

## Soğuk iklim bölgelerinde LEED sertifikalı eğitim binasının pandemi bağlamında değerlendirilmesi

*Evaluation of LEED certified education building in cold climate regions in the context of pandemic*

Ali ÇELİK\*<sup>1</sup> 

<sup>1</sup> Erzurum Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi 25050, Erzurum

• Geliş tarihi / Received: 10.01.2023

• Kabul tarihi / Accepted: 15.07.2023

### Öz

Günümüzde insanlar hayatlarının büyük bir kısmını kapalı ortamlarda geçirmektedir. Bunun için kullanıcılarının sağlığını da doğrudan etkilemesi bakımından, binaların pandemiye karşı dayanımlı olması gerekir. Aynı zamanda binalarda bulaşma ve bulaşma hızının azaltılması yönünde gerekli önlemlerin de alınması da şarttır. Yine eğitim binaları da hastalıkların bulaşma olasılıklarının ve yayılma hızlarının yüksek olduğu binalardır. Bu nedenle bütüncül bakış açısıyla eğitim binalarında SARS-CoV-2 virüsünün içeri girme olasılığının ve yayılım ile öğrencilere bulaş riskinin azaltılması için yeterli tedbirlerin alınması gerekir. Bu çalışmada; Erzurum Teknik Üniversitesi kampüsündeki uluslararası LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) yeşil bina sertifikasına sahip Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi binasının SARS-CoV-2 virüs risk yönetimi ve iç ortam hava kalitesi parametrelerinin değerlendirilmesi yapılmıştır. COVID-19 (SARS-CoV-2) virüsünün bulaşma ve bulaşma hızının azaltılması yönünde HVAC (Isıtma, havalandırma ve iklimlendirme) ile ilgili faktörlere bağlı olarak alınması gereken önlemlerin önemi vurgulanmıştır. Çalışmada amfi dersliklerde yapılan ölçümlerde; CO<sub>2</sub> konsantrasyonları ortalama 645.68 ile 897.25 ppm aralığında, iç ortam sıcaklıkları 18 ile 24 °C aralığında, hava hızları 0.161 m/s ile 0.194 m/s aralığında ve bağıl nemin de %45.35rH ile %58,96 rH aralığında olduğu tespit edilmiştir. Bu değerlerin uluslararası standartlara uygun olduğu belirlenmiştir. Analiz sonuçları; COVID-19 sürecinde yeşil binalarda eğitim ve öğretim faaliyetlerinin daha güvenli yürütülebileceğini göstermektedir. Yine LEED sertifika kriterlerinin pandemilere karşı güvence olduğu da belirlenmiştir. Sonuçlar; eğitim binalarında gelecekte oluşabilecek pandemiye karşı iç hava kalitesi bakımından güvenlik önlemlerinin belirlenmesine de rehber olabilir.

**Anahtar kelimeler:** COVID-19, İç ortam hava kalitesi, LEED, Sağlıklı binalar

### Abstract

Today, people spend most of their lives indoors. For this, the buildings must be resistant to pandemics in terms of directly affecting the health of their users. However, it is essential to take the necessary measures to reduce the rate of contamination and contamination in buildings. Likewise, educational buildings are buildings where the transmission probability and spread rate of diseases are high. Therefore, from a holistic point of view, adequate measures should be taken to reduce the possibility of the entry of the SARS-CoV-2 virus in educational buildings and the risk of its spread and transmission to students. In this study; The SARS-CoV-2 virus risk management and indoor air quality parameters of the Faculty of Engineering and Architecture building, which has the international LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) green building certificate, on the campus of Erzurum Technical University were evaluated. The importance of the measures to be taken depending on the factors related to HVAC (Heating, ventilation and air conditioning) in order to reduce the transmission and transmission rate of the COVID-19 (SARS-CoV-2) virus was emphasized. In the measurements made in lecture halls; It was determined that CO<sub>2</sub> concentrations were between 645.68 and 897.25 ppm on average, indoor temperatures were between 18 and 24 °C, air velocities were between 0.161 m/s and 0.194 m/s, and relative humidity was between 45.35%rH and 58.96% rH. It has been determined that these values are in accordance with international standards. The results of the analysis show that education and training activities can be carried out more safely in green buildings during the COVID-19 process. It has also been determined that LEED certification criteria are assurances against pandemics. Results; It can also guide the determination of security measures in terms of indoor air quality against future pandemics in educational buildings.

**Keywords:** COVID-19, Indoor air quality, LEED, Healthy buildings

\*Ali ÇELİK; ali.celik@erzurum.edu.tr

## 1. Giriş

### 1. Introduction

Pandemiler insanlık için gelecek zamanda da büyük bir tehlike olarak olumsuz etkileri ile artarak yaşanmaya devam edilecektir. Dünyamız 2019 yılında Çin'in Hubei bölgesinin başkenti olan Vuhan kökenli koronavirüs ailesinin yeni bir türü olan SARS-CoV-2 (COVID-19) salgını ile tanışmıştır (Nie vd., 2020; Gou vd., 2020). COVID-19 Dünya Sağlık Örgütü tarafından 11 Mart 2020'de pandemi olarak ilan edilmiştir (Chowdhury vd., 2021; World Health Organization, 2020). Küresel COVID-19 salgınının, ekonomi, insanlar ve yaşam tarzı üzerindeki etkisi yıllarca hissedilecektir (Türk Toraks Derneği, 2020). Bu nedenle; mevcut binaların ve yeni yapılacak binaların salgın hastalıkların yayılmasına karşı dayanımlı sağlıklı binalar olarak dizayn edilmesi çok önemlidir. Sağlıklı binalarla; pandemi ve enfeksiyon virüslerinin bina içine girme olasılığının azaltılması, bina içinde yayılım ile bina kullanıcılarına bulaşma riskinin ortadan kaldırması hedeflenmektedir (Rehva, 2020). Daha net bir ifade ile binaların pandeminin olumsuz etkilerine karşı korunması amaçlanmaktadır. COVID-19 virüsüne etkin kontrol yöntemi geliştirebilmek için bulaş dinamiklerinin anlaşılması gerekir (Türk Toraks Derneği, 2020). COVID-19 salgınının bulaş hızının azaltılmasında; pandemi mücadelesinde etkili olduğu bilinen bir dizi enfeksiyon önleme ve kontrol işlemlerinin tüm yaşam alanlarında, belirlenmesi ve sağlanması önemlidir (YÖK, 2020). Virüs enfeksiyonundan korunmada en önemli tedbirlerden; sosyal mesafe, hijyen kuralları ve uzman önerilerine uymak her bireyin öncelikli sorumluluğudur (Türk Toraks Derneği, 2020). COVID-19 virüsünün yayılmasını önlemek için sadece sosyal mesafe, hijyen ve kişisel korunma tedbirleri (maske, siperlik gibi) öncelikli dikkat edilecek hususlar olarak kabul ediliyor olsa da gelecek yıllarda bu önlemlerin yeterli olmayacağı yaşanan tecrübelerle belirlenmiştir (Cleanroom, 2020). COVID-19 hastalığından kendimizi ve başkalarını korumak için alınacak önlemlerin tespitinde öncelikle virüsün nasıl yayıldığına belirlenmesi önemlidir (Rehva, 2020). Bu konuda yapılan bir çalışmada Vozzola ; üniversite binalarında COVID-19 virüsüne karşı alınması gerekli önlemleri değerlendirmiş ve iyileştirilmesi ile ilgili öneriler sunmuştur (Vozzola, 2020). Yine yapılan başka bir çalışmada; özellikle kalabalık ve havalandırmanın yetersiz olduğu iç ortamlarda virüslerin hava yoluyla bulaşma riskinin daha güçlü olduğu kanıtlarla sunulmaktadır (Coleman vd., 2018; Nishiura vd., 2020). Araştırmacılar çalışmalarında; COVID-19 pandemi döneminde sınıflarda mekanik havalandırma sisteminin olmamasını havanın yeterince yenilenemeyeceği olarak kabul etmektedirler. Bu kritik durumda hiç havalandırılmayan veya yeterince havalandırılmayan sınıflarda enfekte asemptomatik bir kişinin virüs içeren bir aerosolü sadece nefes alıp vererek bile sınıf içine yaymasının mümkün olduğu belirlenmiştir (Di Gilio vd., 2021).

Eğitim binalarında günde birkaç saat ders yapılması bile SARS-CoV-2 bulaşma olasılığını artırmaktadır. Bunundan dolayı okullarda pandeminin önlenmesi için daha etkili temiz hava değişimini benimseyen havalandırma stratejileri geliştirilmelidir. Aslında kapalı ortamlarda özellikle de kalabalık bir sınıfta geliştirilmiş havalandırma sistemi ile SARS-CoV-2 virüsünün yayılması önlenir. Bunun için son bilimsel literatürde hava yoluyla bulaşan virüslerin yayılımının azaltılmasının iç ortamlarda yeterli havalandırma ile sağlanabileceği öngörülmektedir (Morawska vd., 2021; Villanueva vd., 2021). Beggs (2020) tarafından yapılan çalışmada simülasyon sonuçları; kapalı ortamda, enfekte olmuş bir insanın konuşması ile aynı havayı soluyan diğer insanlara enfeksiyonun bulaşmasına yetecek kadar virüs içeren aerosoller olduğunu göstermiştir. SARS-CoV-2 gibi bulaşıcı solunum yolu hastalıklarının yayılma riskinin en belirgin göstergesi CO<sub>2</sub> konsantrasyon yoğunluğudur. Bunun için CO<sub>2</sub> seviyelerinin izlenmesi gereklidir. Kapalı ortamlarda insan sayısına bağlı olarak artan CO<sub>2</sub> seviyesi enfeksiyonun yayılma ihtimalini de yükseltmektedir (Peng vd., 2021). Araştırmacılar bu çalışmada; yüksek öğretim kurumlarında anti-Coronavirus (COVID-19) tedbirlerini analiz ederek önlemlerin iyileştirmesi için bir metodoloji önermektedirler (Wehbe & Shahrour, 2021). COVID-19 yayılımının azaltılmasında havalandırmanın çok önemli olduğu kabulü ile bazı araştırmacılar iç ortam hava kalitesini değerlendirmek için Bina Bilgi Modellemesi (BIM)'i kullanmışlardır (Gan vd., 2019; Sporr vd., 2019; Wehbe & Shahrour, 2019).

