

# ŞEHİRLERARASI OTOBÜSLERDE MENFEZ KONUMLARININ KABİN İÇİ HAVA DAĞILIMI ÜZERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

*Investigation Of The Effect Of Vents Locations On In-Cab Air Distribution Of Intercity Buses*

**Alper Mete Genç  
İbrahim Atmaca  
Ziya Haktan Karadeniz**

## ÖZET

COVID-19 pandemisi ile birlikte kapalı ortamlarda havalandırma daha da önem kazanmıştır. Bu kapalı alanlardan biri de yolcu yoğunluğunun yüksek olduğu mikro ortamlardan olan ve sıkça tercih edilen şehirlerarası otobüslerdir. Genelde uzun süreli yolculuk sırasında otobüslerin pencere ve kapıları kapalıdır. Bu otobüslerde kullanılan iklimlendirme sistemleri, genel olarak iç ortama taze hava sağlamak yerine, iç ortamdaki havanın sürekli sirkülasyonunu yapar. Bu nedenle de kaliteli bir iç ortam havası için kabinlerin havalandırması önem arz etmektedir. Bu çalışmanın amacı, kabinde statik ısıtma sağlanırken yapılacak taze hava beslemesi için en uygun menfez konumlarının belirlenmesidir. Bu amaç doğrultusunda dört farklı hava basma ve emme menfez konumu için otobüs içerisindeki hava dağılımları belirlenmiş ve hava hızlarının yolcular üzerindeki etkisi incelenmiştir. Çalışmada belirli bir otobüs hacmi için koltukların tamamen dolu olduğu durum dikkate alınmış ve hesaplamalı akışkanlar dinamiği yöntemi ile inceleme yapılmıştır. Sonuç olarak çalışılan dört senaryoda da yolcuların başları çevresindeki hava hızları yolcuları rahatsız etmeyecek şekilde 0,03 – 0,2 m/s aralığında olduğu tespit edilmiş ve senaryolardan elde edilen sonuçlar yorumlanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Otobüs, hava hızı, havalandırma, iç hava kalitesi.

## ABSTRACT

With the COVID-19 pandemic, ventilation in an indoor environment is became more critical. One of the microenvironments with high occupant density is intercity buses which are preferred in transportation. In general, during long-time travel, the windows and doors of the buses are closed. The ventilation systems used in such buses make the circulation of indoor air instead of providing fresh air. For this reason, it is essential to ventilate the cabins for indoor air quality. The aim of this study is to determine the most suitable vent positions for the fresh air supply to be made while providing static heating in the cabin. For this purpose, the air distributions in the bus were determined for 4 different air supply and exhaust vent positions and the effect of air velocity on passengers was examined. In the study, the situation where the seats are fully occupied for a given bus volume was considered and the analysis was carried out with computational fluid dynamics. As a result, the air velocities around the heads of the passengers were obtained in the range of 0.03 – 0.2 m/s in all 4 scenarios studied, without disturbing the passengers.

**Key Words:** Bus, air velocity, ventilation, indoor air quality.

## 1. GİRİŞ

Orta ve uzun mesafeli yolculuklar için genellikle otobüsler tercih edilmektedir. Yolculuk sırasında genellikle otobüsün kapıları uzun süre kapalı tutulmaktadır. Bu durum hem otobüsün içindeki hava kalitesini hem de ısı konforu etkileyerek rahatsız edici iç ortam oluşmasına neden olabilmektedir. İklimlendirme sistemleri, yolcular için optimum ısı konfor koşullarını sağlamaya çalışır. İklimlendirme sistemi ile otobüs içerisinde ısı konfor sağlanabilir ancak aynı havayı tekrar sirküle eden tasarımlarda iç hava kalitesi bozulacaktır. Bu durum otobüs içerisinde seyahat eden yolcularda sağlık sorunlarına neden olabilmektedir. Bu nedenle otobüslerde iç hava kalitesi dikkate alınması gereken önemli bir konudur [1].

