



**Bu bir MMO
yayıdır**

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

METRO İSTASYONLARINDA İŞLETME ŞARTLARININ ISIL KONFORA ETKİSİ

**NURDİL ESKİN
MESUT GÜR
OĞUZ BÜYÜKŞİRİN
ÜNAL ALTINTAŞ
İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**



METRO İSTASYONLARINDA İŞLETME ŞARTLARININ ISIL KONFORA ETKİSİ

Nurdil ESKİN
Mesut GÜR
Oğuz BÜYÜKŞİRİN
Ünal ALTINTAŞ

ÖZET

Yer altı raylı yolcu taşıma sistemleri hızı, yolcu taşıma kapasitesi, güvenilirliği ve konforu sayesinde en çok tercih edilen taşıma sistemi haline gelmişlerdir. Ülkemizde de yaygınlaşarak pek çok şehrimizde tesis edilen bu sistemlerde yolcuların istasyon içinde geçirdikleri süre boyunca ve seyahatleri esnasında metro araçlarının içinde, iç ortam koşullarının uygun değerlerde sağlanması ve bağlı olarak yolcuların kendilerini rahat ve konforlu hissetmeleri son derece önemlidir.

Bu sistemlerde, dış ortamdaki tren hareketleri ile çekilen hava ve istasyon havalandırma sistemleri ile yolcuların kısa zaman dilimlerinde buldukları metro istasyonlarında maruz kaldıkları iç ortam koşulları, işletme şartları, yolcu yoğunluğu ve istasyon özellikleri ile değişiklikler göstermektedir. Bu çalışmada delme tünel tip bir yer altı metro istasyonu için iç ortam şartlarının değişimi ve bu değişimin yolcu ısı konforuna olan etkisi hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) analizi ile incelenmiştir. Bu amaçla istasyon ve bağlantı tünelleri katı modeli oluşturulmuş, istasyonda ısı konforuna etki eden iç ortam değişkenleri incelenmiş ve analizler hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) analizi Autodesk Simulation CFD Design paket programı ile gerçekleştirilmiştir. Çalışmada yer altı istasyonları için geçerli ısı konforuna etki eden parametreler zamana bağlı olarak sıcaklık, basınç ve hava hızı değişimleri irdelenmiştir. Yapılan simülasyonlar sonucunda farklı metro işletme koşullarında istasyon ve tünellerin iç ortam şartlarındaki dalgalanmalar ve bu değişimlerin yolcu konfor algısı üzerindeki etkileri irdelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Isıl konfor, Metro sistemi, HAD analizi, Piston etkisi.

ABSTRACT

Underground rail transport systems are the most commonly preferred urban transport vehicles thanks to their speed, passenger capacity, safety factors, and the frequency and duration of travel. For metro stations where commuters spend a short period of time, environmental comfort is a factor enhancing the efficiency of and demand for the transport system. Further, the amount of fresh air and environmental control are vital for public health.

These facts therefore make thermal comfort analyses important for underground stations. The present study investigates the thermal comfort conditions for passengers in an underground station of bored tunnel type. A 3-D solid station model was created for thermal comfort analysis, which was followed by an examination of the parameters affecting thermal comfort in the station and a computational fluid dynamics (CFD) analysis using Autodesk Simulation CFD Design software. In this study, temperature, pressure and air velocity which are valid parameters for thermal comfort conditions were investigated.

Key Words: Thermal comfort; Subway transport system, CFD, Piston effect.

1. GİRİŞ

Şehir içi toplu ulaşımın en önemli araçlarından biri de raylı sistem taşımacılığıdır. 1989 yılında ilk raylı sistem hattını hizmete açan İstanbul Ulaşım, bugün toplamda 130 km'lik bir raylı sistem işletmeciliğine ulaşmıştır. Bu hatların 95 km'si yer altı metro sistemi olup yakın bir gelecekte İstanbul için toplamda 600 km'lik bir raylı sistem hat uzunluğu öngörüldüğü belirtilmektedir. Şekil 1 de İstanbul metrosu M2 hattına ait şematik gösterim görülmektedir. Altı kat daha büyüyecek olan metro ağına yapılacak yatırımlar göz önüne alındığında, yüksek maliyetlerin en aza indirilmesi noktasında hızlı ve güvenilir bilimsel çalışmaların yürütülmesi gerekmektedir.

Ülkemizde özellikle İstanbul da devam eden yer altı raylı projeleri, istasyonlarda güvenlik koşulları ve konfor şartlarının kontrol edilmesi gerekliliğini ortaya çıkarmıştır. Metro istasyonları oluşturulması açısından delme tip istasyon ve aç-kapa istasyon olarak ikiye ayrılırlar. Delme tip istasyon aç-kapa tip istasyonlara göre daha basık olduğundan bu yöntemle oluşturulan istasyonlarda ısı konforu daha kritik durumdadır.

Isıl Konfor, ASHRAE 55[1] numaralı standartta “insan zihninin ısı çevre ile olan memnuniyeti” olarak tanımlanmıştır. Konfor bölgesinin tanımı ise “toplumdaki çoğunluğun rahat hissettiği koşullar” olarak yapılmıştır. Bir başka deyişle ısı konforu insanda doğal olarak bulunan ve yaptığı faaliyetlere göre değişen metabolizma ısısının ısı transfer yolları olan iletim, taşınım ve ışınım yolları ile uygun oranda atılabilmesi durumundaki denge şartı olarak tanımlanabilir. Metro istasyonundaki yolcular için ısı konfor şartları yetersiz ise sıkıntı hissedilir ve rahatsızlık duyulmaya başlanır buna bağlı olarak insanların memnuniyet seviyeleri düşer.

Bu çalışmada ısı konforuna etki eden sıcaklık, basınç ve hava hızı parametreleri incelenmiş ve farklı işletme koşullarında yapılan simülasyonlar ile karşılaştırma yapılmıştır.

2. ISIL KONFOR ve BAĞIL SICAKLIK İNDEKSİ

Isıl konfor, ASHRAE 55 numaralı standartta “insan zihninin ısı çevre ile olan memnuniyeti” olarak tanımlanmıştır. Konfor bölgesinin tanımı ise “toplumdaki çoğunluğun rahat hissettiği koşullar” olarak yapılmıştır. Ancak konfor bölgesi her insan için farklıdır ve belirli bir değeri yoktur. İklim, hava hızı, radyasyon, metabolizma hızı, kültür, giyim şekli gibi pek çok faktör, konfor bölgesinin değişimine sebep olur. Basınç değişimleri de insan sağlığı açısından önemli bir faktördür. Tablo 1’ de basınç değişiminin insan sağlığı üzerindeki etkisi verilmiştir.

Tablo 1. Basınç değişiminin insan sağlığı üzerindeki etkisi.

<i>Kulaktaki Etkileri</i>	<i>Basınç Farkı (orta kulak - dış ortam) [Pa]</i>
Kulak içinde hissedilen şişlik	413 - 690
Şişlik artırımının hissedildiği seviye	690 - 1310
Ses duyma yeteneğinin azaldığı şişlik seviyesi	1310 - 2000
Duyuma hastalıklarının başladığı seviye	2000 - 4000

Yer altı raylı taşıma sistemlerindeki insan ısı konforu hakkında oldukça limitli sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalardan birini gerçekleştiren Parker tarafından aşağıda gösterilen Şekil 1’deki yer altı raylı sistem istasyonlarına ait ısı konfor diyagramı oluşturulmuştur.