Yeşil binalar genel olarak; enerji ve su kullanımının azaltılmasını, inşaat sürecinde çevreye olan olumsuz etkileri minimuma indirmeyi hedeflemektedir. Aynı zamanda yeşil binalar insanların sağlığını düşünerek hijyenik iç ortamların oluşturulmasını da amaçlamaktadırlar. Araştırmacılar çalışmalarında; yeşil bina kriterlerinden olan iç mahal hava kalitesinin hijyenik ortam tasarımına etkilerini incelemişlerdir. Sonuçlar yeşil binaların iç ortam kalitesi bakımından geleneksel binalara göre daha iyi olduğunu ve insan sağlığını korumaya yönelik olduğunu göstermiştir (Allen vd., 2015). LEED kriterlerinde devam eden iyileştirmelerle

bina kullanıcılarına yüksek kaliteli iç mahal ortamlarının oluşturulması da amaçlanmaktadır (U.S. Green Building Council, 2013). Kanada da bir üniversite kampüsünde LEED sertifikalı iki bina ile bir geleneksel binada bulunan 319 kişiyle iç ortam hava kalitesi parametreleri ile ilgili memnuniyet anket yapılmıştır. Anket sonucu; LEED sertifikalı binaların geleneksel binalara kıyasla havalandırma ve hava kalitesi bakımından çok daha iyi olduğunu ayrıca daha az öksürük / akışırma yaşandığını göstermiştir. Yani LEED sertifikalı binalarda insanların daha sağlıklı ve yüksek performanslı olduğu belirlenmiştir (Hedge vd., 2014). 2020 yazında Amerikan Yeşil Binalar Konseyi (USGBC), binalarda sağlıklı alanlar oluşturulması için dört LEED kriteri daha yayınladı. Bu krediler; iş yerinde pandemi tedbirlerinin alınması, ortak ya da kamu kullanımına açık alanların temizlenmesi ve dezenfekte edilmesi, salgın süresinde iç mahal hava kalitesi yönetilmesi, sıhhi tesisat sistemlerinin kontrolü olarak özetlenebilir (U.S. Green Building Council, 2020). Yine bu çalışmada; birçok sürdürülebilirlik derecelendirme sistemlerinin (WELL, Fitwel ve LEED) kapalı alanlarda insanların sağlıklarını korumak ve pandemiyi önlemek için geliştirdikleri stratejilerin değerlendirilmesi yapılmaktadır. Sonuçlar bu stratejilerin pandemi gereksinimlerini karşılayacak şekilde yeniden gözden geçirilmesi gerektiğini vurgulamaktadır (Marotta vd., 2021). Sertifikalı binaların pandemilere karşı, mekanik havalandırma sistemleri ve bina içinde virüs tutmasını engelleyici malzemelerle (boyalar, zemin kaplamaları) kaplı olmasından dolayı küresel salgına karşı daha dayanımlı olduğu kabul edilmektedir. Ayrıca LEED sertifikalı binaların tasarım prensipleriyle geleneksel tasarlanmış binalara göre kullanıcılarına daha sağlıklı ortamlar sağladığı inancı da giderek artmaktadır.

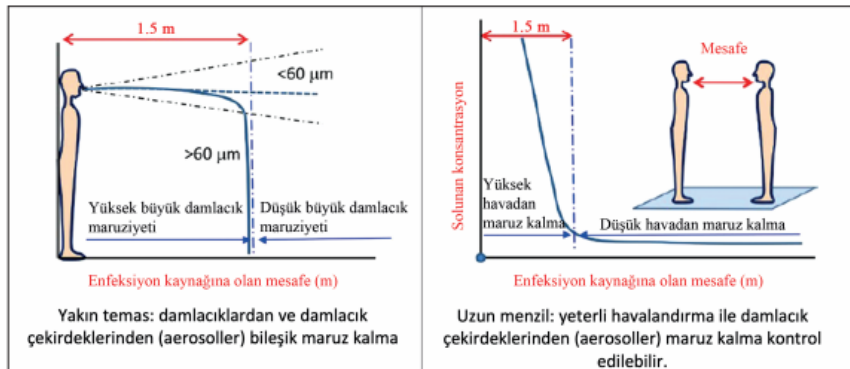
## 1.1. COVID-19 yayılım yolları

### 1.1. COVID-19 spread ways

Kesin olarak virüsün ve enfeksiyonun özellikleri ortaya konamamış olsa da günümüzde bulaşmanın çoğunlukla temas ve hava/damlacık yoluyla olduğu bildirilmektedir. Genel anlamda bulaş riskini azaltmak için; yakın temastan kaçınmak yani fiziksel mesafe, havadan bulaşmayı azaltmak için de havalandırma, yüzey temasını önlemek için ise el hijyeni çok önemlidir. Pandemilerin bulaşma yolları, hızları ve senaryoları binadan binaya farklılık göstermektedir. COVID-19 temelde üç yolla bulaşır (Rehva, 2020):

- (1) İnsanların 1-2 m yakın temas bölgesinden hapşırma, öksürme, şarkı söyleme, bağırma, konuşma ve nefes alma sırasında yayılan damlacıklar yoluyla havadan bulaşma (Peng vd., 2020; World Health Organization, 2020).
- (2) uzun menzilli havadan (aerosol bazlı) bulaşma (Bennett vd., 2002).
- (3) el-el, el-yüzey vb. temaslarla yüzey (fomit) temasında bulunma ile bulaşma.

Bir COVID-19 partikülünün boyutu yaklaşık 0.08-0.16 mikrondur (80-160 nm) (Monto, 1974). Spesifik temizlik yapılmadıkça yüzeylerde saatlerce veya birkaç gün boyunca aktif yaşayabilirler (Doremalen vd., 2013). İç mahal koşullarında 3 saate kadar ve yine iç mahal yüzeylerinde 2-3 gün aktif kalabilirler (Doremalen vd., 2020). Havada virüsler çıplak değildir ve solunum sıvısı damlacıklarının içinde bulunurlar. Genelde havada kalan küçük damlacıklardır. Virüsler; havalandırma sistemlerinin dönüş kanalları ve hava resirkülasyonu olan sistemlerde ise besleme kanalları vasıtasıyla uzun mesafelere ulaşabilir. Bu nedenle, özellikle binaların havalandırma ve iklimlendirme sistemleri tasarım ve işletme bakımından bina içinde salgın hastalıklarının yayılımını önleyecek şekilde olmak zorundadır. COVID-19 virüsünün havadan iletim yolları Şekil 1'de gösterilmektedir.



Şekil 1. COVID-19 virüsünün havadan iletim yolları (Liu vd., 2017)

Figure 1. Airborne transmission routes of the COVID-19 virus

İnsanlar gün içinde zamanlarının büyük kısmını kapalı alanlarda geçirdiği için bu alanların pandemiye karşı dayanımlı olması zorunludur. Yani kapalı alanlarda virüslerin bulaşma ve bulaş hızının azaltılması için gerekli önlemlerin alınması gerekmektedir. Bu çalışmada kapalı alan olarak ele alınacak eğitim binaları da hastalıkların bulaşma olasılıklarının ve yayılma hızlarının yüksek olduğu binalardır. Hayatımızda sürekli var olacak salgın hastalıklardan korunmanın sadece hastanelerdeki sağlık önlemleriyle mümkün olamayacağı da bilinmektedir. Bu nedenle binaların COVID-19 gibi salgınlara karşı dirençli olması için bina projelerinin geleneksel yaklaşımlara göre değil de hem pandemiye dayanımlı hem de çevreye zarar etkisi az olan yapılar üreten bireylerin sağlıklı yaşam kalitelerini amaçlayan; uluslararası standartlara uygun hazırlanması gerekmektedir.

Bu çalışmada; eğitim kurumları için yeşil bina kriterleri ile öğrencilere çevreye duyarlı ve sağlıklı bir eğitim ortamı oluşturmayı hedefleyen sertifikaya sahip olmanın aynı zamanda bir binayı pandemi ve salgın hastalıklara karşı koruma da avantajlı hale getirebildiğinin analizi yapılmıştır.

## 2. Materyal ve metod

### 2.1. Material and method

Erzurum Teknik Üniversitesi kampüsündeki LEED sertifikalı Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi binasının SARS-CoV-2 ve benzeri virüslere dayanımının belirlenmesi için iç ortam hava kalitesi parametrelerinin ölçülmesi yapılmıştır. Sınıflarda koronavirüs gibi patojenlerin yayılmasında etkili olan CO<sub>2</sub> konsantrasyonu, sıcaklık, nem ve mekanik havalandırma hızına ait ölçümler ders saatleri baz alınarak yapılmıştır. Bu değerlerin ölçümünde sınıf içlerindeki iç hava kalitesi cihazları ile çoklu ölçüm cihazı kullanılmıştır.

