



# İlkokul Dersliklerinde İç Hava Kalitesinin İyileştirilmesi Üzerine Bir Araştırma

Ülger Bulut Karaca<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup> İstanbul Arel Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, İstanbul, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-8676-9106), ulgerbulut@hotmail.com

(İlk Geliş Tarihi 3 Kasım 2021 ve Kabul Tarihi 3 Ocak 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1018560)

**ATIF/REFERENCE** Bulut Karaca, Ü., (2022). İlkokul Dersliklerinde İç Hava Kalitesinin İyileştirilmesi Üzerine Bir Araştırma. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (33), 60-67.

## Öz

Türkiye'deki okul dersliklerinde havalandırma yaygın olarak ders aralarında pencerelerin açılması suretiyle yapılmaktadır. Soğuk kış aylarında ısı konfor kaygısıyla pencerelerin yeterli süre açılmaması, pencerelerin rüzgar yönünde olmaması, ders arasında öğrencilerin dersliği tahliye etmemesi gibi farklı etkenler sonucunda derslikler yeterli havalandırılmayıp, kabul edilebilir hava kalitesini sağlayamamaktadır. Bu çalışmada, okul dersliklerinde kabul edilebilir hava kalitesi sağlanması amacıyla pencere açılmasından bağımsız, pasif bina tasarım ilkelerine uygun olarak hava bacası yardımı ile havalandırma ele alınmıştır. İstanbul iklim koşullarında düşünülen bir örnek derslikte kabul edilebilir hava kalitesinin havalandırma bacaları ile sağlanabilmesi olanakları araştırılmıştır. Ders aralarındaki kısıtlı sürede yapılan tek yönlü havalandırma ile kabul edilebilir hava kalitesinin sağlanamadığı durumlar için pencere altlarına yerleştirilecek menfezler ve derslik içine yerleştirilecek hava bacası ile derslik kullanımı boyunca sürekli ve düşük yoğunluklu havalandırma yapılarak kabul edilebilir hava kalitesinin sağlanabileceği sonucu elde edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** İç hava kalitesi, Okul, Derslik, Karbondioksit, Doğal havalandırma, Havalandırma bacası.

## A Study on the Improvement of Indoor Air Quality in Primary School Classrooms

### Abstract

Ventilation in school classrooms in Turkey is commonly done by opening windows during breaks. Classrooms cannot be adequately ventilated and cannot provide acceptable air quality as a result of factors such as not opening the windows for sufficient time in the cold winter months due to thermal comfort concerns, the windows not being in the direction of the wind, and the students not leaving the classroom between classes. In this study, ventilation with the help of an air shaft is discussed in accordance with passive building design principles, independent of opening windows, in order to provide acceptable air quality in school classrooms. The possibilities of providing acceptable air quality with ventilation shafts in a sample classroom considered in Istanbul climatic conditions were investigated. It has been concluded that acceptable air quality can be achieved by providing continuous and low-intensity ventilation throughout the classroom use, with the vents to be placed under the windows and the air chimney to be placed in the classroom, in cases where acceptable air quality cannot be achieved with the limited time between classes with one-way ventilation.

**Keywords:** Indoor air quality, School, Classroom, Carbondioxide, Natural ventilation, Stack ventilation.

\* Sorumlu Yazar: [ulgerbulut@hotmail.com](mailto:ulgerbulut@hotmail.com)

## 1. Giriş

Gelişim çağındaki çocukların eğitime olduğu kadar, sağlıklı ve kaliteli mekânlara da gereksinimleri bulunmaktadır. Türkiye’de eğitim – öğretim bir yılda ortalama 180 gün sürmekte; ilkökul öğrencileri ortalama günlük 6 saat, haftalık ise 30 saat gibi bir süreyi okullarda geçirmektedir. Çocukların zamanlarının önemli bir bölümünü geçirdikleri okul binalarının sağlık ve konfor koşullarını sağlamasının yanı sıra, eğitim ve öğretim faaliyetlerinin verimli olabilmesi için de gerekli fiziksel koşulları sağlaması gereklidir. Uygun fiziksel ortam koşulları, eğitim mekânlarında hava içeriğinin sağlıklı ve kaliteli olması; ısı ve nem dengesinin sağlanması, derslik birimlerinde doğal aydınlatmaya uygun tasarımların yapılması; uygun görsel ve akustik konforun sağlanması olarak özetlenebilir.

Dersliklerde öğrenci sayılarının fazla olması, etkili havalandırma yapılamaması gibi nedenlerle okullarda iç hava kalitesinin yetersizliği üzerine araştırmalar mevcuttur. Çocuklar, yetişkinlere göre birim vücut ağırlıkları başına daha fazla hava solumakta ve gelişimleri devam etmekte olduğu için kirleticilerin etkilerine karşı daha hassas ve açıktırlar (TMMOB, 2015). Wang ve diğ. (2013) ve Clements ve diğ (2008) tarafından belirtildiği gibi, bir okul binasında iyi bir iç hava kalitesi, çocukların konsantrasyonunu ve öğretmenlerin üretkenliğini artırabilirken, kötü hava kalitesi tam tersi bir etkiye sahiptir. Okullarda solunan havanın yeterli nitelikte olmaması baş ağrısı, uyku ve dikkat dağınıklığı gibi sorunlara yol açabilmekte ve bulaşıcı hastalıkların yaygınlaşmasına neden olabilmektedir.

ANSI (Amerikan Ulusal Standart Enstitüsü) tarafından onaylı ASHRAE (Amerikan Isıtma, Soğutma ve İklimlendirme Mühendisleri Derneği) 62.1-2010 standardında kabul edilebilir iç hava kalitesi tanımı yapılmıştır. Kabul edilebilir iç hava kalitesi, içinde otoriteler tarafından belirlenen zararlı derişikliklerde kirleticinin bulunmadığı ve maruz kalan insanların ekseriyetinin (%80 veya üstü) memnuniyetsizlik belirtmediği hava (TTMD, 2018) olarak tanımlanmıştır.

Son yıllarda, eğitim yapılarında iç hava kalitesi konusunda çeşitli ülkelerde araştırmalar yapılmıştır. Bu araştırmalarda yöntem olarak iç ortam hava kirleticilerinin ölçülmesi benimsenmiş; bazı çalışmalarda yapılan ölçümler mekan kullanıcıları ile yapılan anketler ile desteklenmiştir. Bu çalışmalarda belirli bir kirletici ve bu kirleticiden etkilenen belirli bir kullanıcı kitlesi ele alınmıştır. Araştırmaların sonucunda, karbonmonoksit (CO), karbondioksit ( $CO_2$ ), formaldehit (HCHO), uçucu organik bileşikler (UOB), azotdioksit ( $NO_2$ ), күkürtdioksit ( $SO_2$ ) başlıca kirleticiler olarak ön plana çıkmıştır.

