



**Bu bir MMO
yayıdır**

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

SINIFLARDA HAVALANDIRMA DEBİSİNİN BELİRLENMESİ

MACİT TOKSOY
ENEKO

SAİT C. SOFUOĞLU
İZMİR YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ

ORHAN EKREN
EGE ÜNİVERSİTESİ

EKİNCAN UFUKTEPE
İZMİR YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ

NECMİ VARLIK
MMO İZMİR ŞUBESİ

SINIFLARDA HAVALANDIRMA DEBİSİNİN BELİRLENMESİ

Macit TOKSOY
Sait SOFUOĞLU
Orhan EKREN
Ekincan UFUKTEPE
Necmi VARLIK

ÖZET

İç hava kalitesinin yaşam hacimleri içindeki insanların sağlığını etkilememesi için alınacak iki temel önlem vardır. Bunlardan ilki, iç ortamdaki kirlilik emisyonunu kontrol etmek (azaltmak, yok etmek veya izole etmek) ikincisi ise havalandırmaktır. Havalandırma iç ortamdaki yaşam zonunda kirlilik konsantrasyonunu insan sağlığını etkilemeyecek seviyelerde tutmak için yaşam zonunun her tarafına yeterli dış (temiz) havanın gönderilmesidir. Yeterli taze havanın belirlenmesi, bir başka deyişle havalandırma hava debisinin belirlenmesi kirlenme hızına bağlı olduğu gibi kirliliğin yayıldığı iç ortam büyüklüğüne de bağlıdır. Mimari tasarımda aynı fonksiyonlar için farklı alan büyüklükleri önerilebildiği ya da farklı nedenlerle aynı fonksiyonlar için farklı mekânlar yaratıldığı izlenebilmektedir. Ayrıca mekânlarda fonksiyon değişikliği yapıldığında emisyon hızına bağlı olarak iç ortamın konsantrasyon – zaman ilişkisi değişmektedir.

Mekanik havalandırma tasarımında kullanılan tasarım rehberlerinde (ASHRAE Standart 62.1-2013, vs.) önerilen havalandırma debilerinin seçilmesi, kirlilik konsantrasyonun belli bir değerin altında tutulması temel amacını gerçekleştirmesine imkân vermez. Tasarımcı mekân büyüklüğünün ve kirlilik emisyon hızının etkisini önerilen standartlarda önerilen hava debilerini kullanırken mutlaka göz önüne almalıdır. Okul – sınıf havalandırması periyodik değişken emisyon yüküne sahip havalandırma açısından özel mekânlardır. Ülkeden ülkeye öğrenci başına düşen sınıf alanlarında farklılıklar olduğu izlenmektedir. Bu farklılık havalandırma debisinin belirlenmesini önemli ölçüde etkilemektedir.

Bu çalışmada, sınıfların havalandırması için tasarımı yapılacak mekanik tesisatlardaki hava debisinin hesap yöntemi verilmiş ve bu amaçla tesisat mühendislerinin ve okul yöneticilerinin kullanabilmesi için geliştirilen bir program tanıtılmıştır.

Anahtar Kelimeler: İç hava kalitesi, Havalandırma, Sınıf, Hava debisi, Karbon dioksit.

ABSTRACT

There are two main measures that can be taken to protect occupant's health from the effects of indoor air quality. One of the measures is controlling (mitigating, removing or isolating) the indoor emission sources while the other is to ventilate. Ventilation is to provide outdoor (fresh) air to all micro-environments in order to keep the indoor air pollution at levels that would not impact occupant health. Determination of the amount of fresh air, in other words the air flow rate depends not only on the pollutant emission rates but also the volume of the space. It is possible to design different sizes of areas or different spaces for the same building function in architecture. In addition, indoor air pollutant concentration – time profiles change when the function of the space is altered depending on the emission rates.

Application of the ventilation rates recommended in the mechanical ventilation standards (ASHRAE 62.1-2013, etc.) would not permit achieving the main goal of limiting the pollutant concentrations below certain levels. The designer must consider the size of space and pollutant emission rate when using the standard recommended ventilation rates. Schools – classrooms are special environments for ventilation due to periodical variation in the emissions. The area per student varies from county to country which affects the design ventilation rate.

In this study, a method for calculation of ventilation rate for mechanical ventilation of classrooms is presented and the software developed for the application of the method by school managements and HVAC engineers is introduced.

Keywords: Indoor air quality, Ventilation, Classroom, Ventilation rate, Carbon dioxide

1. GİRİŞ

Sınıfların mekanik havalandırması öğrencilerin ve öğretmenlerin sağlığı, öğrenme ve öğretme performansına pozitif etkileri günümüze kadar yapılmış pek çok araştırma ile kanıtlanmış bir uygulamadır. İyi havalandırılan sınıflardaki öğrencilerin standart testlerdeki başarısı diğerlerine göre %14 -%18 daha yüksektir [1]. Çağımızda önemli bir sağlık sorunu olan astım gelişmesi ve tetiklenmesi havalandırma ile doğrudan ilgilidir. İyi havalandırılan okullarda astım etkilenmesi daha azdır [2]. Sonuç olarak sınıfların uygun debilerle havalandırılması, sınıf havası içindeki çeşitli kaynaklardan gelen, çocuk sağlığını yetişkinlerden daha fazla etkileyen, kimyasal ve biyolojik bileşenlerin konsantrasyonunu azaltarak, öğrencilerin bu bileşenlerden negatif etkilenme riskini azaltmaktadır.

Bu çalışmanın amacı okullarda sınıflara uygulanacak mekanik havalandırma sistemlerinin tasarımında göz önüne alınacak havalandırma debisinin belirlenmesi için bir yöntem önermek ve bu yöntemeye dayalı olarak geliştirilen bir yazılımı sunmaktır.

Çalışmanın çıkış noktası, Makina Mühendisleri Odası İzmir Şubesi tarafından İzmir Milli Eğitim Müdürlüğü işbirliği ile yürütülen İlköğretim Okullarında İç Çevre Kalitesi Eğitimi [3] ve Okullarda İç Hava Kalitesinin İyileştirilmesi Örnek Uygulama [4] projeleridir. Örnek uygulama projesi çerçevesinde Nihat Gündüz Ortaokulu'ndaki sınıfların havalandırılması için havalandırma debisinin belirlenmesi adımıyla havalandırma debisinin belirlenmesi için önerilen yöntemlerin tartışılması gereği duyulmuştur. Bu tartışmanın sonunda standartlarda ve araştırmalarda, okullar için önerilen havalandırma hızları gözden geçirilmiş, havalandırma debisinin, havalandırma yeterliliğinin ve sınıf içindeki kirletici düzeyleri için bir gösterge olan karbon dioksit (CO₂) konsantrasyonu temelinde belirlenmesinin uygun olduğu sonucuna varılmıştır. Böylece kapalı bir hacimdeki insanlardan kaynaklanan CO₂ kirliliğine ait modeller [5, 6] kullanılarak bir algoritma ve bu algoritmaya dayalı bir yazılım (**OKUL HVL**) geliştirilmiştir.

2. OKULLARDA HAVALANDIRMA DEBİSİ: STANDARTLAR

Çeşitli mahaller için iklimlendirme sistemlerinin ya da tek başına havalandırma sistemlerinin tasarımında, iç ortamın fonksiyonuna bağlı olarak, o ortamda yaşayacak insanların gereksinim duyduğu taze hava debisinin hesaplanmasında, ASHRAE 62.1-2013 gibi uluslararası kabul görmüş ve yaygın olarak kullanılan standartlar olduğu gibi, hemen her ülkenin de kendine özgü standartları vardır. Bu standartların önerdiği havalandırma değerlerinin lanniella [7] tarafından yapılan bir karşılaştırmasından alınan değerler Tablo 1'de yer almaktadır. ASHRAE 62 numaralı standarda 1973 yılından itibaren baktığımızda kişi başı yaklaşık en az 17 m³/h olmak üzere tavsiye edilen debi 12-20 m³/h iken 1981'de sigara içilen ve içilmeyen mekânlar için 42,5 m³/h ve 8,5 m³/h, 1989, 1999 ve 2000 yılı versiyonlarında 25,5 m³/h, 2003'te yapılan eklemeyeyle 13,5 m³/h ile 32 m³/h arasında değişen

debiler önerildiği görülmektedir. ASHRAE 62.1-2013 standardı sınıflar için yaş sınıfına göre daha ayrıntılı debiler önermektedir. Tablo 2'de bu standarttan alınmış değerler verilmiştir.

Tablo 1. Çeşitli ülkelerde sınıflar için havalandırma debileri (Ianniella [7]).

