

# YERALTI RAYLI SİSTEM İSTASYONLARINDA GÜVENLİ TAHLİYE KOŞULLARININ SAĞLANMASINDA EKİPMAN KAPASİTE ETKİSİNİN HAD İLE PARAMETRİK OLARAK İNCELENMESİ

*A Parametric CFD Analysis on the effect of the equipment capacity on providing safe evacuation conditions in a subway station*

Ünal ALTINTAŞ  
Engin Deniz CANBAZ

## ÖZET

Ülkemizde kullanımı ve önemi gittikçe artan yeraltı raylı ulaşım sistemlerinde oluşabilecek acil durumlarda yolcuların güvenliğini sağlamak temel bir konu olarak karşımıza çıkmaktadır. Acil durum senaryolarından biri olan tren içerisinde oluşan yangın durumunda, trenin en yakın istasyona intikali ve trende ve istasyonda bulunan yolcuların belirli bir süre içerisinde güvenli bir şekilde istasyon dışına tahliye edilmesi beklenmektedir. Bu çalışmada hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) yöntemleri ve paket program kullanılarak bir metro istasyonunda gerçekleşecek olası bir tren yangınında yolcu tahliyesi için gereken süre içerisinde acil durum mekanik havalandırma sisteminin etkinliği belirlenmiştir. Acil durum işletmesi için farklı hacimsel havalandırma debileri belirlenerek tahliyeyi doğrudan etkileyen sıcaklık, hava hızı ve duman dağılımına bağlı görüş mesafesi değişimleri parametrik olarak incelenmiştir. Çalışmada istasyonlar arası tüneller için sınır koşulları Subway Environmental Simulation (SES) analizi ile belirlenmiştir. Mekanik havalandırma sistemi sonucu oluşan akışın türbülanslı olduğu kabul edilmiş ve k-ε türbülans modeli ile akış üzerindeki türbülans etkileri belirlenmiştir. Yangın, “at<sup>2</sup>” yangın büyüme eğrisine göre 12 MW olarak kullanılmıştır. Çalışma sonucunda sıcaklık, hava hızı ve görüş mesafesi değişimleri NFPA 130 standardına göre irdelenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD), Tünel İçi Yangın, Tünel Havalandırma.

## ABSTRACT

Protection of passengers in an emergency situation is an essential subject in the design of subway systems which are getting widespread throughout Turkey. One of the emergency situations is the possible fire outbreak in a train. In this case, the train is supposed to move to the nearest station for the safe evacuation of the passengers within a short time. In this study, the effectiveness of emergency mechanical ventilation systems, that operates in a fire emergency situation to maintain safe evacuation conditions inside the station while preventing smoke and heat spread, is numerically investigated using CFD techniques and commercial solver. A parametric study is conducted on the performance of mechanical ventilation systems by specifying different operating flow rates and effects of the fan capacity on the temperature level, smoke distribution, and visibility inside the station and on the evacuation routes are evaluated. The exact geometry of the selected subway station and the subway train is used as the computational domain. The flow inside the station which induced by the mechanical ventilation system is assumed to be fully turbulent and k-ε turbulence model is used to calculate the turbulence effects on the transport quantities. Fire is modeled as a heat and smoke source with heat-release rate of 12 MW. Temperature, smoke, and visibility distribution variations inside the station throughout the expected evacuation time (20 minutes) are obtained from the transient simulations and these results are discussed in terms of related fire safety requirements.

**Key Words:** Computational Fluid Dynamic (CFD); Tunnel Fire, Tunnel Ventilation.

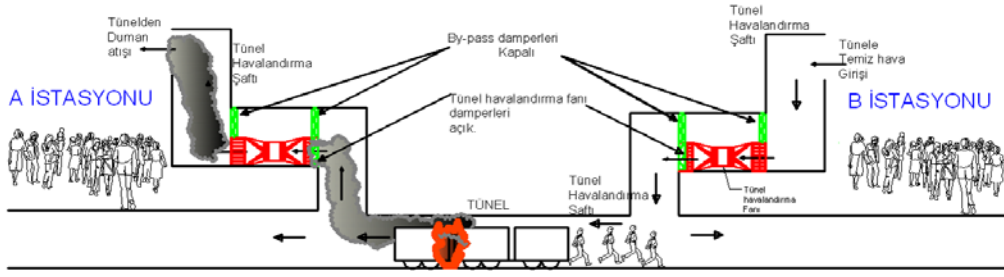
## 1. GİRİŞ

Ülkemizde son yıllarda artan altyapı yatırımları, kent içi raylı sistem projeleri ile tünellerde ve yeraltı istasyonlarında acil durum senaryolarının önemi artmıştır. Tünellerde ve istasyonlarda olası bir acil durum koşulunda en önemli husus yolcuların güvenli bir şekilde tahliyesinin sağlanmasıdır. İstasyon ve tünellerde teşkil edilen tünel havalandırma sistemi (THS) yolcuların tahliye koşullarını sağlamak için kullanılmaktadır.