İnsanlar belirli sıcaklık ve nem aralıklarında ve temiz havadaki ortamlarda kendilerini rahat hissederler. ASHRAE Standard 62.1-2022'ye göre ısı konforu etkileyen faktörler, kişisel ve çevresel faktörler olmak üzere iki ana grupta toplanmaktadır [2]. Çevresel faktörler sıcaklık, ısı radyasyon, nem ve hava hızı iken, kişisel faktörler aktivite ve giyimdir. İdeal bir iklimlendirme prosesi hem ısı konfor hem de iç hava kalitesini belirli bir seviyede sağlamalıdır. Ancak pratikte sadece ısıtma veya soğutma yapan klima sistemlerinde kontrollü bir havalandırma sistemi yoktur. Taze hava, temiz bir iç hava kalitesi sağlamak için havalandırılacak mahalin içine doğrudan dışarıdan alınırken, şartlandırılmış iç hava herhangi bir ısı geri kazanımı olmaksızın dışarıya atılmaktadır [3]. Bu havanın miktarı kadar kabin içerisindeki dağılımı da önemlidir. Hava dağıtım ve toplamasını yapan menfezlerin kabin içerisindeki hava hızlarının ısı konfor için gerekli limitler dikkate alınarak tasarlanması gerekmektedir. Bütün bunların yanı sıra dağılımın şekli de içerideki insan kaynaklı olası mikroorganizma dağılımı üzerine de etken olacaktır. Zhu vd. (2012) tarafından yapılan çalışmada otobüs içerisinde farklı bölgelerde oturan ve solunum yolu hastalığı taşıyan yolcuların diğer yolculara olan bulaş riski incelenmiştir. İnceleme için farklı emme ve basma alanlarına sahip 4 farklı senaryo oluşturulmuştur. Otobüs kabini içerisindeki hava dağılımı incelendiğinde, deplasmanlı havalandırma yönteminin en uygun yöntem olduğu ve diğer senaryolara göre bulaş riskini önemli ölçüde azalttığı sonucuna varılmıştır [4].

Atmaca vd. (2009) ve Zhu vd. (2010) tarafından yapılan çalışmalarda insanları rahatsız etmeyecek hava hızının yaklaşık 0,2 m/s mertebesinde olduğu belirtilmiştir [5-6]. Ayrıca, Zhu vd. (2010) tarafından yapılan sayısal ve deneysel çalışmada yolcu yoğunluğuna bağlı olarak CO<sub>2</sub> seviyesi incelenmiştir. Doğal ya da mekanik havalandırmanın yapılmadığı durumlarda CO<sub>2</sub> seviyesinin ve hastalık bulaş riskinin arttığı sonucuna varılmıştır [6]. Zhu vd. (2012) tarafından yapılan bir diğer çalışmada, farklı menfez ölçülerinin ve konumlarının otobüs içerisindeki hava hızlarını ve partikül dağılımlarının nasıl etkilediği incelenmiştir. En uygun yöntemin 0,23 m/s hava hızında deplasmanlı havalandırma yöntemi (alttan basma üstten emme) olduğu sonucuna varılmıştır [4]. Vignesh vd. (2013) tarafından sunulan çalışmada farklı otobüs havalandırma yöntemleri HAD analizleri kullanılarak incelenmiştir. Otobüs içi ortamın otobüs tavanına uygun şekilde yerleştirilen mekanik havalandırma sistemleri ile iyileştirilebileceği sonucuna varılmıştır. Bu sayede, kabin içi hava hızlarını %131 arttırdığı tespit edilmiştir [7]. Chaudhry ve Elumalai (2020) tarafından yapılan çalışmada okul otobüsü havalandırma senaryolarının kabin içi PM konsantrasyonu ve hava değişim oranları üzerindeki etkisi incelenmiştir [8]. Querol vd. (2022) tarafından yapılan çalışmada farklı otobüs boyutları ve yolcu oturma düzenleri için CO<sub>2</sub> seviyesinin etkileri incelenmiştir. Buna bağlı olarak otobüs içerisindeki havalandırma oranlarının iyileştirilmesi için farklı çalışmalar sunulmuştur. Bunlardan en önemlileri otobüs içerisinde CO<sub>2</sub> seviyesini ölçen bir sensör yerleştirilmesi ve şoförün otobüs yoğunluğuna göre havalandırma debisini artırmasıdır. Bu sayede, otobüs içerisindeki CO<sub>2</sub> oranı kontrol edilebilecektir [9]. Atmaca (2015) tarafından yapılan çalışmada otobüs içerisinde konfor ve iç hava kalitesini etkileyen birçok parametrenin (hava hızı, havalandırma tipi, CO<sub>2</sub> konsantrasyonu, sıcaklık gibi.) olduğundan bahsedilmiştir [3]. ASHRAE tarafından hazırlanan Durum Dokümanı içerisinde 1000 ppm'in kullanılması ile ilgili temel oluşturulabilecek bir analiz yapmıştır [10]. Ancak, ASHRAE Standart 62.1-2022'de 1000 ppm'in sınır değer olarak kabul edilmesiyle ilgili bir ibare bulunmamaktadır [2]. Toksoy ve Sofuoğlu (2022) tarafından yapılan çalışmada 1000 ppm değerinin hemen her ülkede standart olarak kabul edildiği belirtilmiştir. Ek olarak belirtilen çalışmada şu an için 1000 ppm değerinin sınır olarak kabul edilmesi önerilmektedir [11]. Atmaca (2015) tarafından sunulan çalışmada 1000 ppm değeri sınır kabul edilmiş ve klima hava debisinin %25'i kadar taze hava sağlanmasının yeterli olacağı belirtilmiştir [3].