ÜLKE	İç Ortam Türü	Hava Debisi, [m ³ /(h. Öğrenci)]	Ek Hava Debisi [m ³ /(h.m ² alan)]		
ABD / ASHRAE 62/1: 2007	Seminer salonu	17 ^a	1.1		
PORTEKİZ / RSECE Dec-Lei 79/2006	Genel	30			
İNGİLTERE / Building Bulletin 101 v1.4- 5th July 2006,	Genel	10.8 – 28.8			
	Günlük ortalama CO ₂ konsantrasyonu 1500 ppm'den küçük				
FRANSA / RSDTYP Règlement Sanitaire Départemental Type,	Anaokul u İlkokullar	15			
	Lise	18			
FİNLANDIYA / Finnish Building Code, Part D2	Genel	21.6			
HOLLANDA / Programma van Eisen Frisse Scholen 2015	Bina sınıfı				
	A sınıfı	21.6 – 1200 ppm ^b			
	B sınıfı	28.8 – 950 ppm			
	C Sınıfı	43,2 – 800 ppm			
EU / EN 15251:2007	Bina sınıfı		AK ^c	OK ^c	ÇK ^c
	I	3.6	1.8	3.6	7.2
	II	25.2	1.3	3.6	5.0
	III	14.4	1.1	1.4	2.9

^a ASHRAE 62.1-2007'de Lecture Classroom olarak ifade edilen seminer salonu olarak adlandırılabilen sınıflar öğrenci başına verilen hava debisi(3.8 l/s (13.7 m³/h) olarak verilmiştir. IONIELLA bu değeri 17 m³/h olarak vermiştir. Bilindiği kadarıyla sınıflar için bu değer 2001 yılından bu yana 3.8 l/s (13.7 m³/h) değerindedir.

^b Mevcut binalar

^c **AK:** Az kirleten bina - **OK:** Orta kirleten bina -- **ÇK:** Çok kirleten bina

Tablo 2. Sınıflarda taze hava debisi minimum değerleri (ASHRAE 62.1-2013).

	Öğrenci başına hava debisi l/s.öğrenci (m ³ /h.öğrenci)	Alan başına ek hava debisi l/s.m ² (m ³ /hm ²)	Öğrenci başına öngörülen alan m ² /öğrenci
Anaokulu	5 (18)	0,9 (3.24)	4
Sınıf (yaş 5-8)	5 (18)	0,6 (2.16)	4
Sınıf (yaş 9 ve üstü)	5 (18)	0,6 (2.16)	2.86
Derslik (Lecture classroom)	3.8 (13.68)	0,3 (1.08)	1.54

Tablo 1 ve Tablo 2 karşılaştırıldığında ASHRAE 62.1-2013 standardının taze hava gereksiminin hesaplanmasında, diğer standartlardan farklı olarak iç ortamda bulunan insan sayısının yanında alan büyüklüğünü de göz önüne aldığı görülür. Bu standartta dikkati çeken bir başka özellik ise iç ortamda bulunması muhtemel maksimum insan sayısı bilinmediği takdirde göz önüne alınması gereken alan yoğunluğu (öğrenci sayısı/100 m²) değerlerini vermesidir. Tablo 2'de yer alan öğrenci başına alan değerleri verilen alan yoğunluklarından hesaplanmıştır.

Sınıflarda yapılacak havalandırmanın amacı aşağıdaki dört hedefle iç hava kalitesinin uygun hale getirilmesidir:

1. Karbon dioksit seviyesini belli bir değerin altında tutmak.
2. İç ortam havasının çok kuru veya küf oluşacak kadar nemli olmasından kaçınmak.
3. Uygun bir zaman diliminde iç ortamdaki uygun olmayan kokuları gidermek.
4. Tanımlanmış veya tanımlanmamış diğer hava kirleticilerinin konsantrasyonlarını düşürmek.

ASHRAE 62.1-2013, mekanik havalandırma sistemlerinin tasarımına yönelik sınıflardaki taze hava gereksiniminin hesaplanması için iki yöntem önermektedir. Bunlardan ilki yukarıdaki tablolardaki değerlerin kullanılmasını öngören, sonuç olarak iç ortamın fonksiyonuna (sınıf vs.), ortamdaki insan sayısına ve taban alanına bağlı olarak debinin belirlendiği Havalandırma Hızı Yöntemidir (Ventilation Rate Procedure). Bu yöntemde her ne kadar birim alan için ek bir havalandırma debisi hesaplanıyorsa da, göz önüne alınan toplam alanın iç ortamda bulunan insan sayısı ile uyumunun (mimari standartlar) ne olduğu dikkate alınmalıdır. Standarttaki ilgili tablolarda (ASHRAE 62.1-2013, Table 6.2.2.1) eğer mahal içindeki insan sayısının ne olacağı bilinmiyorsa varsayılan değerlerin (default values) kullanılması önerilmektedir (Tablo 3).

Tablo 3. Sınıflar için havalandırma debileri (ASHRAE 62.1-2013).

İç ortam kategorisi	Kişi başına dış hava debisi (l/s.kişi)	Alan başına dış hava debisi (l/s.m ²)	(Varsayılan) İnsan yoğunluğu (Kişi sayısı /100 m ²)	Kombine alan debisi (l/s.kişi)
Ana okul (4 yaş civarı)	5	0,9	25	8,6
Sınıf (yaş 5-8)	5	0,6	25	7,4
Sınıf (yaş 9 üstü)	5	0,6	35	6,7
Seminer salonu (Lecture classroom)	3,8	0,3	65	4,3
Seminer salonu (sabit sandalyeli)	3,8	0,3	150	4,0

Varsayılan değerler sütunlarındaki insan yoğunluğu için verilen değerler Havalandırma Hızı Yöntemi için değerlendirilmesi gereken önemli büyüklüklerdir. Bu değerler bir bakıma mimari standartları temsil etmektedir. Örneğin “Okullarda İç Hava kalitesinin İyileştirilmesi: Örnek Uygulama” projesinde [4] göz önüne alınan okuldaki sınıfların öğrenci sayısı ortalama maksimum 30’dur ve maksimum 40’a kadar çıkabilmektedir. Sınıf büyüklüğü 40 m² ve 31 olan ortalama maksimum öğrenci sayısına göre İnsan yoğunluğu 75 kişi/100 m²’dir. Hâlbuki yukarıdaki standarda göre açık olarak belirtilmese de ABD standartlarındaki eşdeğer bir sınıfın yoğunluğu 35 kişi /100 m²’dir.

Hesaplama sınıf büyüklüğü göz önüne alınmasına rağmen, mimari standart olarak sınıflardaki öğrenci yoğunluğu sınıf içerisindeki kirliliğin zamanla değişimini etkileyen önemli bir parametredir. Bir başka deyişle ısıtma havalandırma iklimlendirme alanındaki standartlar tek başına değil, mimari standartlar ile birlikte göz önüne alınmalıdır. Öztürk vd. [8] bir model yardımıyla havalandırma hızının CO₂ konsantrasyonuna etkisini göstermiş ve CO₂ ölçümleriyle destekleyerek bu gereği vurgulamıştır.

ASHRAE 62.1-2013’de taze hava debisinin hesaplanması için önerilen ikinci yöntem İç Hava Kalitesi Yöntemidir (Indoor Air Quality Procedure). Bu metod iç ortam hava kirleticilerini, kirletici kaynaklarını ve her kaynağın kirletici yayma hızının tanımlanmasını temel almaktadır. Yöntem henüz kesinleşmemiş olduğu için bilgi anlamında (informative) verilen kirletici konsantrasyonlarının aşılmamasını sağlayan taze hava debilerinin belirlenmesini önermektedir.

Bilgi anlamında verilen (zorunlu olmayan) tablo incelendiğinde (ASHRAE 62.1-2013: Table B-2) 8 saatlik ortalama olarak karbon dioksit için önerilen maksimum değerin Kanada için 3500 ppm olarak



öngörüldüğü, diğer kuruluşların¹ ise 5000 ppm değerini önerdiği görülmektedir. Standartta bu değerlerin kullanımı için kullanıcıya, bu değerlerin hangi amaçla ve nasıl elde edildiklerine dikkat etmesi notu düşülmektedir.

Tablo 1’de Building Bulletin 101 için verilen değerlere bakılırsa bu standart hem kişi başına belli bir minimum debiyi hem de belli periyotlar için karbon dioksitin aşılması gereken ortalama maksimum konsantrasyonunu (1500 ppm) önermektedir. Building Bulletin 101 [9] incelendiğinde zorunlu ve tavsiye edilen olmak üzere iki grup kural yer aldığı görülmektedir. Zorunlu olan kurallar (1-4) aşağıda verilmiştir:

1. *“Okul binası içinde insanlar tarafından kullanılan her alan içinde olabilecek maksimum insan sayısına göre minimum 3 l/s hava debisi ile havalandırılacaktır.*
2. *Tüm eğitim alanları, tıbbi muayene ve tedavi müdahale alanları, hasta odaları, izolasyon odaları, uyuma ve benzeri yaşam alanları içinde olacak insan sayısına bağlı olarak gerektiğinde kişi başına minimum 8 l/s debiyle havalandırılma olanağı olmalıdır.*
3. *Tüm tuvaletler ve banyolar minimum saatte 6 hacim değişimi ile havalandırılmalıdır.*
4. *“Bina içinde nem yoğunluğu için yeterli tedbirler alınmalıdır. Buhar ve yanma gazları oluşan mutfak ve benzeri odalardaki kirleticiler havalandırma ile mahalden uzaklaştırılmalı, bina içinde yoğunlaşma olmaması için yeterli tedbirler alınmalıdır”.*

Zorunlu kurallara ek olarak Building Bulletin 101 içinde aşağıdaki kurallar da gelecekte inşa edilecek okul binaları, öğretme ve öğrenme hacimleri için tavsiye edilmektedir.