THS fan kapasiteleri aşağıda belirtilen iki durum için belirlenmektedir;

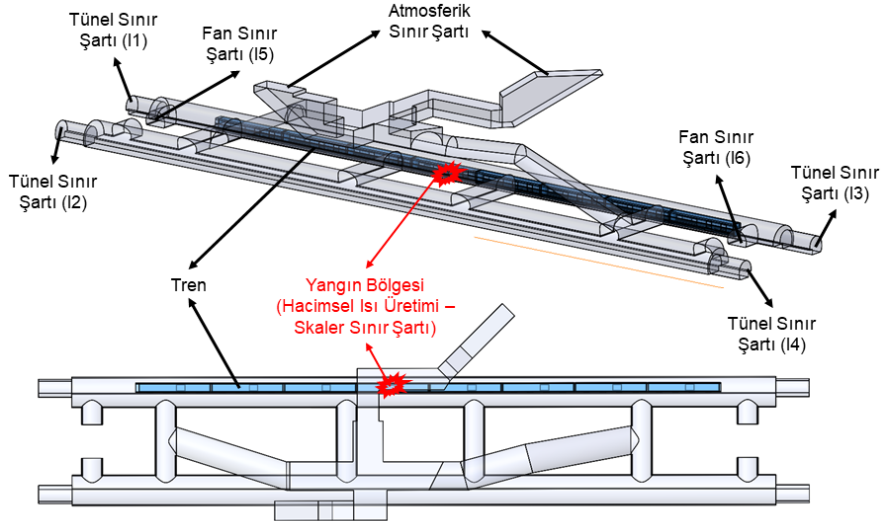
1. Tünelde yangın senaryosu (derayman),
2. İstasyonda tren yangını,

Tünelde yangın senaryosu güncel olarak Subway Environmental Simulation (SES) paket programı ile çözülmektedir. THS tasarımında öncelikle tünelde derayman olan bir tren için gerekli kritik hızı sağlayacak fan kapasitesi belirlenmektedir. Tüneldeki yangın senaryosuna göre belirlenen fan kapasiteleri kullanılarak istasyonda tren yangını durumunda yolcu tahliyesinin şartları hesaplamalı akışkanlar dinamiği modeli ile incelenmektedir. Şekil 1'de tünelde yangın senaryosunun şematik gösterimi verilmiştir.



Şekil 1. Tünelde acil durum senaryosu şematik gösterimi [1]

İstasyonda tren yangını senaryosunda, istasyonun her iki ucuna teşkil edilen tünel havalandırma fanları egzoz modunda çalıştırılarak dumanın istasyon içerisine sirayet etmesi engellenmektedir. Ayrıca yüzeye açılan merdivenlerden temiz hava girişi sağlanarak yolcuların güvenli bir şekilde tahliyesi sağlanmaktadır.



Şekil 2. İstasyon ve tren geometrisini şematik gösterimi. Tren konumuna göre tünel havalandırma fanları egzoz modunda çalışmakta ve kaçış rotası olan merdivenlerden temiz hava akışı sağlanmaktadır.

Kapalı bir mekân olan yeraltı raylı sistem istasyonları içerisinde hava hareketinin tayini, sıcaklık ve duman yayılımının belirlenmesi amacıyla HAD yönteminin kullanımı son yıllarda bilgisayar kapasitelerinin de artmasıyla sıklaşmıştır. Camelli ve diğ. (2014) HAD yöntemiyle istasyon içi akış alanı çözümlemesi gerçekleştirmişlerdir [2]. Akış alanı gerçeğe uygun tayini için yeni bir yöntem geliştiren araştırmacılar elde ettikleri numerik sonuçları deneysel sonuçlarla karşılaştırıp doğrulamıştır. Geliştirdikleri modelde trenlerin yarattığı hava hareketlerini ve ısı etkileri de dikkate alan araştırmacılar hava kirleticilerini yayılımını da hesaplayarak hava kalitesinin de değişimini belirlemişlerdir [2]. Huang (2012) ise çalışmasında bir metro tüneli için farklı şekilde konumlandırılmış havalandırma tesisatı tasarımlarının tünel içi akış alanına etkisini HAD yöntemiyle belirlemiştir [3]. Hareket halindeki tren tarafından oluşturulan akış alanının istasyon içerisindeki havanın tahliyesinde kullanılmasını öngören farklı tünel havalandırma tesisatı ve geometrilerinin etkinliği numerik olarak belirlenmiş ve olası bir uygulamada elde edilen sonuçların faydalı olacağı vurgulanmıştır [3].