ASHRAE 62.1-2004 de bir ortamın yeterince havalandırılıp havalandırılmadığını o ortamda bulunanların iç atmosferde oluşturduğu  $CO_2$  konsantrasyonunun ölçülerek anlaşılacağı belirtilmektedir. Bina içi hava kalitesi ve havalandırma değerlendirmek için Amerikan test ve malzemeler birliği standart rehberinde (ASTM D6245) kişilerin oluşturduğu  $CO_2$  indikatör kirletici olarak kullanılabilir denilmektedir (Öztürk ve diğ., 2013).

İç ortamdaki  $CO_2$  değerinin en alt limiti, temiz havanın alındığı dış ortamdaki  $CO_2$  değeri olduğu söylenebilir. Pek çok kaynakta temiz hava bileşiminde % 0.031 oranında  $CO_2$  bulunduğu kabul edilmektedir. Hava bileşiminde küçük oranlarda bulunan  $CO_2$  gibi gazların atmosferdeki konsantrasyonları genellikle “milyonda bir birim” (ppm) olarak ölçülmektedir. NASA’nın Hawaii’deki Mauna Loa Gözlemevi’nde ölçülen e-ISSN: 2148-2683

atmosferdeki  $CO_2$  değeri 2021 yılında 416 ppm’i aşmıştır (Url-1). Diğer bir deyişle, 2021 yılında temiz hava bileşimindeki  $CO_2$  oranı % 0,416’yı aşmıştır. Bugün İstanbul’da dış havadaki karbondioksit oranı 400 ile 600 ppm arasında değişmektedir (Bulgurcu, bt.).

$CO_2$  rengi ve kokusu olmayan, zehirsiz bir gazdır. Ancak yüksek miktarda bulunduğu ortamlarda havanın oksijen seviyesini düşürerek boğucu etki yapabilmektedir. İnsanlar solunum yaparak  $CO_2$  üretir. Bu üretim, solunum hızı ve metabolik aktiviteye göre artar ya da azalır. Normal bir iş ile uğraşan bir insan saate 20 litre (0.02 m<sup>3</sup>)  $CO_2$  üretir (Schramek,1999) (Bulut, 2012). İç ortamda havalandırma yoksa ya da yetersiz ise, kişi sayısı arttıkça  $CO_2$  konsantrasyonu da artar.

Gil-Baez ve diğ. (2017) yaptıkları çalışmada dersliklerin doluluk dönemlerinde  $CO_2$  konsantrasyonun çok yüksek seviyelere (yaklaşık 4000 ppm) yükselebildiğini belirlemiştirler. Sınanmış (2021), İstanbul’da bir ortaokulda yaptığı ölçümler neticesinde ortalama 30 öğrencinin öğrenim gördüğü dersliklerde 40 dakikalık ders sonunda  $CO_2$  miktarının 2600 ppm’ye kadar çıktığını, ders aralarındaki pencerelerin açılması suretiyle yapılan tek taraflı havalandırma neticesinde her zaman kabul edilebilir iç hava kalitesine ulaşamadığını belirlemiştir. Myhrvold ve diğ.(1996), dersliklerde  $CO_2$  değerinin 1500 ppm üzerine çıktığında çocukların sağlık ve performanslarının olumsuz etkilendiğini belirlemiştir. İngiltere’nin derslikler için hazırlanmış olan standardı Building Bulletin 101’e göre, dersliklerde günlük ortalama  $CO_2$  değerinin 1500 ppm’i aşmamalıdır (Ianniella, 2011). Bako-Biro ve diğ. (2012), dersliklerdeki  $CO_2$  miktarı için 1000 ppm değerinin üst limit olması gerektiğini söylemektedir. Çakmanus (b.t.) ASHRAE 55’e göre iç mekandaki hava kirliliğinin dış havadan 400 ppm kadar fazla olabileceğini; sağlığa uygun kabul edilebilir dış hava kirlilik değerinin 600 ppm’e kadar olması gözönüne alındığında ise, iç mekandaki  $CO_2$  değerinin en fazla 900-1000 ppm olması gerektiğini söylemektedir.

Dersliklerde kabul edilebilir iç hava kalitesi sağlanması için etkili bir havalandırma gereklidir. İç ortamdaki kirli havanın değiştirilmesi olan havalandırma, mekanik ya da doğal olarak yapılabilir. Mekanik havalandırmada, hava değişimi ve hareketi için fanlardan yararlanır. Mekanik havalandırma için tesisat kurulumunun maliyeti yanı sıra mekanik tesisatın periyodik bakım gerektirmesi ve işletimi sırasında oluşan gürültü bu sistemin olumsuzlukları olarak sıralanabilir. Ayrıca, mekanik havalandırma enerji tüketimi nedeniyle sera gazı emisyonlarının artışına da neden olur. Zhang (2020)’a göre, ABD gibi dünyanın birçok yerinde, mekanik olarak havalandırılan sınıflar ve ofisler için genellikle yaklaşık %20 oranında dışardan temiz hava alınır. Mekana verilecek havanın geri kalan kısmı ise, mekandan toplanan çevrim havasıdır. Bu uygulama, kabul edilebilir hava kalitesi seviyelerini korurken ısıtma ve soğutma enerjisinden tasarruf etmek için yapılır. Ancak, bu uygulama SARS CoV-2 gibi viral enfeksiyon riskini artırmaktadır. Doğal havalandırma ise, kapı ve pencere gibi mekânın açitlarından rüzgar ve ısı kuvvetleri ile gerçekleşir ve pasif bina tasarım ilkelerinden biri olarak binaların enerji tüketimini azaltabilir. “Doğal yöntemlerle havalandırılan bir bina, mekanik yöntemlerle havalandırılan aynı özellikteki binalara kıyasla %90’lara varan oranlarda enerji tasarrufu sağlayabilmektedir” (Yüksek ve Esin, 2011).

Türkiye’deki dersliklerde yaygın olarak ders aralarında mekânın pencere açitları aracılığıyla doğal havalandırma yapılmaktadır. Ders aralarında soğuk havalarda derslikteki ısı konfor kaygısıyla pencerelerin açılmaması, güvenlik nedeniyle

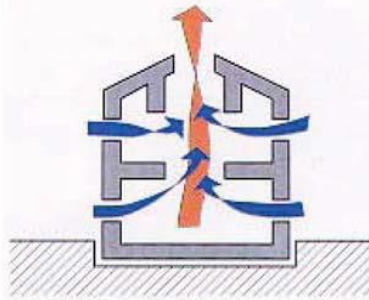
derslik pencerelerinin açılımının kısıtlanması, ders arası sürelerinin kısa olması gibi nedenlerden ötürü etkili havalandırma sağlanamaması sorununa sıklıkla rastlanmaktadır.

