

MEKANİK HAVALANDIRMALI SINIFLARDA HAVALANDIRMA DEBİSİNİN İÇ HAVA KALİTESİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ

Numerical Investigation of The Ventilation Flow Rate Effect on The Indoor Air Quality of Mechanically Ventilated Classrooms

Nur Çobanoğlu
Çağrı Şahin
Ziya Haktan Karadeniz
Sait Cemil Sofuoğlu
Aysun Sofuoğlu

ÖZET

Okullar öğretmen ve çocukların evlerinden sonra en çok vakit geçirdikleri iç çevredir. Sınıflardaki iç hava kalitesi (İHK), öğrencilerin ve öğretmenin sağlık, konfor, akademik performans ve dikkat yeteneğini etkilemektedir. Bu nedenle sağlıklı bir ortam sağlamak için uygun bir havalandırma tasarımı oluşturmak çok önemlidir. Bu çalışma mekanik havalandırma sistemine sahip bir derslik için farklı havalandırma debilerinin iç hava kalitesi üzerindeki etkisini sayısal olarak incelemeyi amaçlamaktadır. Çalışma, öğrencilerin 9-11 yaş aralığındaki çocuklardan elde edilen Türk antropometrik verileri (eksik boyutlar için Amerikan antropometrik verileri) kullanılarak temsil edildiği üç boyutlu bir geometride kararlı akış koşulları için yapılmıştır. Ayrıca, mobilya, sıra, masa vb. ayrıntılar da geometriye dahil edilerek akış koşulları önceki çalışmalara göre daha gerçekçi şekilde incelenmiştir. Sayısal modelde farklı çalışma durumları (menfez açısı; yatayda 22° ve düşeyde 60°, hava debisi; en az 3,7 ve en fazla 8 l/s/kişi olmak üzere) için giriş sınır şartı değiştirilmiş ve çıkış sınır şartı açıklık olarak ayarlanmıştır. Değerlendirme ölçütü olarak sınıflardaki hava yaşına bağlı hesaplanan hava değişim verimi ve her bir öğrenci özelinde belirlenen yerel hava değişim değeri kullanılmıştır. Böylece sınıf içindeki konumlarına göre öğrencilerin maruz kaldığı koşullar belirlenerek, maruziyet açısından farklılıklar sadece havanın hızı ve yaşı ile değil yerel hava değişim değeri ve hava değişim verimi açısından da incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: İç hava kalitesi, okullar, havalandırma tasarımı, hesaplamalı akışkanlar dinamiği, işletme koşulları.

ABSTRACT

Schools are the indoor environment where teachers and children spend the most time after their homes. Indoor air quality (IAQ) in classrooms affects students' and teachers' health, comfort, academic performance, and attention ability. Therefore, creating an appropriate ventilation design is essential to provide a healthy environment. This study aims to numerically investigate the effect of different ventilation rates on indoor air quality for a classroom having mechanical ventilation system. The study was conducted for steady flow conditions in a 3D geometry, in which students were represented using Turkish anthropometric data (American anthropometric data for missing dimensions) obtained from children aged 9-11. Additionally, flow conditions were investigated more realistically than in previous studies by including details such as furniture, desks and tables etc. in the geometry. In the numerical model, the inlet boundary condition has been changed for different input rates (air inlet angle; horizontally 22° and vertically 60°, air flow rate; at least 3.7 and at most 8 l/s/person) and the outlet boundary condition has been set as opening. As the evaluation criteria, the air change efficiency calculated based on the age of air in the classrooms and the local air change index determined for each student were used. Thus, the conditions that students are exposed to were

determined according to their position in the classroom, and the differences in terms of exposure were examined not only in terms of air velocity and age of air, but also in terms of local air change index and air change efficiency.

Key Words: Indoor air quality, schools, ventilation design, computational fluid dynamics, operating conditions.

1. GİRİŞ

Evlerinden sonra okullar çocukların en çok vakit geçirdikleri ikinci iç çevredir. Burada geçirdikleri zaman 9 saate kadar ulaşabilmektedir [1]. Dolayısıyla, okullardaki iç hava kalitesi çocuk sağlığı açısından önem arz eden kritik bir konudur. Bununla birlikte, okullarda iç hava kalitesinin çeşitli sebeplerle istenen düzeylerde olmadığı da bilinmekte ve bu sebepler arasında, birim alana düşen yüksek kişi sayısı, yetersiz havalandırma, yetersiz bakım ve temizlik önemli faktörler olarak sayılmaktadır [2,3]. Ek olarak, çocuklarda bağışıklık, solunum, sindirim, sinir ve üreme sistemlerinin gelişimi tamamlanmamış olup henüz tam oluşmamış bazı anatomik bariyerler, organlarını ve gelişimlerini etkileyebilecek toksik maddelerin girişine izin verebilir; dolayısıyla çocuklar kirleticilerin etkilerine daha açık ve hassastırlar [4]. Öte yandan yetişkinlerle karşılaştırıldığında vücut büyüklüklerine göre daha fazla hava solumaktadırlar [5]. Alerji ve alerjik astım ülkemiz de dâhil olmak üzere gelişmekte olan ve gelişmiş ülkelerde yaygınlığı artan bir hastalıktır [6]. Okullarda iç havada ölçülen kirleticilerin neredeyse tamamı astım ile ilişkilendirilmiştir [7]. Diğer etkiler arasında baş ağrısı, baş dönmesi, yorgunluk, odaklanmada zorluk, göz-burun-boğaz mukozasında ve deride tahriş, burun tıkanıklığı, alerjik hassasiyet gelişimi, solunum zorluğu, alerjik rinit, atopik dermatit gibi akut ve kronik etkiler yer almaktadır [8,9]. Günümüzde en çok kronik hastalıkları olan ve solunum zorluğu çeken kişileri etkileyen Koronavirüs (SARS-CoV-2) salgını (COVID-19) tüm dünyada olduğu gibi ülkemizi de etkilemiştir. Sosyal mesafenin korunamadığı, okul gibi iç ortamlarda ihtiyaç duyulan taze hava miktarının artırılması bu denli etki yaratan salgınlarda koruyucu önlemler için kilit rolü oluşturmaktadır [10,11]. Sınıf içerisinde konuşma, öksürme, hapşırma ve gülme gibi doğal yollarla havaya yayılan ve havada asılı kalan virüs yüklü aerosollerin ortamdaki uzaklaştırılması etkili havalandırma sistemleri ile sağlanabilmektedir [12]. Bu nedenle havalandırma, sınıflarda iyi iç hava kalitesi oluşturulması ve öğrenciler arası bulaşın minimize edilmesi açısından hayati önem arz etmektedir. Sağlık etkilerinin yanında iç hava kirliliği çocukların akademik başarısını (performansını) ve okula devamlarını hem dolaylı hem de doğrudan etkilemektedir [5,13].