Sıcaklık, bağıl nem ve basınç değişimleri gibi hava hızı da konfor şartlarında önemli rol oynamaktadır. Literatürde yapılan çalışmalar ve standartlar incelendiğinde metro sistemlerinde farklı bölgeler için hava hızı ortalama ve sınır değerleri elde edilmiştir. Tablo 2’de hava hızı ortalama ve sınır değerleri verilmektedir.

Tablo 2. Hava hızı ortalama ve sınır değerleri.

Bölge	Ortalama hız (m/s)	Azami hız (m/s)
Yer yüzeyinden 3 m yükseğe uzanan menfezler	5	8
Yer yüzeyindeki menfezler	2.5	5
Havalandırma bacaları	5	11
İstasyon girişi		9
Merdivenler	1.8	2.5
Platformlar	3	5
Tüneller	2,5	12

Tablo 2’ de verilen sınır değerler gürültü oluşumu ve yolcuların hareketlerinin zorlaşması açısından değerlendirilmelidir. Bu çalışmada yapılan simülasyonlar sonucu istasyondaki hava hızlarının dağılımı bu sınırlamalar göz önüne alınarak değerlendirilmiştir.

Bağıl sıcaklık indeksi

Zamana bağlı olarak istasyonda tespit edilen sıcaklık, basınç ve hava hızlarının, istasyonda bulunan yolcuların ısı konforunu ne şekilde etkilediği, ASHRAE tarafından tanımlanmış olan bağıl sıcaklık indeksi (BSI) ile belirlenebilmektedir. Bağıl sıcaklık indeksi; hava sıcaklığı, nem, hava akış hızı, metabolizma hızı ve giyime bağlı olarak hesaplanmaktadır. Tablo 3 de bağıl sıcaklık indeksine bağlı olarak Ashrae Konfor sınıflandırılması gösterilmiştir.

Tablo 3. Konfor sınıflandırması ve bağıl sıcaklık indeksi.[3]

Ashrae Konfor Sınıflandırması	Bağıl Sıcaklık İndeksi
Sıcak	0.25
Ilık	0.15
Konforlu	0.08
Serin	0.00

3. İSTASYON İŞLETME ŞARTLARI

İstasyon işletme şartları denildiğinde aşağıdaki şartlardan bahsedilmektedir. Burada;

Normal işletme şartları, insan yoğunluğunun ortalama değerlerde olduğu, tren gecikmesinin olmadığı, 5-6 dakika aralıkla trenin çalıştığı zamanları belirtmektedir.

Sıkışık işletme şartları ise, yolcu yoğunluğunun fazla olduğu veya trenin geciktiği zamanları belirtmektedir. Bu şartlarda tren içinde ve peronlarda, bekleyen insan sayısı artacak, buna bağlı olarak sistem yükleri değişecektir.

Acil durum işletmesinde, tren yangını gibi acil durum şartlarını içermektedir. Bu şartlarda ısı konforundan önce yolcu tahliye süreleri ve yolcu tahliye senaryoları öncelikli olduğu için bu çalışmada değerlendirilmemiştir.

4. HESAPLAMALI AKIŞKANLAR DİNAMİĞİ (HAD) ANALİZİ VE SİMULASYON SONUÇLARI

Bu çalışmada delme tip bir istasyon modülü 1:1 olarak Solidworks® 3 boyutlu katı model oluşturma programı ile oluşturulmuştur. Şekil 2' de 3B katı model gösterilmiştir.



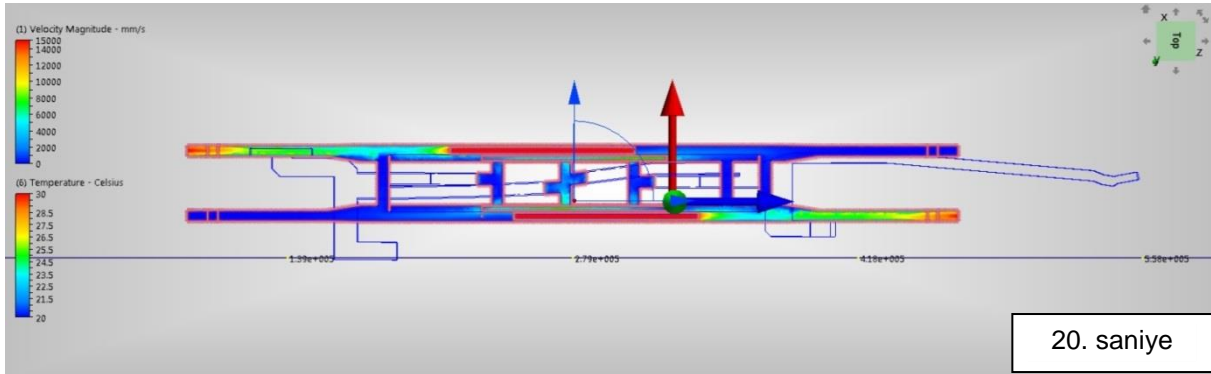
Şekil 2. İstasyonun 3B modelinin tanıtılması.