5. *“Tüm öğretme ve öğrenme hacimlerinde karbon dioksit konsantrasyonunu sınırlayacak şekilde havalandırma yapılmalıdır. Oturma pozisyonunda ve baş hizasında olmak üzere bir eğitim gününün başında sonuna kadar ölçülen karbon dioksit konsantrasyonu ortalaması 1500 ppm değerini geçmemelidir”.*

Bu kural karbondioksitin izlenmesi yoluyla diğer kirleticilerin kontrolünü amaçlamaktadır.

6. *“Bir eğitim gününde maksimum karbondioksit konsantrasyonu 5000 ppm değerini aşmamalıdır.*
7. *Ders içinde de olmak üzere herhangi bir anda karbon dioksit konsantrasyonu 1000 ppm değerinin altına indirilebilmelidir”*

6. ve 7. kurallar sağlık ve güvenlik açısından önerilmektedir.

8. *“Eğer bir mekanik havalandırma sistemi tanımlanması söz konusu ise bu sistem, kişi başına günlük ortalama olarak minimum 5 l/s hava debisi sağlamalıdır. Buna ilaveten de herhangi bir anda kişi başına 8 l/s havalandırma debisi sağlayacak kapasiteye sahip olmalıdır”.*

Zorunlu kurallar ile gelecekte zorunlu hale gelmesi muhtemel tavsiye edilen değerler karşılaştırıldığında aşağıdaki değerlendirmeler yapılabilir.

- a) Zorunlu minimum değer 3 l/s değerinden 5 l/s değerine yükseltilmektedir.
- b) Sadece hava debisi için kurallar getirilmemekte, karbon dioksit konsantrasyonu için de sınırlar konulmaktadır.

¹ OSHA, MAK, WHO, NIOSH, ACGIH

3. KİRLETİCİ VE KİRLETİCİ GÖSTERGESİ OLARAK KARBONDİOKSİT

Yaklaşık 150 yıl önce 1840'larda, Münih Üniversitesinde hijyen profesörü olan Max von Pettenkofer, kirliliğe katılmasa da hava kirliliği için karbon dioksitin bir gösterge olduğunu belirtmiş, ve onun zamanındaki diğer yazarlar yeterli bir havalandırma için 1000 ppm karbon dioksit limitini koymuşlardır [10]. Karbon dioksitin limit değeri olan 1000 ppm değeri Pettenkofer sayısı olarak anılmaktadır [11].

Hava içindeki karbon dioksitin çok yüksek değerlerde (>20000 ppm) ciddi sağlık sorunlarına sebep olduğu bilinmektedir. ASHRAE 62.1-2013'de öngörülen 8 saatlik ortalama değer de 5000 ppm'dir. İç ortamlarda düşük havalandırma kalitesi yüzünden (5000 ppm'e kadar olan aralıkta da) CO₂ arttıkça (baş ağrısı ve mukoza rahatsızlığı gibi) sağlık sorunları artsa da bunların CO₂'den değil onunla birlikte artan diğer kirleticilerden kaynaklandığı tezi bir gurup araştırmacı tarafından sorgulanmıştır [12, 13]. Bu çalışmalarda 600 ppm referans alındığında karar verme performansında 1000 ppm de orta derecede ve istatistiksel anlamlı bir azalma, 2500 ppm'de ise yüksek derecede ve istatistiksel anlamlı bir düşme olduğu belirlenmiştir. Literatürde yer alan diğer çalışmalar da, iç hava kalitesinin okulda akademik performans ve devamı [14], hafıza ve odaklanmayı [15] ve hata yapma oranını [16] etkilediğini göstermektedir.

Bazı araştırmalarda [17, 18] 1500 ppm değeri üzerindeki CO₂ konsantrasyonuyla çocukların sağlığı ve performansı arasında ilişki olduğu belirlenmiştir. Bir başka araştırmada [15] ise 1500 ppm değerinden daha düşük bir ortalama değer olan 1000 ppm değerinin üst limit olması gerektiği ve sınıftaki karbondioksit konsantrasyonu 1000 ppm üzerine çıktığında havalandırma debisinin artırılması gerektiği öngörülmektedir.

Yaşam hacimlerindeki maksimum konsantrasyon değerinin 1000 ppm olması gerektiği yaklaşık 150 yıl önce Pettenkofer ve çağdaşı araştırmacılar tarafından öngörülse de, zamanımızda yeni yapılan araştırmalarla CO₂'nin diğer kirleticiler için bir gösterge olması yanında aynı zamanda sağlık ve performansı etkileyen bir kirletici olduğu somutlaşmaktadır. Bu çalışmada sınıflandırma mekanik havalandırma debisinin hesaplanmasında sınıflarda art arda geçirilen ders saatleri boyunca CO₂ ortalama değerinin, bir standardın temel alınmasının daha güvenli olacağı yaklaşımıyla, Building Bulletin 101'de öngörülen 1500 ppm değerini aşmaması esas alınmıştır.

4. SINIFLARDA KARBONDİOKSİT KONSANTRASYONUNU ETKİLEYEN PARAMETRELER

Havalandırma sisteminin debisinin, olası diğer kirleticiler için anahtar görevini yüklenen karbon dioksitin maksimum ve ortalama değerlerine göre belirlenmesi daha doğrudur. Building Bulletin 101 içindeki gelecek için tavsiye edilen değerler bunu öngörmektedir. Havalandırma debisinin dışında karbon dioksit konsantrasyonunu etkileyen birçok parametre vardır (Tablo 4).

Tablo 4. İç ortamda karbondioksit konsantrasyonunun değişimini etkileyen parametreler.

1	Dersteki öğrenci sayısı	7	Öğrencilerin ortalama boyu (m)
2	Öğretmen sayısı	8	Ders süresi (dakika)
3	Sınıf Hacmi (m ³) (en x boy x yükseklik)	9	Teneffüs süresi (dakika)
4	Havalandırma debisi (m ³ /h)	10	Teneffüste sınıfta kalan öğrenci sayısı
5	Dış hava CO ₂ konsantrasyonu (ppm)	11	Havalandırma senaryosu
6	Öğrencilerin ortalama kilosu (kg)	12	Arka arkaya yapılan ders sayısı

Tablo 4'te verilen parametrelerin CO₂ konsantrasyonu ile olan ilişkileri aşağıda açıklanmıştır. Örnek uygulama sınıfının ölçüleri, öğrenci özellikleri ve teneffüste sınıf mevcudunun tamamının sınıf

ortamında kaldığı kritik hal^{*} göz önüne alınarak farklı parametrelerin etkileri hesaplanmış ve grafik olarak gösterilmiştir.

Dersteki öğrenci sayısı:

Herkes kilosuna, boyuna, yaşına, içinde bulunduğu aktiviteye (metabolizma hızına), solunum katsayısına (tükettiği yiyeceklere) bağlı olarak her solunumda dışarıya karbon dioksit verir. Belirli bir hacimde insan sayısı ne kadar fazla olursa o hacmin içindeki karbon dioksit miktarı o hızla artar. Derslerdeki öğrenci sayıları yıldan yıla değişebilmektedir. Herhangi bir sınıf için havalandırma debisi hesaplanırken o sınıfta eğitim görebilecek maksimum öğrenci sayısı göz önüne alınmalıdır.

Tablo 5. Nihat Gündüz Ortaokulu Örnek Uygulama Sınıfı Özellikleri

Dersteki öğrenci sayısı	30	
Öğretmen sayısı ²	1	
Sınıf Hacmi (m ³)	115 (6.3m x 6.3m x 2.9m)	
Öğrencilerin ortalama kilosu (kg)	54.8 ^[19] (Ortaokul 3)	
Öğrencilerin ortalama boyu (m)	1.63 ^[19] (Ortaokul 3)	
Ders süresi (dakika)	40	
Teneffüs süresi (dakika)	10	

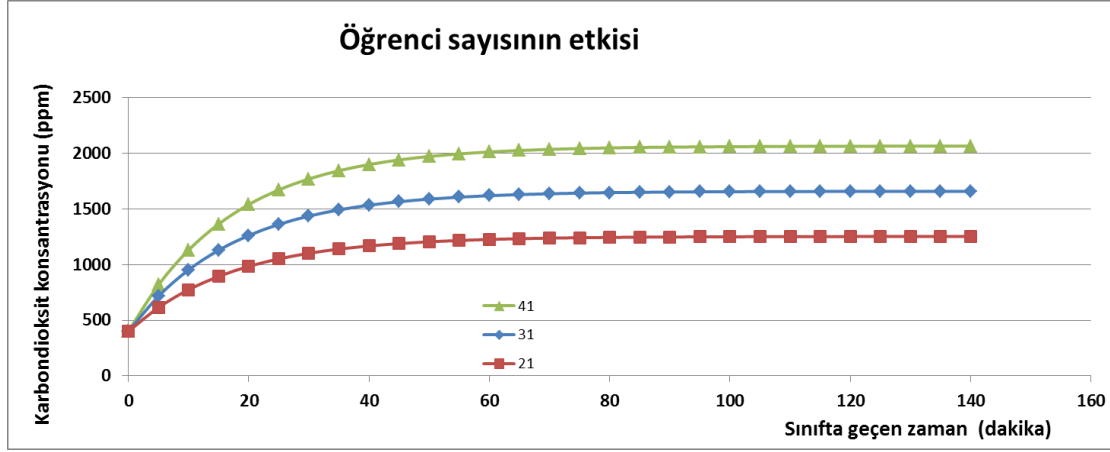
Öğretmen sayısı:

Türkiye'deki okullarda normal olarak her sınıfta bir öğretmen görev yapmaktadır. Dünya genelinde de böyle olması gerektir. Ancak literatürde bazen sınıfta iki öğretmenin de bulunduğu hallerin göz önüne alındığı görülmektedir. Genel olarak havalandırma debisi hesaplarında sınıf öğrenci sayısının her öğretmen için bir artırılması, öğretmen sayısının göz önüne alınması için yeterlidir.