Bu çalışmada, okullarda iç hava kalitesi konusunda yapılan araştırmalarda, ders boyunca öğrencilerden kaynaklı  $CO_2$  üretiminin kabul edilebilir hava kalitesi değerlerini aştığı ve ders aralarında etkili havalandırma yapılamaması bulgularından yola çıkılmıştır. Bu çalışmanın amacı ise, kış aylarında pencere açılmadan doğal havalandırma yapılarak dersliklerdeki hava kalitesinin iyileştirilmesine yönelik öneriler geliştirilmesidir.

## 2. Doğal Havalandırma

Doğal havalandırma iç ve dış ortamlar arasındaki sıcaklık farkı ve dış ortamdaki rüzgar basıncı sonucunda oluşur. İç ortamın dış ortamdaki sıcak olması durumunda iç ortamdaki havanın özkütlesinin daha hafif olmasından dolayı dış ortamdaki iç ortama doğru bir pozitif hava basıncı oluşur. Bunun neticesinde sıcaklığı daha düşük olan dış ortamdaki hava, alçak kotlu açılardan iç ortama girer; iç ortamdaki hava ise yüksek kotlu açılıttan çıkar. Yüksek ve Esin (2011), doğal havalandırmada taban seviyesine yakın havalandırma amaçlı yatay açılıtların, dikey açılardan daha etkili olduğunu söylemektedir. Dış ortamda rüzgar bir binanın cephesine çarptığında, çarpma yüzeyindeki sıkışmadan ötürü pozitif basınç, binanın arka ve yan cephelerinde ise negatif basınç oluşur. Doğal havalandırmada hava, pozitif basınç olan cephedeki pencere gibi açılardan bina içine girip, negatif basınç olan yüzeylerdeki açılardan çıkar.

Binada kapı, pencere, menfez, baca gibi doğal havalandırma için gerekli açılıtların düzenlenmesinde bu ilkelerin yanı sıra, açılıtların rüzgara göre konumları, boyutları, sayıları etkilidir. Ayrıca, binanın işlevi ve kullanıcı yoğunluğu, binanın bulunduğu bölgedeki ortalama rüzgar hızı gibi etkenler de doğal havalandırma yoluyla yeterli hava kalitesinin sağlanabilmesi için göz önünde bulundurulmalıdır.



Şekil 1. Baca Havalandırmasında Hava Sirkülasyonu (Figure 1. Air Circulation in Stack Ventilation) (Yüksek ve Esin, 2011)

## 3. Materyal ve Metot

İlkokul dersliklerde kabul edilebilir hava kalitesinin sağlanması amacıyla mevcut durumun değerlendirilmesi ve alternatif öneri Milli Eğitim Bakanlığı Yatırımlar ve Tesisler Dairesi Başkanlığı'nın hazırladığı "Eğitim Yapıları Mimari Proje Hazırlanması Genel İlkeleri"ne (Url-2) göre örnek bir derslik kurgulanmıştır (Şekil 2). Bu kaynağa göre 30 öğrenci kapasiteli dersliğin boyutları  $7 \times 7,8 \times 3,3$  m olarak belirlenmiş ve 3 adet  $0,7 \times 1,1$  m boyutlarında dikey ekseninde açılır pencere kanadı düşünülmüştür.

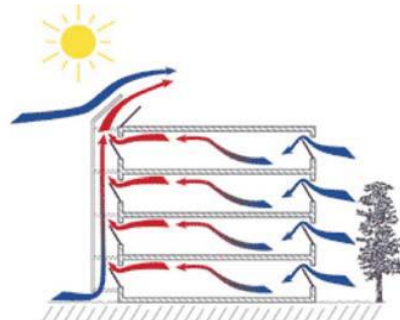
Türkiye'deki doğal havalandırılan okul dersliklerinde yaygın olarak pencerelerin açılması aracılığıyla tek taraflı havalandırma uygulanmaktadır. Tek taraflı havalandırmada açıtın rüzgarın pozitif basınç yönünde olması ve mekanın derinliğinin yüksekliğin 2-2,5 katını geçmemesi önem taşır. Tek cephedeki açıt ile havalandırmada, rüzgarın geliş yönüne ters, yani negatif basınç olan cephelerdeki açılıtlar ile yeterli havalandırma sağlanamayabilir.

Baca havalandırması, yönlendirmeden bağımsız ve bina etrafında hava hareketi gereksinimi olmaması bakımından okul dersliklerinde daha avantajlı bir uygulama olabilir.

Gil-Baez ve diğ. (2017) ılıman iklim bölgelerindeki okullarda, havalandırma için gerekli enerji tüketimini en aza indirmek amacıyla Güney İspanya'da yer alan biri mekanik havalandırma, diğeri çapraz havalandırma ve baca etkisine dayalı doğal havalandırma sistemlerinin kullanıldığı iki okul binasında,  $CO_2$ , sıcaklık ve nem seviyelerini ölçerek karşılaştırma yapmışlardır. Çalışmanın sonucunda, doğal havalandırma sistemi kullanıldığında, kış işletiminden kaynaklanan ısı kayıpları hesaba katıldığında bile, akademik yıl boyunca enerji tüketiminin mekanik havalandırma sistemi kullanıldığında tüketilenden çok daha düşük olduğunu belirlemişlerdir.

### 2.1. Baca Havalandırması

Baca elemanları ile doğal havalandırma, iç ortamdaki havanın sıcaklık ve nem farklılıklarından dolayı yoğunluğunun değişmesi sonucu konveksiyon yolu ile dikey bir kanaldan dışarı çıkarılması ilkesine dayanır (Şekil 1). Baca havalandırması rüzgar yönü ve şiddetine bağlı değildir ve baca havalandırmasında hava çok hızlı hareket edemez. Derslik gibi mekanların kısıtlı süre olan ders arasında, rüzgar yönü ve şiddetine bağımlı bir havalandırılması yerine baca ile havalandırılması olanakları bu çalışmanın amacını oluşturmaktadır.