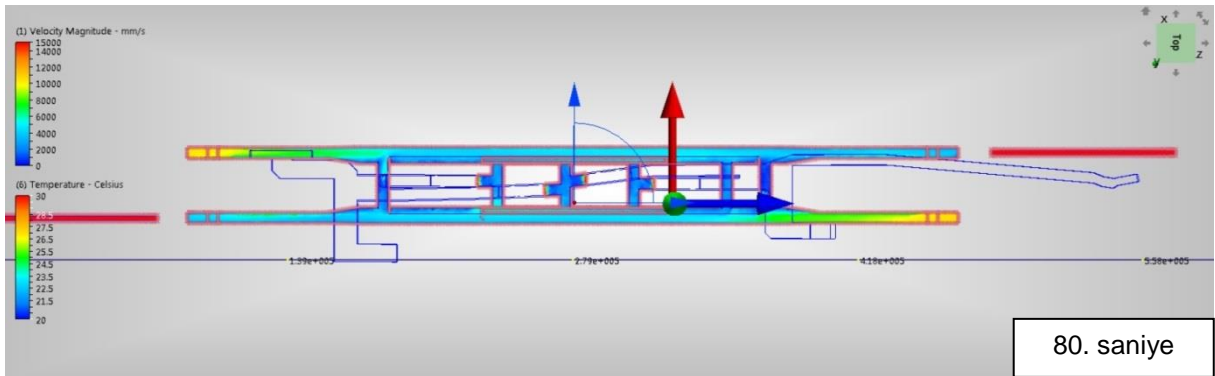
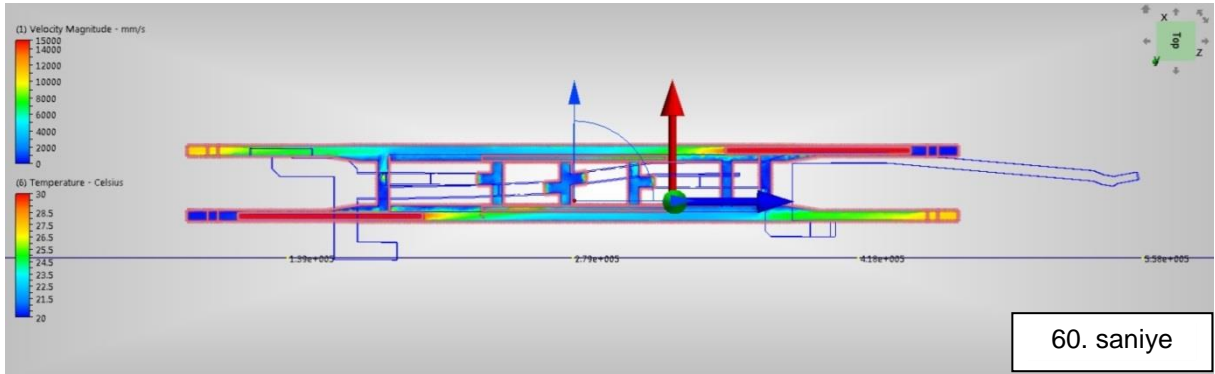
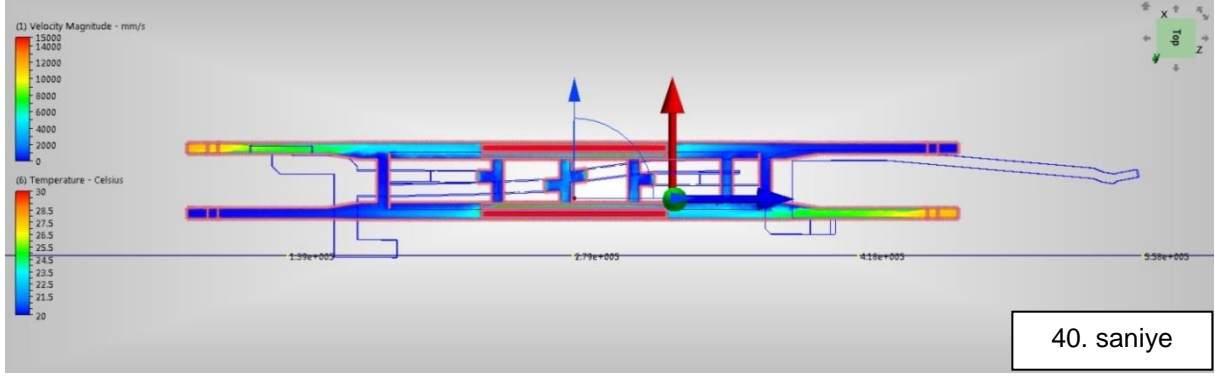
Yapılan simülasyonlarda iç ortam şartlarında olası en kötü şartları görmek için dış hava sıcaklığının en fazla olduğu yaz koşullarında simülasyonlar yapılmış ve dış sıcaklık 35 °C olarak kabul edilmiştir.

Çalışmada istasyon modülü içinde sıcaklık, hız ve basıncın değişimi farklı işletme koşullarında incelenmiştir.

4.1. Normal işletme şartları;

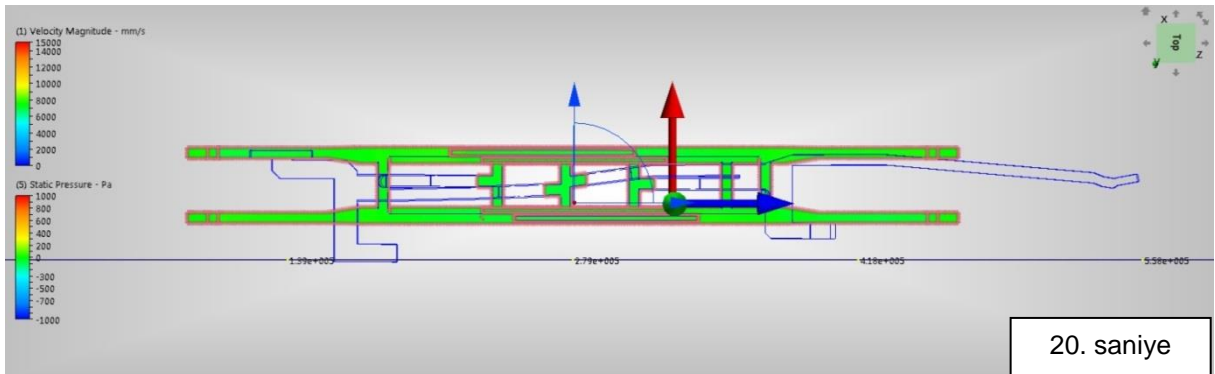
Sıcaklık dağılımı;

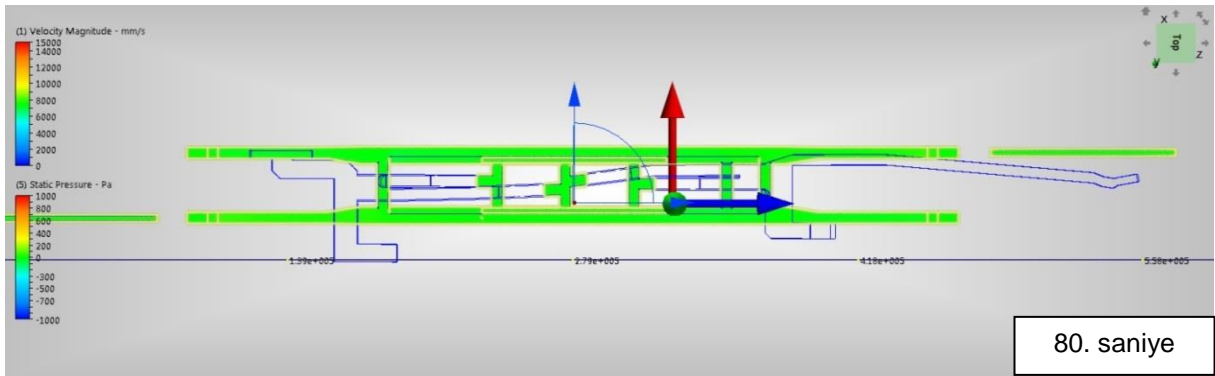
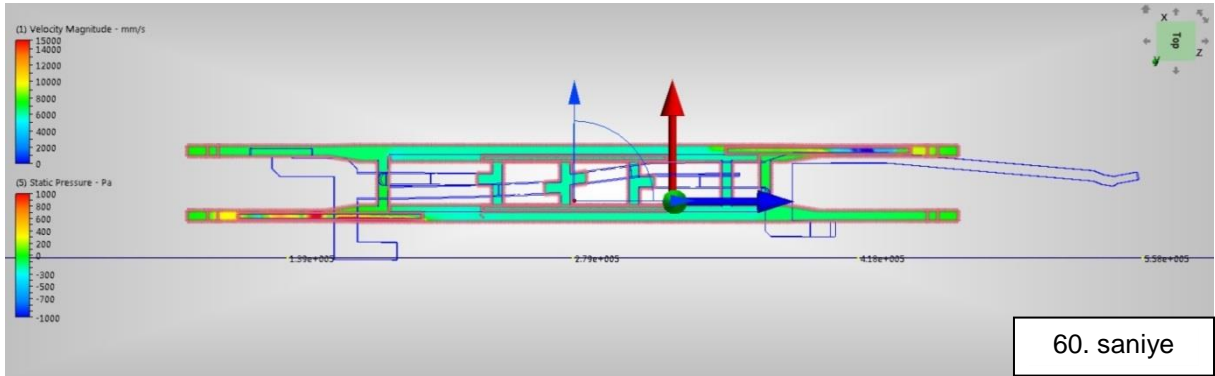
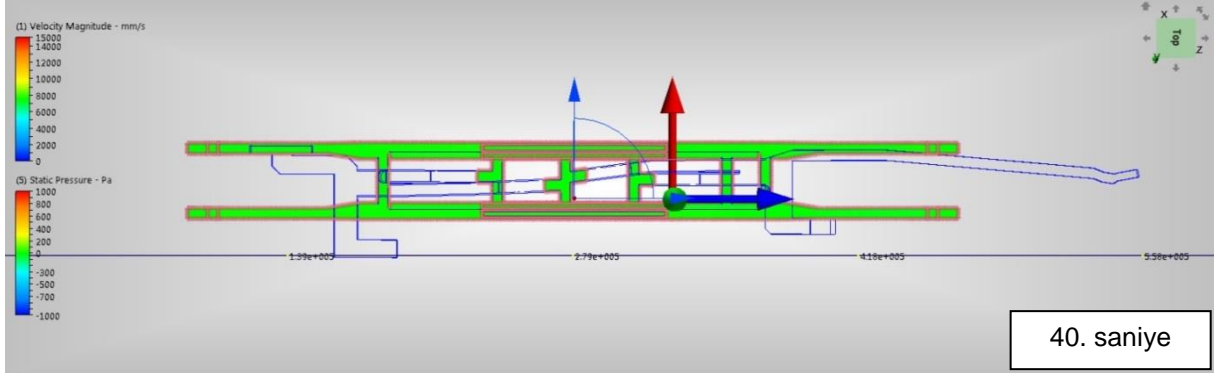