### 2.1. Referans bina ve özellikleri

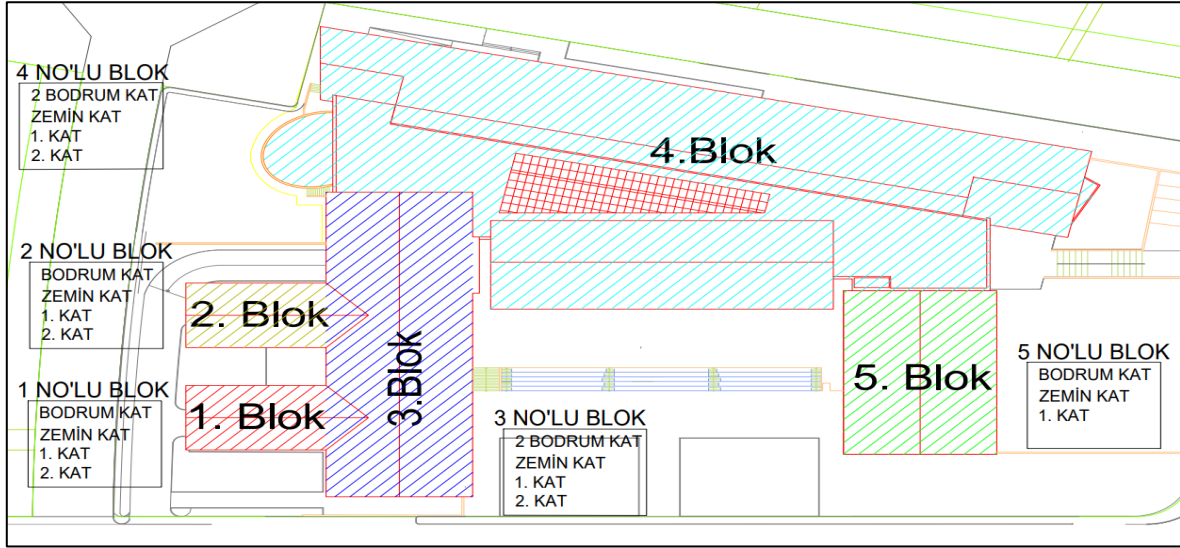
#### 2.1.1. Reference building and features

Erzurum Teknik Üniversitesi kampüsü şehir merkezinden 3 km uzaktadır. Erzurum Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi binası 39°92'N, 41°24'E coğrafi koordinatlarında 25 245 m<sup>2</sup> kapalı alana sahiptir. Fakülte binasının genel görünümü de Şekil 2'de verilmektedir. Bina toplam 5 bloktan oluşmaktadır. 1 ile 2'nci bloklar bodrum kat +zemin kat +2 normal kattan, 3 ve 4'üncü bloklar 2 bodrum kat + zemin kat + 2 normal kattan, 1'inci blok ise bodrum zemin kat+1 adet normal kattan oluşmaktadır. 1, 2 ve 3'üncü bloklarda öğretim üyelerin odaları, 4'üncü blokta derslikler, 5'inci blokta da dekanlık ofisleri bulunmaktadır (Şekil 3).



**Şekil 2.**Erzurum Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi genel görünümü  
**Figure 2.**General view of Erzurum Technical University Faculty of Engineering and Architecture

Erzurum Teknik Üniversitesi genelde yazların kısa ve serin, kışlar ise uzun soğuk ve karlı geçtiği bir şehirde bulunmasından dolayı soğuk iklim bölgesindedir. Erzurum'da meteoroloji istasyonunda yaklaşık 80 yılı bulan gözlem sonuçlarına göre, en soğuk ay ortalaması -8.6 °C, en sıcak ay ortalaması 19.6 °C, en düşük sıcaklık -35 °C ve en yüksek sıcaklık ise 35 °C olarak tespit edilmiştir. Kar yağın gün sayısı 50 ve karın zeminde durma süresi ise 114 gün civarındadır (Bakırcı vd., 2006).



**Şekil 3.**Erzurum Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi vaziyet planı

**Figure 3.** Erzurum Technical University Faculty of Engineering and Architecture site plan

1998 yılından itibaren uygulanmaya başlanan LEED sertifika sistemi, Amerikan Yeşil Binalar Konseyi (USGBC) tarafından geliştirilmiş çevre dostu bina sertifikasyon sistemidir. Erzurum Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi; dünyada ve Türkiye’de en çok tercih edilen insan, doğa ve çevreye duyarlı yapılar tasarlamayı öncelik kabul eden LEED SILVER seviyesinde sertifika almaya hak kazanmıştır. Bu kapsamda; referans bina uluslararası LEED yeşil bina sertifikasını almak için; sürdürülebilir arazi, su kullanımında etkinlik, enerji, atmosfer, malzeme, kaynaklar, iç hava kalitesi, inovasyon ve tasarım gibi kriterleri sağlayacak şekilde yapılmıştır. Yine LEED Yeşil Bina Sertifikasyon Sistemi ilgili kredi başlıkları Pandemi ve Enfeksiyon Dayanımlı Bina Tasarımına doğrudan etki eden konuları da kapsadığından bina COVID-19 risklerine karşı dayanımlı olarak kabul edilebilir. Binanın sahip olduğu uluslararası LEED yeşil bina sertifikası Şekil 4’te verilmektedir.



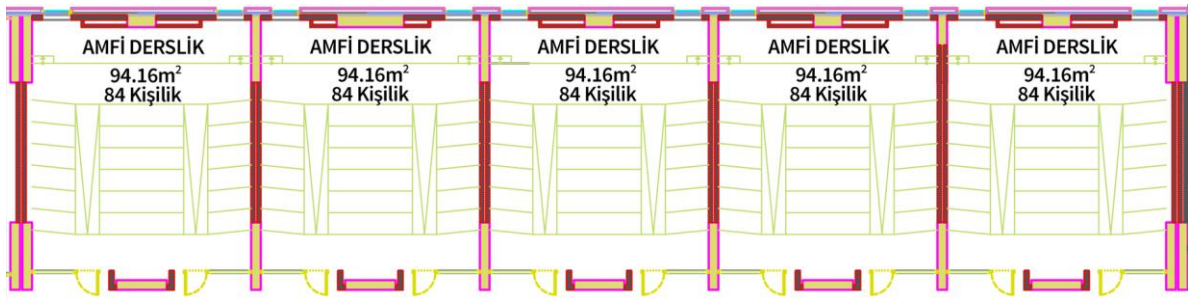
**Şekil 4.** Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi LEED sertifikası

**Figure 4.** LEED certificate from the Faculty of Engineering and Architecture

### 2.1.1. Dersliklerin Özellikleri

#### 2.1.1.1. Features of Classrooms

Çalışmada ölçümlerin yapıldığı derslikler yaklaşık 95 m<sup>2</sup> ve 84 kişilik olarak tasarlanmıştır (Şekil 5). Sınıflarda 120 cm x 220 cm ölçülerinde iki kapı ve 120 cm x 210 cm ölçülerinde iki adette pencere bulunmaktadır. Sınıf duvarları LEED şartı olarak iç hava kalitesini yükseltebilmek amacıyla düşük kimyasal uçucu organik bileşikler (VOC) içeren boya ile boyanmıştır. Yine sınıf döşemeleri tamamen geri dönüştürülebilir ve bakteri oluşumunu engelleyen hijyenik bir kaplama olan linolyum ile kaplanmıştır.



**Şekil 5.** Dersliklerin kat planları  
**Figure 5.** Floor plans of classrooms

## 2.2. Referans binanın ısıtma, havalandırma ve iklimlendirme sistemleri

### 2.2. Heating, ventilation and air conditioning systems of the reference building

Binalarda COVID-19 virüsünün hava yolu ile bulaşma riski mekanik sistemlerde alınan tedbirlerle büyük ölçüde azaltılabilir. Binaların ısıtma, soğutma ve havalandırma sistemleri virüs ve bakterilerin en belirgin dolaşım yoludur. Pandemi sürecine kadar bu sistemler genelde enerji verimliliğini artıracak şekilde tasarlanırken bundan sonraki tasarımlarda mutlaka pandemi senaryolarının da göz önüne alınması gerektiği ortaya çıkmıştır. Şekil 6'da COVID-19 virüsüne karşı alınması gerekli önlemler arasında mühendislik kontrolleri olarak havalandırma sistemlerinde alınacak önlemlerin diğer idari kontroller ve kişisel koruyucu ekipman uygulamalarından daha etkili olduğu görülmektedir.



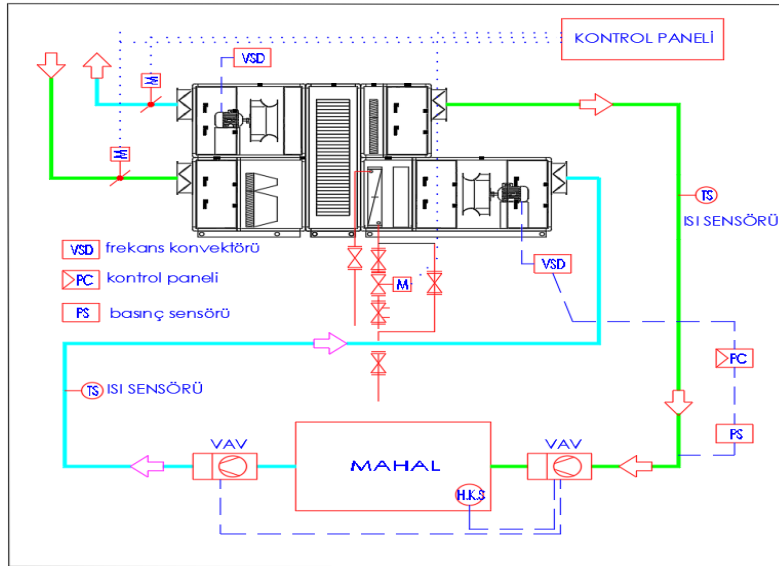
**Şekil 6.** ABD hastalık kontrol merkezlerinden uyarılan enfeksiyon kontrol piramidi (U.S.CDC, 2015)

**Figure 6.** Infection control pyramid adapted from the U.S. centers for disease control

LEED yeşil bina sertifikasına sahip binalar da bu sistemler hem enerji hem de sağlıklı iç ortamlar sağlayacak şekilde tasarlanmaktadır. Böylece COVID-19 bulaşma riskleri de en aza indirilmektedir. Havalandırma sistemlerinin COVID-19 virüsünün bulaş riskinin azaltılması için %100 dış hava ile çalışması gerekmektedir. Yine havalandırma sistemlerinde monte edildikleri yüzeye paralel radyal veya yönsel üfleme yapan difüzörler ile bakteri ve virüsünün bulaş riskinin azaltılması sağlanmaktadır.