Türkiye’de okul iç hava kalitesi hakkında yayınlanan araştırma makalelerinde CO₂, partikül madde (PM), uçucu organik madde (UOB) ve yarı uçucu organik maddelerin (YUOB) konsantrasyonları incelenmiştir [14-21, 1, 22-24]. Ekmekçioğlu ve Keskin [19] İstanbul’da bulunan beş ilköğretim okulundaki iç hava ortalama PM₁₀ ve PM_{2,5} konsantrasyonlarını sırasıyla 222 (aralık: 132-290) µg/m³ ve 71 (aralık: 46-95) µg/m³ olarak bildirmişlerdir. Menteşe vd. [21] ev, ofis, anaokulu ve bir ilkokuldaki biyoaerosol, UOB ve PM_{2,5} konsantrasyonlarını araştırmışlardır. Ankara’nın Beytepe ilçesindeki etrafındaki trafik yoğunluğu düşük olan bir ilkokulun üç sınıfında yapılan çalışmada PM_{2,5} için ilkokulda mevsimsel değişkenlik düşük, anaokulunda ölçülen PM konsantrasyonları hariç bütün ortalama değerler >25 µg/m³ olarak bildirilmiştir. İzmir’de bir ortaokul sınıfında gerçekleştirilen önceki çalışmamızda ısı geri kazanımlı havalandırma sistemi kurulumu öncesi ve sonrası iç çevre kalitesi araştırılmıştır [20]. Sınıfta mekanik havalandırma kurulumu öncesi okul saatlerindeki toplam uçucu bileşik konsantrasyonu aralığı 104-222 ppb, PM_{2,5} aralığı 240-666 µg/m³, CO₂ aralığı ise 958-3775 ppm olarak bulunmuştur. Kütahya’da gerçekleştirilen bir çalışmada, kırsal ve kentsel okullardaki hava kalitesi değerlendirilmiştir [14]. PM ve CO₂ değerleri kırsal bölgelerde, kentsel bölgelere göre daha az ölçülmüşken, tüm ölçümler göz önüne alındığında sınır değerlerin çok üzerinde konsantrasyonlar ölçüldüğü görülmüştür. Okul iç hava kalitesinin incelendiği güncel bir çalışmada ise Şanlıurfa’da doğal havalandırma ile şartlanan beş okulun tüm sınıflarındaki PM ve CO₂ konsantrasyonları değerlendirilmiştir. Çalışmanın sonuçlarına göre sınıflarda ısınma sezonuna ait medyan CO₂ değerlerinin 2000 ppm üzerine çıkarak 3000 ppm seviyesine ulaştığı tespit edilmiştir. Ortalama PM_{2,5} ve PM₁₀ konsantrasyonlarının da sırasıyla 35,6 ± 15,8 µg/m³ ve 56 ± 12,6 µg/m³ olduğu tespit edilmiştir [1]. İç Anadolu bölgesinde, farklı okulları içeren toplamda 34 sınıfı kapsayan bir çalışmada

PM, CO₂, CO ve formaldehit tüm öğretim yılı boyunca izlenmiştir. Sonuçlara göre, sadece bir sınıfın dışında ortalama değerler sınır değerlerin üzerinde yer almıştır [15]. Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ) 2021 yılında dış hava için verilen sınır değerleri güncellemiştir. Yeni sınır değerler yıllık ortalama PM_{2,5} için 5 µg/m³ ve PM₁₀ için 15 µg/m³ olarak belirtilmiştir. Ayrıca, 24-saatlik PM_{2,5} ve PM₁₀ maruziyetinde 3-4 günü geçmeyecek dış hava sınır değerleri sırasıyla 15 µg/m³ ve 45 µg/m³ olarak verilmiştir [25]. Pek çok ülke tarafından, CO₂ standart veya rehber değeri olarak 800 ppm ve 1000 ppm kabul edilmiştir. Sınır-etki değeri henüz önerilmemiş olmasına rağmen, 1000 ppm üzeri değerlerin insan sağlığını ne denli etkilediği uzun yıllardır bilinmektedir [26]. Öğrencilerin sağlığını ve akademik performanslarını etkileyecek düzeylere ulaşabilen bu kirleticileri gidermenin en etkili yolunun ise mekanik havalandırma olduğu belirtilmiştir [27].

Okullarda enerji tüketiminin araştırıldığı bir derleme çalışmasının sonucuna göre, enerji tüketiminin %47'si ısıtma ile alakalı olmasına karşın sadece %9'u havalandırmadan kaynaklanmaktadır [28]. Enerji tüketimini konu alan çalışmalar ısı geri kazanımlı (IGK) mekanik havalandırma sistemlerinin %30-%40 oranında enerji tasarrufu sağladığını göstermiştir [29-31]. İtalya'daki bir ilkokulda IGK mekanik havalandırma kurulumu öncesi ve sonrasında CO₂ ve PM₁₀ konsantrasyonlarının değişimi araştırılmıştır [13]. Kurulum öncesinde CO₂ konsantrasyonu 1756 ppm iken sonrasında 1002 ppm'e gerilemiştir. PM₁₀ konsantrasyonu mekanik havalandırma ile azalma göstermiş olsa da hala dış havadan daha yüksek kalmıştır (iç/dış oranı aralığı: 1,1-2,0). Danimarka'daki bir ilkokulun sınıfına kurulan mekanik havalandırmanın PCB konsantrasyonlarına olan etkisini incelenmiştir [32]. Sınıftaki hava değişim hızı kurulumdan önce 0,2 saat⁻¹ iken kurulumla birlikte 5,5 saat⁻¹'e yükselmiştir. Havalandırma devredeyken ortalama 1052 ng/m³ olan konsantrasyon havalandırmanın devreden çıkarılmasıyla 1554 ng/m³ seviyesine çıkmıştır. Bir başka çalışmada ise mekanik havalandırma kurulumunun YUOB derişimi üzerindeki etkisini araştırılmıştır [33]. Hesaplamalı yöntemlerle hava değişim oranının iç ortam gaz ve partikül fazı YUOB giderimi üzerine etkisi belirlenmiştir. Araştırma sonucuna göre, hava değişim oranının 0,6 saat⁻¹'den 1,8 saat⁻¹'e çıkarılmasıyla hem gaz fazı hem de partikül fazında logK_{OA} değeri 9 ila 13 arasında olan YUOB bileşiklerinin derişiminde %60 oranında azalma sağlanmıştır. Partikül maddelerin çökme hızları ise YUOB gideriminin birincil etmeni olarak ifade edilmiştir. Ülkemizde gerçekleştirilen iyileştirme çalışmasında, IGK havalandırma sistemlerinin CO₂, PM_{2,5} ve toplam uçucu organik bileşik (TUOB) düzeylerine etkisi incelenmiştir. IGK kurulumu, CO₂ miktarının %30 ve PM_{2,5} miktarının %29 oranında azalmasını sağlarken TUOB derişimlerinde herhangi bir değişiklik gözlenmemiştir [20].