Şekil 3. 35 °C dış sıcaklık ve normal işletme şartlarında zamana bağlı sıcaklık dağılımı

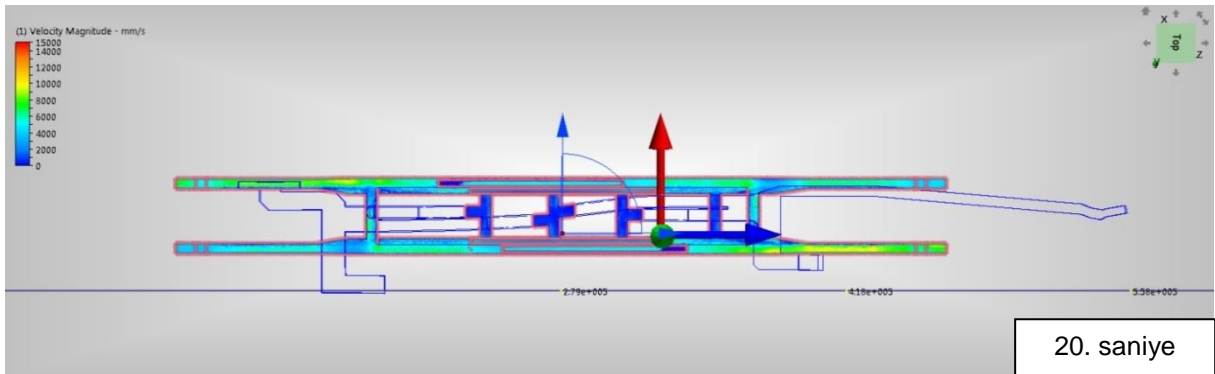
Basınç dağılımı;

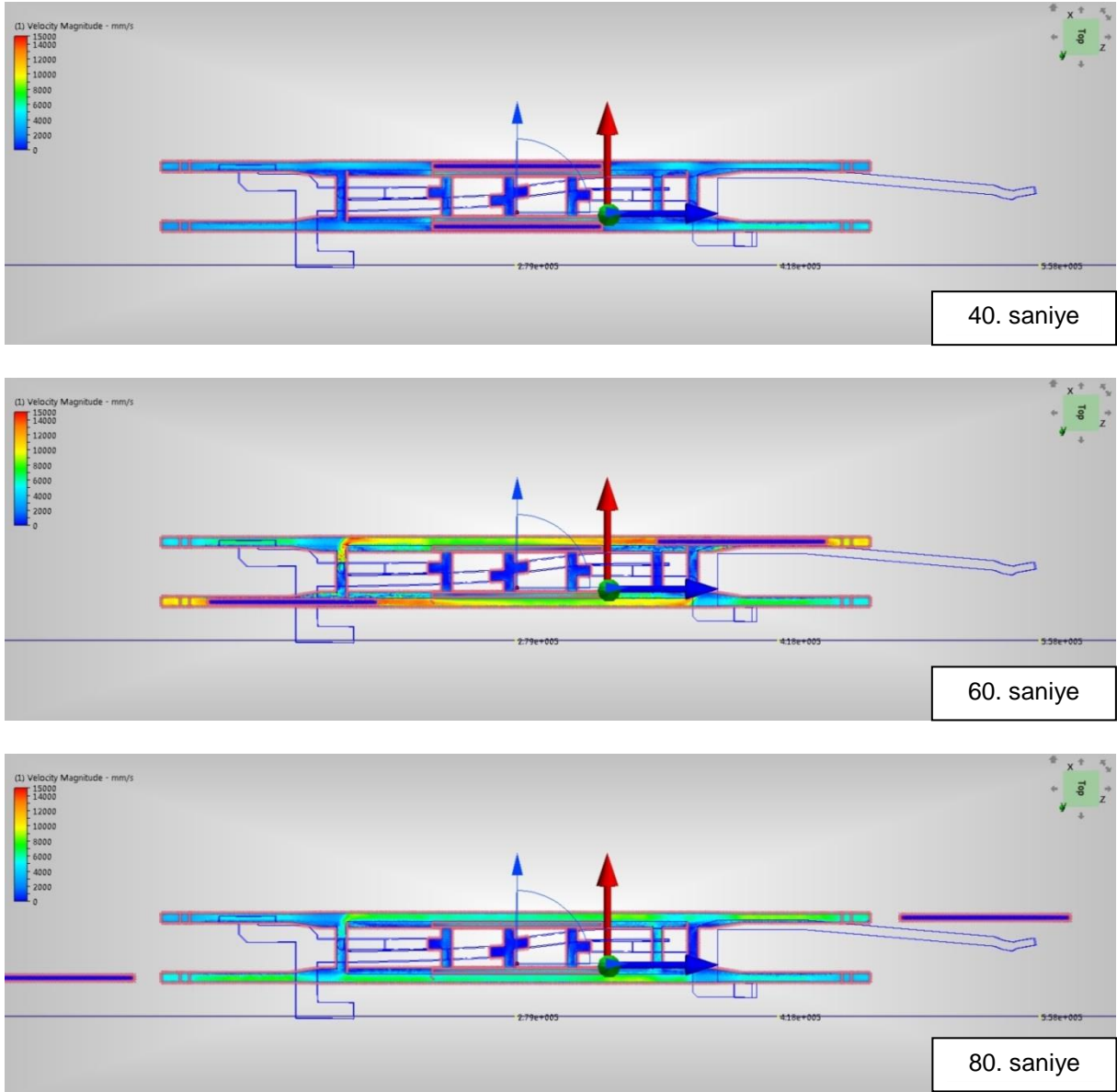




Şekil 4. 35 °C dış sıcaklık ve normal işletme şartlarında zamana bağlı basınç dağılımı