Erzurum Teknik Üniversitesi kampüsündeki Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi binası havalandırma sistemi LEED kriterine uygun olarak resirkülasyonu olmayacak şekilde imal edilmiştir. %100 taze havalı sistem hem sınıflarda hem de personel odalarında mevcuttur. Mühendislik fakültesi havalandırma-iklimlendirme sistemine ait akış şeması Şekil 7'de verilmektedir.

Ayrıca iç mahallerde LEED kriterlerinin sağlanması ve gerekli iç konforun oluşturulması adına havalandırma ve iklimlendirme sistemlerinde kullanılan filtreler ASHRAE (American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers) standart 52.2-2007 uyarınca MERV 14 (Filtrelerin verimlilik derecesi) kategorisinde seçilmiştir (ASHRAE, 2007). LEED Sertifikalı binalarda MERV 13 sınıfından aşağıda bir filtre kullanılması kabul edilmemektedir. Böylece bu filtreler ile bakteri ve virüslerin yayılımının azaltılması virüs tutucu ince gözenekler sayesinde sağlanmaktadır. Yine WC aspiratörleri de negatif basınç oluşturacak şekilde tasarlanmıştır.



Şekil 7. %100 taze havalı iklimlendirme santrali akış şeması  
Figure 7. 100% fresh air air handling unit flow chart

### 2.3. Referans binada iç mahallerde CO<sub>2</sub> konsantrasyonu ölçümü

#### 2.3. CO<sub>2</sub> concentration measurement indoors in the reference building

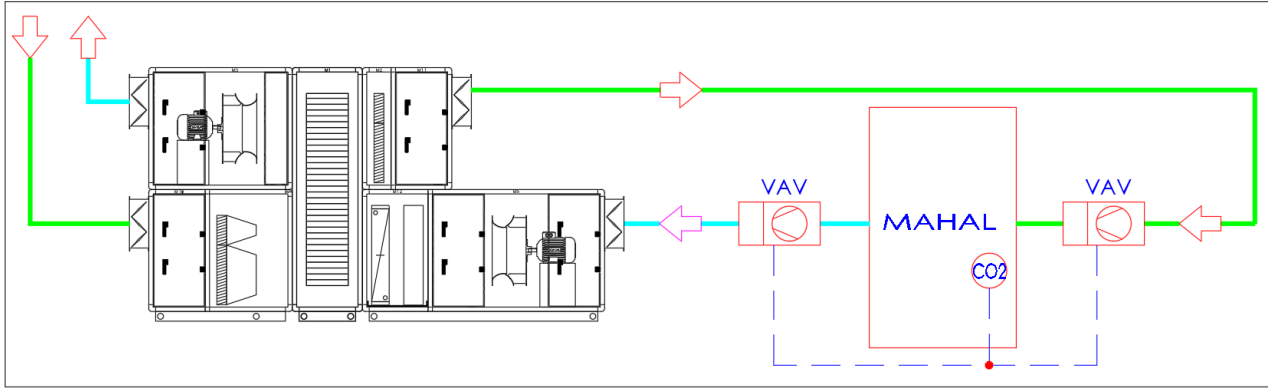
Kapalı ortamlarda CO<sub>2</sub> miktarı iç hava kalitesinin bir göstergesi olarak kabul edilmektedir. CO<sub>2</sub> yoğunluğunun ana sebebi insanlar ve dış kirleticilerdir. İç ortamda CO<sub>2</sub> yoğunluğunun az olması sadece konfor için değil, sağlık ve verimlilik için de gereklidir. Bu sebeple kapalı ortamlarda iç hava kalitesinin belirlenmesinde CO<sub>2</sub> değerlerinin kontrol edilmesi gerekmektedir. Bu ölçümler iç ortamlara konulan CO<sub>2</sub> sensörleri ile yapılmaktadır. Kapalı alanlarda CO<sub>2</sub> yoğunluğuna bağlı olarak eğer limitler aşılmışsa kabul edilebilir iç hava kalitesi oluşturmak için CO<sub>2</sub> sensörleri havalandırma sistemleri vasıtasıyla, gerekli temiz havayı iç ortama yönlendirmektedirler. Referans değer altındaki değerler mahaldeki iç havanın hem konfor hem de sağlık açısından kabul edilebilir olduğunu gösterir. Yine iç mahallerde CO<sub>2</sub> seviyesi referans değerinin altında ise havalandırma kısılabılır ve enerji tasarrufu da yapılabilir. CO<sub>2</sub> seviyesi ile havalandırma arasındaki ilişki ise Şekil 8'de gösterilmiştir.



Şekil 8. CO<sub>2</sub> seviyesi ile havalandırma arasındaki ilişki (Bas, 2004)

Figure 8. Relationship between carbon dioxide level and ventilation

Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi binasında sınıflarda ve diğer bütün mahallerde en az enerji harcanarak ısı konfor ve iç hava kalitesi (CO<sub>2</sub> konsantrasyonuna göre çalışan) havalandırma sistemleri ile sağlanmakta ve akış şeması Şekil 9'da verilmektedir.



**Şekil 9.** CO<sub>2</sub> kontrollü %100 havalı iklimlendirme sistemi  
**Figure 9.** CO<sub>2</sub> controlled 100% air conditioning system

Bundan dolayı bütün mahallerde Şekil 10'da verilen CO<sub>2</sub> sensörleri mevcuttur ve hassasiyeti  $\pm 1$ ppm'dir. Sistem; CO<sub>2</sub> yoğunluğu 900 ppm seviyesine geldiğinde VAV (Değişken Hava Debili) kutusunun tam açık konuma, 600 ppm seviyesine geldiğinde ise minimum açık konuma gelmesi için CO<sub>2</sub> sensörü tarafından komut gönderecek şekilde tasarlanmıştır. Şekil 10'da iç hava kalite ölçüm cihazı verilmektedir.



**Şekil 10.** İç hava kalitesi cihazı (CO<sub>2</sub>, bağıl nem, sıcaklık)  
**Figure 10.** Indoor air quality device (CO<sub>2</sub>, relative humidity, temperature)

Dersliklerde sensörler tarafından yapılan ölçümlerde iç mahal hava kalite parametreleri fazla belirlendiğinde havalandırma sisteminin stratejisine bağlı olarak sürekli daha düşük değerlerde tutulması nispi enfeksiyon riskini de azaltmaktadır. Ayrıca bu ölçümler COVID-19 ve diğer solunum yolu hastalıklarının bulaşma riskinin kontrol altında tutulduğunu da göstermektedir. Bunun sonucunda elde edilen iç mahaller kullanıcıların ruh ve beden sağlığına da hayati derecede katkı bulunmaktadır.

#### 2.4. İç mahal havalandırma sistemlerinde taze hava hızı ölçümü 2.4. Fresh air velocity measurement in indoor ventilation systems

Hava hızlarının ortam sıcaklığına da bağlı olarak 0,20 ile 0,30 m/s aralığında olması hem rahatsız edici hava akımına hem de bakteri ile virüsün yayılım hızının artmasına da sebep olmaktadır. Mühendislik ve Mimarlık



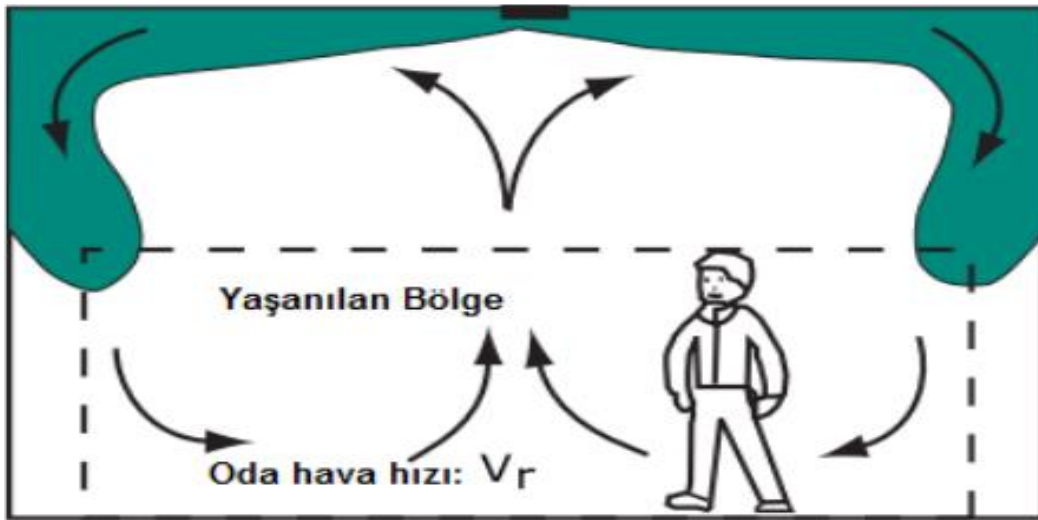
Fakültesinde mahallerdeki hava hız ölçümleri Testo 435 el tipi cihazı ile gerçekleştirilmiştir ve hassasiyeti  $\pm 1\text{ppm}$ 'dir (Şekil 11).



**Şekil 11.** Çoklu ölçüm cihazı (CO<sub>2</sub>, CO, hava hızı, sıcaklık, nem, mutlak basınç, ışık şiddeti, U-değeri)

**Figure 11.** Multimeter (CO<sub>2</sub>, CO, air velocity, temperature, humidity, absolute pressure, luminous intensity, U-value)

Kapalı ortamlarda hava hareketi hem insanları rahatsız etmesi hem de COVID-19 virüsünün havalandırma sistemi ile bulaş riski bakımından önemlidir. Bunun için kapalı ortamlarda havalandırma sistemlerinde difüzör kullanılması önerilmektedir. Tavan tipi difüzörler monte edildikleri yüzeye paralel radyal veya yönsel üfleme yapmaktadır. Yani bir noktadan yönlendirilmiş bir hava akışı söz konusu değildir. Şekil 12’de tavan tipi difüzörler tarafından yayılan havanın akış formu verilmektedir.



