9-04-2004	Hz-A	40	22	19,7 C	40	19,3	58	2515
	Hz-B	50	25			20	58	2679
	11 A	50	33			20	58	2870
	11 E	50	32			19,7	57	2027 (PA)
	11 F	50	32			19,1	52	921 (PA)
	10 A	50	21			19,8	58	1609 (PA)
	Koridor	65	?			19	52	1266

(PA): Pencereler açık

Tablo 7. Balıkesir Merkez Endüstri Meslek Lisesi Ölçüm Değerleri

ÖLÇÜM TARİHİ	ÖLÇÜM YERİ	ALAN m ²	ÖĞRENCİ SAYISI	DIŞ HAVA		İÇ HAVA		
				Sıcaklık (°C)	Bağıl nem (%)	Sıcaklık (°C)	Bağıl nem (%)	CO ₂ (ppm)
9-01-2004	10 D	56	36	5,5 °C 456 ppm	38	17,1	49	3262
	10 B	56	30			18,2	57	3487
	10 E	24	23			19,4	57	3704
	9 K	56	33			20,3	58	3105
	9 H	56	26			19,9	56	3166
	Kütüphane	70	12			18,2	50	1595
	Tesviye-1	390	25			22,3	49	1534
	Mobilya	390	45			15,8	59	1624
2-03-2004	10 D	56	36	16,3 °C 329 ppm	42	21,3	48	2180
	10 B	56	30			19,6	45	850 (PA)
	10 E	24	23			17,5	59	2556
	9 K	56	33			20,5	50	2123
	9 H	56	26			21,0	51	1587
	Kütüphane	70	?			19,5	47	685
	Mobilya	390	(boş)			18,1	50	534
9-04-2004	Tesv-1	390	30	19,7 C	40	18,8	54	1109
	Mobilya	390	25			17,8	54	1140
	Tesv-2	390	43			17,3	56	1129
	Mak.ressam.	100	9			19,6	54	1317
	Öğr.Odası	56	(boş)			19,2	50	1025
	Top.Sal.	112	30			22,6	51	1237

Tablo 8. Balıkesir Bahçelievler Lisesi Ölçüm Değerleri

ÖLÇÜM TARİHİ	ÖLÇÜM YERİ	ALAN m ²	ÖĞRENCİ SAYISI	DIŞ HAVA		İÇ HAVA		
				Sıcaklık (°C)	Bağıl nem (%)	Sıcaklık (°C)	Bağıl nem (%)	CO ₂ (ppm)
9-01-2004	Hz-A	41	30	5,5 °C 541 ppm	38	19,0	49	2304
	Hz-B	41	30			18,8	52	3800
	Hz-C	41	30			18,5	51	5475
	9-A	41	36			19,1	50	3710
	9-C	41	43			18,9	48	3140
	9-YDA	41	30			18,3	50	3420
	10-A	41	28			16,6	50	2704
	10-E	41	35			17,9	50	3056
	Öğr. odası	41				15,2	41	1174
3-03-2004	11-B	41	30	11 °C 356 ppm	39	19,2	50	1200
	11-A	41	33			22,2	54	1874
	11-C	41	35			20,1	51	2534
	11-D	41	34			18,7	51	1204
	10-YDA	41	30			15,2	46	1331
	10-YDB	41	22			18,2	48	1028 (PA)
	9-YDB	41	30			20,3	51	1226 (PA)
	9-YDA	41	27			20,5	49	1283 (PA)
	9-YDC	41	30			21,7	56	2763
Öğr. odası	41	8	19,2	47	844			
9-04-2004	9-C	41	43	19,7 C	40	22,3	51	1575 (PA)
	9-B	41	40			23,2	50	824 (PA)
	9-D	41	38			23,4	50	1304 (PA)
	9-E	41	44			23,5	50	1073 (PA)
	10-A	41	28			24,0	50	1054 (PA)
	10-B	41	30			23,6	50	981 (PA)
	Öğr. odası	4,1				22,8	45	929