Bu kapsamda sunulan çalışmanın amacı, otobüs kabininde statik ısıtma sağlanırken yapılacak taze hava beslemesi için en uygun menfez konumlarının belirlenmesidir. Bu amaç doğrultusunda 4 farklı hava basma ve emme menfez konumu için otobüs içerisindeki hava dağılımları belirlenmiş ve hava hızlarının yolcuların başları çevresindeki üzerindeki etkisi (ısı konfor) incelenmiştir. Çalışmada belirli bir otobüs hacmi için koltukların tamamen dolu olduğu durum dikkate alınmış ve hesaplamalı akışkanlar dinamiği yöntemi ile inceleme yapılmıştır. Klima hava debisinin %25'i kadar taze hava sağlanacak şekilde hava debisi belirlenmiştir.

## 2. YÖNTEM

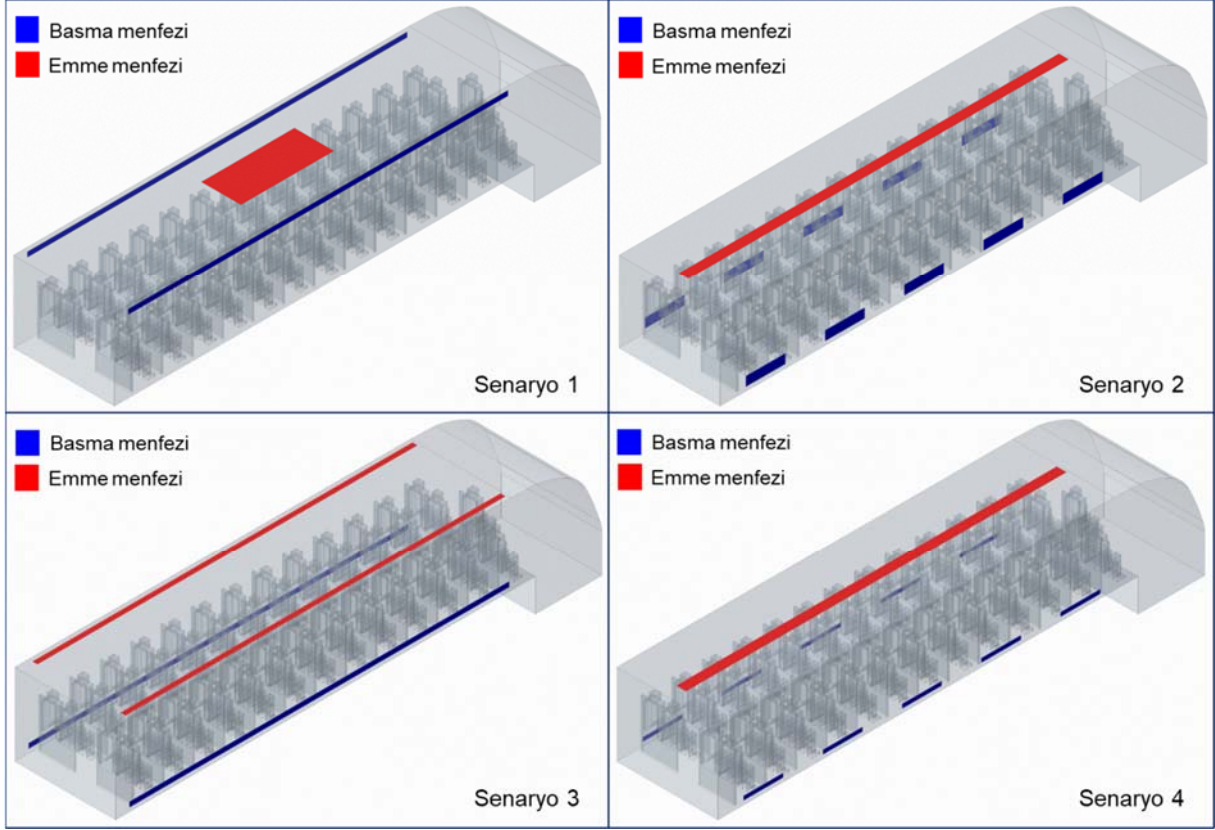
Sunulan bu çalışmada ticari bir CAD programı yardımıyla farklı menfez ölçüleri ve konumları için otobüs modelleri oluşturulmuştur. Otobüs ölçüleri ve parametreler sınır şartları bölümünde gösterilmiştir. Oluşturulan modeller ticari bir HAD programına aktarılmıştır. Türbülans çözümü için standart k-ε modeli ve korunum denklemlerini çözmek için kapalı SIMPLE algoritması [10] kullanılmıştır. Birinci dereceden şemaya sahip sonlu hacim yöntemi ile korunum denklemleri ayrıştırılmıştır. Ayrıca, yakın duvar sınır tabakası için standart duvar fonksiyonu [11] kullanılmıştır. Her bir geometri için yaklaşık olarak 11 milyon tetrahedron ağ yapısı oluşturulmuş, Navier-Stokes denklemleri çözülmüştür [12]:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \vec{\nabla} \cdot (\rho \vec{V}) = 0 \quad (1)$$

$$\rho \frac{\partial \vec{V}}{\partial t} = -\vec{\nabla} P + \rho \vec{g} + \mu \nabla^2 \vec{V} \quad (2)$$