Şekil 1, üç ders, iki teneffüs boyunca 20, 30 ve 40 öğrenci ve bir öğretmen, toplam 21, 31 ve 41 kişinin sınıfta bulunması durumunda CO₂ konsantrasyonunun zamanla değişimini göstermektedir. Örnek uygulama sınıfına 558 m³/h (kişi başı 27 l/s) taze hava sağlanması durumunda öğrenci sayısındaki her 10 kişilik artışın maksimum konsantrasyonda 291 ppm seviyesinde bir artış ile sonuçlandığını göstermektedir.

* Kritik hal, öğrencilerin soğuk günlerde teneffüs zamanında sınıftan ayrılmama halidir.

² Türkiye'deki okullarda normal olarak her sınıfta bir öğretmen görev yapmaktadır. Dünya genelinde de böyle olması gerektir. Ancak literatürde bazen sınıfta iki öğretmenin de bulunduğu hallerin göz önüne alındığı görülmektedir.



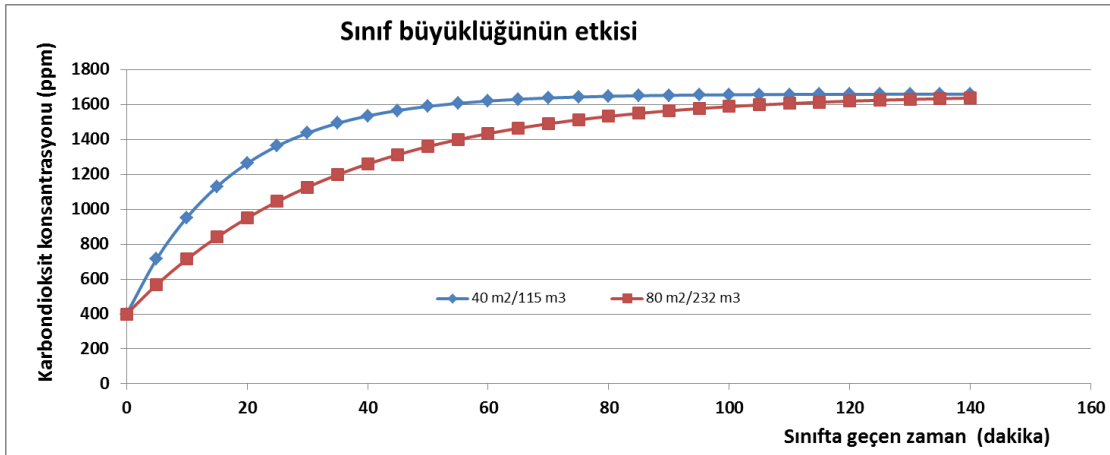
Şekil 1. Örnek uygulama sınıfı için öğrenci sayısının CO₂ konsantrasyonuna etkisi.

Sınıf Büyüklüğü:

Sınıflardaki karbon dioksit konsantrasyonunu etkileyen en önemli parametrelerden biri sınıf büyüklüğüdür. Bu büyüklük öğrenci başına düşen metrekare sınıf alanı olarak da ifade edilebilir. Bu alanın büyük olduğu sınıflarda, sınıf içindeki karbon dioksit konsantrasyonunun artışı daha yavaştır.

Aşağıdaki grafikte (Şekil 2) diğer parametrelerin aynı olduğu sadece alan yoğunluğunun değiştiği iki sınıfta karbon dioksit konsantrasyonunun zamanla değişimi görülmektedir. İki katı büyük bir taban alanına sahip bir sınıfta konsantrasyonlar bir saat boyunca yaklaşık 200 ppm daha düşük kalabilmektedir.

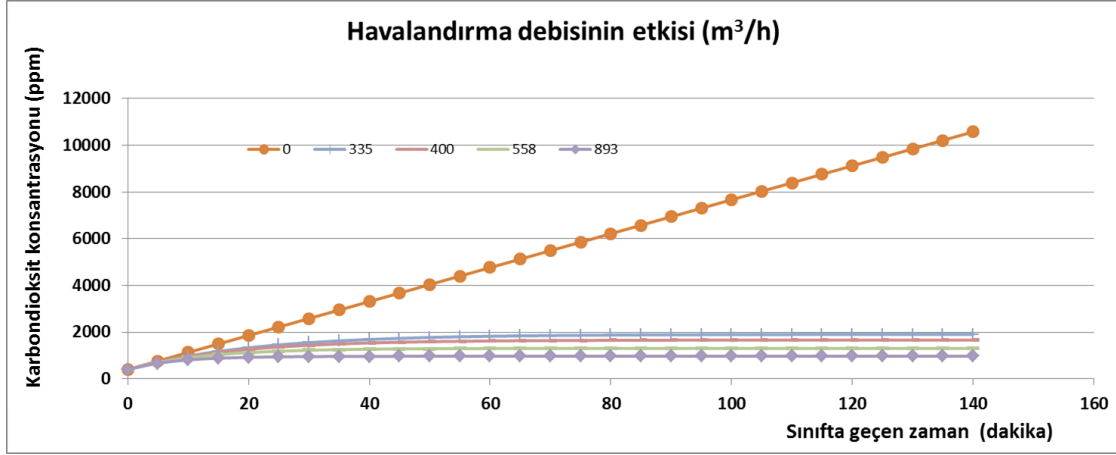
Sınıfların bir öğrenciye en az 2 metrekare düşecek şekilde planlanması ve uygulanması iç hava kalitesi açısından daha uygun olacaktır.



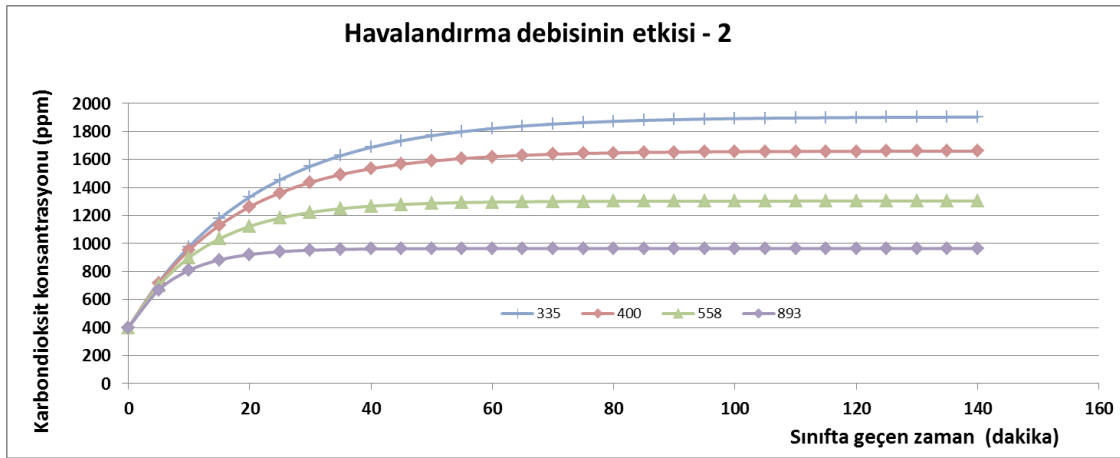
Şekil 2. Sınıf büyüklüğünün CO₂ konsantrasyonuna etkisi.

Havalandırma Debisi:

Havalandırma debisi CO₂ konsantrasyonunu doğrudan etkileyen bir parametredir. Hiç havalandırma olmayan örnek uygulama sınıfında 3. dersin başında CO₂ konsantrasyonu, aşağıdaki grafikten (Şekil 3) görüleceği üzere 5000 ppm sınırının üzerine çıkmaktadır. Building Bulletin 101’de öngörülen minimum hava debisinin (335 m³/h) biraz üzerindeki bir debide (400 m³/h) havalandırma yapıldığında CO₂ konsantrasyonu asimptotik olarak 1659 ppm değerine ulaşmakta, 3 saatlik ders sonunda ortalama değer 1486 (<1500) ppm olmaktadır (Şekil 4).