Tablo 9. BAU Necatibey Eğitim Fakültesi Ölçüm Değerleri

ÖLÇÜM TARİHİ	ÖLÇÜM YERİ	ALAN m ²	ÖĞRENCİ SAYISI	DIŞ HAVA		İÇ HAVA		
				Sıcaklık (°C)	Bağıl nem (%)	Sıcaklık (°C)	Bağıl nem (%)	CO ₂ (ppm)
19-01-2004	307	42	20			19,3	83	1589
	309	38	20			19,9	67	3353
	Koridor(ZK)	?	?			18,5	59	1332
	Kantin	99	20			17,0	51	744
09-04-2004	114	39	30	19,7 C	40	19,8	40	1853
	115	39	20			20,3	41	1110
	303	45	30			20,6	47	1100
	307	42	25			22,4	45	591
	309	38	25			22,7	46	941
	Koridor(ZK)	?	?			21,1	32	889
	Kantin	99	15			20,3	30	618
	Bilg.Lab-1	45	16			23,2	44	757
	Bilg.Lab-2	45	22			24,7	46	970
Bilg.Lab-3	45	20	23,3	49	1618			

(PA): Pencereler açık

Tablo 10. BAU Mühendislik Mimarlık Fakültesi Ölçüm Değerleri

ÖLÇÜM TARİHİ	ÖLÇÜM YERİ	ALAN m ²	ÖĞRENCİ SAYISI	DIŞ HAVA		İÇ HAVA		
				Sıcaklık (°C)	Bağıl nem (%)	Sıcaklık (°C)	Bağıl nem (%)	CO ₂ (ppm)
14-01-2004	Mak-1	106	51	10 °C CO ₂ =423 ppm	38	17,5	62	2730
	Mak-1-II.ö	75	38			16,5	57	3552
	Mak-2	75	40			19,3	63	2042
	Mak-3	75	35			18,9	63	1975
	Mak-3-II.ö	75	32			16,0	57	2145
	End-1	106	31			19,0	49	2021
	End-2	75	22			19,0	49	1907
	Bilg. Lab.	55	10			20,0	46	960
	Koridor(mak)		?			15,5	63	1027
	Kantin	500	45			18,1	49	940
03-03-2004	Mak-1	106	50	9,8 °C CO ₂ =332 ppm	46	19,6	54	2975
	Mak-2	75	40			20,5	50	1430
	Mak-3	75	30			19,6	54	741
	Mak-4-II.ö	75	10			18,8	47	1054
	End-4	75	11			18,8	48	1142
	Bilg. Lab.	55	18			21,8	51	1036
	Koridor(mak)		?			17,7	48	881
	Kantin	500	?			17,5	47	742
13-04-2004	End-2	75	12	17,3 °C CO ₂ =350 ppm	42	22,1	45	1225
	End-4	75	22			23,0	46	738
	İnş-1	75	23			21,2	47	686
	Stüdyo-mim	75	22			22,1	45	812
	Bilg. Lab.	80	70			22,1	48	1043
						23,1	51	Giriş 3549 Çıkış
	Koridor(mak)					20,1	46	530
	Kantin	500				20,0	46	610