### 2.1. Simülasyon Senaryoları

Atmaca (2015) tarafından yapılan çalışmada, otobüslerde kullanılan ticari klima sistemleri için düşük dış ortam sıcaklıklarında en yüksek hava debisi 6900 m<sup>3</sup>/h olarak belirtilmiştir. Yüksek dış ortam sıcaklıkları için ise en düşük hava debisi 8400 m<sup>3</sup>/h'tir. Endüstriyel olmayan ortamlarda CO<sub>2</sub> konsantrasyonu için üst sınır 1000 ppm olarak belirtilmiş ve klima hava debisinin %25'i kadar taze hava sağlanmasının yeterli olacağı sonucuna varılmıştır. Belirtilen bu iki hava debisinin ortalaması alınmış ve %25'i hesaplanmıştır. Bu da sunulan çalışma için yaklaşık olarak 1950 m<sup>3</sup>/h hava debisine eşittir. Sunulan bu çalışmada 4 farklı senaryo çalışılmıştır. Basma menfezinden sağlanan hava hızı senaryo 1, 2 ve 3 için yaklaşık olarak 0,23 m/s hava hızına eşittir. Senaryo 4 için ise 0,54 m/s hava hızına karşılık gelmektedir. Atmaca vd. (2009) tarafından yapılan çalışmada insanları rahatsız etmeyecek hava hızının 0,2 m/s civarında olduğu belirtilmiştir [5]. Ayrıca, Zhu vd. (2010 ve 2012) tarafından yapılan çalışmalarda da konforun sağlanabilmesi için ortalama hava hızının 0,2 m/s mertebesinde olduğu vurgulanmıştır [4, 6]. Bu 1. senaryoda basma ve emme menfez alanları 2,35 m<sup>2</sup> olarak ele alınmıştır. Otobüsün sağında ve solunda tavana yakın bölgelerde iki ayrı basma menfezi bulunmaktadır. Emme menfezi ise otobüsün tavanında orta bölümde tek parça halinde yer almaktadır. 2. senaryoda, 1. senaryoya benzer şekilde basma ve emme menfezleri 2,35 m<sup>2</sup> olarak kabul edilmiştir. Otobüsün sağ ve sol tarafında aynı ölçülerde toplam on adet hava basma menfezi oluşturulmuştur. Emme menfezi ise otobüsün tavanında orta noktada boydan boya olarak düşünülmüştür. 3. senaryoda ise diğer senaryolardan farklı olarak 2 basma ve 2 emme menfezi kullanılmıştır. Basma menfezleri otobüsün sağ ve sol tarafında tabana yakın konumlarda hemen hemen otobüs boyunca yerleştirilmiştir. Emme menfezleri ise otobüsün tavanında otobüsün yan yüzeylerine yakın bölgelere yerleştirilmiştir. Basma ve emme menfezlerinin ölçüleri aynı kabul edilmiştir. 4. senaryoda ise yüksek hava hızını gözlemleyebilmek adına basma menfezleri toplam 1 m<sup>2</sup>, emme menfezi ise ortada tek kanal halinde önceki senaryolara benzer şekilde 2,35 m<sup>2</sup> olarak alınmıştır. Belirtilen bu 4 senaryoya ait görseller Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Farklı basma ve emme menfezlerine sahip otobüs kabin içi senaryoları

## 2.2. Otobüs Boyutları

Otobüs boyutları ve yolcu sayıları ticari otobüslere benzer şekilde ele alınmıştır. Otobüsün uzunluğu yaklaşık 12,3 m, genişliği 2,6 m, yüksekliği 2,9 m'dir. Toplamda 42 yolcu ve 1 adet şoför bulunmaktadır. Senaryo 1, 2 ve 3 için basma menfez alanları 2,35 m<sup>2</sup>, 4. senaryo için 1 m<sup>2</sup> olarak belirlenmiştir. Emme menfez alanı ise tüm senaryolar için 2,35 m<sup>2</sup> olarak belirlenmiştir (Tablo 1).

Tablo 1. Otobüs boyutları ve yolcu sayıları

Veri	Değer
Otobüs boyutu (en x boy x yükseklik)	2,6 x 12,3 x 2,9
Yolcu sayısı	42 kişi
Basma menfezi	Senaryo 1, 2 ve 3 için 2,35 m <sup>2</sup> , 4. Senaryo için 1 m <sup>2</sup> .
Emme menfezi	Bütün senaryolar için 2,35 m <sup>2</sup> .