Hava hızı dağılımı;

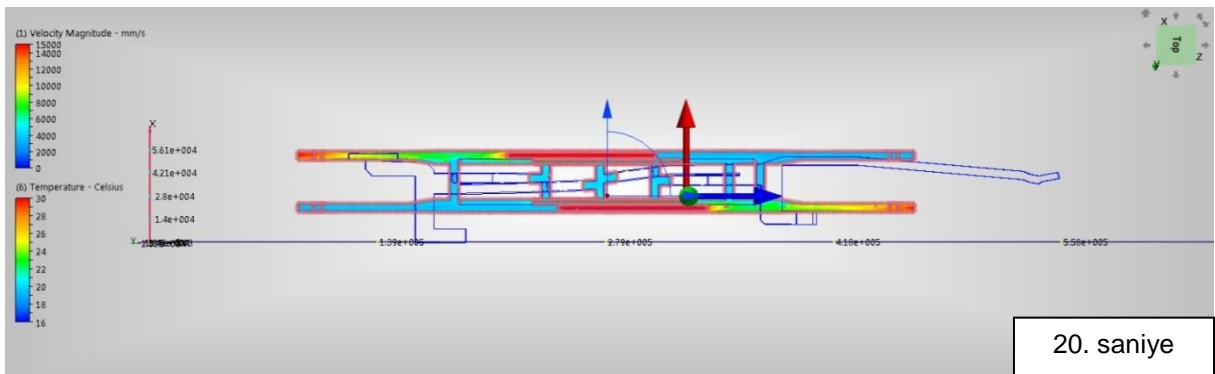


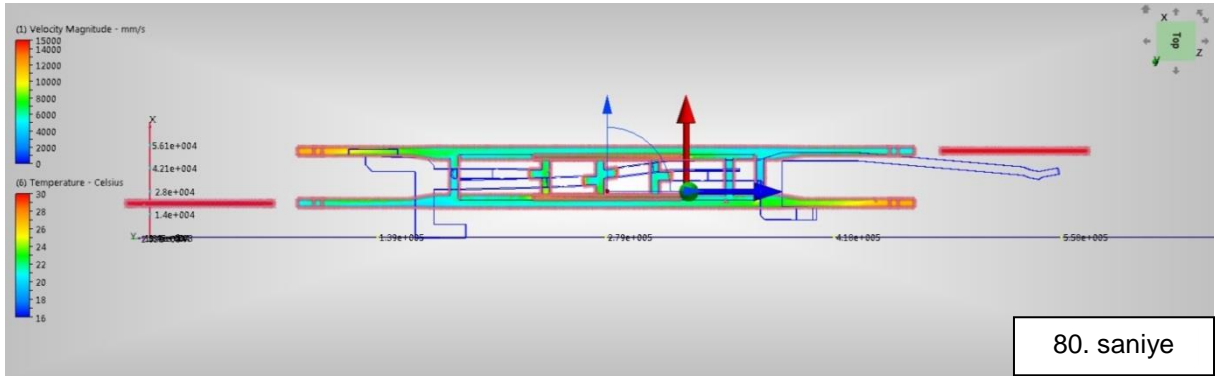
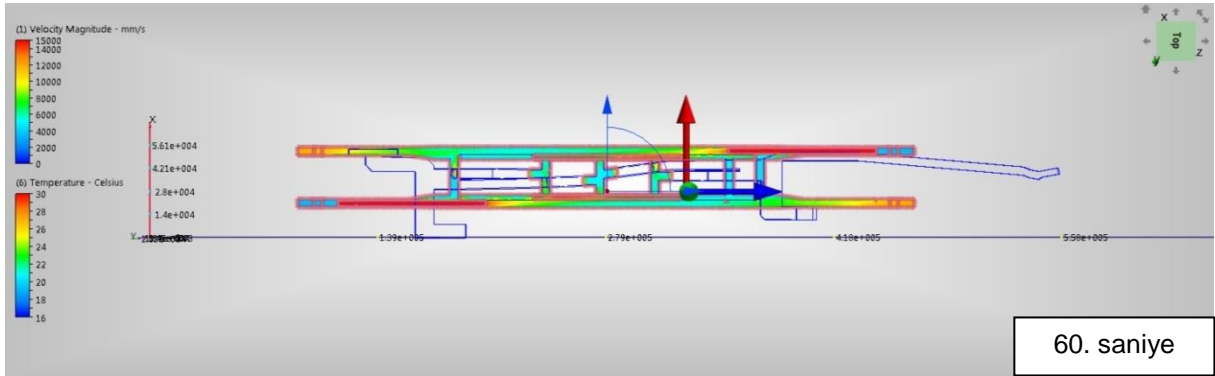
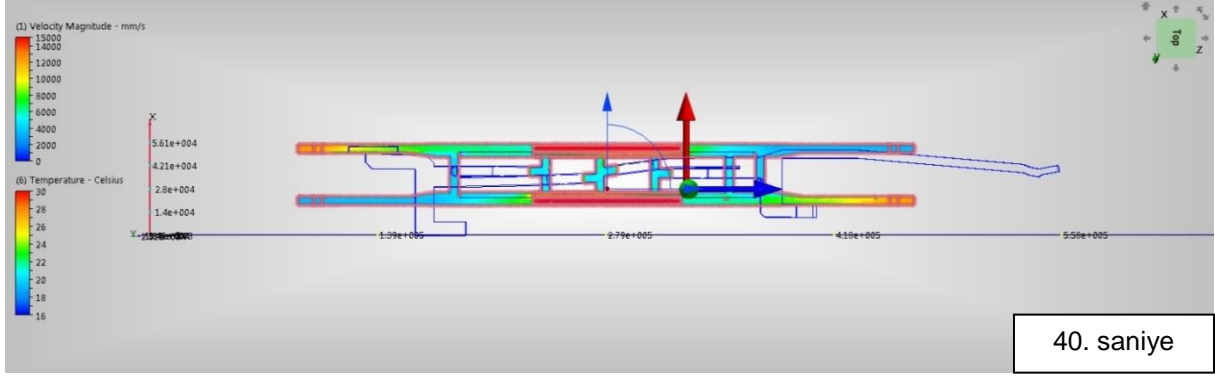


Şekil 5. 35 °C dış sıcaklık ve normal işletme şartlarında zamana bağlı hava hızı dağılımı