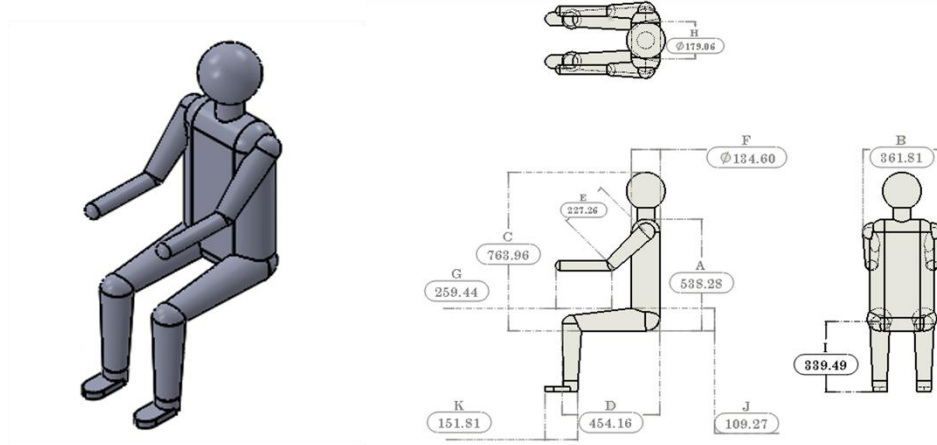
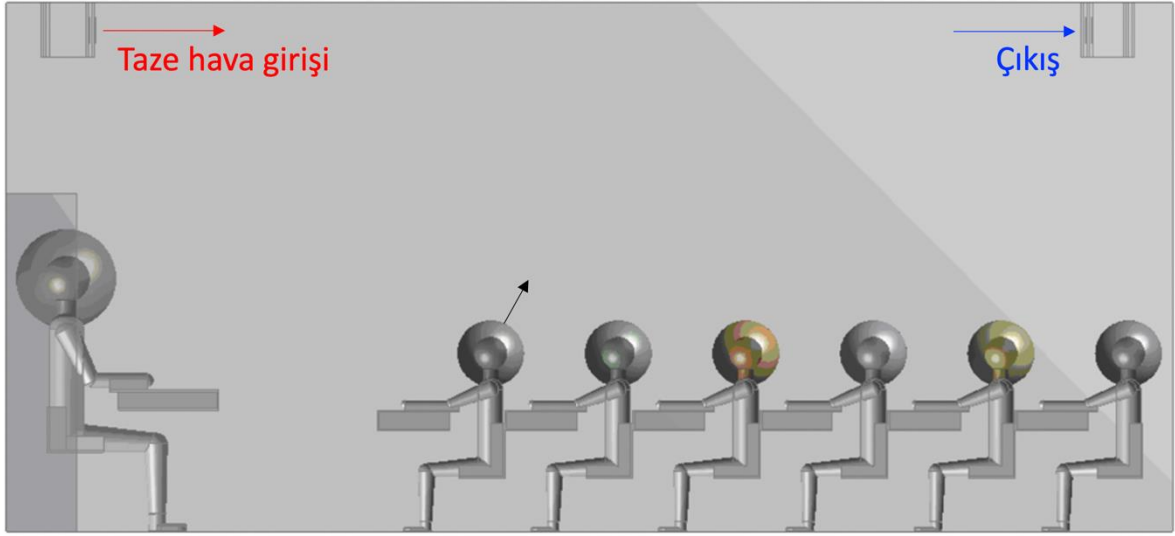
Mekanik havalandırmanın iç hava kalitesine etkisinin araştırıldığı çalışmalarda deneysel veriler ve modellemeler kullanılmıştır [34]. Deneysel veriler üzerinden havalandırma verimliliğini ve iç hava kalitesine etkisini değerlendirmek maliyetli ve meşakkatli bir süreçtir. Mekanik havalandırma üniteleri içeren ortamlarda, havanın ortam içerisindeki hareketini, hızını ve yaşını izlemek amacıyla hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) modeli kullanılmaktadır [35, 36]. 20. yüzyıl'ın ortalarında havacılık endüstrisi ve hava durumu tahmini için kullanılan HAD analizleri, muhtemelen 1970'lerde ilk olarak bina havalandırma sistemleri için kullanıldı [37]. Kütle korunum, momentum, enerji ve süreklilik denklemleri 3 boyutlu sistemlere uyarlamak ve karmaşık Navier-Stokes denklemlerini çözmek amacıyla günümüzde birçok yazılım (ANSYS, OpenFOAM, PHOENIX, STAR CCM+ vb.) geliştirilmiştir. HAD analizleri sıcaklık ve hız gibi değişkenlerin hem uzamsal hem de zamansal alan çözümlerini sağlar ve hesaplama alanındaki kirleticilerin dağılımını tahmin eder. Aynı zamanda, iç hava kalitesini, termal konforu, yangın ve duman yayılımını ve binaların etrafındaki rüzgâr akışını tahmin etmek için de kullanılabilir [35]. Ülkemizde mekanik havalandırma sistemlerinin iç hava kalitesine etkisini HAD modeli ile değerlendiren çalışmalar azdır [38, 20, 40-43]. Çetin vd. [38] yaptıkları çalışmada, boş test odası içerisinde havalandırma giriş-çıkışlarının konumunu değiştirerek ince partiküllerin dağılımına ve giderimine olan etkisini HAD modeli ile çalışmışlardır. Havalandırma giriş/çıkışlarının (difüzörlerin), giderime en çok verim sağlayan konumunu ve havalandırma hızının giderim üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Bir diğer çalışma ise grubumuzca yapılan ve IGK mekanik havalandırma kurulumunun HAD modeli ile optimize edildiği, okullarda iç hava kalitesi iyileştirme çalışmalarının yapıldığı araştırmadır [20]. Kurulum öncesi difüzör sayısı ve konumu gibi tasarım kriterleri HAD analizi ile değerlendirilmiştir. Bu sonuçlara göre öğrenciler üzerinde olması gereken en yüksek hava hızı belirlenmiştir. Belirlenen taze hava debisinde yataydaki ve düşeydeki en uygun menfez üfleme açıları araştırılmıştır. CO₂ tabanlı model, sınıftaki ortalama hava yaşı ile her öğrencinin kişisel olarak maruz kaldığı kirletici yükünü (yerel konforsuzluk) belirlemede kullanılmıştır.

Bu çalışmada ise, önceki çalışmanın geometrisi detaylı olarak tekrar düzenlenmiştir. Geometri içerisinde yer alan öğretmen ve öğrencileri (9-11 yaş grubunu) temsil edecek Türk antropometrik verileri (eksik boyutlar için Amerikan antropometrik verileri) kullanılmıştır. Ayrıca, mobilya, sıra ve sıra altı boşluklar da geometriye dahil edilmiştir. Sayısal modelde çalışma durumları çıkış sınır şartı açıklık olacak şekilde farklı giriş debileri (menfez açısı; yatayda 22° ve düşeyde 60° , hava debisi; en az 3,7 ve en fazla 8 l/s/kişi olmak üzere) için hava değişim verimini hesaplama amacıyla parametrik olarak yeniden çözdürülmüştür. Sadece hava hızı ve yaşı değil yerel hava değişim değeri ve hava değişim verimi değerlendirilerek sınıf içindeki konumlarına göre öğrenciler arasında maruziyetin ve maruziyet açısından farklılığı incelenmiştir.

2. YÖNTEM

Bu çalışma farklı havalandırma debilerinin iç hava kalitesi üzerindeki etkisini sınıflardaki hava yaşına bağlı olarak hesaplanan hava değişim verimi ve her bir öğrenci özelinde belirlenen yerel hava değişim değeri açısından sayısal olarak incelemeyi amaçlamaktadır. Sınıf ortamındaki hız ve hava yaşı dağılımı daha önce farklı havalandırma tasarımları için incelenmiştir [20]. Bu çalışmada ise daha önceki modelden farklı olarak geometri içerisinde yer alan öğrencileri (9-11 yaş grubunu) temsil edecek Türk antropometrik verileri [44] ve ulaşılamayan değerler içinse Amerikan antropometrik verilerinden [45] yararlanarak her iki veri setinin ortalaması kullanılarak öğrenciler geometriye eklenmiştir (Şekil 1). Ayrıca sınıfın geometrik modeline sıra ve sıra altı boşluklar ile birlikte havalandırma tesisatının temel unsuru olan dağıtım ve toplama kanalları da eklenmiştir. Sayısal modeli oluşturmak ve belirlenen sınır şartlarında korunum denklemlerinin çözümü için ticari bir yazılım olan ANSYS CFX kullanılmıştır. Isı transferi modellenmemiş ve türbülans etkileri k-ε türbülans modeli kullanılarak hesaplanmıştır.