(PA): Pencereler açık

Tablo 11. BAU Balıkesir Meslek Yüksekokulu Ölçüm Değerleri

ÖLÇÜM TARİHİ	ÖLÇÜM YERİ	ALAN m ²	ÖĞRENCİ SAYISI	DIŞ HAVA		İÇ HAVA		
				Sıcaklık (°C)	Bağıl nem (%)	Sıcaklık (°C)	Bağıl nem (%)	CO ₂ (ppm)
12-Ocak-04	206	40	22	9,6 °C CO ₂ =370 ppm	57	16,2	-	1813
	305	40	30			16,5	-	2679
	304	80	45			17,9	-	2722
	Çs-1	80	25			17,5	-	2990
	Çs-2	80	32			17,5	-	3543
	403	80	26			14,5	-	2087
	404	80	25			14,1	-	2055
	Bil. Lab-2	80	boş			16,1	-	1088
	Bil. Lab-3	80	boş			16,2	-	1228
8-03-2004	304	80	12	10,8 °C CO ₂ =328 ppm	35	16,5	41	2476
	303	80	41			20,6	40	1292
	Bil. Lab-2	80	21			16,4	39	1844
	Bil. Lab-3	80	26			17,3	39	1181(PA)
	Malz.Lab	100	25			20,6	52	1535(PA)
	102	40	25			18,0	38	1920
	103	80	25			19,2	41	2257
	104	80	48			18,8	43	3052
11-04-2004	201	40	5			23,7	51	1080
	204	80	36			22,7	58	1792
	205	40	24			22,8	53	1300
	305	40	22			23,1	49	1410
	304	80	32			23,0	50	1425
	303	80	30			24,0	49	1443
	Çs-1	80	30			23,8	41	920 (PA)
	Çs-2	80	19			23,6	42	643 (PA)
	Bil. Lab-2	80	25			23,5	48	1106

(PA): Pencereler açık

Tablo 12. Antalya İstiklal İlköğretim Okulu

ÖLÇÜM TARİHİ	ÖLÇÜM YERİ	ALAN m ²	ÖĞRENCİ SAYISI	TAZE HAVA		İÇ HAVA		CO ₂ (ppm)
				Sıcaklık (°C)	Bağıl nem (%)	Sıcaklık (°C)	Bağıl nem (%)	
09.11.04	2/A	40	34+1	16,6 °C	83	21,3 °C	84	4833
	Fen Snf.	30	19+1			20,5 °C	83	4862
17.11.04	2/A	40	33+1	15,4 °C	54	20 °C	56	3783
	Fen Snf.	30	22+1			21 °C	57	3758
23.11.04	2/A	40	36+1	8,6 °C	22	18,2 °C	35	5335
	Fen Snf.	30	21+1			17,9 °C	34	3970
30.11.04	2/A	40	35+1	13,8 °C	66,7	20,8 °C	68	2776
	Fen Snf.	30	18+1			21,3 °C	68	2860
07.12.04	2/A	40	33+1	14,1 °C	65,3	19,7 °C	65	2280
	Fen Snf.	30	22+1			17,4 °C	63	1936
14.12.04	2/A	40	33+1	10,8 °C	42	19,5 °C	68	2081
	Fen Snf.	30	21+1			18,6 °C	66	2129
21.12.04	2/A	40	32+1	11,2 °C	91,3	20,2 °C	83	4112
	Fen Snf.	30	19+1			19,5 °C	76	2190
28.12.04	2/A	40	36+1	11 °C	72,3	19,1 °C	74	1966
	Fen Snf.	30	0			14,1 °C	71	515
05.01.05	2/A	40	32+1	10,2 °C	30,3	16,8 °C	35	2428
	Fen Snf.	30	22+1			15,5 °C	33	1685
11.01.05	2/A	40	28+1	12,6 °C	46,3	18,1 °C	50	2290
	Fen Snf.	30	22+1			17,9 °C	47	1009