## 2.3. Sınır Koşulları

Hesaplamalı akışkanlar dinamiği analizlerini yapabilmek amacıyla türbülans yoğunluğu ve türbülans uzunluk ölçeği değerleri belirlenmiştir. Türbülans yoğunluğu, hız dalgalanmalarının ortalama karekökü değerinin ortalama akış hızına oranı olarak tanımlanır ve  $I$  ile gösterilir (Denklem 3). Türbülans yoğunluğu tam gelişmiş akışlarda ampirik bir korelasyon yardımıyla elde edilebilir [14]:

Türbülans uzunluk ölçeği, türbülanslı akışlarda enerji içeren büyük girdapların boyutuyla ilgili fiziksel bir niceliktir. Tam gelişmiş kanal akışlarında, türbülanslı girdaplar kanaldan daha büyük olamayacağı için kanalın boyutuyla sınırlıdır. Menfezin fiziksel boyutu ile türbülans uzunluk ölçeği arasındaki ilişki denklem 4'te gösterilmiştir. Burada,  $L$  kanal uzunluğunu göstermektedir.  $C_\mu$  ise kullanılan türbülans modeline göre değişiklik göstermekle beraber  $k-\epsilon$  türbülans modeli için 0,09 değerini almaktadır [15]. Ek olarak, simülasyonlarda kullanılan sınır koşulları Tablo 2' de verilmiştir.

$$I = 0,16(Re_{DH})^{-1/8} \quad (3)$$

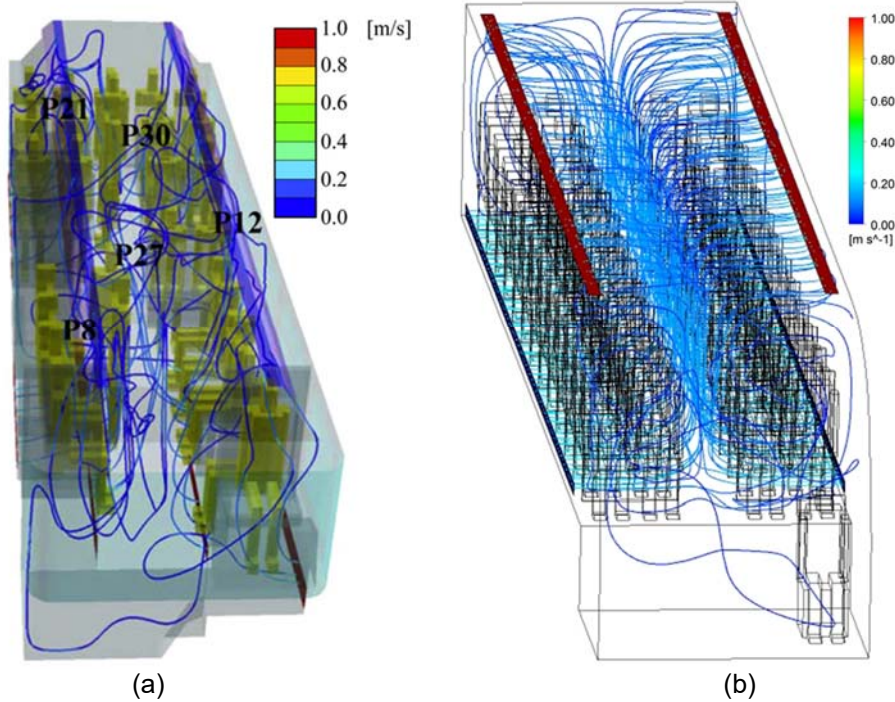
$$I = 0,07L/(C_{\mu})^{3/4} \quad (4)$$

**Tablo 2.** HAD analizleri için sınır koşulları

Veri	Değer
Hava debisi ve basma hızı	Hava debisi 0,54 m <sup>3</sup> /s; basma hızları senaryo 1,2 ve 3 için 0,23 m/s, 4. senaryo için 0,54 m/s.
Türbülans yoğunluğu	%5
Türbülans uzunluk ölçeği	0,1 m