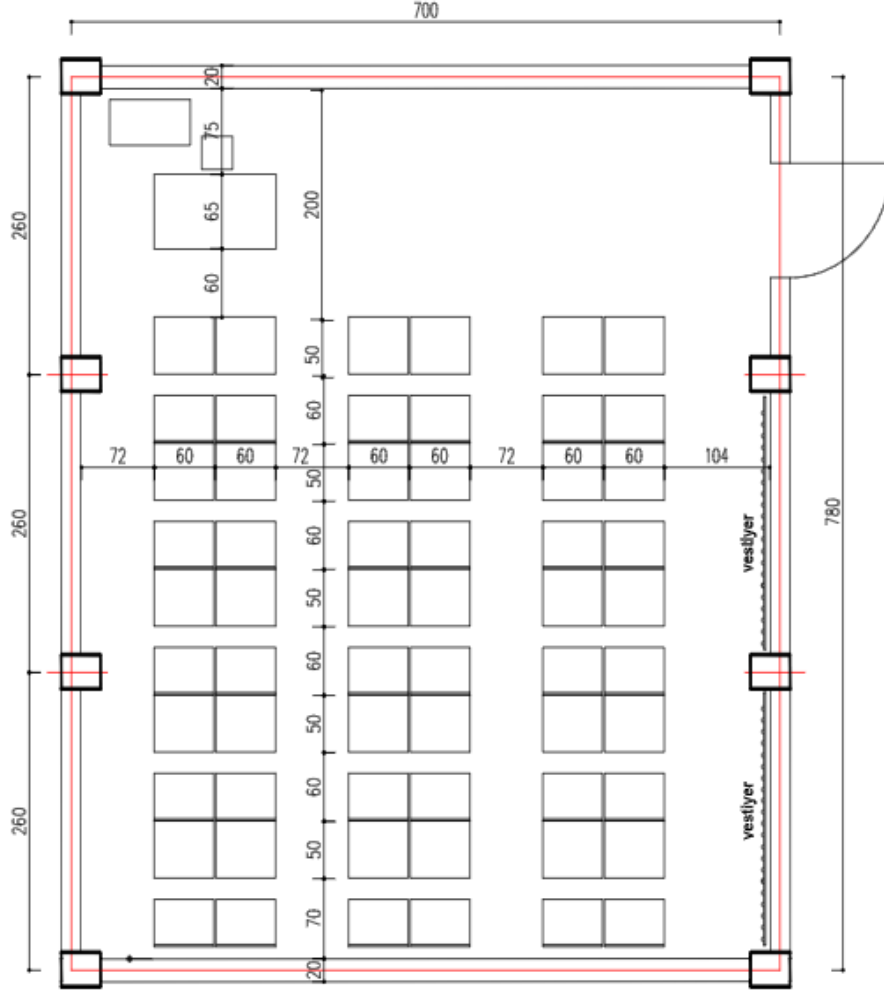


Öncelikle, 40 dakikalık ders boyunca öğrencilerden kaynaklı  $CO_2$  miktarı belirlenmiş; ders süresi sonunda pencere açılması suretiyle yapılan tek taraflı havalandırma ile iç hava kalitesi değerlendirilmiştir. Bu amaçla Ashrae 62.1-2013 standardına göre öğrenci başına hava debisi ve ön görülen  $m^2$  büyüklüğü esas alınmıştır. Kentsel alanlarda ortalama hava hızı  $0,5 - 2,5$  m/s aralığındadır. Bu değer, iklimsel ve çevresel etkenler ile değişebilmektedir. Bu çalışmada hava hızı için referans değeri olarak 1 m/s kabul edilmiştir.

Ardından, modellemesi yapılan aynı dersliğin pencereler açılmadan, pasif olarak sürekli ve düşük yoğunluklu havalandırılması amacıyla baca ve menfez kullanılarak hesaplaması yapılarak öneri geliştirilmiştir. Bu kurguda, havalandırma amacıyla pencerelerin açılmayacağı soğuk iklim koşulları göz önünde bulundurulmuş; hesaplamalar İstanbul'un ocak ayı ortalama sıcaklık ve nem değerlerine göre yapılmıştır. Dış ortamdaki  $CO_2$  düzeyi 500 ppm olarak kabul edilmiştir.

## 4. Bulgular ve Tartışma

Dersliklerin 40 dakikalık ders süresi boyunca havalandırılmadan kullanımı ve akabinde 10 dakikalık ders arası sırasında pencereler açılarak tek yönlü havalandırılması durumu ASRAE Standardına göre matematiksel olarak değerlendirilmiştir.



Şekil 2. Milli Eğitim Bakanlığı Yatırımlar ve Tesisler Dairesi Başkanlığı'nın hazırladığı "Eğitim Yapıları Mimari Proje Hazırlanması Genel İlkeleri"ne göre derslik etüdü (Figure 2. Classroom study according to the "General Principles of Architectural Project Preparation of Educational Buildings" prepared by the Ministry of National Education, Department of Investments and Facilities) (Url-2)

Sınanmış (2021), Babayiğit ve diğ. (2014) bu havalandırma yönteminin havanın soğuk olduğu kış aylarında ısı konfor kaygıları nedeniyle etkili olmadığını belirlemişlerdir. Dolayısıyla, çalışmanın bir sonraki aşamasında pasif bina tasarım ilkeleri ile düşük yoğunluklu ve sürekli havalandırılabilirliği amacıyla dersliğe havalandırma bacası yapılması durumu matematiksel olarak ele alınmıştır.

### 4.1. Ders Aralarında Pencere Açılması Suretiyle Gerçekleşen Havalandırmanın Değerlendirilmesi

40 dakikalık ders sonunda öğrencilerden kaynaklı  $CO_2$  miktarı ve bu  $CO_2$  miktarın temizlenebilmesi için pencerelerin açılması suretiyle yapılacak tek taraflı havalandırmanın süre aşağıda hesaplanmıştır.

Tablo 1: Dersliklerde taze hava debisi /ASRAE 62.1-2013 (Table 1: Fresh air flow in classrooms /ASRAE 62.1-2013), (TTMD, 2018)

	Öğrenci başına hava debisi l/s.öğrenci (m <sup>3</sup> /h.öğrenci)	Alan başına ek hava debisi l/s.m <sup>2</sup> (m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> )	Öğrenci başına öngörülen alan m <sup>2</sup> /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

ASHRAE Standart 62.1-2013 (Tablo-1) referans alındığında dersliklerde kişi başı gerekli dış hava miktarının 5 L/s olduğu ve ek hava debisi derslik alanı için 0,6 L/s görülmektedir.

30 kişilik bir derslik için gerekli  $Q$  hava debisi:

$$Q = (30 \times 5) + (7 \times 7,8 \times 0,6) = 182,76 \text{ L/s} \\ = 657,93 \text{ m}^3/\text{h}$$

Hesaplanan bu değer,  $Q \cong 660 \text{ m}^3/\text{h}$  olarak kabul edilmiştir.