Tablo 13. Antalya Baraj İlköğretim Okulu

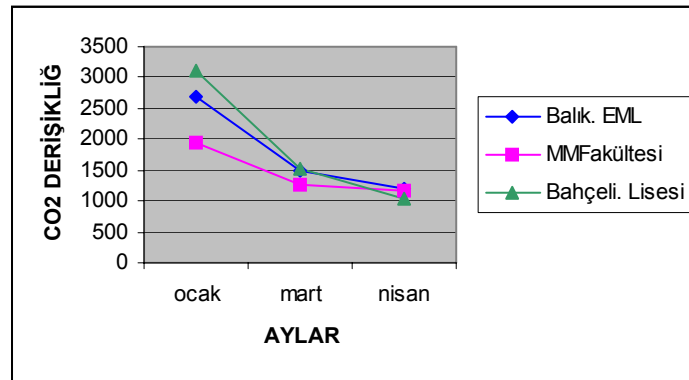
ÖLÇÜM TARİHİ	ÖLÇÜM YERİ	ÖLÇÜM YAPILAN ALAN m ²	ÖĞRENCİ SAYISI	TAZE HAVA		İÇ HAVA		CO ₂ (ppm)
				Sıcaklık (°C)	Bağıl nem (%)	Sıcaklık (°C)	Bağıl nem (%)	
09.11.04	2/A	40	43+1	16,6 °C	83	21,2 °C	84	4064
	2/D	"	45+1			21,8 °C	84	4334
17.11.04	2/A	40	41+1	15,4 °C	54	21,2 °C	54	3466
	2/D	"	42+1			20,8 °C	54	3464
23.11.04	2/A	40	45+1	8,6 °C	22	18,9 °C	30	4180
	2/D	"	41+1			17,9 °C	32	3581
30.11.04	2/A	40	40+1	13,8 °C	66,7	21,5 °C	67	2826
	2/D	"	40+1			22 °C	67	3114
07.12.04	2/A	40	40+1	14,1 °C	65,3	20,9 °C	67	2190
	2/D	"	38+1			18,3 °C	64	2140
14.12.04	2/A	40	37+1	10,8 °C	42	21,6 °C	65	2164
	2/D	"	39+1			20,3 °C	64	2265
21.12.04	2/A	40	45+1	11,2 °C	91,3	18,8 °C	81	3941
	2/D	"	43+1			19,5 °C	79	2188
28.12.04	2/A	40	45+1	11 °C	72,3	20,1 °C	71	1989
	2/D	"	42+1			19,8 °C	69	1938
05.01.05	2/A	40	42+1	10,2 °C	30,3	18,1 °C	35	1243
	2/D	"	44+1			17,2 °C	36	1270
11.01.05	2/A	40	43+1	12,6 °C	46,3	18,5 °C	50	1578
	2/D	"	45+1			16,7 °C	46	1594

Tablo 14. Antalya Endüstri Meslek Lisesi

ÖLÇÜM TARİHİ	ÖLÇÜM YERİ	ÖLÇÜM YAPILAN ALAN m ²	ÖĞRENCİ SAYISI	TAZE HAVA		İÇ HAVA		CO ₂ (ppm)
				Sıcaklık (°C)	Bağıl nem (%)	Sıcaklık (°C)	Bağıl nem (%)	
09.11.04	A-7	30	27+1	16,6 °C	93,3	21,7 °C	84	4399
	A-11	55	37+1			21,4 °C	84	4855
17.11.04	A-7	30	30+1	15,4 °C	54	19,7 °C	54	3501
	A-11	55	39+1			19,7 °C	54	3518
23.11.04	A-7	30	28+1	8,6 °C	22	16,5 °C	28	3782
	A-11	55	33+1			17,3 °C	30	4672
30.11.04	A-7	30	28+1	13,8 °C	66,7	23,1 °C	67	2701
	A-11	55	33+1			22,3 °C	67	2904
07.12.04	A-7	30	32+1	14,1 °C	65,3	20,2 °C	68	2304
	A-11	55	30+1			21,3 °C	70	2399
14.12.04	A-7	30	31+1	10,8 °C	42	20,8 °C	70	2180
	A-11	55	28+1			20 °C	68	2130
21.12.04	A-7	30	30+1	11,2 °C	91,3	20,2 °C	83	2676
	A-11	55	37+1			21,3 °C	84	3910
28.12.04	A-7	30	28+1	11 °C	72,3	19,1 °C	72	4163
	A-11	55	39+1			20 °C	69	3353
05.01.05	A-7	30	17+1	10,2 °C	30,3	16,5 °C	36	1423
	A-11	55	28+1			19,3 °C	38	1165
11.01.05	A-7	30	20+1	12,6 °C	46,3	17,5 °C	47	1409
	A-11	55	36+1			18,9 °C	48	1304