### 3. BULGULAR VE TARTIŞMALAR

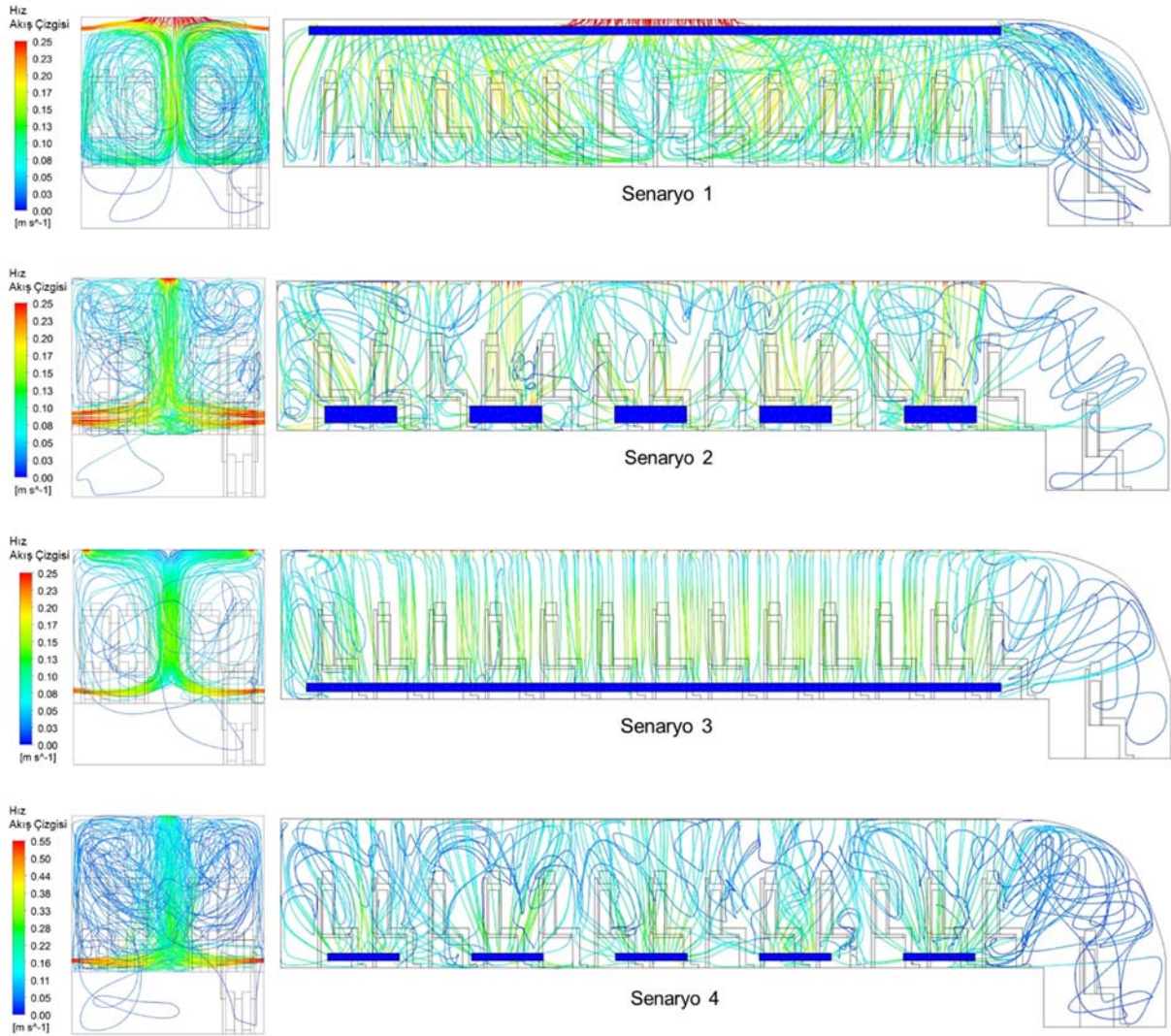
Şekil 2’de Zhu vd. (2012) tarafından yapılan çalışma ile karşılaştırma sonuçları gösterilmiştir. Zhu vd. (2012) tarafından yapılan çalışmaya benzer şekilde basma menfezleri otobüs kabinin sağ ve sol alt tarafında emme menfezleri ise kabinin tavan kısmında yan yüzeylere yakın bölgelere yerleştirilmiştir. Her iki çalışmada da yolcuların başları çevresindeki hızların 0,2 m/s değerini geçmediği görülmektedir. Geometrik tasarım ve yolcu düzeni farklı olduğu için çalışmalardaki hava dağılımlarını mukayese etmek mümkün değildir.

**Şekil 2.** Doğrulama çalışması, (a) Zhu vd. (2012) [4] (b) mevcut çalışma

Şekil 3’te otobüs içerisinde menfez tiplerinin incelenmesi için oluşturulan senaryolara göre elde edilen bulgular verilmiştir. Yapılan analizler incelendiğinde basma ve emme menfez alan ve konumlarının otobüs içerisindeki hava sirkülasyonunu önemli ölçüde etkilediği görülmektedir. 1. senaryoda yolcuların ve şoförün etrafında dolaşan hava hızları rahatsız etmeyecek seviyede olup 0,03 – 0,2 m/s aralığında elde edilmiştir. Akış dağılımları düzenli olup yolcuların etrafında daireler çizdikten sonra otobüs tavanının ortasındaki menfezden dışarı atılmaktadır. 2. senaryoda ise basma menfezlerinden içeri atılan havanın 0,25 m/s hıza ulaştıktan sonra yolcular etrafında 1. senaryodakine benzer bir

sirkülasyon oluşturmadan yolcuların bulunmadığı otobüsün ortasındaki alanda toplanarak dışarı atılmaktadır. Akış çizgilerinin otobüs içerisinde çok fazla karışmadığı görülmektedir.