**Şekil 12.**Tavan tipi difüzörün hava akış formu (ASHRAE, 2010)

**Figure 12.** Air flow form of ceiling diffuser

Mühendislik ve Mimarlık Fakültesinde de tavan tipi difüzörler kullanılarak hem insanların hava akımından rahatsız olmaması hem de bakteri ve virüsünün bulaş riskini azaltması amaçlanmıştır. Şekil 13’te Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi sınıf ile ofislerinde kullanılan tavan tipi difüzörler gösterilmiştir.



**Şekil 13.**Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi sınıf ve ofislerinde kullanılan tavan tipi difüzörler

**Figure 13.** Ceiling diffusers for use in engineering and architecture faculty classrooms and offices

## 2.5. İç mahallerde sıcaklık ve bağıl nemin ölçülmesi

### 2.5. Measuring temperature and relative humidity indoors

İklimlendirme sistemleri ile kapalı ortamların bağıl nemi ve sıcaklığı kontrol altına alınarak standartta belirlenen iç ortam değerleri elde edilebilir. Kapalı ortamlarda bazı virüslerin yayılmasının hava sıcaklıkları ve nem oranları ile sınırlandırılabilceği öngörülmektedir. SARS-CoV-2 virüslerinin yayılımının önlenilebileceği düşünülerek sınıf içinde bulunan hava kalitesi cihazı ve çoklu ölçüm cihazı ile nem ve sıcaklık değerleri de ölçülmüştür (Şekil 10).

## 2.6. Referans değerleri

### 2.6. Reference values

Birçok ülkede iç hava kalitesini belirlemede kullanılan standartlar mevcuttur. Bina iç mahallerinde temiz ve sağlıklı hava elde etmek için ASHRAE 62.1-2010 Standartlarına ait kriterler kullanılabilir. ASHRAE Standartlarına göre iç hava kalitesi ile ilgili kullanılan sınır değerler Tablo 1’ de verilmiştir. ASHRAE 62-1989 Standardında CO<sub>2</sub> 'nin konsantrasyonu normal bir çalışma günü için 1000 ppm olarak verilmektedir (ASHRAE,1989). Eğer CO<sub>2</sub> konsantrasyonu bu değerden düşükse iç mahallin hava kalitesi kabul edilebilir düzeylerde dir.

Amfi tarzı dersliklerde öğrenci başına verilmesi gereken hava debisi ASHRAE 62.1-2007 standardında 3.8 L/s (13.7 m<sup>3</sup> /h) olarak verilmiştir. ASHRAE 62.1-2013 standardının taze hava gereksiniminin hesaplanmasında iç ortam insan sayısı bilinmediği takdirde hesaplarda insan yoğunluğu (öğrenci sayısı / 100 m<sup>2</sup>) değerleri de kullanılmaktadır (Tablo 1).

**Tablo 1.** ASHRAE standartlarına göre bazı iç mahal değerleri ve gereksinimleri  
**Table 1.** Some interior values and requirements according to ASHRAE standards

CO <sub>2</sub> konsantrasyonu	1000 ppm
Mahal sıcaklığı (ısıtmada)	20-22 °C
Mahal sıcaklığı (soğutmada)	24-26 °C
İç yüzey sıcaklığı	17-19 °C
Döşeme sıcaklığı	18-20 °C
Tavan sıcaklığı	18-20 °C
Hava hızı	≤ 0.2 m/s
Bağıl hava nem oranı	%40-60
Düşeyde sıcaklık farkı	≤ 3 °C

**Tablo 1.** ASHRAE standartlarına göre bazı iç mahal değerleri ve gereksinimleri (Devam)  
**Table 1.** Some interior values and requirements according to ASHRAE standards (Continue)

Derslik (Lecture classroom) Öğrenci başına hava debisi L/s.öğrenci ( $m^3/h$ .öğrenci)	3.8 (13.7)
Derslik (Lecture classroom) Alan başına ek hava debisi l/s.m <sup>2</sup> ( $m^3/hm^2$ )	0.3 (1.08)
Derslik (Lecture classroom) Öğrenci başına öngörülen alan m <sup>2</sup> /öğrenci	1.54

### 3. Bulgular

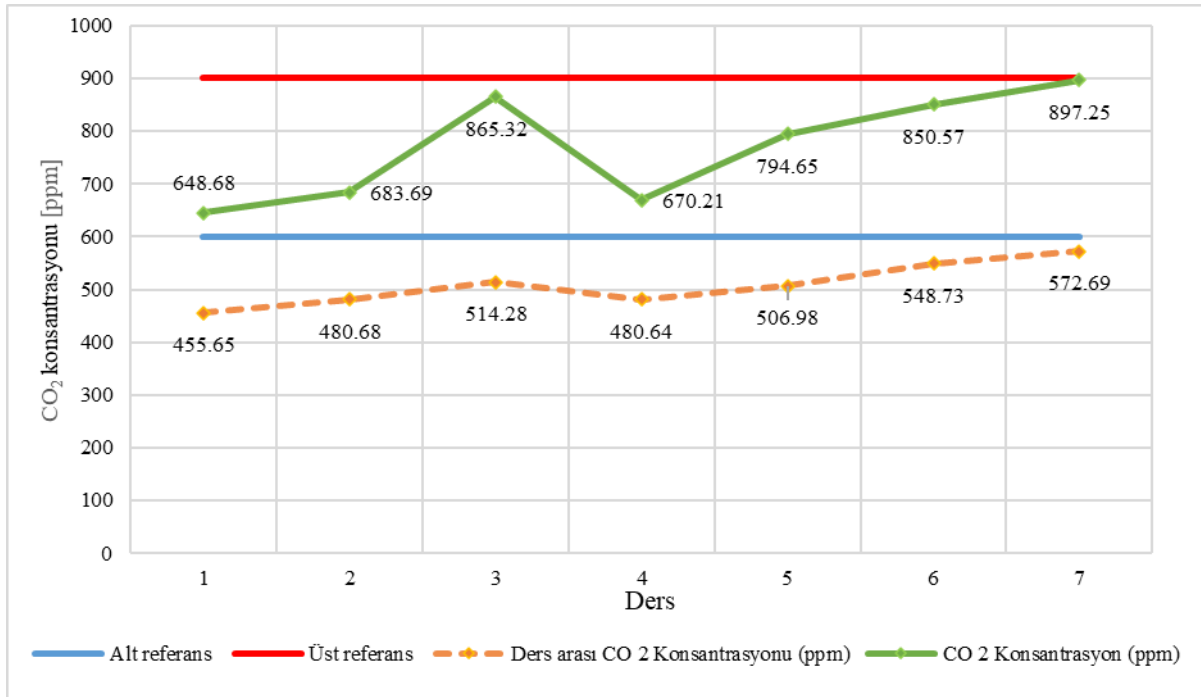
#### 3. Results

Bu çalışmada; Türkiye’de üniversitelerde yüz yüze eğitimin başladığı 2021-2022 eğitim öğretim yılı içerisinde referans binanın pandemiye karşı dayanıklılığı analiz edilmiştir. Çalışma kapsamında; Erzurum Teknik Üniversitesi kampüsündeki LEED sertifikalı Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi binasında amfi dersliklerde Ekim 2021-Aralık 2021 tarihleri arasında ders saatleri baz alınarak ölçümler yapılmıştır. Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi binasında bir sınıfta her gün yaklaşık 50 dk süreli yedi ders yapılmaktadır. Çoğunlukla da her ders arasında 10 dk ara verilmektedir. Çalışmada elde edilen ölçümlerin ortalaması kullanılmıştır. Amfi dersliklerdeki ölçümlerde CO<sub>2</sub> konsantrasyonu, hava hızı, sıcaklık ve bağıl nem ile ilgili veriler elde edilmiştir. Ölçüm alınan sınıfların doluluğu yaklaşık 6 ile 24 kişi arasında değişmektedir. Dış ortam havası için CO<sub>2</sub> konsantrasyonu 460 ile 580 ppm arasında değişmektedir. Ders aralarında pencerelerin açılması durumu göz önüne alındığından sınıfta kalan öğrenci sayısının iç hava kalitesine etkisi ihmal edilmiştir.