Okul binaları için uluslararası ve yerel standartlar, kişi başına ve/veya birim alan başına minimum taze hava ve/veya maksimum CO₂ konsantrasyonu ile ilişkilendirilmiştir [46]. İngiltere'de Building Bulletin 101 tarafından minimum taze hava debisi 3 l/s/kişi olarak önerilirken gerektiğinde bu değer 8 l/s/kişi'ye kadar çıkabilmektedir. Ayrıca sınıf içerisindeki CO₂ konsantrasyon limitleri için ise (1) uzun ara verilmeyen süreler için 1500 ppm'in altında tutulmasını, (2) okul günü boyunca 5000 ppm'in altında tutulmasını ve (3) herhangi bir anda 1000 ppm'in altına düşürülebilmesini önermiştir [47]. Ekren vd. [20] pilot sınıftaki iç hava CO₂ konsantrasyon değişimini incelemek için CO₂ kütle dengesini kullanmıştır. Farklı akış hızları ile çalışılan modelden elde edilen CO₂ konsantrasyon değerlerinin Building Bulletin 101 standardına uygunluğu araştırılmış ve bu kapsamda CO₂ konsantrasyonunu belirtilen seviyelerin altında tutan en düşük ve en yüksek debi sırasıyla 3,7 l/s/kişi ve 8 l/s/kişi olarak belirlenmiştir. Bu çalışma kapsamında geliştirilen sayısal modelde ise çalışma durumları çıkış sınır şartı açıklık olacak şekilde farklı giriş debileri (3,7, 5,83 ve 8 l/s/kişi olmak üzere 413, 653 ve 893 m³/h) için hava değişim verimini hesaplama amacıyla parametrik olarak çözdürülmüştür. Temiz havayı sınıfa düzgün bir şekilde dağıtmak için üç ayrı parçalı ($22^\circ/0^\circ/-22^\circ$) 44° 'lik ayrışan bir giriş ızgarası seçilmiştir. Menfez açısı düşeyde 60° olarak belirlenmiştir. Toplam taze hava giriş menfezlerine eşit olarak dağıtılmıştır.



Şekil 1. Sınıf geometrisi (Boyutlar mm olarak tanımlanmıştır.)

Giriş menfezinden odaya giren havanın belirli bir noktaya gelmesi için gereken süre ortalama hava yaşı olarak ifade edilir. Hava yaşı, havanın tazeliğinin bir göstergesidir. Ortalama hava yaşı (Mean Age of Air – MAoA), sayısal modelde skaler bir büyüklük (ϕ) olarak tanımlanmış, kararlı akış durumu için korunum denklemlerine ek olarak bir taşınım difüzyon denkleminin eklenmesi ile hesaplanmıştır [48]:

$$\frac{\partial(\rho\phi)}{\partial t} = \nabla \cdot (\rho\vec{V}\phi) + S_\phi \quad (1)$$

Burada t zamanı, ρ yoğunluğu, \vec{V} hareket eden niceliğin ortalama hızını ve S_ϕ ise skaler terimin kaynağını ifade etmektedir. Kararlı akış durumu için eşitlik (1) şu şekilde basitleştirilebilir:

$$\nabla \cdot (\rho\vec{V}\phi - \rho D\nabla\phi) = S_\phi \quad (2)$$

S_ϕ kaynak terimi 1 olarak alınmıştır [48-50]. D skaler büyüklüğün kinematik yayılımını ifade etmektedir ve laminer ve türbülanslı iki bileşeni vardır:

$$D = \frac{\mu}{\sigma_L} + \frac{\mu_T}{\sigma_T} \quad (3)$$

burada μ viskoziteyi, μ_T ise türbülans viskozitesini ifade etmektedir. σ_L ve σ_T sırasıyla laminer ve türbülanslı Schmidt sayılarıdır. Bu çalışmada akışkan türbülanslı olduğundan, türbülanslı viskozite

laminer viskoziteye göre daha yüksek ve dolayısıyla laminer bileşen türbülanslı bileşene göre daha zayıf bir etkiye sahip olacaktır [48]. ANSYS CFX'te türbülanslı akışlar için türbülans difüzyonu adveksiyon teriminin ortalamasının alınmasının bir sonucu olarak varsayılan şekilde çözüme dahil edilmiştir. Bu nedenle, kinematik yayılım tanımlanmamış, ancak çözüme dahil edilmiştir.

Havanın ortalama yaşı, hava bileşenlerinin bir noktadaki yaş dağılımına dayanan istatistiksel bir kavramdır [52]. Odadaki tüm havanın ortalama yaşı ($\bar{\tau}$) havanın yerel ortalama yaşlarının mekansal ortalamasına ($\bar{\tau}_p$) ve odadaki tüm hava için hava değişim süresi (τ_r) ise odadaki ortalama hava yaşının ($\bar{\tau}$) iki katına eşittir. Aynı havalandırma hava akışıyla teorik olarak en hızlı orana kıyasla odadaki havanın ne kadar hızlı değiştirildiğini gösteren hava değişim verimi ε^a , odadaki hava için mümkün olan en kısa hava değişim süresi (nominal zaman sabiti) ile gerçek hava değişim süresi arasındaki oran olarak tanımlanır.

$$\varepsilon^a = \frac{\tau_n}{\tau_r} = \frac{\tau_n}{2\langle\bar{\tau}\rangle} \quad (4)$$

Burada τ_n nominal zaman sabitidir [52]. Çıkış bölgesinde, nominal zaman sabiti her zaman havanın yerel ortalama yaşına eşittir ve şu şekilde tanımlanır:

$$\tau_n = \frac{\text{Odanın hacmi}}{\text{Havalandırma debisi}} = \frac{V}{q_v} \quad (5)$$

Bir odadaki farklı akış koşulları için hava değişim verimliliği Tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo 1. Farklı akış koşulları için hava değişim verimliliği [52].

| Akış koşulu | ε^a |
|--------------------------|---------------------------|
| İdeal piston | 1 |
| Deplasmanlı havalandırma | $0,5 < \varepsilon^a < 1$ |
| Tam karışım | 0,5 |
| Kısa devre | $\varepsilon^a < 0,5$ |