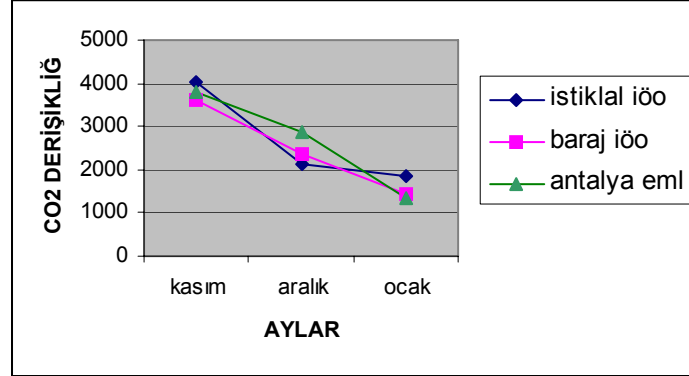
5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Balıkesir okullarındaki ölçüm değerleri incelendiğinde lise binalarında kirlilik seviyesinin daha yüksek olduğu, taze havanın nispeten düşük olduğu ocak ayı değerlerinin daha yüksek çıktığı görülmektedir. Bu ölçümlerden iç mekanlarda müsaade edilen CO₂ sınır değeri olan 1000 ppm değerinin ocak ayında 3 kat, mart ayında 1.7 kat ve nisan ayında ise 1.3 kat aşıldığı görülecektir. Ancak mart ve nisan ayı CO₂ konsantrasyonlarının düşüklüğü yalnızca dış hava sıcaklığına bağlı yorumlanırsa yanıltıcı olabilir. Çünkü ilk ölçüm sonuçlarının kötü olmasına karşılık öğretmen ve idarecileride bu konuda bir bilinçlenme olmuş ve sonraki ölçümlerde teneffüs ve ders esnasında pencerelerin açık tutulduğu görülmüştür.



Şekil 3. Balıkesir'de ölçüm yapılan okullarda CO₂ değerinin taze hava sıcaklığı ile değişimi

Antalya'da Kasım 2004, Aralık 2004 ve Ocak 2005 aylarında yapılan ölçümlerde iç hava kalitesinin, aylara göre değiştiği belirlenmiştir (Şekil-4). Yine Antalya okulları için yukarıdakine benzer bir durum geçerlidir. İlk ölçüm sonuçlarına bağlı olarak okul yönetimi ve öğretmenlerde İHK konusunda ciddi bir hassasiyet oluşmuş ve gerekli tedbirler alınmıştır.



Şekil 4. Antalya'da ölçüm yapılan okullarda CO₂ değerinin taze hava sıcaklığı ile değişimi

Ölçüm değerleri anlık değerler olduğundan günlük ortalamaları vermemektedir. Halbuki uygun havalandırma yapılmadığında ders saati veya gün boyunca oluşan kirlilik değerleri oldukça artmaktadır. Örnek olarak Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Bilgisayar Laboratuvarında yapılan bir ölçümde ders başlangıcında 1040 ppm ve bitişinde ise 3549 ppm değerleri ölçülmüştür.

Bu değerleri sağlıklı bir iç ortam kalitesi için CO₂ konsantrasyonunu 600-800 ppm değerleri arasında tutmak gereklidir.

Okul ortamlarında tavsiye edilen kişi başına hava miktarları, TABLO-4'da gösterildiği gibi planlanmalıdır.

Okullarda iç hava kirlitçilerinin konsantrasyonlarını düşürmek için altı temel kontrol yöntemi mevcuttur[8]:

Kaynak yönetimi: Kaynağın uzaklaştırılmasını, değiştirilmesini ve kapatılmasını kapsar.