3. senaryoda daha doğrusal bir akış sergilenmiştir. Hava hızı basma anından itibaren yavaşlamış ve ortalama olarak 0,13 m/s seviyesinde seyretmiştir. Yolcuların etrafında sirkülasyona uğramadan otobüsün ortasında yolcu bulunmayan bölümde toplanmış ve yolcuların baş üstlerinde bulunan menfezlerden dışarı atılmıştır. 4. senaryoda hava sistem içerisine daha hızlı bir şekilde atılmasına rağmen, yolcuların başları çevresine belirlenen hava hızı yaklaşık olarak 0,1 m/s mertebesindedir. Her 4 senaryo incelendiğinde havanın şoföre de ulaştığı görülmekle beraber yoğun olarak 1. ve 4. senaryolarda ulaşmaktadır. 4. senaryoda havanın basma menfezinden daha hızlı atılması ile şoför etrafında akış çizgileri daha yoğun oluşmuştur. Kabin içerisinde insan kaynaklı bir mikroorganizma olması halinde diğer yolcuların etkilenmemesi için kabin içerisindeki havanın karışmaması gerekmektedir. Bu durumda 3. senaryo bulaş riskini minimize etmesi açısından en uygun senaryo olacaktır.



Şekil 3. Farklı menfez tiplerinin etkilerinin incelenmesi için oluşturulan senaryolar

## SONUÇ

Sunulan bu çalışmada otobüs kabini için farklı ölçü ve konumlarda yerleştirilen basma ve emme menfezlerinin yolcu üzerindeki dağılımları ve hava hızlarının etkileri hesaplamalı akışkanlar dinamiği metodları ile incelenmiştir. İnceleme amacıyla 4 farklı senaryo oluşturulmuş, oluşturulan senaryolar detaylı HAD analizleri yardımıyla gözlemlenmiştir.

1, 2 ve 3. senaryolarda otobüs içerisindeki hava hızları ortalama 0,13 m/s mertebesinde olduğu görülmektedir. 1. senaryoda otobüs içerisindeki yolcuların etrafında daha fazla hava sirkülasyonu gözlemlenirken 2. ve 3. senaryolarda hava akışı otobüs ortasında yolcuların bulunmadığı bölümde toplanıp emme menfezlerinden dışarı atılmaktadır. Akışın tüm yolculara eşit biçimde dağılması ve yolculara ulaşması durumuna bakıldığında en uygun senaryonun 1. senaryo olduğu görülmektedir. Kabin içerisinde insan kaynaklı bir mikroorganizma olması halinde diğer yolcuların etkilenmemesi için kabin içerisindeki havanın karışmaması gerekmektedir. Bu durumda 3. senaryo bulaş riskini minimize etmesi açısından en uygun senaryo olacaktır. 4. senaryoda basma hızı daha yüksek olmasına rağmen yolcuların başları çevresinde hava hızı 0,2 m/s'nin altındadır. Menfez konumlarına ve tasarımlarına bağlı olarak otobüs içi hava hızı ve partikül dağılımının değişeceği görülmektedir. Çalışma sonucunda analizleri tamamlanan bütün senaryolarda yolcuların başları çevresindeki hava hızları 0,03 – 0,2 m/s aralığında elde edilmiştir.

Yapılacak sonraki çalışmalarda basma menfezleri otobüsün tavanında, emme menfezleri ise kabinin sağ ve sol tarafında yer alacak şekilde oluşturulacak deplasmanlı tasarım ile yolcuların ve şoförün ısı konforu incelenecektir. Ayrıca, otobüs içerisinde partikül dağılımları incelenecek, hasta insan senaryoları oluşturularak Wells-Riley denklemi yardımıyla bulaş riski tespit edilecektir.