Derslikte üretilen  $CO_2$  miktarı için 1 kişinin 1 saniyede ürettiği  $CO_2$  miktarı 0,005 Litre (L) alınarak, ortalama 30 öğrencinin 40 dakikada ürettiği  $CO_2$  miktarı:

$$0,005 \times 60 \times 40 \times 30 = 360 \text{ L} \rightarrow 0,36 \text{ m}^3 \text{ CO}_2$$

olarak elde edilir.

Dersliklere dış ortamdan temiz hava sağlayacak 3 adet açılır pencere kanadının toplam alanı,

$$A = 0,7 \times 1,1 \times 3 = 2,31 \text{ m}^2$$

dir. Şiddetli rüzgar ve fırtına durumları istisna kabul edilip ortalama hava hızı 1 m/s kabul edilmiştir. Havalandırma debi hesabı için,

$$Q = V \times A \quad (1)$$

formülü kullanılmaktadır: Burada;

$Q$  : gerekli hava debisi [ $m^3/s$ ]

$V$  : hava hızı [ $m/s$ ]

$A$  : havanın akış alanı [ $m^2$ ]

Pencere 1 saat açık kaldığında içeri alınan hava miktarı, rüzgar hızı  $V = 1 \text{ m/s}$  kabul edilerek,

$$Q = 1 \text{ m/s} \times 2,31 \text{ m}^2 = 2,31 \text{ m}^3/\text{s} = 8316 \text{ m}^3/\text{h}$$

olarak elde edilir.

30 kişilik bir derslik için gerekli hava debisi  $660 \text{ m}^3/\text{h}$  olarak hesaplanmıştır. Bu durumda, 1 saatte  $8316 \text{ m}^3/\text{h}$  hava içeri alınıyor ise,  $660 \text{ m}^3/\text{h}$  havanın alınması yaklaşık 5 dk (4,76 dk) sürmektedir.

Ders aralarında pencerelerin açılması suretiyle dersliğin havalandırılmasında, tüm öğrencilerin dersliği terk etmiş olması, pencerelerin tamamen açık olması, dış ortamdaki rüzgarın negatif basınç yönünde olmaması, dış ortamda pencerelerden dersliğe hava giriş hızını kesecek engel unsurların olmaması, derslikte ters hava akımı olmaması gibi koşullar etkilidir. Özellikle havanın soğuk olduğu aylarda ısı konfor kaygısıyla pencerelerin yeterli süre açık tutulmaması nedeniyle dersliklerde kabul edilebilir hava kalitesinin sağlanamadığı düşünülmektedir. Bundan dolayı, ders boyunca sürekli havalandırmanın yapılacağı pasif havalandırma çözümleri ile  $CO_2$  seviyesi kontrol altında tutulma olanakları araştırılmıştır.

## 4.2. Dersliklerde Havalandırma Bacası Kullanımı Önerisi

Havanın soğuk olduğu aylarda, ısıtılan iç ortamdaki havanın özkütlesi görece daha hafif olur. İç ve dış ortamdaki havanın özkütle farkından dolayı dış ortamdan iç ortama doğru pozitif bir basınç oluşur. Dersliklerde pencere altından açılacak menfezler aracılığıyla düşük sıcaklığı nedeniyle özkütlesi daha büyük olan dış ortamdan alınacak temiz havanın yüksek sıcaklığı nedeniyle düşük özkütleyle sahip havanın bulunduğu derslik iç ortamına doğru akışı olacaktır. Yaz aylarında dış ve iç ortamlardaki havanın sıcaklığı ve özkütlesi aynı olduğu için, havalandırma bacası sisteminin kış aylarında çalışacağı düşünülmüştür. Bu nedenle dış ortam koşullarının belirlenmesinde İstanbul için ocak ayı sıcaklık ve yoğunluk değerlerini ortalama değerleri alınmış ve rakım sıfır kabul edilmiştir. Şekil 3'e göre İstanbul'da ocak ayı ortalama sıcaklık  $6 \text{ }^\circ\text{C}$  ve nem %79'dur..

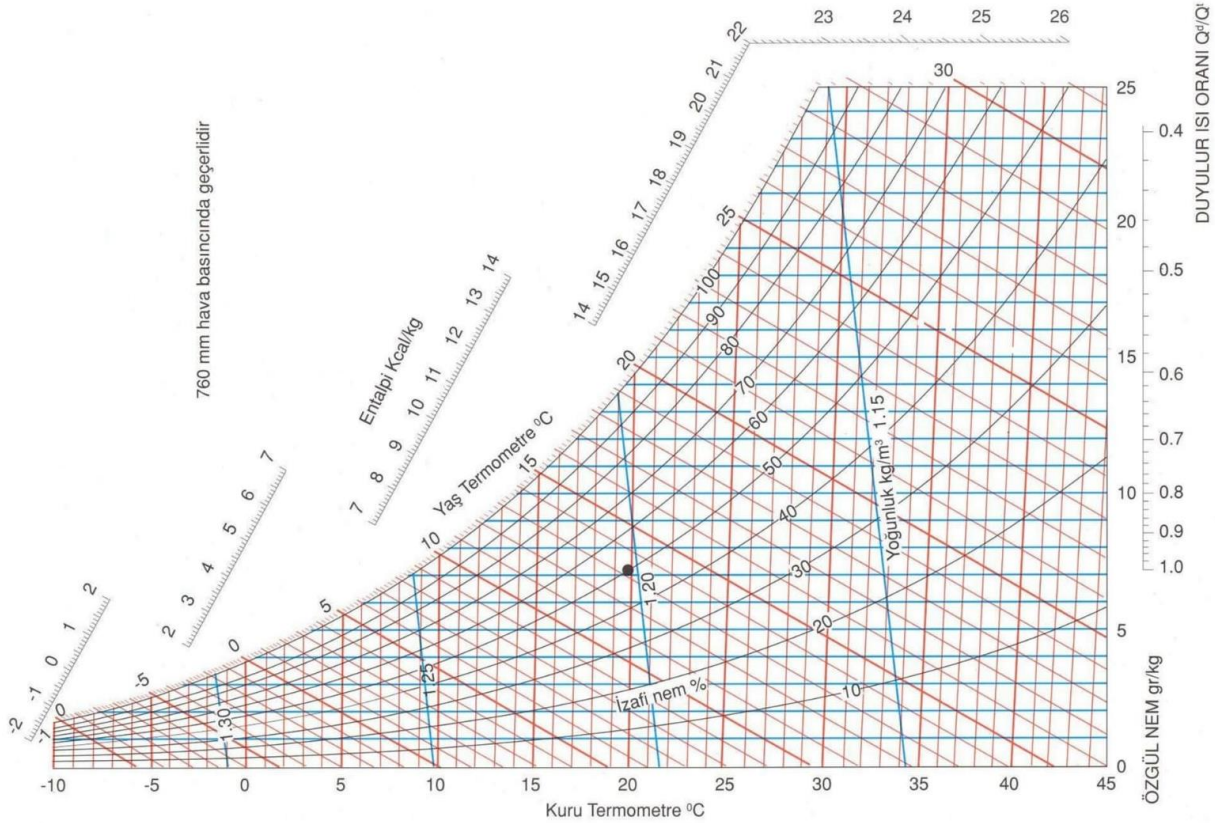
	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Ort. Sıcaklık ( $^\circ\text{C}$ )	6	6.5	8.5	12	16.9	21.7	24.3	24.6	21.1	16.4	12.2	8.1
Min. Sıcaklık ( $^\circ\text{C}$ )	3.8	4.1	5.5	8.5	13.4	18.2	20.9	21.7	18.3	14	9.9	6
Maks. Sıcaklık ( $^\circ\text{C}$ )	8.2	9	11.4	15.4	20.3	25	27.7	28	24.1	18.8	14.6	10.2
Yağış / Yağış (mm)	88	75	75	50	38	35	26	24	52	80	78	107
Nem(%)	79%	77%	75%	75%	73%	70%	69%	69%	70%	75%	77%	78%
Yağmurlu günler (g.)	10	9	8	6	5	4	3	3	5	7	8	10
Güneşli saatler (s)	5.0	5.8	7.4	9.4	10.8	11.8	11.7	10.6	9.1	6.9	6.0	5.0