HAD analizi ayrıca tünel ve istasyon içi yangın simülasyonlarında da kullanılmıştır. Tsukahara ve diğ. (2011) yaptıkları çalışmada örnek istasyon geometrisi içerisinde büyük çaplı bir yangın senaryosunda sıcaklık, duman ve zehirli gaz yayılımını incelemişlerdir [4]. Sıcaklık ve duman yayılımının özellikle yukarı yönlü kaçış rotalarıyla çakıştığını belirleyen araştırmacılar aşağı yönlü kaçış rotasına imkan verecek şekilde istasyon geometrisinde değişikliğe gitmişlerdir Bu tasarımın etkinliği yine HAD analizi ile belirlenmiştir [4]. Abu-Zaid 2011 yılındaki çalışmasında HAD yöntemiyle istasyon için acil durum yangın senaryosunu incelemiştir. İstasyon içerisinde zamana bağlı olarak değişmeyen bir ısı yükü tanımlamasıyla yangını modelleyen araştırmacı, farklı yangın noktaları için kaçış rotalarındaki sürekli haldeki sıcaklık ve duman dağılımını belirlemiştir. Kaçış yollarının yolcuları için güvenli hale gelebilmesinin ancak mekanik havalandırma sistemiyle mümkün olduğunu belirtmiştir [5]. Karaaslan ve diğ. (2011) yine HAD ile istasyon içi yangın simülasyonu gerçekleştirmişler ancak bu çalışmada paket program içeriğindeki farklı yanma modelleri kullanılarak çözümler elde edilmiş, elde edilen çözümlerin gerçeğe uygunluğu irdelenmiştir [6]. SST k- $\omega$  türbülans modelinin kullanıldığı bu numerik çalışmada trenin yarattığı piston etkisinin duman dağılımına nasıl etki ettiği de belirlenmiştir. Çalışma sonucunda paket program içeriğindeki her yanma modelinin gerçeğin üzerinde sıcaklık tahminleri yaptığı, en uygun modelin ise reaksiyonları hacimsel olarak ele alan “species transport” modeli olduğu saptanmıştır [6]. Kayılı ve Eralp’in 2011 yılında yaptığı çalışmada ise yine paket program kullanarak yangın ve acil durum senaryosu durumunda istasyon içi akış alanı ve sıcaklık dağılımı zamana bağlı olarak belirlenmiştir [7]. Zamana bağlı yangın yükü için “hızlı  $t^2$  büyüme eğrisi” kullanılmıştır. Çalışma sonucunda kaçış yollarındaki hava hızı, sıcaklık ve görüş mesafesi açısından şartların ilgili standartlara uygunluğu belirtilmiştir [7].

Bu çalışma kapsamında ise literatürdeki çalışmalardan farklı olarak örnek bir delme tip tünel istasyon için havalandırma sistemi fan kapasitelerinin istasyonda tren yangını senaryosu durumunda etkisi hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) yöntemi ile incelenmiştir.

## 2. TASARIM KRİTERLERİ VE STANDARTLAR

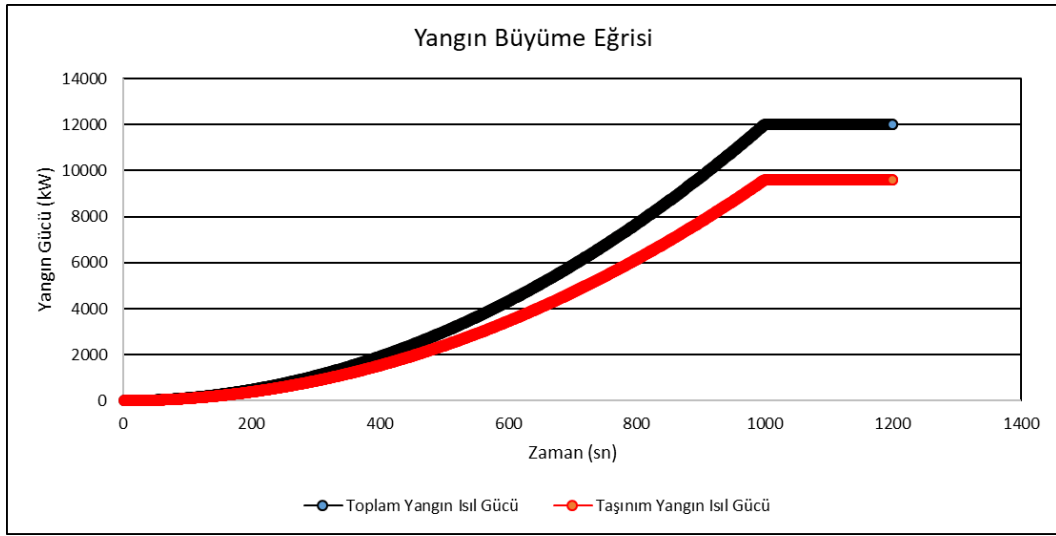
Yeraltı raylı sistem projelerinde referans standart olarak NFPA 130 kullanılmaktadır [8]. NFPA 130’ a göre değerlendirme kriterleri aşağıda özetlenmiştir;

1. NFPA 130 Tablo B 2.1.1’e göre tahliye yolunda 50 °C sıcaklığı aşılmayacaktır.
2. NFPA 130 B 2.1.3’e göre görüş mesafesi 10 m’nin altına düşmeyecektir.
3. NFPA 130 B 2.1.4.2 ve göre hava hızı 11 m/s’nin üzerine çıkmayacaktır.
4. NFPA 130 5.3.3.1’e göre platform 4 dakikada, istasyon 6 dakikada tahliye edilmesi tavsiye edilmektedir.