Yerel hava değişim değeri ise ε_p^a belirli bir noktadaki koşulları gösterir ve ölçüm noktasının bulunduğu odadaki konumu nedeniyle büyük olabilir [52]. Nominal zaman sabiti ile belirli bir noktadaki (P) havanın yerel ortalama yaşı arasındaki oran olarak tanımlanır:

$$\varepsilon_p^a = \frac{\tau_n}{\tau_p} \quad (6)$$

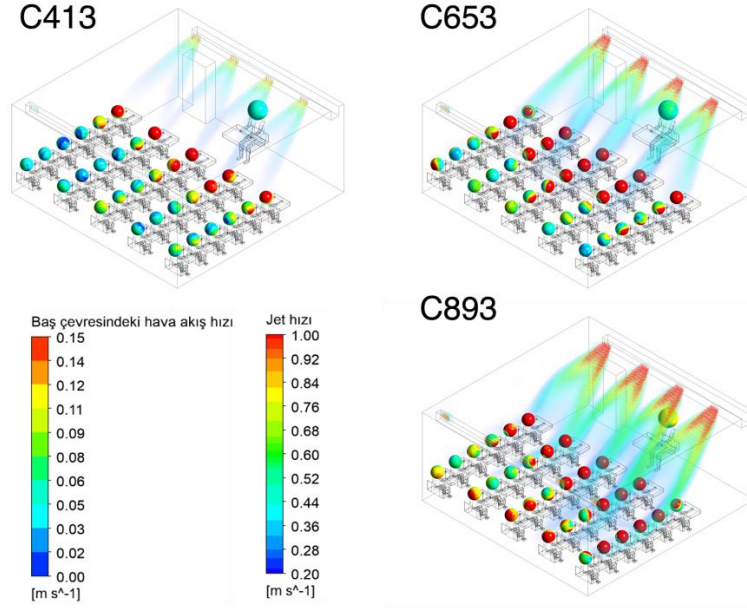
Tam karışım durumunda, havanın yerel ortalama yaşı tüm odada aynı olduğundan (nominal zaman sabitine eşit) tüm odada yerel hava değişim değeri 1'e eşit olarak çıkmaktadır [52].

3. BULGULAR

Bu çalışmada 3 farklı havalandırma debisinin (413, 653 ve 893 m³/h) sınıflardaki iç hava kalitesi üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Hız dağılımı ve hava yaşı dağılımı detaylı olarak inceleyebilmek için öğretmen ve öğrencilerin başlarının etrafında küresel hava bölgeleri tanımlanmıştır. Bu küresel hava bölgeleri, havanın içinde, akış üzerinde hiçbir etkisi olmayan, ancak kişilerin başlarının etrafındaki hava kalitesi ve konfor göstergelerini görselleştirmek ve hesaplamak için kullanılabilen sanal yüzeylerdir. Bu nedenle, bu çalışmada bir sınıf için iç hava kalitesi hesaplamalarının sonuçlarının alternatif bir temsili sunulmaktadır.

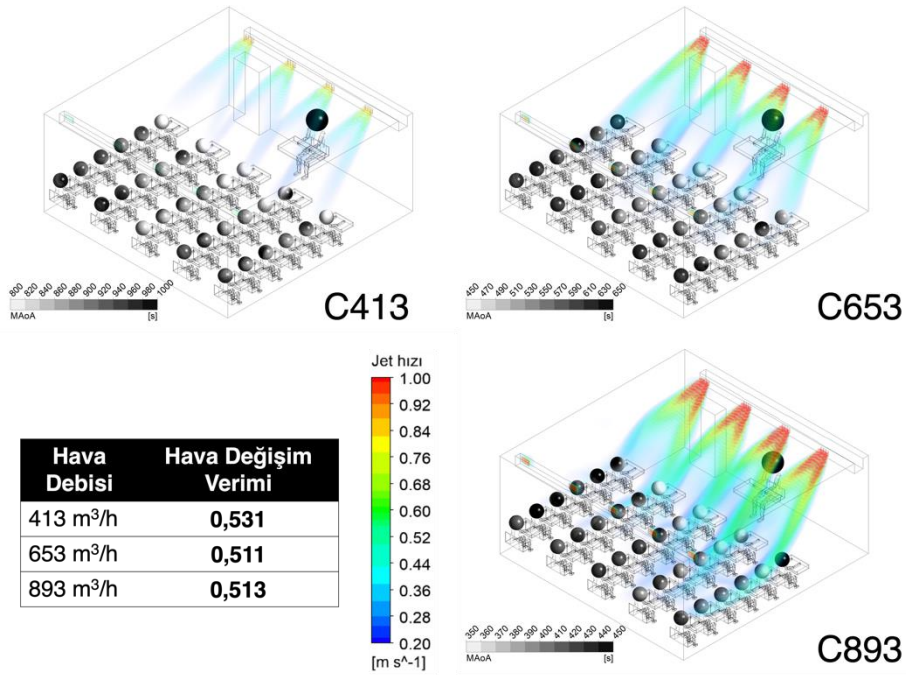
Her bir debi değeri sırasıyla C413, C653 ve C893 durumu olarak sonuçlarda gösterilmiştir. Isıl konfor şartlarını sağlayan en yüksek hız değeri (0,15 m/s) göz önünde bulundurularak havalandırma debilerinin öğrenciler ve öğretmenin baş çevresindeki hız dağılımı üzerindeki etkisi Şekil 2'de

gösterilmiştir. Sınıf içindeki jet akışını ve kafaların etrafındaki hız dağılımını görselleştirmek için farklı ölçeklerde aynı renk şeması kullanılmıştır. Baş kısımlarındaki kırmızı renk yüksek miktarda hava akımına maruz kalma durumunu, mavi renk kötü havalandırma şartlarını ve yeşil renk ise hava hızı açısından konforlu durumu temsil etmektedir. Havalandırma debisinin artması, yüksek hava hızlarına maruz kalan öğrenci sayısını arttırmakla birlikte bu bölgeyi de duvar kenarlarına doğru genişletmiştir. C413 durumunda ise yüksek hıza maruz kalan öğrenci sayısı az olmasına rağmen kötü havalandırma şartlarında bulunan öğrenci sayısı C653 durumuna kıyasla daha yüksektir. Isıl konfor şartlarını sağlayan en yüksek hız değeri açısından değerlendirildiğinde, C653 durumu yani orta hızdaki havalandırma debisi tasarım açısından uygun görülmektedir.



Şekil 2. Öğretmen ve öğrencilerin baş çevresindeki hız dağılımı.

Öğretmen ve öğrencilerin baş çevrelerindeki sanal yüzeyler üzerindeki ortalama hava yaşı (MAoA) dağılımı Şekil 3'de gösterilmiştir. Her durum için taze havaya direkt maruz kalan en ön sıradaki öğrenciler için MAoA değerleri daha düşüktür, arka sıralara gittikçe MAoA değeri artmıştır. Hava değişim verimleri incelendiğinde C413 durumu için Tablo 1'de sunulan ε^a 'nın $0,5 < \varepsilon^a < 1$ aralığında bulunması akış koşulunun deplasmanlı havalandırma olduğunu göstermektedir [50]. Havalandırma debisinin artmasıyla hava değişim veriminde görülen %2 azalma, akış koşulunu tam karışım sınırına yaklaştırmış ve bu akış koşulunun da göz önünde bulundurulmasını gerektirmiştir.