Şekil 3: İstanbul için yıllık ortalama sıcaklık ve nem değerleri (Figure 3: Annual average temperature and humidity values for Istanbul) (Url- 3)

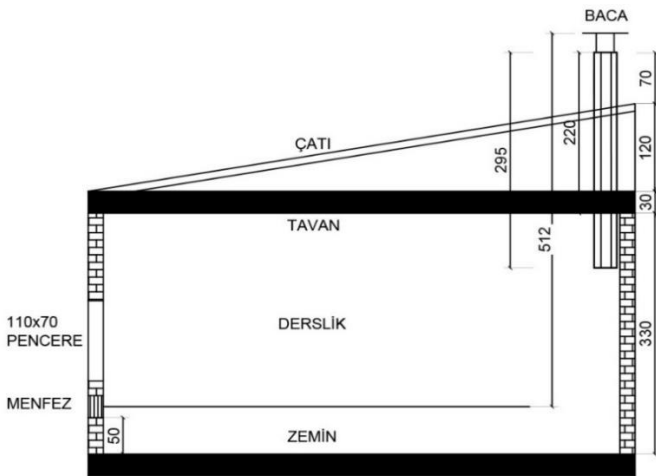
İç ortamın konfor amaçlı ısıtılması ve öğrencilerden yayılan ısı nedeniyle tavanda biriken havanın sıcaklığı  $25^{\circ}\text{C}$  ve ısıtma sonucunda havadaki nem oranının da düşeceği göz önünde bulundurularak bağıl nem %50 olarak kabul edilmiştir.

İç ve dış ortama dair sıcaklık ve nem değerleri göz önünde bulundurularak Psikrometrik diyagramdan (Şekil 4), dış hava özkütlesi  $\rho_{dış} = 1,25 \text{ kg/m}^3$ , derslik iç ortamındaki iç hava özkütlesi  $\rho_{derslik} = 1,15 \text{ kg/m}^3$  olarak bulunmuştur.

Okul binalarının genellikle zemin+3 kat olduğu görülmektedir. Derslik içerisinde doğal havalandırma yapmak için kullanılacak baca yüksekliğinin artması sistemin verimliliğini doğru orantılı olarak etkilemektedir. Bacanın yüksekliği arttıkça ya da çok katlı binada alt katlara inildikçe baca için oluşacak havanın yoğunluk farkı nedeniyle potansiyel basınç artacak, kanal boyutları da küçülecektir. Okul binasının en üst katının (çatı altındaki katının) baca yüksekliğinin diğer katlardaki baca yüksekliğine kıyasla az olmasından ötürü, hesaplamalar en üst katın baca yüksekliği üzerinden yapılmıştır



Şekil 4: Psikrometrik Diyagram (Figure 4: Psychrometric Diagram) (Url-4)



Şekil 5: Baca havalandırması kurgulanan dersliğin kesiti (Figure 5: Section of the classroom with stack ventilation)

Pencere altına açılacak menfez ile baca arasındaki yüksekliğin artırılması iç ortamdaki basıncı artıracak etkidir. Bu nedenle kat yüksekliği temiz 3,30 m olan derslikte döşmeden 0,50 m yukarıda 2 adet 0,2 x 0,3 m boyutlarında menfez kurgulanmıştır. Havalandırma bacası 0,2 x 0,25 m iç ölçülerinde dikdörtgen kesitli olarak tasarlanmıştır. Bacanın derslik içindeki iki yüzeyinde menfez bulunduğu kabul edilmiştir. Okul binasının eğimli çatıya sahip olduğu düşünüldüğünde hesaplama yapılan derslik için menfezin aksı ile baca çıkışı arasındaki yükseklik 5,12 m'dir (Şekil 5). Havalandırmanın etkili olması için pencere altına yerleştirilecek menfez ile bacanın aynı aks aralıklarında olmamasına dikkat edilmiştir.

Pencere altında açılacak menfezlerden havanın içeri girmesi ve bacadan dışarı çıkmasındaki temel prensip havanın yoğunluk farkından kaynaklı bir potansiyel basıncın oluşmasıdır.

Potansiyel basınç P,

$$P = \Delta\rho \times g \times h \quad (2)$$

olarak hesaplanır. Burada,

$P$ : basınç [ $pa$ ],

$\Delta p$  : dış ve iç ortamdaki havaların özkütlelerinin farkı [ $kg/m^3$ ],

$g$  : yerçekimi ivmesi [ $m/s^2$ ] (sabit 9,81),

$h$  : menfezin açıldığı yerden, bacanın bittiği yere kadar olan yükseklik [ $m$ ]

dir. Bu formülde değerler yerine konulduğunda basınç;

$$P = (1,25 - 1,15) \times 9,81 \times 5,12 = 5 \text{ pa}$$

olarak elde edilir.