## KAYNAKLAR

- [1] Atmaca, İ., Demirezen, A., & Çağlar, A. (2021). Energy-efficient heat exchanger design for indoor air quality in intercity buses. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 1-18.
- [2] ASHRAE Standart 62.1-2022, "Ventilation and Acceptable Indoor Air Quality", 2022.
- [3] Atmaca, İ. (2015). Şehirlerarası Otobüslerde Havalandırma ve İç Hava Kalitesi. 12. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi Bildiriler Kitabı
- [4] Zhu, S., Srebric, J., Spengler, J. D., & Demokritou, P. (2012). An advanced numerical model for the assessment of airborne transmission of influenza in bus microenvironments. *Building and Environment*, 47, 67-75.
- [5] Atmaca, İ., & Yiğit, A. (2009). ISIL Konfor İle İlgili Mevcut Standartlar Ve Konfor Parametrelerinin Çeşitli Modeller İle İncelenmesi. IX. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi Bildiriler Kitabı (S. 543-555). İçinde İzmir: Altındağ Matbaacılık.
- [6] Zhu, S., Demokritou, P., & Spengler, J. (2010). Experimental and numerical investigation of micro-environmental conditions in public transportation buses. *Building and Environment*, 45(10), 2077-2088.
- [7] Vignesh, S., & Sachin, P. (2013). Evaluation of Bus Ventilation Methods Using CFD (No. 2013-26-0043). SAE Technical Paper.
- [8] Chaudhry, S. K., & Elumalai, S. P. (2020). The influence of school bus ventilation scenarios over in-cabin PM number concentration and air exchange rates. *Atmospheric Pollution Research*, 11(8), 1396-1407.
- [9] Querol, X., Alastuey, A., Moreno, N., Minguillón, M. C., Moreno, T., Karanasiou, A., ... & Felisi, J. M. (2022). How can ventilation be improved on public transportation buses? Insights from CO2 measurements. *Environmental research*, 205, 112451.
- [10] "ASHRAE Position Document on Indoor Carbon Dioxide". February 2, 2022, February 2, 2022, Expires February 2, 2025.
- [11] TOKSOY, M., & SOFUOĞLU, S. C. KARBONDİOKSİT ve SINIFLAR.
- [12] Patankar SV. Calculation of the flow field. In: Numerical heat transfer and fluid flow. New York: Hemisphere Publishing Corp; 1980.

- [13]Lauder BE, Spalding DB. The numerical computation of turbulent flows. Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering 1974;3(2): 269e89.
- [14]Cimbala, J. M., & Cengel, Y. A. (2006). Fluid mechanics: fundamentals and applications. McGraw-Hill Higher Education.
- [15]ANSYS, Inc. (2017), "ANSYS Fluent User's Guide, Release 18.2", Equation (6.58).
- [16]ANSYS, Inc. (2017), "ANSYS Fluent User's Guide, Release 18.2", Equation (6.59).

## ÖZGEÇMİŞ

### Alper Mete GENÇ

1991 yılı Kütahya doğumludur. 2015 yılında Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Bölümünü bitirmiştir. İzmir Dokuz Eylül Üniversitesinden 2018 yılında Yüksek Mühendis unvanını almıştır. 2018 yılından beri İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nde Makina Mühendisliği Bölümü Anabilim Dalı'nda Doktora Eğitimine devam etmektedir. Güneş Enerjisi, Nanoakışkan, Isıtma-Havalandırma ve Soğutma Uygulamaları, Eklemeli Üretim konularında çalışmaktadır. Evli ve bir çocuk babasıdır.

### İbrahim ATMACA

1979 yılı Antalya doğumludur. 1999 yılında Uludağ Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünden Lisans, 2002 yılında Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalından yüksek lisans ve 2006 yılında aynı Enstitüden Doktora derecelerini aldı. 2007 yılında Akdeniz Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Termodinamik Anabilim dalına Yardımcı Doçent olarak atanmış, 2014 yılında Doçent, 2020 yılında Profesör olmuştur. Güneş enerjisi destekli absorpsiyonlu soğutma sistemleri, güneş enerjisi destekli ısı pompası sistemleri, iklimlendirilen ortamlarda ısı konfor ve iç hava kalitesi, nanoakışkanların çeşitli ısı uygulama alanları, binalarda ısı yalıtımı ve enerji verimliliği, evaporatif soğutma ile iklimlendirme sistem verimlerinin iyileştirilmesi konularında bilimsel çalışmalar yapmakta ve Akdeniz Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünde Termodinamik Anabilim Dalı Başkanı olarak profesyonel meslek yaşantısını sürdürmektedir. Aynı zamanda Makine Mühendisleri Odası Antalya Şube 14. ve 15. Dönem Yönetim Kurulu Başkanı ve Türk Tesisat Mühendisleri Derneği (TTMD) Yönetim Kurulu Üyesidir. Evli ve bir çocuk babasıdır.

### Ziya Haktan KARADENİZ

1980 yılında İzmir'de doğan Ziya Haktan KARADENİZ; 2002 yılında Dokuz Eylül Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü'nden, 2005 ve 2011 yıllarında ise sırasıyla aynı Üniversitenin Fen Bilimleri Enstitüsü Enerji Yüksek Lisans ve Doktora Programlarından mezun olmuştur. 2002-2013 yılları arasında Dokuz Eylül Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü'nde Araştırma görevlisi olarak çalışmıştır. 2022 yılından beri İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü'nde Doç. Dr. olarak görev yapmaktadır. Rüzgâr enerjisi, HVAC Bileşenlerinin 3B eklemeli Üretimi, Nanoakışkanlar konuları üzerinde çalışmaktadır. Evli ve bir çocuk babasıdır.