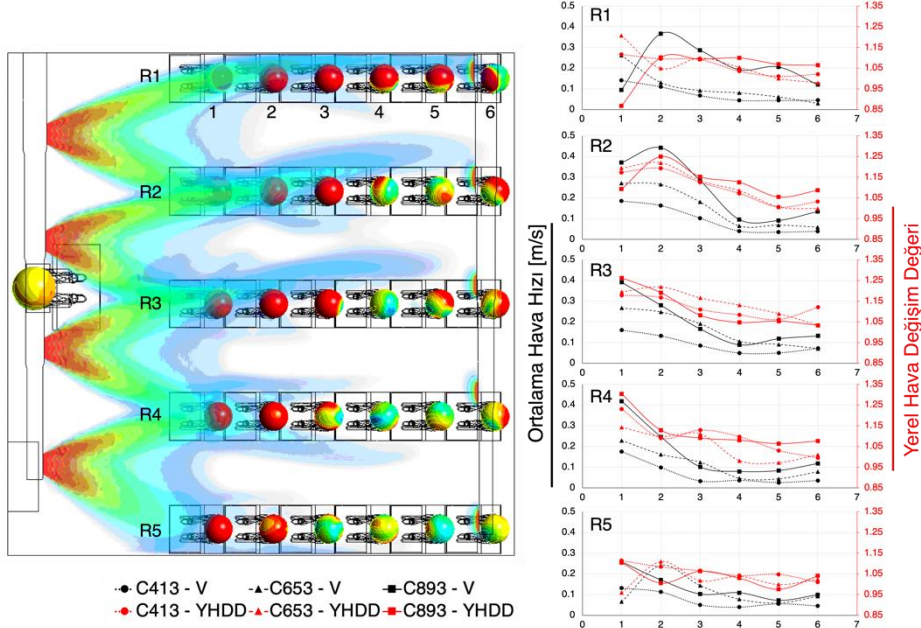


Şekil 3. Öğretmen ve öğrencilerin baş çevresindeki MAoA dağılımı ve hava değişim verimi.

Sınıf içerisindeki yerel ortalama hız değerleri incelendiğinde yüksek havalandırma debisi (C893) için yan duvar kenarlarında ön sıralarda daha düşük hızlar gözlenmiştir (Şekil 4). Şekil 3'te de C893 durumunda gözlenen bu durum, yan duvarların jeti akış doğrultusunda kavislendirerek ön sıralarda hız dağılımını etkileyip ortalama hız değerlerinde düşüşe neden olduğu görülmektedir. Arka sıralarda ise ortalama hız değerleri daha da düşmüş ve C413 ile C653 durumları için ortalama hız değerleri neredeyse aynı çıkmıştır. Şekil 2'de gösterilen hız dağılımlarında da bu değişim gözlenmiştir.

Hava yaşına bağlı olarak hesaplanan yerel hava değişim değeri dolayısıyla yerel ortalama hız değerine de bağlıdır ve bu ilişki Şekil 4'te gösterilmiştir. Hava değişim verimi açısından tam karışım akış koşulunun ($\varepsilon^a=0,5$) göz önünde bulundurulmasını gerektiren C653 ($\varepsilon^a=0,51$) durumunda yerel hava değişim değeri ε_p^a arka sıralarda 1 değerine (tam karışım akış koşulu için $\varepsilon_p^a=1$) yaklaşmıştır. C893 durumunda ise her bir öğrenci için yerel hava değişim değeri ε_p^a farklı çıkması hava değişim verimi için göz önünde bulundurulması öngörülen tam karışım akış koşulunu ihtimal dışı bırakmıştır. C413 durumunda ise yerel hava değişim değerlerinin her bir öğrenci için farklı çıkması ve hava değişim veriminin 0,53 olması deplasmanlı havalandırma akış koşulunun etkin olduğunu göstermektedir.

Kısıtlı hacim içerisindeki yüksek jet hızı hacim sınırlarının etkisinde kalarak akış koşullarında yerel farklılıklara neden olmuştur. Bütünsel olarak hava değişim verimine ek olarak yerel ortalama hız, yerel hava yaşı ve yerel hava değişim değerini de havalandırma tasarımı sürecinde değerlendirmek gereklidir. Ayrıca bu çalışmada elde edilen sonuçlara göre havalandırma debisinin artması hava değişim verimi üzerinde tek başına olumlu etki yaratmamış, jet davranışı açısından menfez açılarının ve dolayısıyla menfez tasarımının da incelenmesi önemlidir.



Şekil 4. Sınıf içerisinde baş çevresindeki yerel ortalama hız (V) ve yerel hava değişim değeri dağılımı (YHDD)

SONUÇ

Evlerinden sonra okullar çocukların en çok vakit geçirdikleri ikinci iç çevredir. Sınıflardaki iç hava kalitesi, öğrencilerin ve öğretmenin sağlık, konfor, akademik performans ve dikkat yeteneğini etkilediğinden sağlıklı bir ortam sağlamak için uygun bir havalandırma tasarımı oluşturmak büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmada farklı havalandırma debilerinin (3,7, 5,83 ve 8 l/s/kişi olmak üzere 413, 653 ve 893 m³/h – C413, C653 ve C893 durumları) iç hava kalitesi üzerindeki etkisi sınıflardaki hava yaşına bağlı olarak hesaplanan hava değişim verimi ve her bir öğrenci özelinde belirlenen yerel hava değişim değeri açısından sayısal olarak incelenmiştir. Yüksek havalandırma debilerinde (C893) yüksek hıza maruz kalan öğrenci sayısı artmış, düşük havalandırma debilerinde (C413) de yetersiz havalandırma durumu gözlenmiştir. Ortalama hava yaşı ön sıralarda taze havanın direkt etkisiyle daha düşükken arka sıralarda daha yüksek olarak gözlenmiştir. Tam karışmış akış koşulunun ($\varepsilon^a=0,5$ ve $\varepsilon_p^a=1$) göz önünde bulundurulmasını gerektiren C653 durumunda ($\varepsilon^a=0,511$) yerel hava değişim değeri ε_p^a arka sıralarda 1 değerine yaklaşmıştır. C893 durumunda ise her bir öğrenci için yerel hava değişim değeri ε_p^a farklı çıkmış olması hava değişim verimi ($\varepsilon^a=0,513$) için tam karışım akış koşulunu ihtimal dışı bırakmaktadır. C413 durumunda ise yerel hava değişim değerlerinin her bir öğrenci için farklı çıkması ve hava değişim veriminin 0,53 olması deplasmanlı havalandırma akış koşulunun etkin olduğunu göstermektedir. Ayrıca kısıtlı hacim içerisindeki yüksek jet hızı hacim sınırlarının etkisinde kalarak akış koşullarında yerel farklılıklara neden olmuştur. Sonuç olarak hava değişim verimine ek olarak yerel ortalama hız, yerel hava yaşı ve yerel hava değişim değerini de havalandırma tasarımı sürecinde değerlendirmek gereklidir. Jet davranışının da değişimini göz önünde bulundurulduğunda, enerji verimliliği ve iç hava kalitesi kapsamında havanın sınıf içerisindeki düzgün dağılımı için havalandırma debisi ile birlikte menfez tasarımı da kritik önem taşımaktadır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından desteklenen 120R040 No'lu proje kapsamında yapılmıştır.