Bu kabuller ile dersliğe pencere altındaki menfezlerden giren temiz hava ile bacaya yönelen hava arasında 5 Pascal potansiyel basınç oluşacaktır. Bu basınç, dış ortamdan menfezler yoluyla dersliğe girerken ve dersliği terk edip baca içerisinde yol alırken sürtünme nedeniyle kayba uğrar. Sürtünme kaynaklı hava kanalı basınç kaybı,

$$\Delta p = f \left( \frac{L}{D} \right) \left( \frac{\rho V^2}{2} \right) \quad (3)$$

eşitliği ile elde edilir. Burada,

$\Delta P$  : basınç düşümü, [ $pa$ ]

$f$  : sürtünme katsayısı (Moody diyagramından  $f = 0,023$  olarak alınmıştır)

$L$  : baca uzunluğu, ( $L = 2,95 \text{ m}$ )

$D$  : boru iç çapı, ( $0,25 \times 0,20 \text{ m}$  dikdörtgen kesitli bacanın dairesel kesitte eşdeğer çapı  $D = 0,25 \text{ m}$ )

$\rho$  : ortalama sıcaklıkta akışkan yoğunluğu, iç ve dış hava yoğunluklarının ortalaması olarak ( $\rho = (1,15 + 1,25)/2 = 1,20 \text{ kg/m}^3$ )

$V$  : ortalama hız, [ $m/s$ ]

dir. Bu değerler alınarak hava miktarı,

$$(Q = V \times A) \Rightarrow 660 = V \times (0,20 \times 0,25) \Rightarrow V = 3,7 \text{ m/s}$$

olur. Bu durumda basınç düşümü,

$$\Delta P = 0,023 \times (2,95/0,25) \times (1,2 (3,7)^2/2) = 2,23 \text{ pa}$$

olarak elde edilir. Bu sonuçtan da anlaşılacağı üzere baca kesiti hesaplanırken, hava basınç kaybı hesaplarında  $0,25 \times 0,20 \text{ m}$  kanal kullanıldığında ve toplam kanal yüksekliği  $2,95 \text{ m}$  alındığında, baca iç yüzeyindeki sürtünmeden kaynaklı basınç kaybı  $2,23 \text{ pa}$  olmaktadır.

Menfezlerde dış ortamdan içeri kontrollü hava geçişi sağlamak ve kuş vb girişini önlemek için yerleştirilen ızgaralar nedeniyle oluşacak basınç kaybı,

$$P = (Cd \times A \times \rho \times V^2) \div 2 \quad (4)$$

Burada,

$P$ : Basınç kaybı

$Cd$ : Rüzgar tünelleri ile deneysel olarak belirlenen katsayı. ( $Cd = 1.4$  kabul edilmiştir)

$\rho$  : Dışardan gelen havanın yoğunluğu ( $kg/m^3$ ) ( $\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$ )

$V$ : menfezden içeri giren hava hızı ( $V = 1 \text{ m/s}$  kabul edildi)

$A$ : Rüzgarın geliş yönündeki ızgaralara temas/ çarpma alanı [ $m^2$ ] (Menfezin efektif alanı ızgaralardan havanın geçtiği kesit alanının %60'ı olarak alınmaktadır.)

Bu değerler dikkate alınarak, pencere altında yer alacak iki adet  $0,3 \times 0,2 \text{ m}$  boyutlarında menfez için efektif alan;

$$A' = 2 \times (0,3 \times 0,2) \times 0,60 = 0,072 \text{ m}^2$$

ve buna derslik içindeki bacanın hava girişine takılacak olan iki adet  $0,3 \times 0,2 \text{ m}$  boyutlarında menfez de eklenince, toplam menfez alanı

$$A = 0,072 \times 2 = 0,144 \text{ m}^2$$

olarak bulunur. Bu durumda ortaya çıkacak olan basınç kaybı,

$$P = (1,4 \times 0,144 \times 1,25 \times 12) / 2 = 0,126 \text{ pa}$$

olur.

Bacadaki sürtünmeden kaynaklı basınç kaybı  $\Delta P = 2,23 \text{ pa}$  ve menfezlerden kaynaklı basınç kaybı  $P = 0,126 \text{ pa}$  değerlerinin toplamı olarak,

$$P_T = 2,356 \text{ pa}$$

basınç kaybı ortaya çıkacaktır.

Menfezler ve bacadaki sürtünmeden kaynaklı toplam basınç kaybının havanın yoğunluk farkı nedeniyle oluşan potansiyel basınçtan küçük olması ( $2,356 \text{ pa} < 5 \text{ pa}$ ) nedeniyle derslikte istenilen hava debisi sağlanabilecektir. Bu durumda baca rahat bir şekilde  $660 \text{ m}^3/\text{h}$  havayı çatıya ulaştıracak ve dersliğe dış ortam şartlarındaki  $CO_2$  girdiğinden derişim düşecektir, sürekli havalandırma olacaktır.

Gerek derslikteki seslerin diğer katlardaki dersliklere iletilmemesi ve sürekli uğultu oluşmamasına ve gerekse baca havalandırma sisteminde hava basıncının düşük olması nedeniyle ortak baca kullanımının hava akımının bozulmasına neden olmamasına yönelik her derslik için bağımsız baca uygulanması tercih edilmelidir. Yani, farklı katlardaki derslikleri için farklı bacalar kullanılmalıdır. Bunun yanı sıra, baca içerisindeki oluşacak sürtünme kaybının en aza indirilmesi için galvaniz havalandırma kanalı kullanılması yararlı olacaktır.

Soğuk hava ve fırtına, ters rüzgar akımı gibi olağan dışı durumlar için menfezlere klape takılarak dış atmosfer koşullarının iç ortama etkisi kontrol altına alınmalıdır.

## 5. Sonuç ve Öneriler

Günümüzde iç ortam hava kalitesinin insan sağlığı ve verimliliği üzerine araştırmalar yaygınlaşmaktadır. Gelişme çağındaki çocukların yeterli olmayan iç ortam hava kalitesinden yetişkinlere kıyasla daha fazla etkilendikleri de bilinmektedir. Bu nedenle çocukların zamanlarının önemli bir bölümünü geçirdikleri okul binalarında iç ortam hava kalitesi konusu ele alınmıştır.

Dersliklerin, ders aralarında pencerelerin açılması suretiyle havalandırılmama nedenlerinden bazıları; kış aylarındaki ısı konfor kaygısı nedeniyle pencerelerin açılmaması, pencerelerin rüzgar yönünde olmaması, öğrencilerin ders aralarında dersliği terk etmemesi olarak sıralanabilir. Bu nedenler göz önünde bulundurularak düşük yoğunluklu ve sürekli havalandırılması amacıyla dersliklerin baca sistemi ile havalandırılması olanakları araştırılmıştır.