Şekil 3. Havalandırma debisinin CO₂ konsantrasyonuna etkisi



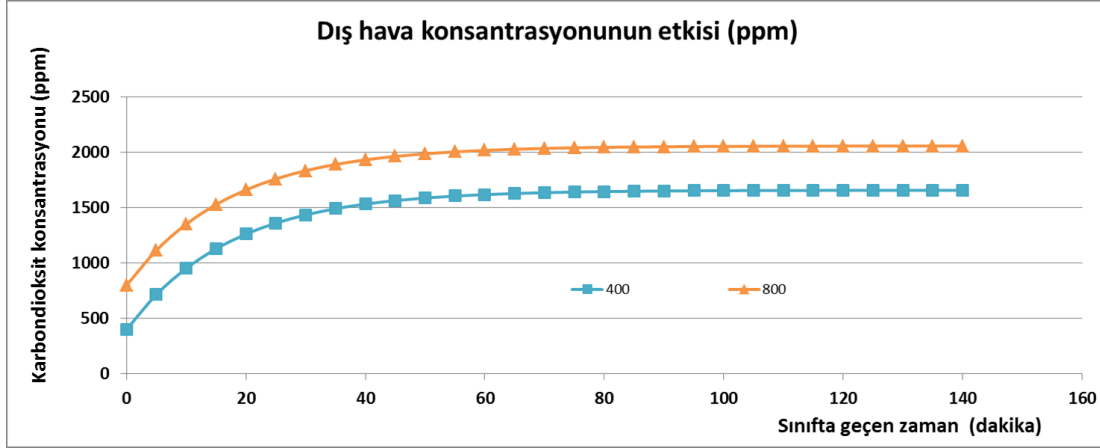
Şekil 4. Havalandırma debisinin CO₂ konsantrasyonuna etkisi

Building Bulletin 101’deki minimum havalandırma debisi kritik hallerde (öğrencilerin teneffüste sınıfta kalmaları) ve küçük sınıflarda karbon dioksit konsantrasyonu ortalamasını gün boyunca tavsiye edilen 1500 ppm değerinden büyük yapabilir. Havalandırma debisi hesaplanırken, karbon dioksit konsantrasyonu için müsaade edilen ortalama sınırı (1500 ppm) aşımayaacak değerler göz önüne alınmalıdır.

Dış hava CO₂ konsantrasyonu:

NASA tarafından yapılan açıklamaya [20] göre kuzey yarım küredeki karbon dioksit konsantrasyonu endüstri devriminin başlarındaki (18. yüzyılın ikinci yarısı) 270 ppm değerinden, 2014 ilkbaharında 400

ppm değerine ulaşmıştır. Temiz bir atmosfer için bir kısım literatürde [13] bu değer 380 ppm verilmektedir. Şüphesiz bu değerler ortalama değerlerdir. Yerel kirlilik kaynakları (kışın kent içi emisyonlar, endüstriyel tesisler, yoğun jeotermal emisyonlar vs.) nedeniyle dış hava karbon dioksit konsantrasyonu bu değerleri aşabilir. Yine şüphesiz karbon dioksit açısından iç hava kirliliğinin en alt limiti dış havadaki konsantrasyon seviyesidir. BS EN 13779 standardında iç ortam konsantrasyonu için dış hava konsantrasyonu üzerine farklı iç hava kalitesi öngörülen ortamlarda + 400 ppm ile 1000 ppm arasındaki değerler üst sınır olarak verilmektedir. Bu değer aralığı Building Bulletin 101 ile uyumludur. Şekil 5 dış hava konsantrasyonunun etkisini 400 ile 800 ppm karşılaştırmasıyla ortaya koymaktadır.

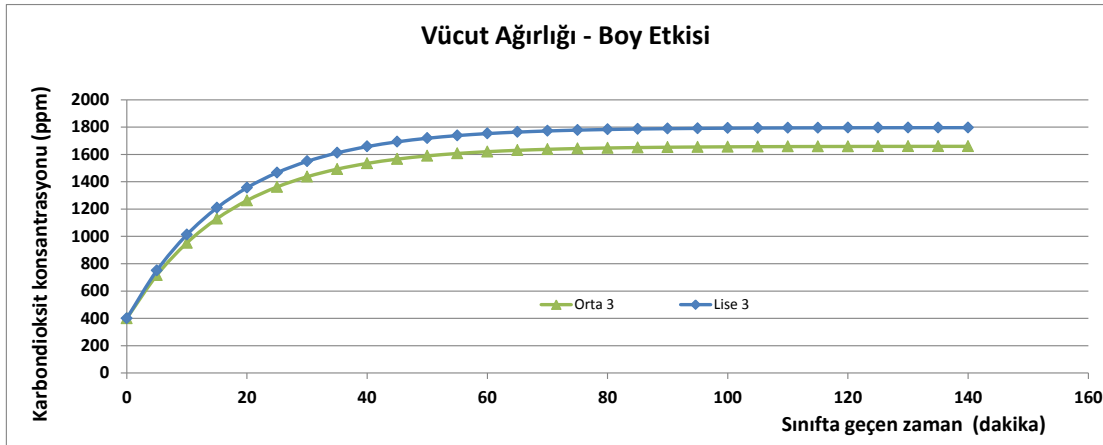


Şekil 5. Dış hava konsantrasyonunun sınıf içi CO₂ konsantrasyonuna etkisi

Sınıflar için havalandırma debisi belirlenirken, dış çevre CO₂ seviyesinin bilinmesi önemlidir. Bu yüzden şehirlerin yerel kirliliklerine ait haritaların yapılması tasarımcılar için önemlidir.

Öğrencilerin Ortalama Vücut Ağırlığı ve Boyu

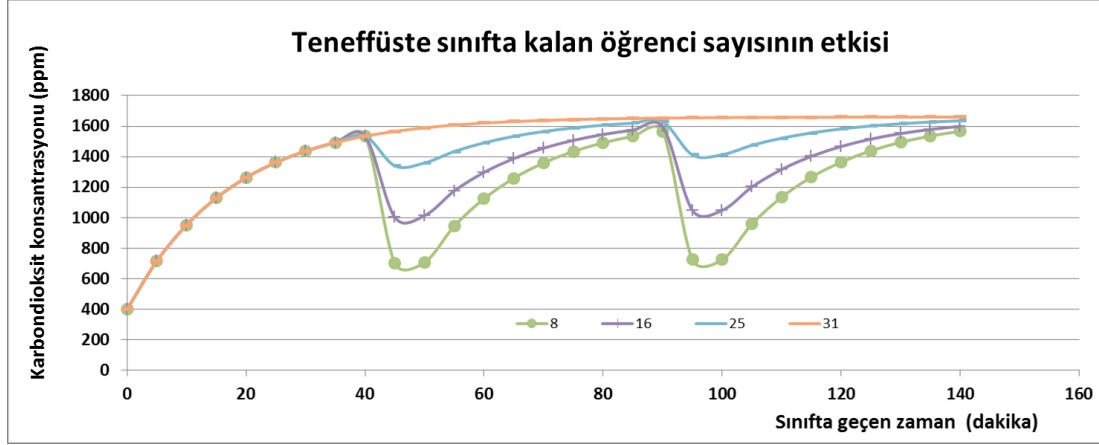
İnsanların her soluk alışverişte ortama verdikleri karbon dioksit miktarı vücut ağırlığı ve boylarıyla yakından ilgilidir. Bu iki değer kullanılarak DuBois denklemiyle hesaplanan insan yüzeyi, hareketliliğinin seviyesi olan metabolizma hızı ve tükettiği yiyeceklere bağlı olarak belirlenen solunum katsayısı kullanılarak bir insanın ortama verdiği karbon dioksit miktarı bulunur [6]. Şekil 6'da, orta 3 ve lise 3 öğrencilerinin %50 Kız %50 erkek olmak üzere ortalama vücut ağırlığı ve boyları göz önüne alınarak hesaplanmış emisyonlarına göre CO₂ konsantrasyonunun değişimi verilmiştir.



Şekil 6. Vücut ağırlığı ve boyun CO₂ konsantrasyonuna etkisi.

Teneffüste sınıfta kalan öğrenci sayısı:

Sınıftaki karbon dioksit kaynağı çocuklardır. Teneffüs esnasında sınıfta kalan çocuk sayısı bu süre zarfındaki karbon dioksit emisyon miktarını belirlemektedir. Böylelikle yeni derse girişte, teneffüste kalan çocuk sayısına ve havalandırma debisine bağlı olarak sınıfta yeni bir karbon dioksit başlangıç konsantrasyonu oluşmaktadır (Şekil 7).



Şekil 7. Teneffüste sınıfta kalan öğrenci sayısının etkisi CO₂ konsantrasyonuna etkisi.

Teneffüste sınıfta kalan çocuk sayısı, okul saatlerindeki dış iklim şartlarına, okul ve bahçesinin mimari yapısına, sosyal ve ekonomik çevre faktörlerine bağlıdır. Kasım ayı içerisinde 5 günde yapılan gözlemlere göre 30 kişilik sınıfta teneffüste kalan öğrenci sayıları Tablo 6'da verilmiştir. Görüleceği üzere zaman zaman teneffüste sınıfta kalan öğrenci sayıları toplam sınıf mevcuduna yaklaşmaktadır.

Tablo 6. Teneffüste Sınıfta Kalan Öğrenci Sayıları

Gün	1.Tenefüs	2.Tenefüs	3.Tenefüs	4.Tenefüs (Öğle Arası)	5.Tenefüs	6.Tenefüs
1	9:20-9:30	10:10-10:20	11:00-11:10	11:50-12:40	13:20-13:30	14:10-14:20
2	0	5	6	0	6	-
3	10	7	9	16	8	-
4	11	0	0	0	0	-
5	24	21	22	1	23	17
6	19	8	18	2	6	17

Havalandırma sistemi tasarım açısından, güvenli kalmak hedefiyle, havalandırma sisteminin, öğrencilerin tamamının sınıfta kaldığında da (kritik koşul) yeterli olabilmesi için teneffüste öğrencilerin sınıftan ayrılmadığı halinin göz önüne alınması doğru olacaktır. Yukarıda verilen farklı parametrelerin etkisinin belirlenmesinde bu kritik konum göz önüne alınmıştır.