#### 3.1. CO<sub>2</sub> konsantrasyonunun belirlenmesi

##### 3.1. Determination of CO<sub>2</sub> concentration

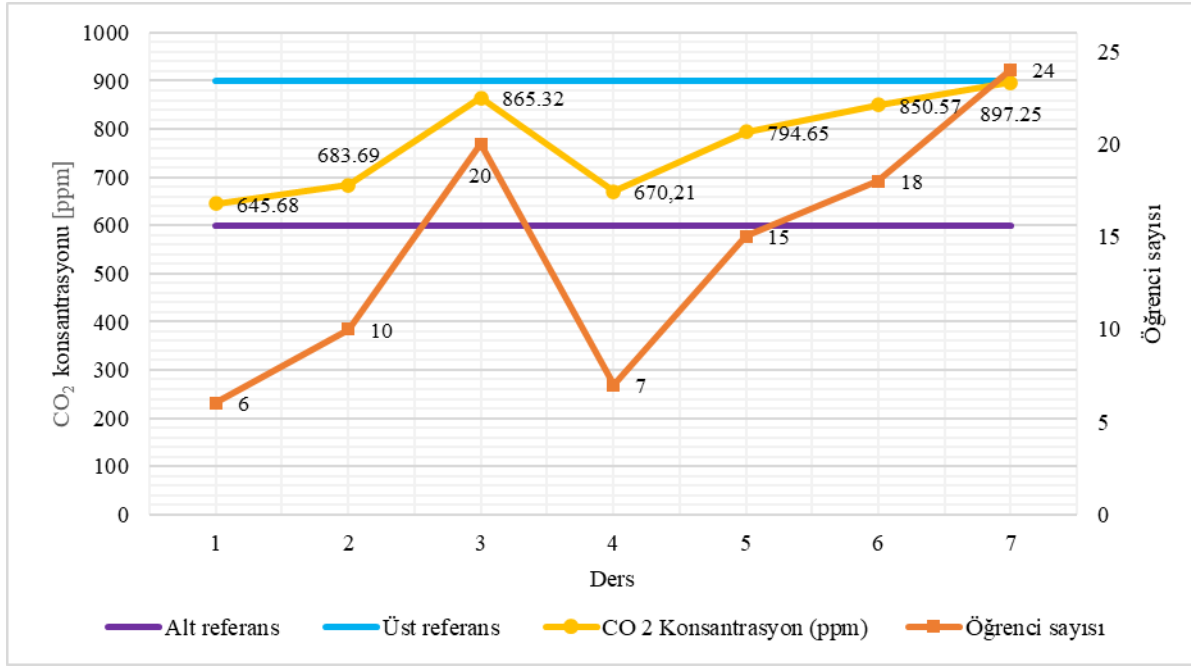
Sınıflarda yapılan ölçümlerde CO<sub>2</sub> konsantrasyonlarının ASHRAE standartlarına uygun olduğu tespit edilmiştir. Şekil 14’te ders saatlerinde ve ders aralarında CO<sub>2</sub> konsantrasyonunun değişimi gösterilmektedir. Sınıflarda ders saatlerinde CO<sub>2</sub> konsantrasyonu maksimum değerlerinin ortalaması 897.25 ppm geçmemektedir. Değerler 900 ppm yaklaştığında CO<sub>2</sub> sensörleri komut göndererek VAV kutusu tam açık konuma gelmektedir. Aynı şekilde CO<sub>2</sub> konsantrasyonunun en küçük ortalama değeri 645.68 ppm olarak ölçülmüş ve bu durumda VAV kutusu minimum açık konumda olacak şekilde tasarlanmıştır. Sınıflarda ders olmadığına CO<sub>2</sub> konsantrasyonu 455.65 ppm ile 572.69 ppm arasında ölçülmüştür. Her ders arasında CO<sub>2</sub> konsantrasyonu oranı da düşmektedir.



**Şekil 14.** Ders saatlerinde ve aralarda CO<sub>2</sub> konsantrasyonu

**Figure 14.** CO<sub>2</sub> concentration during class hours and breaks

Sınıflarda ders saatlerinde ortalama öğrenci sayısının CO<sub>2</sub> konsantrasyonuna etkisi Şekil 15'te verilmektedir. Sınıflarda CO<sub>2</sub> kaynağı öğrenci olduğundan öğrenci sayısının artışına göre CO<sub>2</sub> konsantrasyonu da artmaktadır. Sınıf içinde öğrenci sayısı 25 kişi olduğunda CO<sub>2</sub> konsantrasyonu maksimum olmaktadır.



Şekil 15. Öğrenci sayısının CO<sub>2</sub> konsantrasyonuna etkisi

Figure 15. The effect of the number of students on the CO<sub>2</sub> concentration

### 3.2. Hava hızının ölçülmesi

#### 3.2. Measuring airspeed

Erzurum Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi havalandırma proje hesaplamalarında ASHRAE 62.1-2007 standardına göre dersliklerde öğrenci başına hava debisi 3.8 L/s olarak alınmıştır. LEED kriterlerinde iç mahallerin havalandırması için dersliklere verilen taze hava oranları standardının %30 daha fazlası olarak kabul edilmekte böylece bina kullanıcılarının daha sağlıklı ve konforlu bir ortama sahip olmaları sağlanmaktadır. Tablo 2’de verilen proje hesaplarında standarta göre dersliklerde normal hava debisi 1563.5 m<sup>3</sup>/h belirlenmiş iken LEED’e göre artış yapılarak 2032.6 m<sup>3</sup>/h olarak hesaplanmış ve dersliklerde havalandırma cihazları 3000 m<sup>3</sup>/h hava debisini sağlayacak şekilde imal edilmiştir. Daha fazla havalandırma ile iç mahal kirleticileri seyreltilerek salgının yayılmasına da yardımcı olunmaktadır. Mühendislik ve Mimarlık fakültesinde bir sınıf için gerekli taze hava miktarı Tablo 2’de verilmektedir.

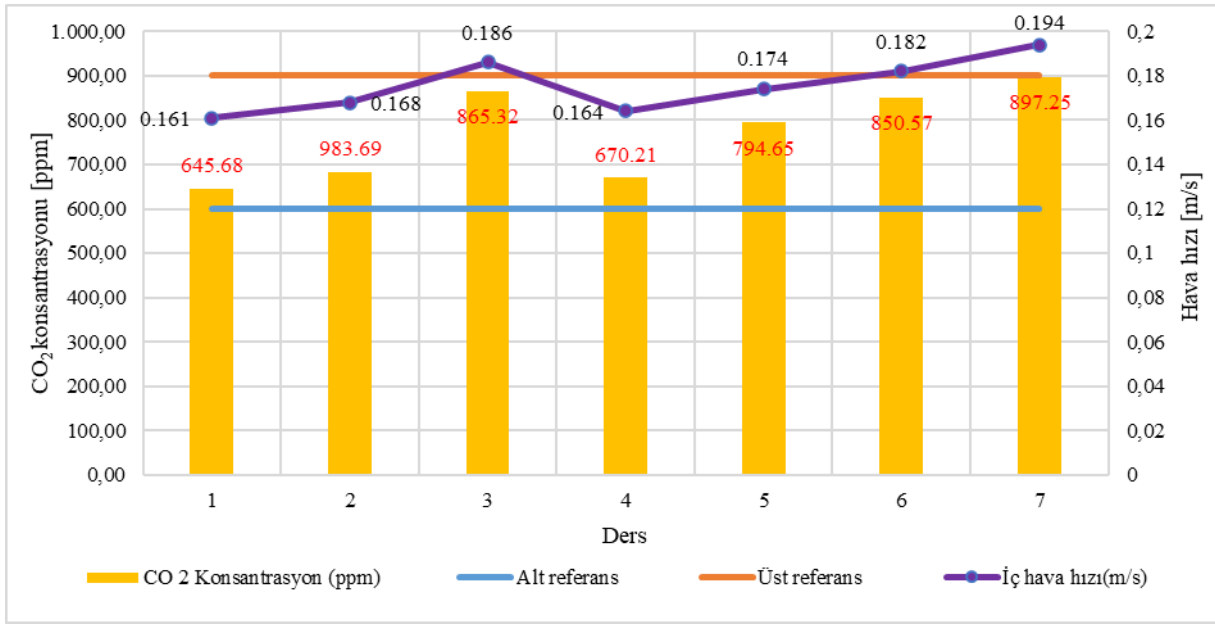
Tablo 2. Dersliklerde havalandırma debi hesabı

Table 2. Calculation of ventilation flow in classrooms

Mahal	Havalandırma sınıfı (Ashrae)	Alan (m <sup>2</sup> )	İnsan sayısı	Hava dağıtım verimliliği	ASHRAE 62.1 2007 Standartına göre havalandırma hesabı				LEED'e göre %30 ilaveli hava debisi (m <sup>3</sup> /h)	
					Kişi başına hava debisi (L/s öğrenci)	Toplam kişiye göre hava debisi (L/s)	Alan başına hava debisi (L/s m <sup>2</sup> )	Toplam alana göre hava debisi (L/s)		Toplam hava debisi (m <sup>3</sup> /h)
Derslik	Educational facilities: Lecture classroom	94.18	84	0.8	3.8	319.2	0.3	30	1563.5	2032.6

Dersliklerde yapılan ölçümlerde, hava hızlarının ASHRAE 62.1-2010 Standartlarına göre iç mahaller için belirlenen 0,20 m/s den daha düşük olduğu ortalama maksimum ve minimum değerleri 0.161 m/s ile 0.194

m/s aralığında değiştiği görülmektedir. Şekil 16’da görüldüğü üzere CO<sub>2</sub> konsantrasyonunun maksimum olduğu derste hava hızı da en yüksek değerde olmakta böylece iç hava kirleticilerinin seyreltilmesi sağlanmaktadır.

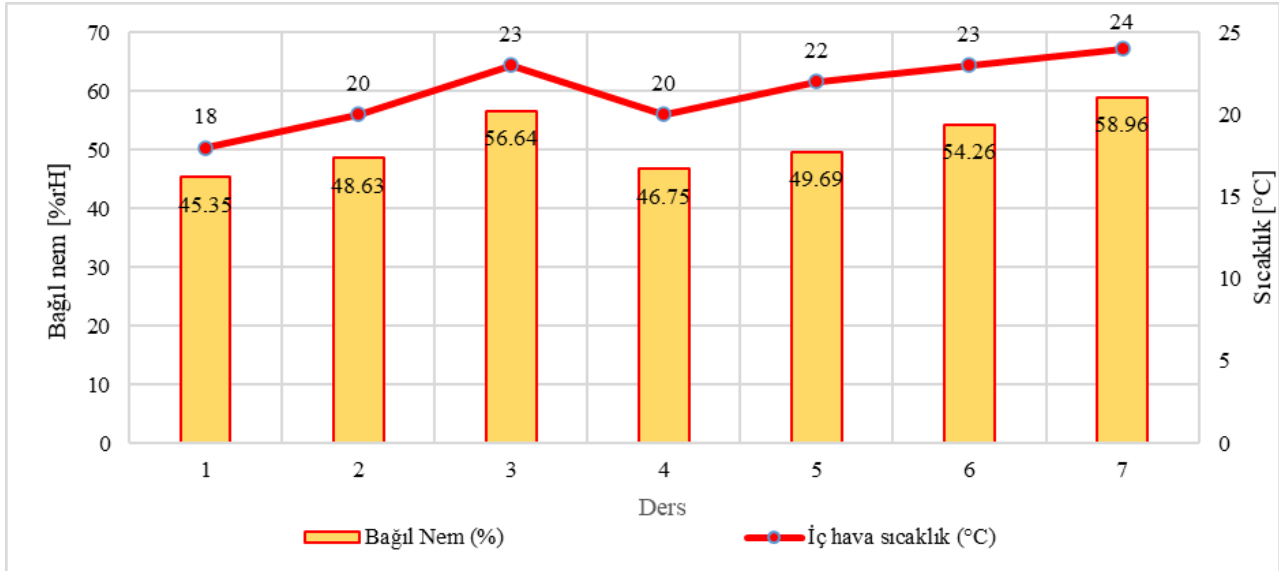


Şekil 16. Havalandırma hızı ve CO<sub>2</sub> konsantrasyonu  
Figure 16. Ventilation rate and CO<sub>2</sub> concentration