4.2. Sıkışık işletme şartları;

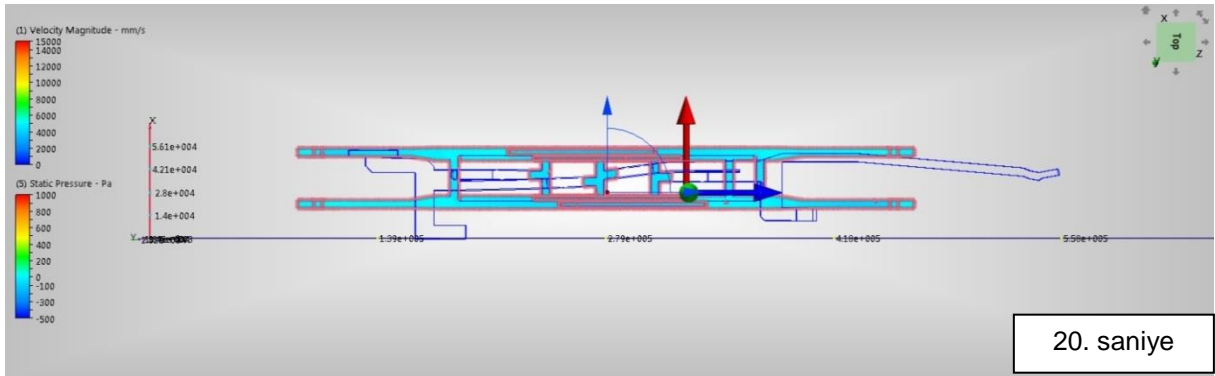
Sıcaklık dağılımı;

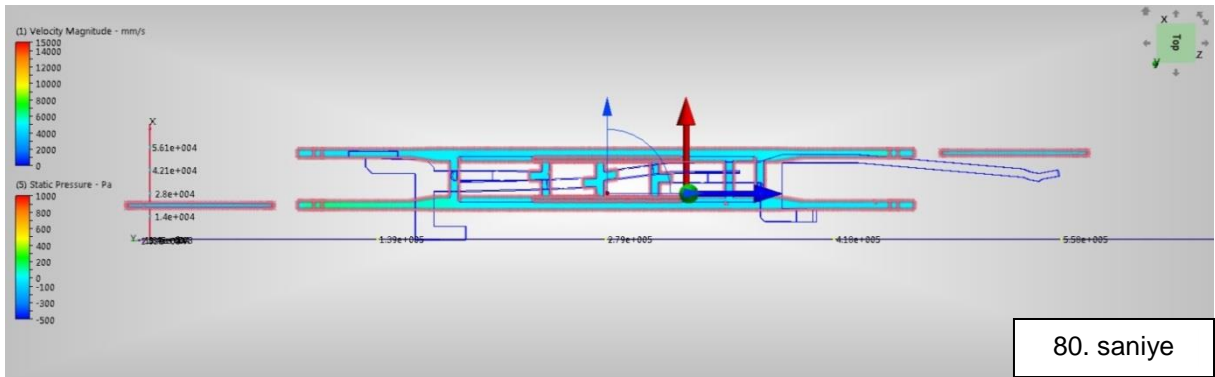
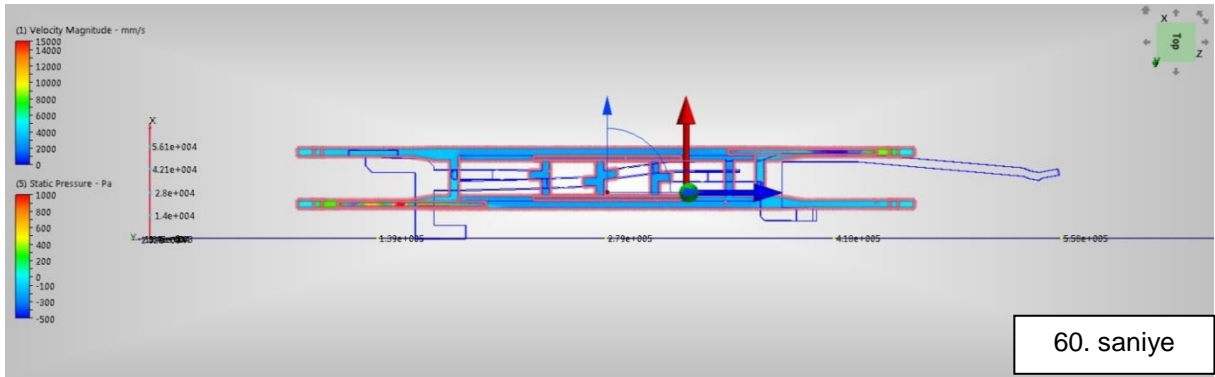
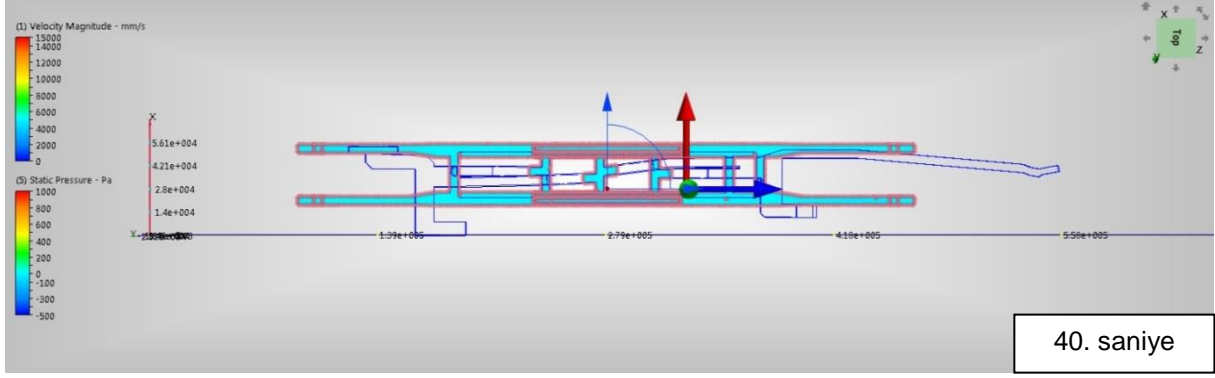




Şekil 6. 35 °C dış sıcaklık ve sıkışık işletme şartlarında zamana bağlı sıcaklık dağılımı

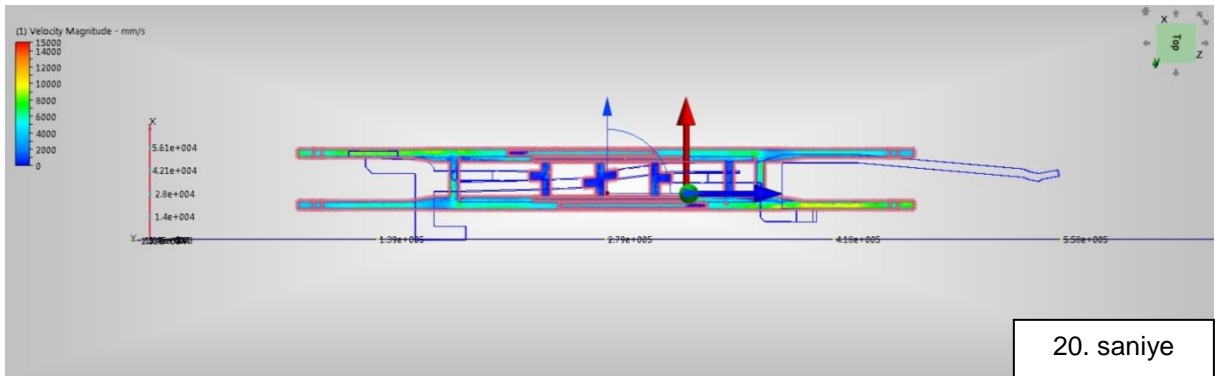
Basınç dağılımı;