Yerel egzoz: İç ortama dağılmış olan kirlitçileri kaynağında yakalayıp uzaklaştırmak ve dış ortama göndermek için kullanılır.

Havalandırma: Havalandırma sistemi uygun olarak tasarlanıp işletildiğinde ve bakımı yapıldığında havadaki kirlitçileri uygun seviyeye indirecektir.

Maruz kalma kontrolü: Kirliliğin tamamen önlenemediği yerlerde maruz kalma sürelerini ve şekillerini kısaltmak gereklidir.

Hava temizleme cihazları: Hava temizleyiciler kapalı ortamlarda ve özellikle evlerde belli seviyede partikül ve mikrobiyolojik ajanları filtreleyerek astım, bronşit hastalarının evlerde tedavisinde kullanılabilir. Ancak bu cihazların bakımlarının uygun yapılması çok önemlidir. Aksi takdirde bu cihazlar kendileri de hastalık kaynağı olabilir.

Eğitim: Okul personelinin ve öğrencilerin İHK konusunda eğitilmesi çok önemlidir.

İç hava kalitesi problemlerinin en etkili çözümü her derslik ortamlarının ve koridorların mekanik olarak havalandırılmasıdır. Bu havalandırma sisteminin merkezi olması masraflı olabilir ve mimari yönden bazı okullara sonradan yapılması mümkün olmayabilir. Dolayısıyla lokal havalandırma işlemleri daha pratik olacaktır. Ancak kış aylarında taze havanın soğuk olması alınan taze havanın bir ısıtmadan geçirilmesini gerektirmektedir. Yine CO₂ duyurgaları ile yapılacak talep kontrollü havalandırma enerji tasarrufu sağlayacaktır.

Merkezi havalandırma işlemi için koridorların kullanılması gerekir. Bu amaçla % 100 taze hava ile çalışan merkezi hücreli aspiratör/ vantilatör sistemleri kullanılabilir. Lokal havalandırma yapılması halinde pencere veya duvara monte edilmiş aksiyal fanlar kullanılabilir. Özellikle kış aylarında soğuk hava etkisinden (draft) korunmak amacıyla vantilatör çıkışlarına elektrikli ısıtıcılar takılabilir. Bu durumda cihazların hava debileri, enerji tasarrufu için yalnızca TABLO-4'te verilen taze hava miktarlarına göre seçilmelidir. Örnek olarak 35 kişilik bir sınıfta $35 \times 8 = 240$ L/s ($1008 \text{ m}^3/\text{h}$) Ayrıca enerji tasarrufu sağlamak üzere ısı geri kazanım sistemleri uygulanabilir.

Hava temizleyicilerinin en ucuz modellerden en kapsamlı ve pahalı ev sistemlerine kadar bir çok tip ve boyutta olanları satılmaktadır. Bazı hava temizleyiciler yüksek filtreleme verimine sahipken diğerleri daha az verimle çalışırlar. Kaliteli bir filtreye sahip hava temizleyicinin havadaki bakterileri %78 oranında, kokuları %32-%56 oranında, küfleri %97, bakterileri %34, uçucu organik maddeleri %13 ila %29 oranında azalttığı görülmüştür[9]. Hava temizleyicileri genellikle gaz kirleticileri uzaklaştıramazlar, bundan dolayı okul dersliklerinde kullanılması tavsiye edilmez (Şekil-5).

Son yıllarda evler ve işyerleri için geri ısı/enerji kazanımlı lokal havalandırma cihazları kullanımı yaygınlaşmıştır. Bu cihazlar sayesinde kış ve yaz aylarında taze hava ısıtma-soğutma yükleri en az yarıya inmektedir. Şekil-6'da geri ısı kazanımlı lokal havalandırma cihaz şeması görülmektedir.