Havalandırma senaryosu:

Çeşitli nedenlerle (küçük sınıf hacmi ve yüksek öğrenci sayısının söz konusu olduğu hallerde oluşacak yüksek havalandırma debisini sağlayan cihazların gürültüsü ve çocuklar üzerindeki (esinti gibi) etkileri göz önüne alınarak ders ve teneffüs esnasında farklı debiler kullanılabilir. Building Bulletin 101 zaten istenildiğinde cihazların kişi başına 8 l/s debiye kadar çıkmasını öngörmektedir. Dersteki iç çevre

şartlarını uygun (ısı ve akustik) konforda tutmak şartıyla farklı debi senaryolarının uygulanması cihaz için öngörülen bu yetenekten faydalanılarak gerçekleştirilebilir.

Ders ve teneffüslerde farklı debi senaryoları göz önüne alınmadığı hallerde havalandırma debisi, tüm öğrencilerin teneffüste kaldığı kritik şartlarda karbon dioksit konsantrasyonunun uygun iç hava koşulu için öngörülen şartları (göz önüne alınan eğitim periyodunda ortalama 1500 ppm ve maksimum 5000 ppm değerini aşmamak) sağlayıp sağlamadığı kontrol edilerek bulunmalıdır.

5. İÇ ORTAMLARDA HAVALANDIRMA DEBİSİNİN HESAPLANMASI YAZILIMI: OKUL - HVL 1.0

Özellikle okullardaki havalandırma sistemlerinin tasarımı için gerekli sınıflardaki havalandırma debisinin belirlenmesinde kullanılmak üzere Kalema ve Viot'un [6] verdiği yöntem ve Building Bulletin 101'de karbon dioksit için verilen sınır değerler kontrol değerleri olarak kullanılarak bir yazılım geliştirilmiştir. Yazılım internet üzerinden kullanıma açılmıştır³. Yazılımın algoritması ve özellikleri aşağıda açıklanmıştır.

Yazılım girdileri

Havalandırma debisinin belirleneceği iç ortamdaki-sınıftaki karbondioksit kaynağının büyüklüğü bundan önceki bölümde verildiği üzere, iç ortamda bulunacak insanların kilolarına, boylarına, metabolizma hızlarına hızlarına bağlıdır.

Yazılımın ilk adımında iç ortam cinsinin - okul seviyesinin (Sınıf Düzeyi) seçilmesi istenmektedir (EKİRAN 1). Yazılımı kullanacakların farklı değerler girerek farklı sonuçlara ulaşmalarını için, eğitim seviyesine göre bir sınıfta okuyabilecek en büyük yaş grubuna ait istatistik veriler kullanılması tasarımların ortak bir temele dayanmasını sağlayacaktır. Okul seviyesinin belirlenmesiyle güvenli seçim yapabilmek için o okuldaki son sınıf (ilkokul için 4. sınıf, 10 yaş; ortaokul için 8. sınıf, 14 yaş; ve lise için 12. sınıf, 18 yaş) öğrencilerinin %50 kız ve %50 erkek karışımı için Neyzi ve diğerlerinin [19] yaptıkları araştırma sonuçları hesaplamada kullanılmaktadır. Bu değerler Tablo 7'de verilmiştir:

Tablo 7. Öğrencilerin ortalama vücut ağırlıkları ve boyları.

Ortalama öğrenci vücut ağırlıkları (kg)									
Yaş	İlkokul			Ortaokul			Lise		
	Kız	Erkek	Ort.	Kız	Erkek	Ort.	Kız	Erkek	Ort.
10	32,6	32,2	32,4						
14				53,3	56,2	54,8			
18							58,1	71,8	65,0
Ortalama öğrenci boyları (cm)									
Yaş	İlkokul			Ortaokul			Lise		
	Kız	Erkek	Ort.	Kız	Erkek	Ort.	Kız	Erkek	Ort.
10	138	138	138						
14				160	165	163			
18							163	176	170

³ www.iccevrekalitesi.net/CO2.htm



EKRAN 1.

İÇ ORTAM CO2 SEVİYESİ HESAPLAMASI					
ERGONOMİK BİLGİLER					
Sınıf Düzeyi:	İlkokul	Ortalama Öğrenci Boyları (cm)			
		İlk	Orta	Lise	
		138	163	170	
Sınıftaki Öğretmen Sayısı:	1	Ortalama Öğrenci Ağırlığı (kg)			
		İlk	Orta	Lise	
		32.4	54.8	65.0	
Sınıftaki Öğrenci Sayısı:	30	Diğer		Boy (cm)	Kilo (kg)
		Anaokulu	116	20.7	
Teneffüsteki Öğrenci Sayısı:	30	Sadece Öğrenci Sınıfı	170	65.0	
		Yetişkinlerinde kullandığı Sınıflar	165	71.7	

Diğer seçeneği ile dershaneler, çeşitli kuruluşlar tarafından açılan kurslar kastedilmiştir. Bu seçenek seçildiğinde hemen yanda boy ve vücut ağırlığının girilebileceği iki kutu açılmaktadır (EKRAN 2). Eğitim kurumunun cinsine göre Tablo 8'deki uygun değer, bir başka deyişle o iç ortamda bulunabilecek ortalama maksimum değerler girilmelidir. Örneğin tüm öğrencilerin gidebileceği bir dersane sınıfı liseli öğrenciler tarafından da kullanılacağı için liseli öğrencilere ait ortalama değerler girilmelidir. Eğer herhangi bir sınıf yetişkinler için de kullanılabilirse bu durumda yetişkin ortalama değerleri girilmelidir. "Diğer" seçeneği ile girilebilecek değerler Tablo 8'de verilmiştir.

Tablo 8. Sınıf düzeyi için "Diğer" seçeneği ile girilebilecek değerler

Sınıf	Ortalama Boy (m)	Ortalama Vücut Ağırlığı (kg)
Anaokulu	1.16	20.7
Sadece öğrencilerin kullanabileceği sınıflar	1.70	65.0
Yetişkinlerin de kullanabileceği sınıflar	1.65	71.7

EKRAN 2.

İÇ ORTAM CO2 SEVİYESİ HESAPLAMASI					
ERGONOMİK BİLGİLER					
Sınıf Düzeyi:	Diğer	Ortalama Öğrenci Boyları (cm)			
	Boy Giriniz (metre)	İlk	Orta	Lise	
	Kiloyu Giriniz (kg)	138	163	170	
Sınıftaki Öğretmen Sayısı:	1	Ortalama Öğrenci Ağırlığı (kg)			
		İlk	Orta	Lise	
		32.4	54.8	65.0	
Sınıftaki Öğrenci Sayısı:	30	Diğer		Boy (cm)	Kilo (kg)
		Anaokulu	116	20.7	
Teneffüsteki Öğrenci Sayısı:	30	Sadece Öğrenci Sınıfı	170	65.0	
		Yetişkinlerinde kullandığı Sınıflar	165	71.7	

İç ortam cinsi seçildikten sonra, bu ekranda hesaplamada kullanılan diğer parametreler girilmektedir. Kutular kullanıcı tarafından girilecek değerleri göstermektedir. Kırmızı renkli tablodaki bilgiler hesaplamalarda kullanılan varsayılan değerleri gösterir. Burada girilecek değerler aşağıda açıklanmıştır:



Sınıftaki Öğretmen Sayısı	1
---------------------------	---

Bu alanda sınıftaki öğretmen sayısı 1 olarak gözükecektir. Bunun nedeni genel olarak sınıflarda 1 öğretmen olmasıdır. Eğer birden fazla ise kutu seçilerek içerisine gerekli sayı girilir.

Sınıftaki Öğrenci Sayısı	30
--------------------------	----

Bu alanda sınıfta ya da göz önüne alınan hacimde olabilecek maksimum öğrenci sayısı girilir.

Teneffüsteeki Öğrenci Sayısı	30
------------------------------	----

Bu alanda teneffüste sınıfta ya da göz önüne alınan hacimde kalabilecek olan maksimum öğrenci sayısı girilir. Öğrencilerin bir kısmının teneffüse çıkmadığı göz önüne alınmak istenirse bu kutuya teneffüste sınıfta kaldığı öngörülen öğrenci sayısı girilir. Havalandırma sisteminin projelendirilmesinde bu alana sınıfta olabilecek maksimum öğrenci sayısı girilmelidir.

Örneğimizde sınıf düzeyi **ortaokul**, öğretmen sayısı **1**, öğrenci sayısı **30**, teneffüste sınıfta kalan öğrenci **30** olarak girilmiştir.

Kişisel bilgilerin girilmesinden sonra yazılımın ikinci bölümünde CO₂ seviyesi hesaplanacak ortamın fiziksel ölçüleri girilir (EKRAN 3). Fiziksel ölçüler girilirken ondalık için ayrıç olarak nokta kullanılmalıdır.