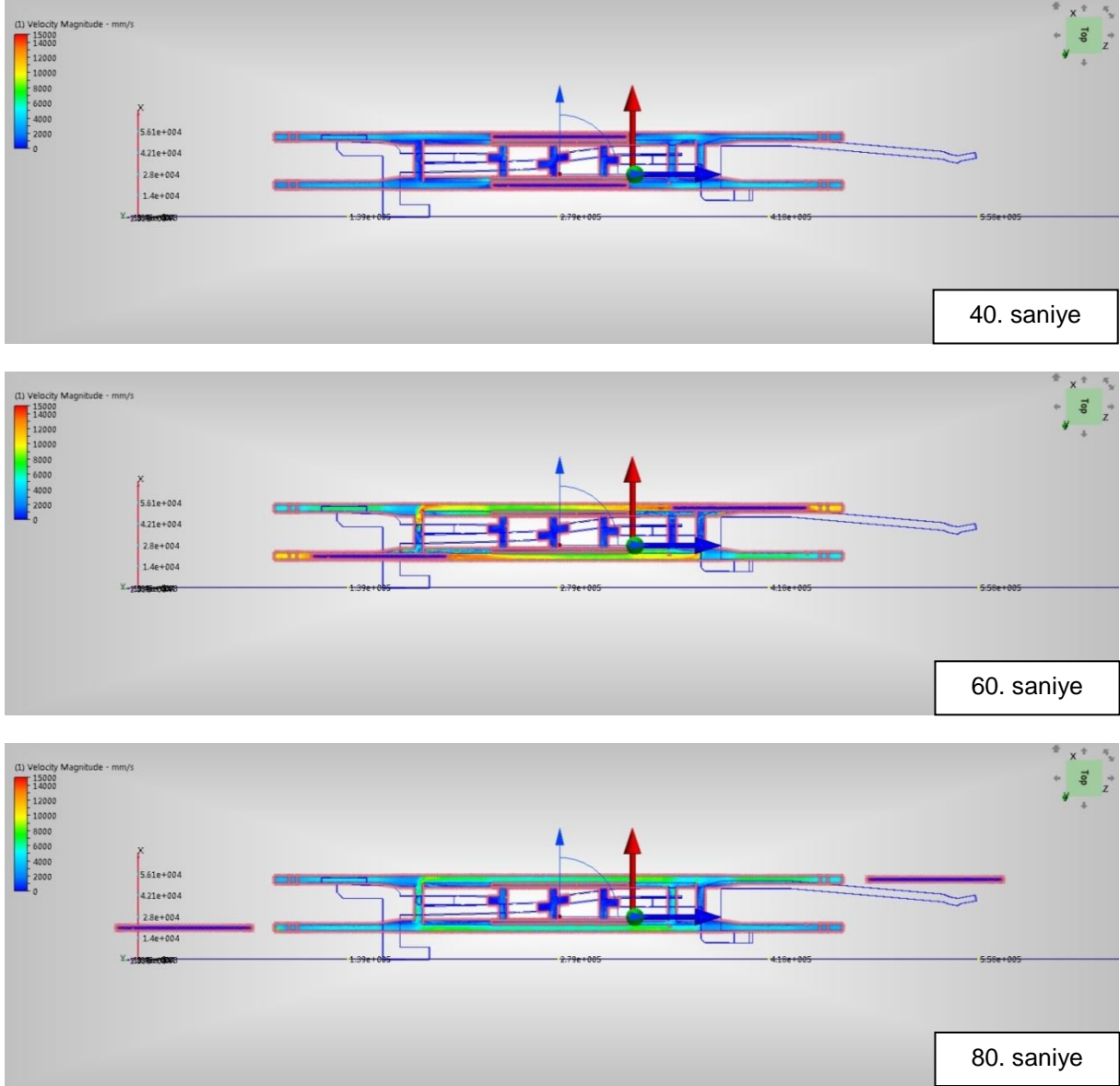




Şekil 7. 35 °C dış sıcaklık ve sıkışık işletme şartlarında zamana bağlı basınç dağılımı

Hava hızı dağılımı;





Şekil 8. 35 °C dış sıcaklık ve sıkışık işletme şartlarında zamana bağlı hava hızı dağılımı

SONUÇ

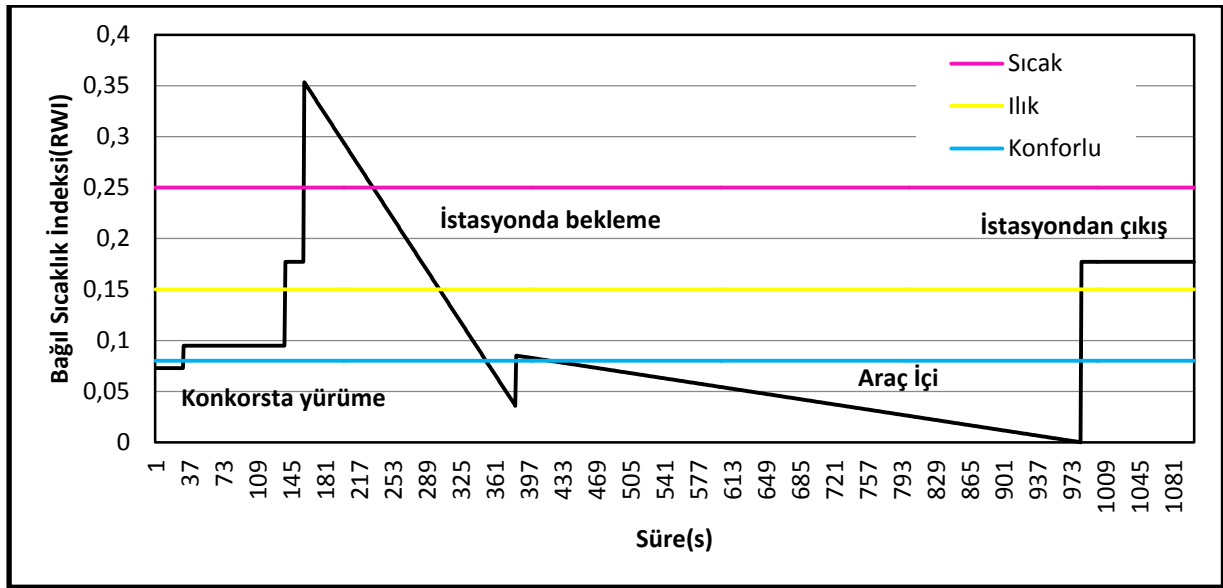
Çalışmada yapılan simülasyonlar incelendiğinde normal işletme şartlarında sıcaklık dağılımının 20 – 22 °C, basınç değişiminin ± 200 Pa, hava hızının ise yolcu bekleme bölümünde(peron) 0-3 m/s aralıklarında oldukları tespit edilmiştir. Sıkışık işletme şartlarında ise basınç ve hava hızının normal şartlar ile benzer olduğu ancak sıcaklık dağılımının 20 – 25 °C arasında olduğu tespit edilmiştir. Ancak sıkışık işletme şartlarında sıcaklığın 3 °C' ye kadar fazla olması yolcular arasında bu şarttaki memnuniyet yüzdesini düşürmektedir. Bu açıdan sıkışık işletme şartlarında mekanik havalandırma sistemlerinin çalışması ısıl konfor şartlarına bağlı olarak memnuniyetin artmasını sağlayacaktır.