### 3.3. Sıcaklık ve bağıl nemin ölçülmesi

#### 3.3. Measuring temperature and relative humidity

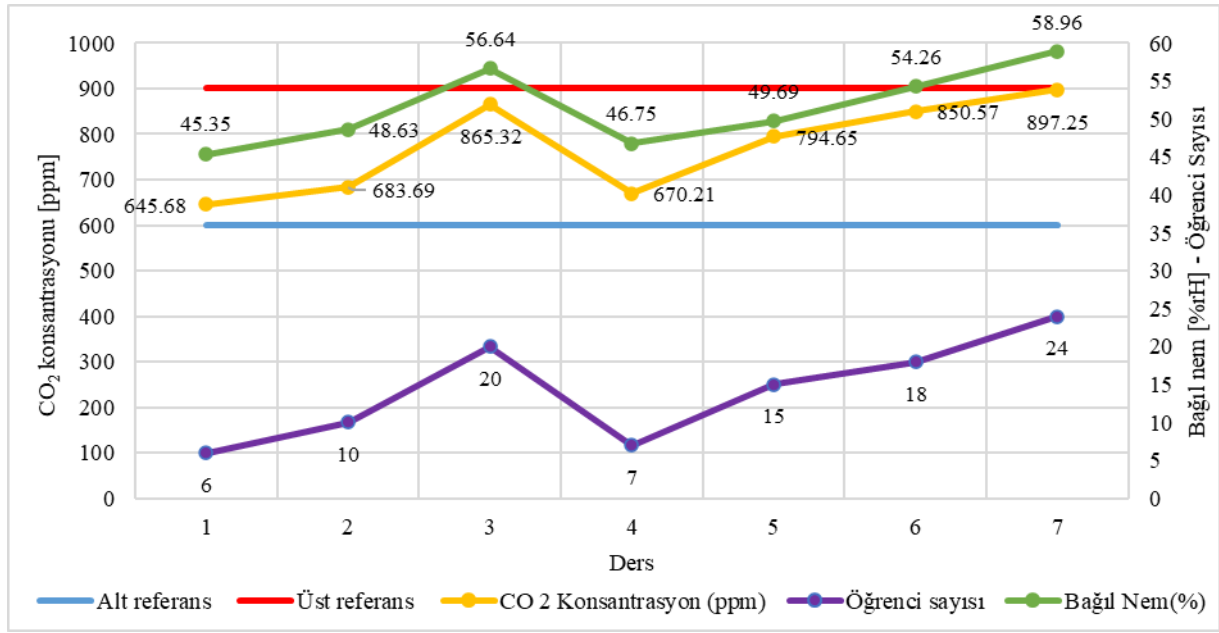
Şekil 17’de görüldüğü üzere dersliklerde ortalama iç ortam sıcaklığı 18 °C ile 24 °C aralığında değişmektedir. Nem oranı da minimum %45,35 rH ve maksimum %58,96 rH ortalama değerler olarak ölçülmüştür. Ölçüm sonuçlarının standartlarda verilen aralıkta olduğu belirlenmiştir.



Şekil 17. Bağıl nem ve iç hava sıcaklığı

Figure 17. Relative humidity and indoor air temperature

Dersliklerde, öğrenci sayısına bağlı olarak CO<sub>2</sub> konsantrasyonu yükselmekte ve bağıl nem de bu CO<sub>2</sub> yoğunluğunun maksimum olduğu derslerde en yüksek değerlerini almaktadır. Şekil 18’de CO<sub>2</sub> konsantrasyonu, bağıl nem ve öğrenci sayının etkileşimi gösterilmektedir.



Şekil 18.CO<sub>2</sub> konsantrasyonu, bağıl nem ve öğrenci sayısı

Figure 18. CO<sub>2</sub> concentration, relative humidity and number of pupils

#### 4 Tartışma ve sonuçlar

##### 4. Discussion and conclusions

Küresel pandemi olarak tanımlanan COVID-19 tipi salgınların önümüzdeki yıllarda da hayatımızı tehdit edeceği bellidir. Bu çalışmada, binalarda COVID-19 yayılımının engellemesi için bina tasarımlarının uluslararası standartlara uygun bütüncül bir bakış açısı ile salgın hastalıklara yol açan bakteri ve virüslere dayanımlı ilkelere göre tasarlanarak inşa edilmesi gerekliliği ortaya çıkmıştır. Eğitim binalarında derslerin kapalı ortamlarda çok sayıda öğrenci ile yapılması nedeniyle SARS-CoV-2 bulaşmasını kontrol altına almak zordur. Kapalı ortamlarda iç hava kalitesi pandeminin bulaş riskinin kontrolünde önemli bir faktördür. Bu nedenle dersliklerin SARS-CoV-2 bakımından güvenli olması için iç hava kalite parametrelerinin sürekli izlenmesi gerekir. Elde edilen sonuçlar özetlenecek olursa;

-Ders zamanında yapılan ölçümlerde CO<sub>2</sub> konsantrasyonu ortalama 645.68 ppm ile 897.25 ppm aralığında ölçülmüştür. Öğrenci sayısına bağlı olarak CO<sub>2</sub> konsantrasyonunda artış gözlenmiştir.

-Ders aralarında öğrenci sayısı ve pencere açılması durumuna bağlı olarak CO<sub>2</sub> emisyonu azalmaktadır. Böylelikle yeni derse girişte teneffüste kalan öğrenci sayısına da bağlı olarak derslikte yeni bir CO<sub>2</sub> konsantrasyonu oluşmaktadır. Ölçüm sonuçlarında sınıflarda ders saatinde ve aralarda yeterli temiz hava olduğu belirlenmiştir.

-Hava hızlarının ortalama maksimum ve minimum değerleri 0.161 m/s ile 0.194 m/s aralığında değiştiği belirlenmiştir. Hava hızının CO<sub>2</sub> konsantrasyonunu doğrudan etkilediği görülmektedir. Ayrıca binanın iklimlendirme ve havalandırma sistemlerinde kullanılan filtreler MERV 14 (Filtrelerin verimlilik derecesi) kategorisinde olduğundan iç hava kirlenmeleri en az seviyede ve hava hızının da standartın altında olduğu belirlenmiştir.

-Dersliklerde ortalama; iç ortam sıcaklığı 18°C-24°C aralığında, bağıl nemi ise %45.35 rH ile %58.96 rH aralığında ölçülmüştür. Sıcaklık değerinin yüksek olduğu derste nem oranı da maksimum değerdedir. Yine bağıl nemin yüksek olduğu ders saatlerinde CO<sub>2</sub> konsantrasyon yoğunluğunun da maksimum olduğu belirlenmiştir.

Koronavirüsün bulaşında etkili parametrelerle ilgili dersliklerde yapılan ölçümlerin standartların tavsiye ettiği değerlerden daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Bu veriler LEED sertifikalı binalarda ders ortamlarının pandemiye karşı daha güvenli olduğunu göstermektedir. Ayrıca pandemi sırasında kış mevsiminin uzun sürdüğü ve ders zamanında pencerelerinin sürekli açık tutulmadığı göz önüne alındığında yeterli havalandırma ile

SARS-CoV-2 virüs enfeksiyonunun yayılmasının azaltılabileceği de kanıtlanmıştır. Bu çalışma verilerinden yeşil binaların pandemiye karşı bir yüz maskesi gibi olduğu ifade edilebilir.

Gelecek çalışmalarda; küresel COVID-19 virüsünün mutasyona uğramasından dolayı bulaş hızı ve yolları değiştiği için LEED sertifikalı binalarda HVAC sistemlerinde UV lambalı sistemlerin kullanılmasının değerlendirilmesi yapılabilir. Uluslararası normlarda sağlıklı bina sertifikasının kullanıcıların sağlık açısından güvenli oldukları duygusu ile ilgili anket çalışmaları da yapılabilir.

### **Yazar katkısı**

*Author contribution*

Yazar çalışmanın tamamını kendisi yapmıştır.

### **Etik beyanı**

*Declaration of ethical code*

Bu makalenin yazarı bu çalışmada kullanılan materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve / veya yasal-özel izin gerektirmediğini beyan etmektedir.