Bu çalışma kapsamında kullanılan tasarım kriterleri aşağıda özetlenmiştir;

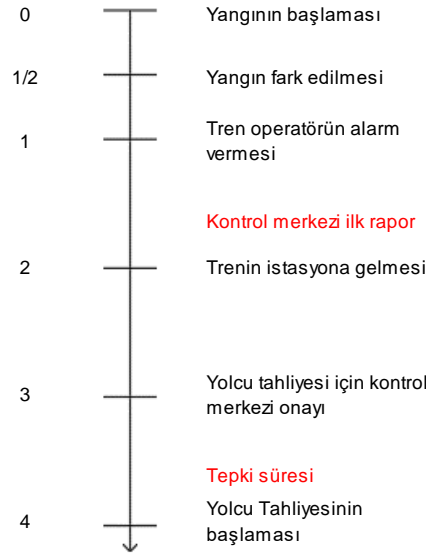
1. Tren yangın yükü 12 MW olacaktır. Yangın taşınım katsayısı “0,8” olacaktır.
2. Yangın büyümesi “ $\alpha^2$ ” eğrisine uygun olacaktır ve yangın büyüme hızı ( $\alpha$ ) “orta” hızda olup 12 W/s<sup>2</sup> olacaktır [9].
3. İstasyonda yolcu tahliyesinin sağlanabilmesi kaçış yolunda (merdiven güzergâhları ve bilet holü) sıcaklık 50 °C değerini aşmayacaktır.
4. Havalandırma hızı “kritik hız” değerinin üstünde olacaktır.
5. Fanların çift yönlü çalışmada “tam tersinir” çalışacağı öngörülmüştür.
6. İstasyonlarda yangın perdesi veya kapısı mevcut değildir.
7. Trenin 8 adet araçtan oluştuğu öngörülmüştür.

Simülasyonlarda kullanılan yangın büyüme eğrisi Şekil 3’te verilmiştir. Yangın kaynaklı toplam ısı yük taşınım ve ışıma yükleri olarak ayrılabilir. Bu çalışmada, 12 MW yangın yükünün taşınım ile transfer edilen kısmı dikkate alınmıştır.



Şekil 3.  $\alpha^2$  yangın büyüme eğrisi

İstasyonda tren yangını durumunda olay sıralaması Şekil 4’te verilmiştir. Şeklin sol tarafında verilmiş olan rakamlar belirtilen olayların kaçınıcı dakikada gerçekleştiğini belirtmektedir. Acil durum olay sıralamasına göre tren hareket halindeyken ve yangının başlangıcını takiben yangın fark edilmekte ve güvenli tahliye için tren en yakın istasyona intikal etmektedir. Trenin istasyona gelişi durum kontrolünün ardından yolcu tahliyesi başlatılmaktadır. Bu çalışmada, trenin istasyona geldiği andan itibaren havalandırma sisteminin güvenli yolcu tahliyesi için gerekli koşulları sağlayıp sağlayamadığı parametrik olarak incelenmiştir.



Şekil 4: Acil durum olay sıralaması [10]

### 3. HAD ANALİZİ

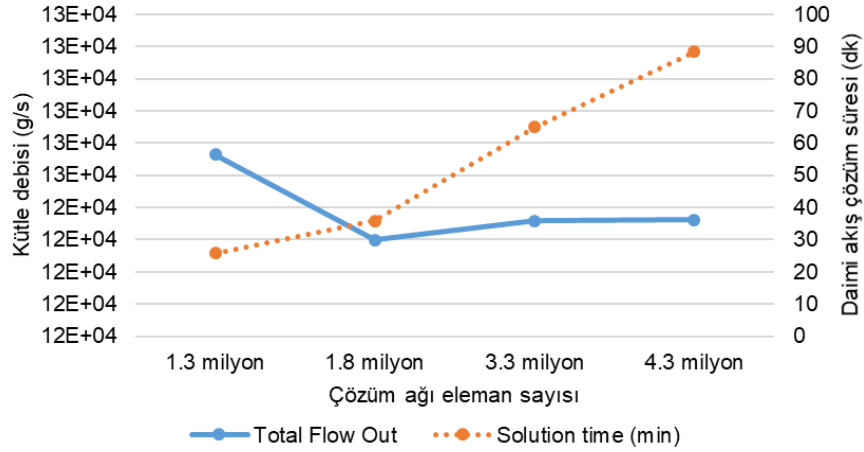
HAD analizi ile amaçlanan, yangın senaryosundaki olay sıralamasına göre trenin istasyona gelip yolcu tahliyesine başladığı andan itibaren istasyon içerisindeki 3 boyutlu hız, sıcaklık ve duman dağılımlarının zamana bağlı olarak belirlenmesidir. Bu amaca uygun olarak örnek istasyonun katı modeli oluşturulmuş, oluşturulan geometri üzerinde paket program yardımıyla ilgili korunum denklemleri zamana bağlı olarak çözülmüştür. Çözüm sonrasında elde edilen dağılımlar kullanılarak istasyon içerisindeki görüş mesafesinin değişimi belirlenmiştir.

#### 3.1. Geometri

Çözüm geometrisi için istasyon içerisindeki hava hacminin katı modeli oluşturulmuştur. Bu işlem sırasında bir sonraki aşamada oluşturulacak çözüm ağını basitleştirmek amacıyla birtakım geometrik detaylar temizlenmiştir. Tren geometrisine ait detaylar, merdiven detayları bu duruma örnek olarak verilebilir. Bu detayların akış ve basınç alanını etkileyeceği açıktır ancak bu değişimler, problemin büyüklüğü de göz önüne alınarak ihmal edilmiştir. Geometriye ait detaylar Şekil 2'de verilmiştir.