KAYNAKLAR

- [1] SAHIN, C., RASTGELDI DOGAN, T., YILDIZ, M., SOFUOGLU, S. C. 2022. "Indoor environmental quality in naturally ventilated schools of a dusty region: Excess health risks and effect of heating and desert dust transport". *Indoor Air*, 32(7), e13068.
- [2] DAISEY, J. M., ANGELL, W. J., APTE, M. G. 2003. "Indoor air quality, ventilation and health symptoms in schools: an analysis of existing information". *Indoor air*, 13(LBNL-48287).
- [3] SMEDJE, G., NORBÄCK, D., EDLING, C. 1997. "Asthma among secondary schoolchildren in relation to the school environment". *Clinical and Experimental Allergy*.
- [4] ANNESI-MAESANO, I., BAIZ, N., BANERJEE, S., RUDNAI, P., RIVE, S., GROUP, S. 2013. "Indoor air quality and sources in schools and related health effects". *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part B*, 16(8), 491–550.
- [5] MENDELL, M. J., HEATH, G. A. 2005. "Do indoor pollutants and thermal conditions in schools influence student performance? A critical review of the literature". *Indoor Air*.
- [6] KILIC, M., EDE, G., UZUNCAKMAK, T. 2021. "The reliability and validity of the Turkish version of the school-based asthma and allergy screening questionnaires". *BMC pediatrics*, 21(1), 1–9.
- [7] FEDERICO, M. J., MCFARLANE II, A. E., SZEFLER, S. J., ABRAMS, E. M. 2020. "The impact of social determinants of health on children with asthma". *The Journal of Allergy and Clinical Immunology: In Practice*, 8(6), 1808–1814.
- [8] ANNESI-MAESANO, I., MOREAU, D., CAÏLLAUD, D., LAVAUD, F., LE MOULLEC, Y., TAYTARD, A., ... CHARPIN, D. 2007. "Residential proximity fine particles related to allergic sensitisation and asthma in primary school children". *Respiratory medicine*, 101(8), 1721–1729.
- [9] SIMONI, M., ANNESI-MAESANO, I., SIGSGAARD, T., NORBACK, D., WIESLANDER, G., NYSTAD, W., ... VIEGI, G. 2010. "School air quality related to dry cough, rhinitis and nasal patency in children". *European Respiratory Journal*, 35(4), 742–749.
- [10] MITTAL, R., NI, R., SEO, J.-H. 2020. "The flow physics of COVID-19". *Journal of fluid Mechanics*, 894.
- [11] SCHIBUOLA, L., TAMBANI, C. 2021. "High energy efficiency ventilation to limit COVID-19 contagion in school environments". *Energy and Buildings*, 240, 110882.
- [12] CHEN, C., ZHAO, B. 2020. "Makeshift hospitals for COVID-19 patients: where health-care workers and patients need sufficient ventilation for more protection". *Journal of Hospital Infection*, 105(1), 98–99.
- [13] STABILE, L., BUONANNO, G., FRATTOLILLO, A., DELL'ISOLA, M. 2019. "The effect of the ventilation retrofit in a school on CO₂, airborne particles, and energy consumptions". *Building and Environment*, 156, 1–11.
- [14] ARIKAN, İ., TEKİN, Ö. F. 2020. "Partiküler Madde ve Karbondioksit için İç Ortam Hava Kalitesi İndeksi (İHKİ) Hesaplaması: Okul Örneği/Calculation Of Indoor Air Quality Index (IAQI) For Particulate Matter And Carbondioxide: A School Sample". *ESTÜDAM Halk Sağlığı Dergisi*, 5(2), 188–195.
- [15] BABAĞLU, Ü. T., ÖĞÜTÇÜ, H., ERDOĞDU, M., TAŞKIRAN, F., GÜLLÜ, G., OYMAK, S. 2022. "Assessment of Indoor Air Quality in Schools from Anatolia, Turkey".
- [16] BABAYİĞİT, M. A., BAKİR, B., TEKBAŞ, Ö. F., OĞUR, R., KİLİC, A., ULUS, S. 2014. "Indoor air quality in primary schools in Keçiören, Ankara". *Turkish journal of medical sciences*, 44(1), 137–144.
- [17] DEMİRCİGİL, G. Ç., ERDEM, O., GAGA, E. O., ALTUĞ, H., DEMİREL, G., ÖZDEN, Ö., ... VAN DOORN, W. 2014. "Cytogenetic biomonitoring of primary school children exposed to air pollutants: micronuclei analysis of buccal epithelial cells". *Environmental Science and Pollution Research*, 21(2), 1197–1207.
- [18] DEMİREL, G., ÖZDEN, Ö., DÖ, T., GAGA, E. O. 2014. "Science of the Total Environment Personal exposure of primary school children to BTEX, NO₂ and ozone in Eskişehir, Turkey: Relationship with indoor / outdoor concentrations and risk assessment", 474(2), 537–548.
- [19] EKMEKÇIOĞLU, D., KESKİN, S. S. 2007. "Characterization of indoor air particulate matter in selected elementary schools in Istanbul, Turkey". *Indoor and Built Environment*, 16(2), 169–176.
- [20] EKREN, O., KARADENİZ, Z. H., ATMACA, I., UGRANLI-CİCEK, T., SOFUOGLU, S. C., TOKSOY, M. 2017. "Assessment and improvement of indoor environmental quality in a primary school". *Science and Technology for the Built Environment*, 23(2), 391–402.
- [21] MENTESE, S., RAD, A. Y., ARISOY, M., GÜLLÜ, G. 2012. "Multiple comparisons of organic, microbial, and fine particulate pollutants in typical indoor environments: Diurnal and seasonal