Sınıfın Eni <W> (metre)	6.3
-------------------------	-----

Sınıfın Boyu <L> (metre)	6.3
--------------------------	-----

Sınıfın Yüksekliği <H> (metre)	2.9
--------------------------------	-----

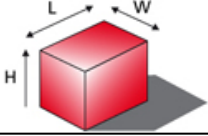
Bu alanlarda hesaplanacak ortamın eni, boyu ve yüksekliği metre cinsinden girilir.

Örneğimizde sınıfın eni **6.3** metre, sınıfın boyu **6.3** metre, sınıfın yüksekliği **2.9** metre olarak girilmiştir.

Ortamın fiziksel ölçülerinin girilmesinden sonra son bölümünde (EKRAN 4) diğer bilgiler girilerek veri girişi tamamlanır.

EKRAN 3.

SINIF ÖLÇÜLERİ		
Sınıfın Eni <W> :	<input type="text" value="6.3"/>	m
Sınıfın Boyu <L> :	<input type="text" value="6.3"/>	m
Sınıfın Yüksekliği <H> :	<input type="text" value="2.9"/>	m



EKRAN 4.

DİĞER BİLGİLER		
Kişi Başına Havalandırma Debisi:	<input type="text" value="0"/>	l/sn
Arka Arkaya Uzun Arasız Ders Sayısı:	<input type="text" value="4"/>	
Varsayılan Dış Hava CO ₂ Seviyesi:	<input type="text" value="400"/>	ppm

HESAPLA

DİKKAT:

- Ondalık basamaklar için nokta kullanınız.
- Ders periyodu: 40 dk ve
- Ders arası: 10 dk kabul edilmiştir.



Kişi başına havalandırma debisi (l/sn)	0
--	---

Bu alanda hesaplanacak olan ortama verilen taze hava debisi l/sn cinsinden girilir. Bu alanda varsayılan değer Bina Bülteni 101'de öngörülen öğrenci başına minimum 3 l/sn değeridir. Bu değer girildikten sonra hesaplanan ve ekranın en altında gösterilen **Ders Periyodunun Ortalama CO2 Konsantrasyonu** 1500 ppm'den fazla ve/veya **Ders Periyodunun Maksimum CO2 Konsantrasyonu** 5000 ppm'den fazla ise **Kişi Başına Havalandırma Debisi** değiştirilerek, bu değerlerden her ikisi sırasıyla 1500 ppm ve 5000 ppm değerlerinin altına düşünceye kadar daha büyük hava debisi girilir.

Arka Arkaya Uzun Arasız Ders Sayısı	4
-------------------------------------	---

Bu alanda arka arkaya uzun ara verilmeden yapılan ders sayısı girilir. Varsayılan arka arkaya uzun arasız yapılan ders sayısı 4'tür. Eğer sabah veya öğleden sonra, ya da çift tedrisatlı okullarda, öğrencilerin sınıfı terk etmesiyle uzun bir ara verilmeden arka arkaya yapılan ders sayısı 4'den fazla veya az ise kutuya söz konusu ders sayısı girilir.

Programın verilerinde varsayılan ders süresi 40 dakika ve aralar 10 dakika olarak kabul edilmiştir.

Varsayılan Dış Hava CO2 konsantrasyonu (ppm)	400
--	-----

Dış hava karbondioksit değeri bu alana girilir. Varsayılan değeri 400'dür ve ekranda bu değer gözüktür. Yapılan ölçümlerle dış çevre havasındaki CO₂ konsantrasyonu 400 ppm değerinden daha büyük ise bu alana ölçülen değer girilir.

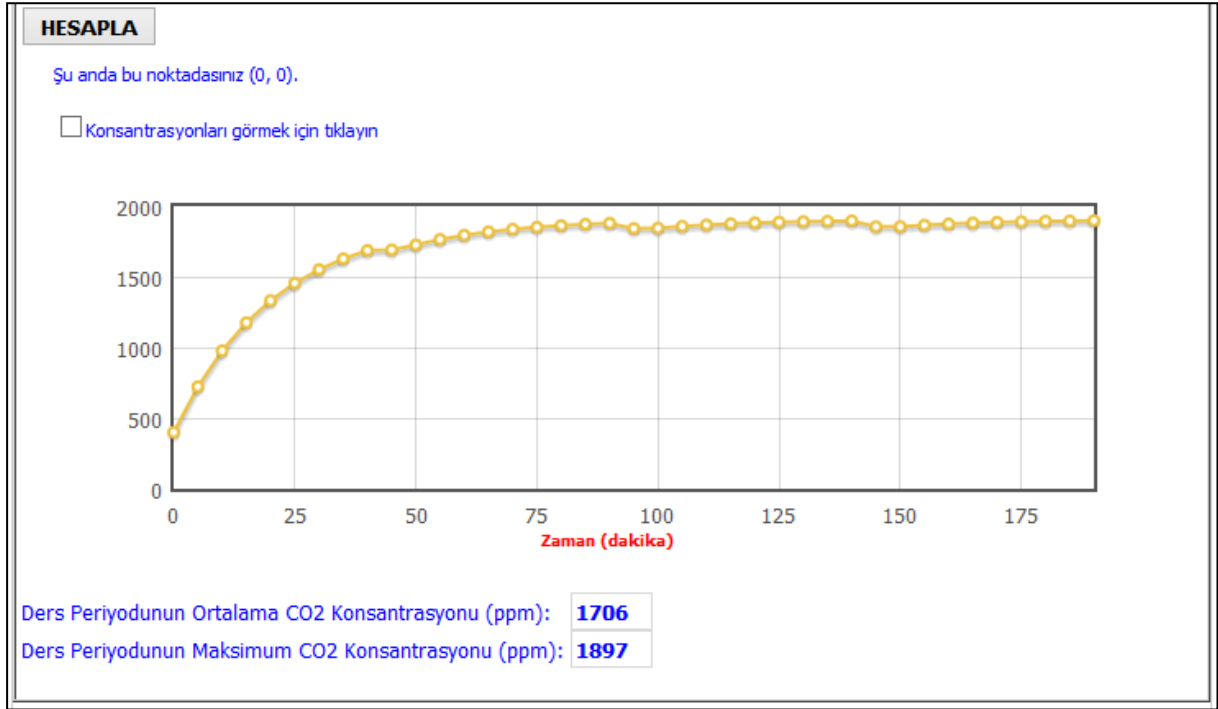
Bu değer girildikten sonra tekrar **Ders Periyodunun Ortalama CO2 Konsantrasyonu**nun 1500 ppm'den fazla ve/veya **Ders Periyodunun Maksimum CO2 Konsantrasyonu**nun 5000 ppm'den fazla olup olmadığı kontrol edilir. İkiside sınır değerlerinden daha küçük oluncaya kadar **Kişi Başına Havalandırma Debisi** artırılır.

Örneğimizde kişi başına havalandırma debisi 3 l/sn, arka arkaya uzun arasız ders sayısı 4, varsayılan dış hava CO2 konsantrasyonu 400 ppm olarak girilmiştir.

Bu veriler girildikten sonra **HESAPLA** butonuna basılarak programın çıktıları elde edilir.

Yazılım Çıktıları

Yazılımın girilen verilerden sonra **HESAPLA** butonuna basılınca (EKİRAN 5) verilerin olduğu ekranın altındaki grafik ve diğer çıktılar, yazılımın çıktılarıdır. Çıktılar uygun değilse hava debisini değiştirerek uygun konsantrasyonları elde etmek için girdilerde değişiklikler yapılarak **HESAPLA** butonuna basılarak yeni sonuçlar incelenebilir.

EKRAN 5.

Çıktılardan grafik üzerine farenin imleci götürülerek o noktadaki anlık CO₂ seviyesi **Şu anda bu noktadasınız** çıktısından görülebilir. Buradaki verilerden birincisi dersin kaçınıcı dakikasında olduğunu, ikincisi ise o anda sınıftaki CO₂ seviyesini göstermektedir.

Çıktıların en altında ise;

Ders Periyodunun Ortalama CO2 Konsantrasyonu (ppm)	1706
--	------

Ders Periyodunun Maksimum CO2 Konsantrasyonu (ppm)	1897
--	------

Girilen verilere göre oluşan ortalama ve maksimum CO₂ seviyesini göstermektedir.

Uygun hava debisi belirlendikten sonra Rapor anahtarına basıldığında EK 1'de verilen rapor formunda tüm girdiler ve çıktılar yer almaktadır. Yazdır anahtarıyla da basılı formda rapor alınabilmektedir.

SONUÇ

Bu çalışma ile mekanik havalandırma sistemlerinin tasarımında gerekli havalandırma debisinin hesaplanabilmesi için literatürde var olan sabit karbon dioksit kaynaklı bir iç ortam için geliştirilen matematik model ve Bina Bülteni 101'de yer alan karbon dioksit sınırlarını kullanarak geliştirilen bir yazılımın (OKUL-HVL) esasları verilmiş ve yazılım tanıtılmıştır.

Yazılımda kullanılan öğrenci kilo ve boyları gibi varsayılan değerler literatürden alınmış istatistik değerlerdir. Bu istatistikler geliştirildikçe yazılımdaki değerlerde değiştirilmelidir.

Yazılım okul havalandırması ile ilgili İngiliz standardının önerdiği minimum havalandırma debisinden başlayarak yine aynı standardın tavsiye ettiği ortalama ve maksimum karbon dioksit konsantrasyonlarının altında kalınmasını sağlayacak havalandırma debilerinin belirlenmesine imkân vermektedir.