#### 3.2. Çözüm Ağı

Çözüm için uygun çözüm ağının belirlenmesi amacıyla çözüm ağından bağımsızlık testi uygulanmıştır. Bu adım için farklı sayıda elemanlardan oluşan çözüm ağları üzerinde,  $4 \times 80 \text{ m}^3/\text{s}$  kapasiteli acil durum fanlarının çalıştığı durumda istasyon içi daimi akış çözümü elde edilmiştir. Yangın kaynaklı ısı üretimi ve duman üretiminin ise çözüme dahil edilmemiştir. Acil durumdaki hacimsel debi sınır koşulları belirlendikten (Tablo 1) sonra çözüm ağını oluşturan toplam eleman sayısı değiştirilerek atmosferik basınç sınır şartına sahip yüzeylerdeki toplam kütle debisinin değişimi incelenmiştir. Bu sonuçlar Şekil 5'te verilmiştir.



Şekil 5: HAD analizi için çözüm ağından bağımsızlık testinin sonuçları

Eleman sayısı arttıkça toplam kütle debisinin belirli bir değere yakınsadığı görülmektedir. Bu sonuçlar ışığında 1,8 milyon elemana sahip çözüm ağı aşağıda sunulan çalışmalarda kullanılmıştır. Bu kararda çözüm süresinin de etkili olmuştur.

### 3.3. Matematik Model

HAD analizinde çözümü elde edilen matematik modele ait korunum denklemleri ve yardımcı denklemler aşağıda verilmiştir. Problemi belirtilen denklemler oluşturulurken akışın sıkıştırılmaz, tek fazlı ve türbülanslı olduğu kabul edilmiştir. Enerji korunumunda ise dissipasyon terimi ve ışınım kaynaklı ısı transferi ihmal edilmiştir.

Süreklilik:

$$\nabla \cdot \vec{v} = 0 \quad (1)$$

Momentum korunumu:

$$\rho \left[ \frac{\partial \vec{v}}{\partial t} + (\vec{v} \cdot \nabla) \vec{v} \right] = -\nabla p + (\mu + \mu_t) \nabla^2 \vec{v} + \rho \vec{g} \quad (2)$$

$$\mu_t = C_\mu \rho \frac{K^2}{\varepsilon} \quad (3)$$

Enerji korunumu:

$$\rho c_p \left[ \frac{\partial T}{\partial t} + (\vec{v} \cdot \nabla) T \right] = (k + k_t) \nabla^2 T + \dot{q}_v \quad (4)$$

$$k_t = \frac{\mu_t c_p}{\sigma_t} \quad (5)$$

Skaler korunumu (Duman yayılımını modellemek için):

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} + (\vec{v} \cdot \nabla) \phi = D_{\phi,t} \nabla^2 \phi \quad (6)$$

$$D_{\phi,t} = \frac{\mu_t}{\sigma_t} \quad (7)$$

Türbülans denklemleri:

$$\rho \left[ \frac{\partial K}{\partial t} + (\vec{v} \cdot \nabla) K \right] = \nabla \cdot \left( \frac{\mu_t}{\sigma_K} \nabla K \right) - \rho \epsilon + S_K \quad (8)$$

$$\rho \left[ \frac{\partial \epsilon}{\partial t} + (\vec{v} \cdot \nabla) \epsilon \right] = \nabla \cdot \left( \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \nabla \epsilon \right) - C_2 \rho \frac{\epsilon^2}{K} + S_\epsilon \quad (9)$$

Görüş mesafesi formülasyonu:

$$G = \frac{K_\epsilon}{\alpha_m \lambda_p \phi} \quad (10)$$

Türbülansın akış ve diğer transport olayları üzerinde yarattığı etkiler, k-epsilon türbülans modeli hesaplanmıştır [11]. Yangın kaynaklı ısı yayılımı, enerji korunum denklemi içerisinde kaynak terim ile belirtilmiştir. Yangın kaynaklı duman dağılımı ise skaler tanımları ile modellenmiş, skaler korunum denklemi ile yayılım hesaplanmıştır. Duman yayılımı belirlendikten sonra Eşitlik (10) kullanılarak istasyon içi görüş mesafesi değişimi belirlenmiştir [12], [13].

### 3.4. Sınır Koşulları

Yangın kaynaklı hacimsel ısı üretimi için tren geometrisi içerisinde yangın geometrisi oluşturulmuştur. Zamana bağlı çözüm sırasında hacimsel ısı üretimi de zamana bağlı olarak tanımlanmıştır. Duman yayılımı için ise yine yangın geometrisi üzerinde skaler tanımları yapılmıştır.