Bu etkinin incelenbilmesi amacıyla, HAD analizi ile yapılan inceleme sonucunda elde edilen sıcaklık, hava hızı ve yolcunun istasyon içindeki hareketlerine bağlı olarak, istasyona giren bir yolcunun seyahati süresince (istasyona giriş ve bekleme, araç içi ve istasyondan çıkış) içinde bulunduğu ortamı nasıl algıladığı bağıl sıcaklık indeksi vasıtasıyla incelenmiştir. Tablo 4' te HAD analizi sonucunda elde

edilen ve bağıl sıcaklık indeksinin hesaplandığı sıkışık işletme durumu için ortalama sıcaklık değerleri gösterilmektedir. İncelemede bağıl sıcaklık indeksi metabolizma hızı yüksek olan bir erkek yolcu için ve araç içi klima sisteminin çalıştığı durum için yapılmıştır. Şekil 9’ da bağıl sıcaklık indeksine bağlı olarak yolcunun konfor durumu gösterilmiştir.

Tablo 4. Analiz sonuçlarına bağlı olarak, sıkışık işletme şartları için bağıl sıcaklık indeksi hesaplamalarında kullanılan sıcaklık değerleri ve yolcu yürüme hızı.

İstasyon sıcaklığı	25 °C
Konkors sıcaklığı	22 °C
Tren içi sıcaklığı	21 °C
Yolcu yürüme hızı	4,83 km/h



Şekil 9. İstasyona giren erkek bir yolcunun bağıl sıcaklık indeksine bağlı olarak konfor diyagramı.

Burada istasyona giren yolcunun konkorda kendini konforlu hissettiği, istasyona girdiğinde ortamı öncelikle sıcak hissettiği, ama beklerken yaklaşık bir dakika içinde konfor hissine yaklaştığı, araç içinde ise sıcaklık 21 °C olduğu için ortamı serin hissettiği görülmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] **ASHRAE (2004).** ASHRAE Standard 55: Thermal environmental conditions for human occupancy.
- [2] **J.C. Parker,** Air-conditioning related to passenger environment, C32/72, Railway Division Conference on Passenger Environment, IMechE, 1972, pp. 58–63.
- [3] United States Department of Transportation, 1976. *Subway Environmental Design Handbook, Volume I, Principals and Applications*, 2nd Edition.



ÖZGEÇMİŞ

Nurdil ESKİN

Boğaziçi Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümünden önce lisans, daha sonra Y. Lisans diplomasını alarak 1981 yılında Yüksek Makina Mühendisi olarak mezun olmuştur. 1982-1990 yılları arasında önce Parsons-Brinkerhoff TSB şirketinde İstanbul Metro ve Tüp Geçit Projesi'nde makina mühendisi olarak çalışmış, daha sonra farklı firmalarda özellikle metro ve raylı taşıma sistemlerinde havalandırma, iklimlendirme, drenaj ve yangın güvenliği konularında mühendis ve proje müdürü olarak görev almıştır.

1990 yılında İ.T.Ü. Makina Mühendisliği programında "Akışkan Yataklı Kömür Yakıcısı Modeli ve İkinci Kanun Analizi" başlıklı tezi ile Doktora derecesini almıştır. 1997 yılında Doçent, 2004 yılında Profesör ünvanını almıştır. İ.T.Ü. Makina Fakültesinde bölüm başkan yardımcılığı, Yüksek lisans ve Doktora programları Koordinatörlükleri gibi çeşitli idari kademelerde görev almış, 2008-2011 yılları arasında Akademik işlerden sorumlu Dekan Yardımcılığı görevini yürütmüştür.

TÜYAK Vakfı kurucu üyesi ve yönetim kurulu üyesi de olan Prof.Dr. Eskin'in İki-Fazlı Akışlar, HVAC, Yangın Güvenliği, Isı Tekniği Uygulamaları, Akışkan Yataklı Kazanlar, Binalarda Enerji Verimliliği, Yoğuşma Modelleri ve Analizleri konularında yazılmış ve yayınlanmış kitap, kitap bölümleri, bilimsel rapor, ulusal ve uluslararası makale ve bildiriler olmak üzere toplam 110 adet yayını, "A Cooling Device and a Phase Separator Utilized Therein" isimli buluş ile Yaratıcı (Inventor) ve Kullanıcı (Applicant) olarak dünya patenti vardır. Prof.Dr. Nurdil ESKİN halen İ.T.Ü. Makina Fakültesinde Profesör olarak görev yapmaktadır.

Mesut GÜR

Makina Mühendisliği Bölümünü Sakarya Üniversitesinde, Proses Yüksek Mühendisliği bölümünü 1986 yılında Almanya'da Hamburg/Harburg Teknik Üniversitesinde ve Doktorasını Almanya'da 1992 yılında Clausthal Teknik Üniversitesinin Makine Mühendisliği Termodinamik Anabilim dalında tamamladı. Sırasıyla 1994 te Doçentlik ve 1999 yılında Profesörlük unvanını aldı ve halen İTÜ-Makine Mühendisliği bölümünde öğretim üyesi olarak çalışmaktadır. 2004-2005 yıllarında Amerika'da Pittsburgh Üniversitesinde Misafir öğretim üyesi olarak süper iletkenlerin soğutulması konusunda araştırmalar yaptı. Araştırma konularının başında yanma/gazlaştırma teknikleri, proses tekniği, kurutma ve endüstriyel fırınlar, mikro kanallar, fan ve pompalar, ısıtma-soğutma ve havalandırma teknolojileri gelmektedir.

Oğuz BÜYÜKŞİRİN

1990 İzmir' de doğdu. Lisans eğitimini 2012 senesinde İzmir Dokuz Eylül Üniversitesinde Makine Mühendisliği bölümünde tamamlamıştır. Yüksek lisans eğitimini 2014 senesinde İstanbul Teknik Üniversitesi Makine Fakültesi Isı-Akışkan Yüksek lisans bölümünde tamamlamıştır. Doktora eğitimine İstanbul Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Anabilim Dalında devam etmektedir.

Ünal ALTINTAŞ

1990 yılında Trabzon' da doğdu. 2008 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Makine Fakültesinde lisans eğitimine başladı. 2013 yılında lisans eğitimini tamamladı ve bu yıldan beri İstanbul Teknik Üniversitesinde Makine Mühendisliği Bölümü Malzeme ve İmalat programında yüksek lisans eğitimine devam etmektedir.