Yazılım farklı boyutlardaki sınıflarda ve farklı yaşlardaki öğrenciler için uygun havalandırma debisinin hesaplanmasına imkân verdiği, bu sayede genellikle standartların minimum değerini sağlamak yaklaşımıyla gerçekleştirilen tasarımların olası olumsuzluklarının oluşmasını önlediği için benzerlerinden ayrılmaktadır.


KAYNAKLAR

- [1] SHAUGHNESSY, R.J., HAVERINEN-SHAUGHNESSY, U., NEVALAINEN, A., MOSCHANDREAS, D., "A preliminary study on the association between ventilation rates in classrooms and student performance". *Indoor Air*, 16, 465-468, 2006.
- [2] USEPA. "How Does Indoor Air Quality Impact Student Health and Academic Performance", 2010.
- [3] TOKSOY, M., vd. "Okullarda İç Hava Kalitesi Eğitimi: Pilot Çalışma İzmir", 12. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, Okullarda İç Çevre Kalitesi Semineri, İzmir, 2015.
- [4] EKREN, O. vd. "Okullarda İç Hava kalitesinin İyileştirilmesi Örnek Uygulama", 12. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, Okullarda İç Çevre Kalitesi Semineri, İzmir, 2015.
- [5] DA SILVA, M.G., "Virtual Laboratories for a Course on Indoor Environmental Quality". *International Journal of Online Engineering*, 5, 20-26, 2009.
- [6] KALEMA, T., VIOT, M., "Methods to reduce the CO₂ concentration of educational buildings utilizing internal ventilation by transferred air". *Indoor Air*, 24, 71-80, 2014.
- [7] IANNIELLA, E., "Ventilation systems and IAQ in school buildings". *REHVA Journal*, March, 26-29, 2011.
- [8] ÖZTÜRK, B. AYKAÇ, H., KAYA, S. "Bina İçi Havalandırma Sistemlerinin Tasarım İlkeleri", XI. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, İç Hava Kalitesi Sempozyumu, İzmir, 2013.
- [9] BRITISH DEPARTMENT OF EDUCATION, "Ventilation of School Buildings: Regulations Standards Design Guidance, Building Bulletin 101". Vol. Version 1.4 2006.
- [10] HANSEN, D., "Indoor Air Quality Issues". New York, NY: Taylor & Francis. 2000.
- [11] RECKNAGEL, H., SPRENGER, E., SCHRAMEK, E.R., "Isıtma ve Klima Tekniği El Kitabı". 68 ed. München: Oldenbourg. 1996.
- [12] FISK, W., J., vd., "Higher Levels of CO₂ May Diminish Decision Making Performance". *REHVA Journal*, October, 63, 2013.
- [13] SATISH, U., vd., "Is CO₂ an indoor pollutant? Direct effects of low-to-moderate CO₂ concentrations on human decision-making performance". *Environmental Health Perspectives*, 120, 1671-7, 2012.
- [14] MENDELL, M.J., HEATH, G.A., "Do indoor pollutants and thermal conditions in schools influence student performance? A critical review of the literature". *Indoor Air*, 15, 27-52, 2005.
- [15] 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.
- [16] TWARDELLA, D., vd., "Effect of classroom air quality on students' concentration: results of a cluster-randomized cross-over experimental study". *Indoor Air*, 22, 378-87, 2012.
- [17] MYHRVOLD, A.N., OLSEN, E., LAURIDSEN, O. "Indoor environment in schools—pupils health and performance in regard to CO₂ concentrations", *Indoor Air*, Nagoya, Japan, 1996.
- [18] SHENDELL, D.G., vd., "Associations between classroom CO₂ concentrations and student attendance in Washington and Idaho". *Indoor Air*, 14, 333-41, 2004.
- [19] NEYZI, O., vd., "Türk çocuklarında vücut ağırlığı, boy uzunluğu, baş çevresi ve vücut kitle indeksi referans değerleri". *Çocuk Sağlığı ve Hastalıkları Dergisi*, 51, 1-14, 2008.
- [20] NASA. "NASA Computer Model Provides a New Portrait of Carbondioxide", *NASA News*, 2014.



Ek 1. Rapor Sayfası

MAKİNA MÜHENDİSLERİ ODASI İZMİR ŞUBESİ İÇ ÇEVRE KALİTESİ KOMİSYONU SINIFLARDA/KAPALI ORTAMLARDA HAVALANDIRMA DEBİSİ HESABI		
HESAPLAYICI GİRİŞ DEĞERLERİ		
Sınıf Düzeyi		
Sınıftaki Öğretmen Sayısı		
Sınıftaki Öğrenci Sayısı		
Teneffüste Sınıfta Kalan Öğrenci Sayısı		
Ders Süresi	dakika	40
Teneffüs Süresi	dakika	10
Ortalama Öğrenci Ağırlığı	metre	
Ortalama Öğrenci Boyu	metre	
Sınıfın Eni	metre	
Sınıfın Boyu	metre	
Sınıfın Yüksekliği	metre	
Kişi Başına Havalandırma Debisi	l/sn	
Arka Arkaya Uzun Arasız Ders Sayısı		
Dış Ortam Karbondioksit Seviyesi	ppm	
SABİT DEĞERLER		
Solunum Katsayısı		
Metabolizma Hızı	MET	
HESAPLAYICI ÇIKTI DEĞERLERİ		
Sınıf Hacmi	m ³	
Periyot Sonunda Ortalama CO ₂ Seviyesi	ppm	
Periyot Sonunda Maksimum CO ₂ Seviyesi	ppm	
Toplam Havalandırma Debisi	m ³ /h	
<p>Zaman (dakika)</p>		
YAZDIR		



Hesabı yapan Makina Mühendisinin

Tarih	İmza
Adı ve Soyadı	Oda sicil no



ÖZGEÇMİŞLER

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. Üniversiyede İzmir Yaz ve Erzurum Kış Oyunlarında, Mersin Akdeniz Oyunlarında üst düzey yöneticilik yapmıştır.

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. 2002 yılından itibaren İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Kimya Mühendisliği bölümünde öğretim üyesi olarak çalışan SC Sofuoğlu, halen İYTE'de Prof. Dr. unvanı ile görevine devam etmektedir. Bina-içi hava kirliliği, hava kirliliği, maruziyet ve risk değerlendirmesi konularında araştırmalar yapmakta ve bu konularda dersler vermektedir.

Orhan EKREN

1976 yılı İzmir doğumlu olan Orhan EKREN, lisans eğitimini Dokuz Eylül Üniversitesi(DEÜ) Makina Mühendisliği bölümünde 1999 yılında, yüksek lisans eğitimini İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü (İYTE) Enerji Mühendisliği'nde 2003 yılında, doktorasını ise DEÜ Makina Mühendisliği bölümü Termodinamik anabilim dalında 2009 yılında tamamlamıştır. 2000-2003 yılları arasında İYTE makina mühendisliği bölümünde araştırma görevlisi olarak çalışmıştır. 2005 yılından buyana Ege Üniversitesi'nde çalışan Dr. Ekren, 2008 ve 2011 yıllarında akademik çalışmalar için, Amerika Birleşik Devletleri'nde iki farklı üniversitede Makina Mühendisliği bölümünde bulunmuştur. 2014 yılından bu yana Ege Güneş Enerjisi Enstitüsü'nde Doç.Dr. unvanı ile çalışmalarını sürdürmektedir. Çalışma konuları arasında, Yenilenebilir Enerji Kaynakları, Hibrid Enerji Sistemlerinin Optimum Boyutlandırılması, Soğutma Sistemlerinde Enerji Verimliliği, Isı Pompası Sistemleri, Alternatif Soğutma Yöntemleri, yer almaktadır.

Ekincan UFUKTEPE

Lisans eğitimini İzmir Ekonomi Üniversitesinde Bilgisayar Mühendisliği bölümünde 2011 yılında tamamlamıştır. 2013 yılında SAP Labs Fransa'da araştırma için altı ay "Security&Trust" bölümünde web uygulamaları güvenliği üzerinde çalışmıştır. 2014 yılında yüksek lisans eğitimini İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Bilgisayar Mühendisliği Bölümü'nde tamamlamıştır. 2014 yılında İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü'nde doktorasına başlamış ve halen devam etmektedir. 2012- yılından bu yana İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü'nde Bilgisayar Mühendisliği Bölümü'nde araştırma görevlisi olarak görev yapmaktadır. Çalışma alanları arasında, Yazılım ve Web Güvenliği, Yazılım Sistemlerinde Güvenlik ve Güvenirlik, Yazılım Sistemleri Analizi yer almaktadır.

Necmi VARLIK

1968 yılı Soma doğumludur. 1991 yılında Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. 1993 yılında Makina Mühendisleri Odası İzmir Şubesinde Teknik Görevli olarak işe başlamıştır. 1993 yılında ilki düzenlenen Ulusal Tesisat Mühendisliği kongrelerinin ilk üçünde kongre sekreteriyasında görev almıştır. 4. Kongreden itibaren 6 kongrenin Kongre Sekreterliğini yapmıştır. Son üç kongrenin yürütme kurulunda görev almıştır. Halen Makina Mühendisleri Odası Tepekule Kongre Merkezi Müdürlüğü görevini yürütmektedir.