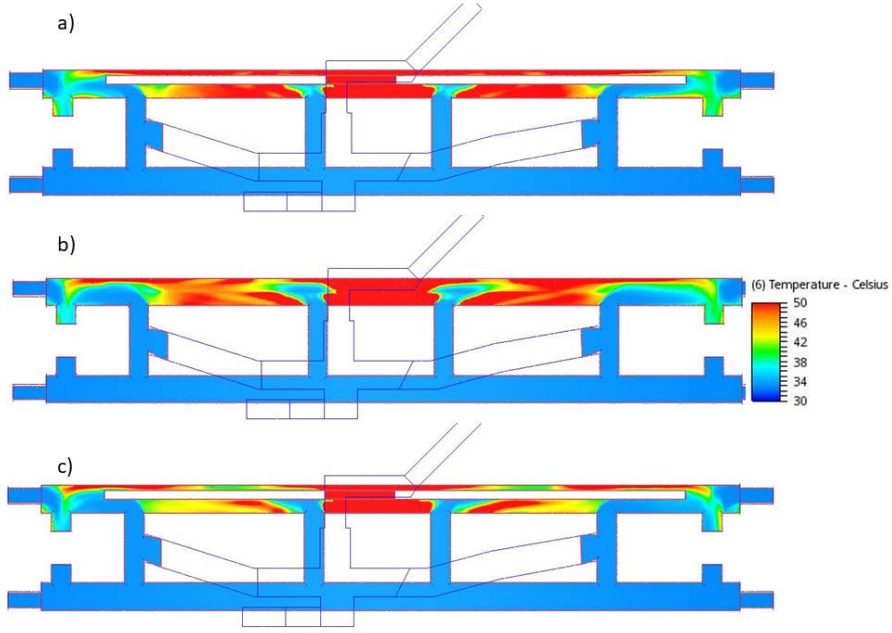
Acil durum fanlarının oluşturduğu hava akışı ve çekiş sonucu oluşan tünel-istasyon bölgelerindeki hava akışı debi değerlerinin SES programı ile hesaplandığı belirtilmiştir. Bulunan bu değerler daha sonra ilgili yüzeylere hacimsel debi tanımları yapılarak çözümde kullanılmıştır. Parametrik çalışma kapsamında 3 ayrı fan kapasitesi seçimi yapılmıştır. Tüm farklı fan kapasiteleri için sınır koşulları ve diğer sınır koşulları Tablo 1’de verilmiştir.

**Tablo 1.** HAD analizi için belirlenen sınır şartları ve değerleri. Negatif debi değerleri çekiş (egzoz) durumunu belirtmektedir.

THS Fan Kapasitesi	4x60 m <sup>3</sup> /s	4x80 m <sup>3</sup> /s	4x100 m <sup>3</sup> /s
Tünel Sınır Şartı (I1)	53 m <sup>3</sup> /s	72 m <sup>3</sup> /s	86 m <sup>3</sup> /s
Tünel Sınır Şartı (I2)	33 m <sup>3</sup> /s	47 m <sup>3</sup> /s	57 m <sup>3</sup> /s
Tünel Sınır Şartı (I3)	42 m <sup>3</sup> /s	55 m <sup>3</sup> /s	64 m <sup>3</sup> /s
Tünel Sınır Şartı (I4)	31 m <sup>3</sup> /s	49 m <sup>3</sup> /s	45 m <sup>3</sup> /s
THS Sınır Şartı (I5)	-117 m <sup>3</sup> /s	-157 m <sup>3</sup> /s	-187 m <sup>3</sup> /s
THS Sınır Şartı (I6)	-116 m <sup>3</sup> /s	-157 m <sup>3</sup> /s	-182 m <sup>3</sup> /s
Atmosferik Sınır Şartı	0 Pa, 33 °C		
Hacimsel Isı Üretimi	Zamana bağlı 12 MW		
Duman (Skaler) Sınır Şartı	1		

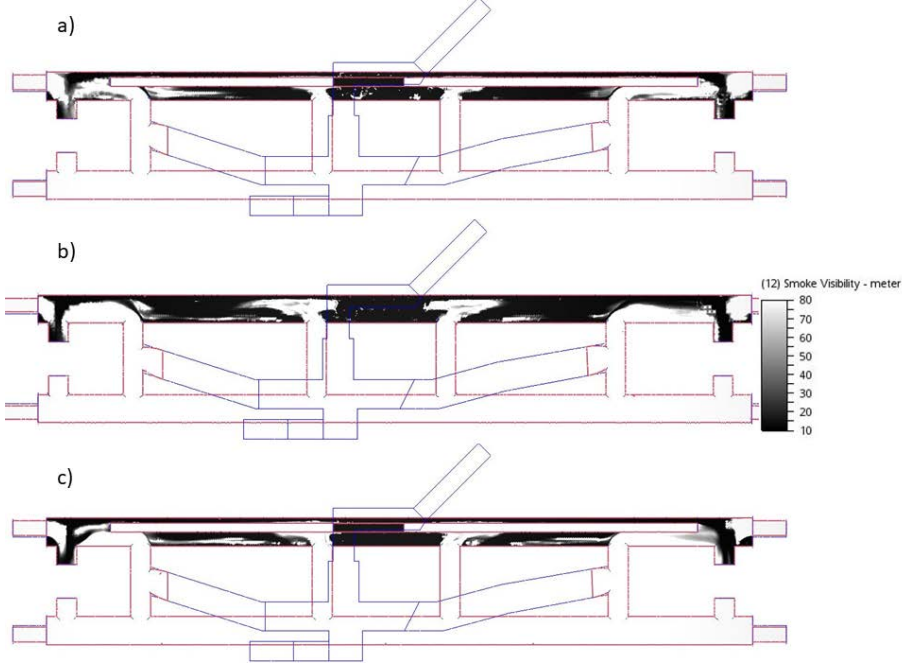
## 4. BULGULAR ve DEĞERLENDİRME

Şekil 6’da 6. dakika için peron içi sıcaklık dağılımı 3 farklı THS fan kapasitesi için verilmiştir. 6. dakika acil durum senaryosunda tahliye süresi açısından kritik bir öneme sahiptir. Bu süre içerisinde yangının trenin bulunduğu peron bölgesini tamamıyla etkilediği görülmektedir. Kaçış yolları olan koridor ve merdivenlere, yangından etkilenen havanın sirayet etmemesi için yangından etkilenmiş havanın fanlar tarafından etkili bir tahliyesi şarttır. 60 m<sup>3</sup>/s kapasiteli fanların bu görevi yerine getiremediği görülmektedir. 80 ve 100 m<sup>3</sup>/s’lik fanlar ise etkili bir egzoz yaparak kaçış rotasında yangından etkilenmemiş bölgelerin sağlayabilmektedirler.