- variations". Journal of the Air and Waste Management Association, 62(12), 1380–1393.
- [22] SEVENCAN, A. C., SEVENCAN, F., VAIZOĞLU, S., GÜLER, Ç. 2011. "Ankara'da bir ilköğretim okulunun iç ve dış çevresel özelliklerinin değerlendirilmesi".
- [23] SOFUOĞLU, A., KIYMET, N., KAVCAR, P., SOFUOĞLU, S. C. 2010. "Polycyclic and nitro musks in indoor air: A primary school classroom and a women's sport center". Indoor air, 20(6), 515–522.
- [24] SOFUOĞLU, S. C., ASLAN, G., INAL, F., SOFUOĞLU, A. 2011. "An assessment of indoor air concentrations and health risks of volatile organic compounds in three primary schools". International journal of hygiene and environmental health, 214(1), 36–46.
- [25] WHO Air quality Guidelines. 2021. "WHO global air quality guidelines". Coastal And Estuarine Processes, 1–360.
- [26] TOKSOY, M., SOFUOĞLU, S. C. 2022. "Karbondiyoksit ve Sınıflar". Ankara/TÜRKİYE: Makina Mühendisleri Odası. 23-01-2023 tarihinde adresinden erişildi <https://hdl.handle.net/11147/12541>
- [27] SOFUOĞLU, S. C., TOKSOY, M. 2021. "Covid-19 ve Okullarda Mekanik Havalandırmanın Aciliyeti".
- [28] PEREIRA, L. D., RAIMONDO, D., CORGNATI, S. P., DA SILVA, M. G. 2014. "Energy consumption in schools—A review paper". Renewable and Sustainable Energy Reviews, 40, 911–922.
- [29] AKBARI, K., OMAN, R. 2013. "Impacts of heat recovery ventilators on energy savings and indoor radon in a Swedish detached house". WSEAS Trans. Environ. Dev, 1(9), 24–34.
- [30] HARVEY, L. D. D. 2009. "Reducing energy use in the buildings sector: measures, costs, and examples". Energy Efficiency, 2(2), 139–163.
- [31] LIDDAMENT, M. W., ORME, M. 1998. "Energy and ventilation". Applied Thermal Engineering, 18(11), 1101–1109.
- [32] LYNG, N. L., GUNNARSEN, L., ANDERSEN, H. V. 2015. "The effect of ventilation on the indoor air concentration of PCB: an intervention study". Building and Environment, 94, 305–312.
- [33] LIU, C., ZHANG, Y., BENNING, J. L., LITTLE, J. C. 2015. "The effect of ventilation on indoor exposure to semivolatile organic compounds". Indoor Air, 25(3), 285–296.
- [34] HE, Y., CHU, Y., ZANG, H., ZHAO, J., SONG, Y. 2022. "Experimental and CFD study of ventilation performance enhanced by roof window and mechanical ventilation system with different design strategies". Building and Environment, 224, 109566.
- [35] LI, Y., NIELSEN, P. V. 2011. "CFD and ventilation research". Indoor air, 21(6), 442–453.
- [36] SHREE, V., MARWAHA, B. M., AWASTHI, P. 2019. "Assessment of indoor air quality in buildings using CFD: A brief review". International Journal of Mathematical, Engineering and Management Sciences, 4(5), 1154.
- [37] NIELSEN, P. V. 1973. "Computation of air movement in a pressure-ventilated room". Gesundheits-ingenieur, 94(10), 299–302.
- [38] CETIN, Y. E., AVCI, M., AYDIN, O. 2019. "Influence of ventilation strategies on dispersion and removal of fine particles: An experimental and simulation study". Science and Technology for the Built Environment, 0(0), 1–17.
- [39] MUTLU, M., & ÇALIŞKAN, E. 2019. "Kaset Tipi Klimalarda Termostat Yerleşiminin Ortam İçerisindeki Hız, Sıcaklık ve Partikül Dağılımına Olan Etkisinin Sayısal Araştırılması". 14. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi. İzmir.
- [40] MUTLU, M. 2019. "Yerden Isıtma Sisteminde Partikül Kaynağının "Oda İçerisindeki Solunabilir Madde Miktarına Olan Etkisinin Sayısal İncelenmesi". 14. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi. İzmir.
- [41] MUTLU, M. 2020. "Numerical investigation of indoor air quality in a floor heated room with different air change rates". Building Simulation (C. 13, ss. 1063–1075). Springer.
- [42] ONBAŞIOĞLU, S. U., DİKEÇ, E., UĞURLU, B. & DOĞU, O. 2015. "İç Hava Kalitesinin Sağlanmasında Sıcaklık ve Nem Dağılımının Modellenmesi". 12. Ulusal Tesisat Kongresi. İzmir.
- [43] YÜKSEL, A., ARICI, M., KRAJČÍK, M., CİVAN, M., KARABAY, H. 2022. "Energy consumption, thermal comfort, and indoor air quality in mosques: Impact of Covid-19 measures". Journal of Cleaner Production, 354, 131726.
- [44] UŞAN, Ş. (2010). *İlköğretim okullarının ergonomik açıdan değerlendirilmesi ve yeniden düzenlenmesi: Çukurova bölgesindeki uygulamalar* (Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- [45] FRYAR, C. D., GU, Q., & OGDEN, C. L. (2012). *Anthropometric reference data for children and adults*; United States, 2007-2010.
- [46] IANNIELLO, E. (2011). Ventilation systems and IAQ in school buildings. *Rehva journal*, 26-9.
- [47] BDE (2016). Building Bulletin 101, *Ventilation of School Buildings: Regulations Standards Design*



- Guidance*. British Department of Education.
- [48]CHANTELOUP, V., & MIRADE, P. S. (2009). Computational fluid dynamics (CFD) modelling of local mean age of air distribution in forced-ventilation food plants. *Journal of Food Engineering*, 90(1), 90-103.
- [49]BARTAK, M., BEAUSOLEIL-MORRISON, I., CLARKE, J. A., DENEV, J., DRKAL, F., LAIN, M., ... & STANKOV, P. (2002). Integrating CFD and building simulation. *Building and Environment*, 37(8-9), 865-871.
- [50]GAN, G. (2000). Effective depth of fresh air distribution in rooms with single-sided natural ventilation. *Energy and buildings*, 31(1), 65-73.
- [51]HU, S. C., & CHUAH, Y. K. (2003). Deterministic simulation and assessment of air-recirculation performance of unidirectional-flow cleanrooms that incorporate age of air concept. *Building and Environment*, 38(4), 563-570.
- [52]MUNDT, E., MATHISEN, H. M., NIELSEN, P. V., & MOSER, A. (2004). *Ventilation effectiveness*. REHVA.

ÖZGEÇMİŞ

Nur ÇOBANOĞLU

1993 yılı İzmir doğumludur. 2016 yılında Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi'nde 2018 yılında Nanobilim ve Nanoteknoloji alanında yüksek lisansını tamamlamış ve hemen ardından aynı üniversitenin Makina Mühendisliği Bölümü'nde doktora programına başlamıştır. Doktora tezinin konusunu soğutma uygulamaları, ısı transferi sistemleri ve nanoakışkanlar oluştururken, sıvıların temas açısı ve yüzey gerilmesi ile havalandırma ve iç hava kalitesi konularında da çalışmaları mevcuttur.

Çağrı ŞAHİN

1988 yılı İstanbul doğumludur. 2013 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Kimya Bölümü'nden mezun olmuştur. 2017 yılında aynı üniversitenin Çevre Mühendisliği, Bilimi ve Teknolojileri Bölümünden Yüksek Lisans derecesini almış ve aynı yıl doktora programına başlamıştır. 2018 yılında İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Çevre Mühendisliği Bölümünde araştırma görevlisi olarak görev yapmaya başlamıştır. Günümüzde doktora eğitimi İYTE Çevre Mühendisliği bölümünde devam etmektedir. Doktora tezinin konusu iç hava kalitesi ve kontrolü çalışmalarından oluşmaktadır.

Ziya Haktan KARADENİZ

Lisans öğrenimini Dokuz Eylül Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü'nde, yüksek lisans ve doktora öğrenimini Dokuz Eylül Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü Enerji Anabilim Dalı'nda tamamladı. 2002-2013 yılları arasında Dokuz Eylül Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü'nde araştırma görevlisi olarak görev yaptı. 2013-2021 yılları arasında İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü'nde öğretim üyesi olarak çalıştı. 2022 yılı itibarıyla İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü'nde doçent olarak görev yapmaktadır. Isı transferi sistemleri, havalandırma sistemleri ve iç hava kalitesi ile rüzgar enerjisi konularında çalışmalarına devam etmektedir.

Sait Cemil SOFUOĞLU

Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü'den mezun oldu. İstanbul Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak iki yıl çalıştı. Öğrenimine ABD'de devam edip yüksek lisans ve doktorasını Illinois Institute of Technology'den aldı. Halen, İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Çevre Mühendisliği Bölümü'nde Prof.Dr. unvanı ile çalışmakta, iç hava kirliliği, hava kirliliği ve maruziyet – risk değerlendirmesi konularında araştırmalar yapmakta ve dersler vermektedir.



Aysun SOFUOĞLU

İstanbul Teknik Üniversitesi Kimya Mühendisliği Bölümü'nden mezun oldu. Yüksek lisans ve doktora derecelerini sırasıyla Wisconsin Üniversitesi-Madison ve Illinois Teknoloji Enstitüsü Çevre Mühendisliği Bölümlerinden aldı. 2000 yılında, İzmit Yüksek Teknoloji Enstitüsü Kimya Mühendisliği Bölümü'nde başladığı öğretim üyeliği görevine, Prof.Dr. ünvanı ile devam etmektedir. Hava kirliliği, iç hava kirliliği, kalıcı organik kirleticilerin taşınımı, kuru birikim ve hava kirliliğinin malzemeler üzerinde etkileri konularında araştırmalar yürütmekte ve dersler vermektedir.