Şekil 5. Ev tipi hava temizleyici



Şekil 6. Geri Isı Kazanımlı Lokal Havalandırma Cihazı (Radyal fanlı kanallı tip)

KAYNAKLAR

- [1] Internet/IAQ/Robert S. ZIMMERMAN, "Indoor Air Quality Guidelines for Pennsylvania Schools, August 1999.
- [2] Internet/IAQ/Indoor Air Quality in Connecticut Schools Executive Summary.htm
- [3] <http://www.epa.gov/iaq/schools/tfs/iaqback.html> "Article-IAQ Backgrounder", February 9, 1999.
- [4] Borat, O., Balcı, M., Sürmen, AS., "Hava Kirlenmesi ve Kontrol Tekniği", Teknik Eğitim Vakfı Yayınları-3, Ankara, 1992, s.1-4.
- [5] TORRES M., June 2000, "Indoor Air Quality", Texas Institute for the Indoor Environment, The University of Texas, Austin.
- [6] Application Guide AG-31-004, "School HVAC Design Manual" Mc Quay International Post Office Box 2510, Staunton, Virginia 24402 USA (800) 432-1342 www.mcquay.com
- [7] KOSONEN, R., "Demand-Based Ventilation is Logical in Schools", Oy Halton Group Ltd. 2005.
- [8] <http://www.epa.gov> "Indoor Air Quality Tools for Schools" (5-6-2004 tarihinde erişildi)
- [9] <http://www.airoasis.com/housebacteria.html> (8-08-2005 tarihinde erişildi)

ÖZGEÇMİŞLER

Hüseyin BULGURCU

1962 İzmir-Kınık'ta doğdu. İlk ve ortaokulu Poyracık'ta Lisesi İzmir Narlıdere'de tamamladı. 1984 yılında Kocaeli Mühendislik Fakültesinden Makina-Enerji lisans, 1989'da Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünden yüksek lisans, aynı enstitüden 1994 yılında doktora derecelerini aldı. İş hayatına İstanbul Kartal Teknik Lisesinde teknik öğretmen olarak başladı. 1990-1995 yıllarında Çankırı Meslek Yüksekokulu İklimlendirme ve Soğutma Programında öğretim görevlisi olarak çalıştı. 1995 yılından bu yana Balıkesir Meslek Yüksekokulunda öğretim üyesi olarak çalışmalarına devam etmektedir. Evli ve iki çocuk babasıdır.

Nadir İLTEN

1961 Balıkesir'de doğdu. İlk orta ve lise öğrenimini Balıkesir'de tamamladı. Uludağ Üniversitesi Balıkesir Mühendislik Fakültesi Makina Bölümünü 1983 yılında tamamladı. U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsünde 1986 yılında Yüksek Lisansını, 1993 yılında Doktorasını tamamladı. Balıkesir Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makina Bölümü Termodinamik Anabilim Dalı'nda 1984-1994 yılları arasında Araştırma Görevlisi, 1994'den beri de Yrd.Doç.Dr. olarak görev yapmaktadır. Evli ve iki çocuk babasıdır.

Ahmet COŞGUN

1975 yılında Antalya da doğdu, 1995 yılında Akdeniz Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulunda İklimlendirme Soğutma Programından "Tekniker " unvanı ile mezun oldu. 1999 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünden "Makine mühendisi" unvanı ile mezun oldu. 1999 yılında Akdeniz Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu İklimlendirme Soğutma Programında Uzman olarak göreve başladı. 2004 yılında aynı programa öğretim görevlisi olarak atandı. 2005 yılında Antalya'ya doğalgaz gelmesi nedeniyle Doğalgaz teknikerliği programının kurulmasında görev aldı.Halen aynı okulun İklimlendirme Soğutma ve Doğalgaz Programında çalışmalarına devam etmektedir. Alternatif enerji kaynakları(Güneş enerjisi, Biyogaz, Rüzgar enerjisi), Doğalgaz, ısıtma soğutma, iklimlendirme sistemleri ve iç hava kalitesi konularında çalışmalar yapmaktadır.