Çalışma kapsamında Milli Eğitim Bakanlığı Yatırımlar ve Tesisler Dairesi Başkanlığı'nın hazırladığı "Eğitim Yapıları Mimari Proje Hazırlanması Genel İlkeleri"ne göre örnek bir derslik kurgulanmıştır. 30 öğrenci kapasiteli bu derslikte 40 dakikalık ders yapılması sonucunda oluşacak CO<sub>2</sub> miktarı ve derslik için gerekli hava debisi tespit edilmiştir. Akabinde, ders aralarında pencerelerin açılması suretiyle havalandırılması koşulları değerlendirilmiştir. Aynı dersliğin havalandırma bacası ile havalandırılması olanakları araştırılırken İstanbul ili ocak ayı iklim verileri dikkate alınmıştır. Hesaplamalar sonucunda, bir okul binasının en üst katında yer alan derslikte pencere altlarına yerleştirilecek 0,25x0,20 m boyutlarında iki adet menfez ve bu menfezlerle aynı aksta bulunmayacak 0,25x0,20 m iç açıklığı olan dikdörtgen kesitli bir adet havalandırma bacası ile, pencereler açılmadan dersliklerde kabul edilebilir hava kalitesinin sağlanabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

## Kaynakça

- Bakó-Biró, Z., Clements-Croome, D.J., Kochhar, N., Awbi, H.B., Williams, M.J., 2012. "Ventilation rates in schools and pupils' performance". Building and Environment, 48, 215-223,
- Bulgurcu H. (b.t.) "Havalandırma ve İç Hava Kalitesi", [http://deneysan.com/Content/images/documents/havalandirma-1\\_46167331.pdf](http://deneysan.com/Content/images/documents/havalandirma-1_46167331.pdf) (E. T.: 07.8.2021)
- Bulut H. 2012, "Havalandırma ve İç Hava Kalitesi Açısından CO<sub>2</sub> Miktarının Analizi", Tesisat Mühendisliği - Sayı 128 - Mart/Nisan 2012, s.62
- Clements-Croome DJ, Awbi HB, Bakó-Biró, Z, Kochhar N, Williams M. 2008. "Ventilation rates in schools". Building and Environment 43:362e7. <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.03.018>.
- Çakmanus İ. (B.T). "Havalandırma ve İç Hava Kalitesi", Çevirimiçi: [http://www.yesilbinadergisi.com/yayin/708/havalandirma-ve-ic-hava-kalitesi\\_21358.html#.XsGoDsChnIU](http://www.yesilbinadergisi.com/yayin/708/havalandirma-ve-ic-hava-kalitesi_21358.html#.XsGoDsChnIU) (E. T.: 03.10.2021)
- Çakmanus İ. (B.T.) "Doğal Havalandırma Sistemleri ve Seçim Kriterleri" Çevirimiçi: [http://www.yesilbinadergisi.com/yayin/705/dogal-havalandirma-sistemleri-ve-secim-kriterleri\\_21252.html#.XsGoFMChnIU](http://www.yesilbinadergisi.com/yayin/705/dogal-havalandirma-sistemleri-ve-secim-kriterleri_21252.html#.XsGoFMChnIU) (E. T.: 03.10.2021)
- Gil-Baez M., Barrios-Padura A., Molina-Huelva M., Chacartegui R. 2017. Natural ventilation systems in 21st-century for near zero energy school buildings ss: 1187
- Ianniella, E., 2011. "Ventilation systems and IAQ in school buildings". REHVA Journal, March, 26-29, ss:28
- Myhrvold, A.N., Olsen, E., Lauridsen, O., 1996. "Indoor environment in schools-pupils health and performance in regard to CO<sub>2</sub> concentrations", Indoor Air, Nagoya, Japan,.
- Öztürk B., Aykaç H., Kaya S., 2013. "Bina İçi Havalandırma Sistemlerinin Tasarım İlkeleri", 11. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 17-20 Nisan 2013, İzmir, ss ;1938
- Schramek, E.R., 1999. Recknagel-Sprenger Schramek- Isıtma Ve Klima Tekniği El Kitabı, Çev. O. Saraçoğlu, A. Razgat, Tesisat Mühendisleri Derneği Teknik Yayınlar, Ankara.
- Sınanmış, R., 2021. "Okul Binalarında İç Mekân Kalitesi Üzerine Bir Araştırma", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Arel Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul.
- TMMOB Makine Mühendisleri Odası İzmir Şubesi 2015. "Okullarda İç Hava Kalitesi Rehberi",

- [http://www.iccevrekalitesi.net/pdf/ick\\_rehber.pdf](http://www.iccevrekalitesi.net/pdf/ick_rehber.pdf) (E. T.: 21.07.2021)
- TTMD Isıtma, Soğutma, Havalandırma, Klima, Yangın ve Sıhhi Tesisat Dergisi, (2018) sayı 118'in eki: Ashrae Standardı Kabul Edilebilir Bir İç Hava Kalitesi için Havalandırma ANSI/ASHRAE STANDART 62.1-2010 <https://www.ttmd.org.tr/PdfDosyaları/Dergi-Eki-118-1-1.pdf> (E. T.: 27.09.2021)
- Url-1: <https://climate.nasa.gov/> (E. T.: 10.10.2021)
- Url-2: <https://docplayer.biz.tr/3430666-T-c-milli-egitim-bakanligi-yatirimlar-ve-tesisler-dairesi-baskanligi.html> (E. T.: 20.09.2021)
- Url-3: <https://tr.climate-data.org/asya/tuerkiye/istanbul/istanbul-715086/> (E. T.: 02.10.2021)
- Url-4: <http://www.acsklima.com/wp-content/uploads/2014/10/psikometrik-diagram.jpg> (E. T.: 02.10.2021)
- Wang, Y., Zhao, F. Y., Kuckelkorn, J., Liu, D., Liu L. Q., Pan X. C., 2014. "Cooling energy efficiency and classroom air environment of a school building operated by the heat recovery air conditioning unit". Energy; 64: 991-1001. <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2013.11.066>.
- Yüksek, İ. Esin T. 2011. "Yapılarda Enerji Etkinliği Bağlamında Doğal Havalandırma Yöntemlerinin Önemi", Tesisat Mühendisliği - Sayı 125 - Eylül/Ekim 2011 s. 63-77
- Zhang J., 2020. "Integrating IAQ control strategies to reduce the risk of asymptomatic SARS CoV-2 infections in classrooms and open plan offices", Science and Technology for the Built Environmen; 26, 1013-1018. <https://doi.org/10.1080/23744731.2020.1794499>