**Şekil 6.** 6. dakikadaki peron içi sıcaklık dağılımı a) 4x60 m<sup>3</sup>/s b) 4x80 m<sup>3</sup>/s c) 4x100 m<sup>3</sup>/s

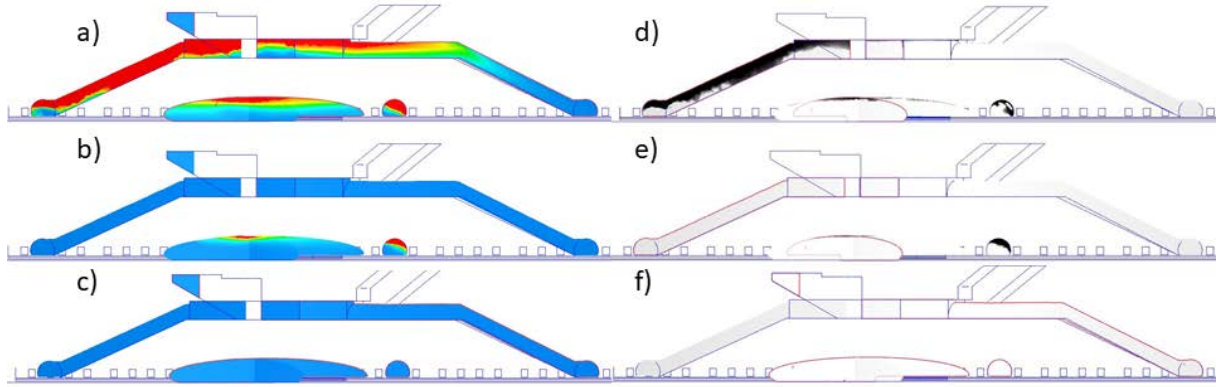
Peron içerisindeki görüş mesafesi değişimi sıcaklık dağılımı doğrudan bağlantılıdır. Aynı süre içerisinde, fanların duman tahliyesindeki gösterdiği performans, Şekil 7'den anlaşılabilir.



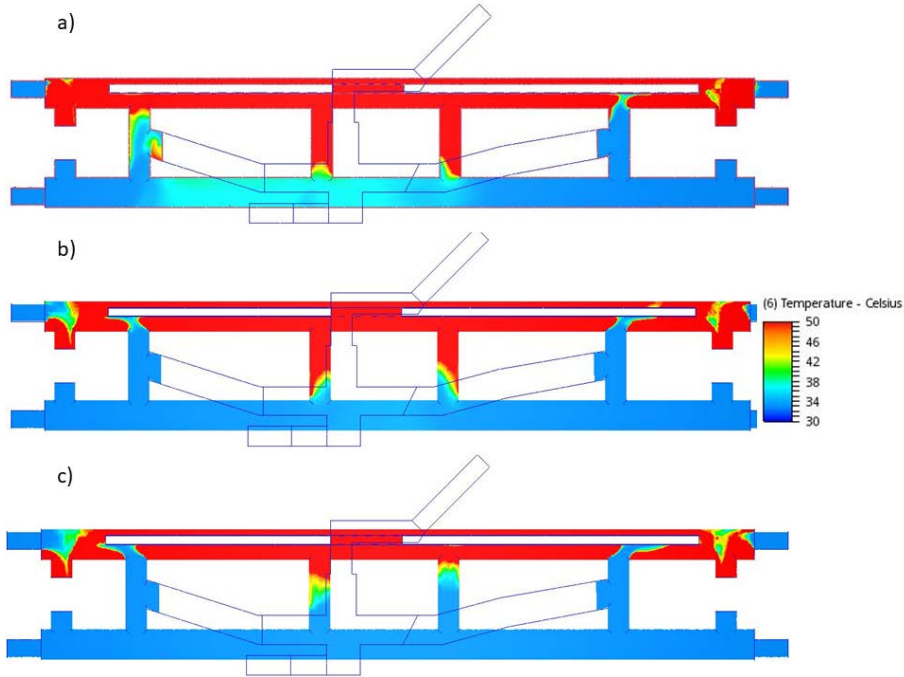
**Şekil 7.** 6. dakikadaki peron içi bölgesel görüş mesafesi değerleri a) 4x60 m<sup>3</sup>/s b) 4x80 m<sup>3</sup>/s c) 4x100 m<sup>3</sup>/s

Tahliye süresi sonu olan 20 dakika sonundaki merdivenler ve peron içerisindeki sıcaklık dağılımı ve görüş mesafesi değişimi Şekil 8, Şekil 9 ve Şekil 10'da verilmiştir. Çözümler sonunda, 60 m<sup>3</sup>/s kapasiteye sahip ilk fan grubunun kaçış rotası üzerindeki merdivenlere duman ve sıcak hava sirayetini engelleyemediği belirlenmiştir. Bu durumda, bu çalışmaya konu olan örnek istasyon için 80 veya 100 m<sup>3</sup>/s kapasiteye sahip THS gruplarının kullanılması gerektiği sonucuna varılmaktadır.