### **Çıkar çatışması beyanı**

*Conflicts of interest*

Yazar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

### **Kaynaklar**

*References*

- Allen, J. G., MacNaughton, P., Laurent, J. G. C., Flanigan, S. S., & Eitlend, E. S. (2015). Green buildings and health. *Current Environmental Health Reports*, 2, 250–258. <https://doi.org/10.1007/s40572-015-0063-yhrae>
- ASHRAE Standard 52.2. (2007). *Method of testing general ventilation air-cleaning devices for removal efficiency by particle size*. American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Inc., Atlanta
- ASHRAE Standard 62. (1989). *Ventilation for acceptable indoor air quality*. American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Inc., Atlanta
- ASHRAE Standard 62.1. (2010). *Ventilation for acceptable indoor air quality*. American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Inc., Atlanta
- Bakırcı, K., Özyurt, Ö., Yılmaz, M., & Erdoğan, S. (2006). Erzurum ili enerji çalışmaları için iklim ve meteoroloji verileri. *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 95, 19-26
- Bas, E. (2004). *Indoor air quality- a guide for facility managers* (2nd ed). The Fairmont Press. [https://www.academia.edu/34932675/Indoor\\_air\\_quality\\_a\\_guide\\_for\\_facility\\_managers](https://www.academia.edu/34932675/Indoor_air_quality_a_guide_for_facility_managers)
- Beggs, C.B. (2020). Is there an airborne component to the transmission of COVID-19?: a quantitative analysis study. *MedRxiv*, 1. <https://doi.org/10.1101/2020.05.22.20109991>
- Bennett, D. H., McKone, T. E., Evans, J. S., Nazaroff, W. W., Margni, M. D., Jolliet, O., & Smith, K. R. (2002). Defining intake fraction. *Environmental Science and Technology*, 36(9), 207A–211A. <https://doi.org/10.1021/es0222770>
- Chowdhury, M. A., Shuvho, M. B. A., Shahid, M. B. A., Haque, M. A., Kashem, M. A., Lam, S. S., Ong, H. C., Uddin, M. A., & Mofijur, M. (2021). Prospect of biobased antiviral face mask to limit the coronavirus outbreak. *Environmental Research*, 192, 110294. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.110294>
- Cleanroom. (2020). *Yaşam bilimleri ve temiz oda teknolojileri gazetesi*, 22. <https://cleanroomnews.org/sayi-22>
- Coleman, K. K., Nguyen, T. T., Yadana, S., Hansen-Estruch, C., Lindsley, W. G., & Gray, G. C. (2018). Bioaerosol sampling for respiratory viruses in singapore's mass rapid transit network. *Scientific Reports*, 8, 17476. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-35896-1>

- Di Gilio, A., Palmisani, J., Pulimeno, M., Cerino, F., Cacace, M., Miani, A., & de Gennaro, G. (2022). CO<sub>2</sub> concentration monitoring inside educational buildings as a strategic tool to reduce the risk of Sars-CoV-2 airborne transmission. *Environmental Research*, 202, 111560. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111560>.
- Doremalen, N. V., Busahmaker, T., & Munsater, V.J. (2013). Stability of Middle East respiratory syndrome coronavirus (MERS-CoV) under different environmental conditions. *European communicable disease bulletin*, 18(38). 1-4. <https://doi.org/10.2807/1560-7917.es2013.18.38.20590>
- Doremalen, N. V., Bushmaker, T., Morris, D. H., Holbrook, M. G., Gamble, A., Williamson, B. N., Tamin, A., Harcourt, J. L., Thornburg, N. J., Gerber, S. I., Lloyd-Smith, J. O., de Wit, E., & Munster, V. J. (2020). Aerosol and surface stability of SARS-CoV-2 as compared with SARS-CoV-1. *The New England Journal of Medicine*, 382(16).1564-1567. <https://www.nejm.org/doi/10.1056/NEJMc2004973>
- Gan, V. J. L., Deng, M., Tan, Y., Chen, W., & Cheng, J.C.P. (2019). BIM-Based framework to analyze the effect of natural ventilation on thermal comfort and energy performance in buildings. *Energy Procedia*, 158, 3319–3324. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2019.01.971>
- Guo, Y. R., Cao, Q. D., Hong, Z.-S., Tan, Y.-Y., Chen, S. D., Jin, H. J., Tan, K. S., Wang, D. Y., & Yan, Y. (2020). The Origin, transmission and clinical therapies on coronavirus disease 2019 (COVID-19) Outbreak-An Update on the Status. *Military Medical Research*, 7, 11. <https://doi.org/10.1186/s40779-020-00240-0>
- Hedge, A., Miller, L., & Dorsey, J. (2014). Occupant comfort and health in green and conventional university buildings. *Work*, 49(3), 363–72. <https://doi.org/10.3233/WOR-141870>
- Liu, L., Li, Y., Nielsen, P. V., Wei, J., & Jensen, R. L. (2017). Short-range airborne transmission of expiratory droplets between two people. *Indoor Air*, 27(2), 452-462. <https://doi.org/10.1111/ina.12314>
- Marotta, A., Porras-Amores, C., & Rodríguez Sánchez, A. (2021). Resilient built environment: critical review of the strategies released by the sustainability rating systems in response to the COVID-19 pandemic. *Sustainability*, 13(20), 11164. <https://doi.org/10.3390/su132011164>
- Monto, A. S. (1974). Medical reviews. Coronaviruses. *The Yale Journal of Biology and Medicine*, 47(4), 234–251.
- Morawska, L., Tang, J. W., Bahnfleth, W., Bluysen, P. M., Boerstra, A., Buonanno, G., Cao, J., Dancer, S., Floto, A., Franchimon, F., Haworth, C., Hogeling, J., Isaxon, C., Jimenez, J. L., Kurnitski, J., Li, Y., Loomans, M., Marks, G., Marr, L. C., Mazzarella, L., Melikov, A. K., Miller, S., Milton, D. K., Nazaroff, W., Nielsen, P. V., Noakes, C., Peccia, J., Querol, X., Sekhar, C., Seppänen, O., Tanabe, S.-I., Tellier, R., Tham, K. W., Wargocki, P., Wierzbicka, A., & Yao, M. (2020). How can airborne transmission of COVID-19 indoors be minimised? *Environment International*, 142, 105832. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105832>.
- Nie, J., Li, Q., Wu, J., Zhao, C., Hao, H., Liu, H., Zhang, L., Nie, L., Qin, H., Wang, M., Lu, Q., Li, X., Sun, Q., Liu, J., Fan, C., Huang, W., Xu, M., & Wang, Y. (2020). Establishment and validation of a pseudovirus neutralization assay for SARS-CoV-2. *Emerging Microbes & Infections*, 9, 680–686. <https://doi.org/10.1080/22221751.2020.1743767>
- Nishiura, H., Oshitani, H., Kobayashi, T., Saito, T., Sunagawa, T., Matsui, T., Wakita, T., T, M. C. R., & Suzuki, M. (2020). Closed environments facilitate secondary transmission of coronavirus disease 2019 (COVID-19). *MedRxiv*, 3. <https://doi.org/10.1101/2020.02.28.20029272>
- Peng, X., Xu, X., Li, Y., Cheng, L., Zhou, X., & Ren, B. (2020). Transmission routes of 2019-NCov and controls in dental practice. *International Journal of Oral Science*, 12, 1–6. <https://doi.org/10.1038/s41368-020-0075-9>
- Peng, Z., & Jimenez, L. J. (2021). Exhaled CO<sub>2</sub> as a COVID-19 infection risk proxy for different indoor environments and activities. *Environmental Science & Technology Letters*, 8(5), 392-397. <https://doi.org/10.1021/acs.estlett.1c00183>
- Rehva. (2020). *COVID-19 kılavuz belgesi*. Federation of European Heating, Ventilation and Air Conditioning Associations. [https://www.rehva.eu/fileadmin/user\\_upload/REHVA\\_COVID-19\\_guidance\\_document\\_V4\\_23112020.pdf](https://www.rehva.eu/fileadmin/user_upload/REHVA_COVID-19_guidance_document_V4_23112020.pdf)
- Sporr, A., Zucker, G., & Hofmann, R. (2019). Automated HVAC control creation based on building information modeling (bim): Ventilation system. (*IEEE*), 7, 74747–74758. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2919262>



- Türk Toraks Derneği. (2020). *COVID-19 dünyasında kapalı alanlar toplantısı*. [https://www.toraks.org.tr/site/sf/documents/pre\\_migration/e7862032a9e89031acf8d9d817752532dcf6d7e27115c6225ba0c1da30852393.pdf](https://www.toraks.org.tr/site/sf/documents/pre_migration/e7862032a9e89031acf8d9d817752532dcf6d7e27115c6225ba0c1da30852393.pdf)
- U.S. CDC. (2015). *Hierarchy of controls. centers for disease control and prevention*. <https://www.cdc.gov/niosh/docs/2015-197/pdfs/2015-197.pdf>
- U.S. Green Building Council (USGBC). (2013). *LEED reference guide for building operations and maintenance, v4*. <https://www.usgbc.org/guide/om>
- U.S. Green Building Council (USGBC). (2020). *Releases new LEED guidance to address COVID-19 and support buildings with reopening strategies*. <https://www.usgbc.org/articles/usgbc-releases-new-leed-guidance-address-covid-19-and-support-buildings-reopening>
- Villanueva, F., Notario, A., Cabanas, B., Martín, P., Salgado, S., & Gabrield, M. F. (2021). Assessment of CO2 and aerosol (PM2.5, PM10, UFP) concentrations during the reopening of schools in the COVID-19 pandemic: the case of a metropolitan area in Central-Southern Spain. *Environmental Research*, 197, 111092. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111092>.
- Vozzola, M. (2020). The support of graphic representation for the analysis of the distribution and the preparation of temporary works in the post pandemic period. *VITRUVIO- International Journal of Architectural Technology and Sustainability*, 5(2), 39-54. <https://doi.org/10.4995/vitruvio-ijats.2020.14480>
- Wehbe, R., & Shahrour, I. (2019). Use of bim and smart monitoring for buildings' indoor comfort control. *MATEC Web Conferences*, 295, 02010. <https://doi.org/10.1051/matecconf/201929502010>
- Wehbe, R., & Shahrour, I. (2021). Assessment and improvement of anti-COVID-19 measures in higher education establishments. *Sustainability*, 13(11), 5989. <https://doi.org/10.3390/su13115989>
- World Health Organization (WHO). (2020) *Rolling updates on coronavirus disease (COVID-19)*. <https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/events-as-they-happen>
- World Health Organization (WHO). (2020). *Novel coronavirus (2019-NCoV): Situation Report 1*. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/330760>
- YÖK. (2020, January 02). *Yüksek öğretim kurumlarında sağlıklı ve temiz ortamların geliştirilmesi kılavuzu*. <https://www.yok.gov.tr/Sayfalar/Haberler/2020/yuksekogretim-kurumlarinda-saglikli-ve-temiz-ortamlarin-gelistirilmesi-kilavuzu-yayimlandi.aspx>