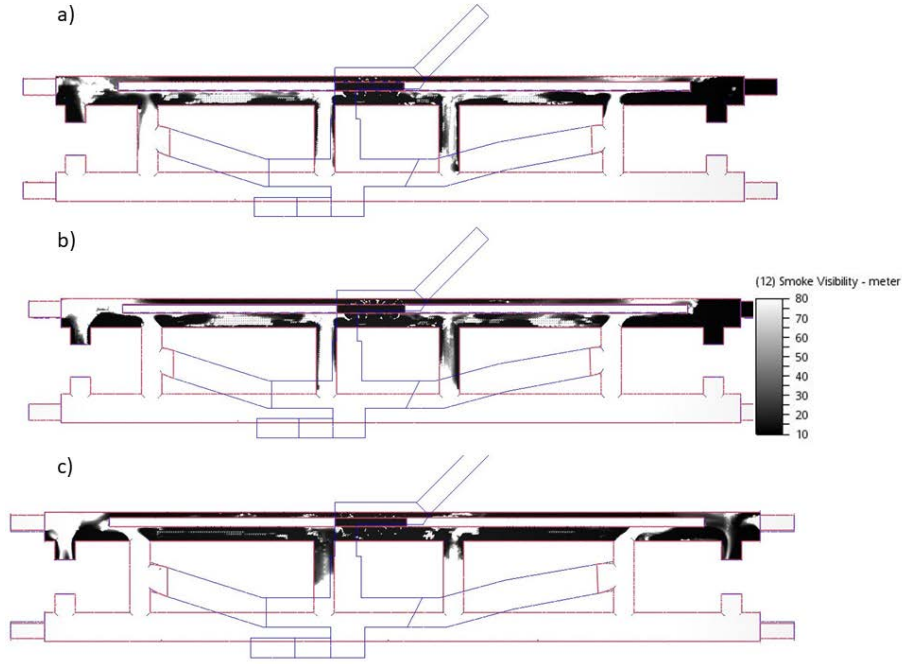




**Şekil 8:** 20. dakikadaki kaçış rotası merdivenlerdeki sıcaklık ve görüş mesafesi değişimi. Sıcaklık dağılımları: a)  $4 \times 60 \text{ m}^3/\text{s}$  b)  $4 \times 80 \text{ m}^3/\text{s}$  c)  $4 \times 100 \text{ m}^3/\text{s}$ . Görüş mesafesi değişimi: a)  $4 \times 60 \text{ m}^3/\text{s}$  b)  $4 \times 80 \text{ m}^3/\text{s}$  c)  $4 \times 100 \text{ m}^3/\text{s}$

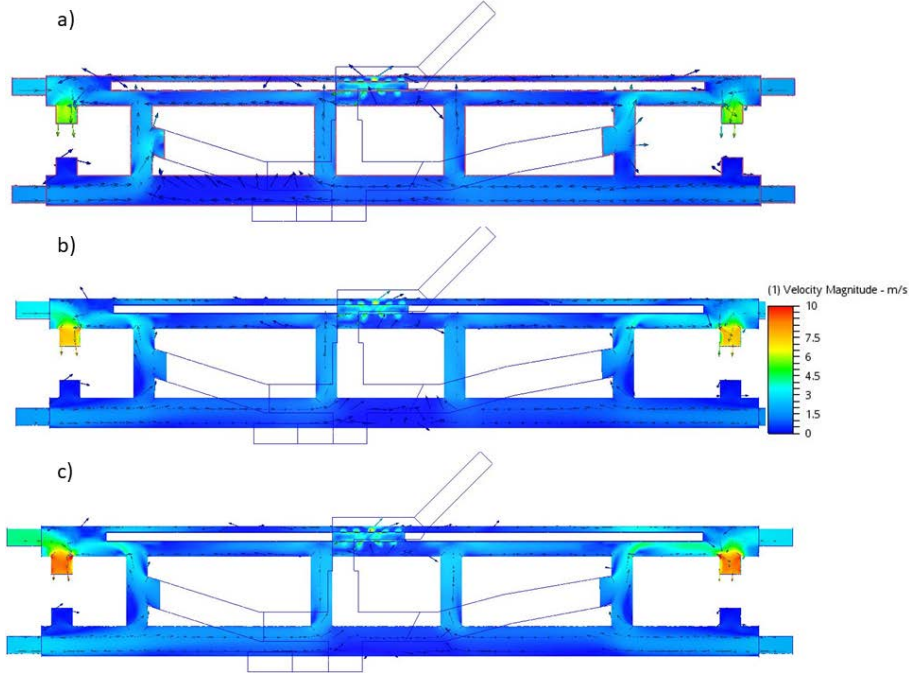


**Şekil 9:** 20. dakikadaki peron içi sıcaklık dağılımı. a)  $4 \times 60 \text{ m}^3/\text{s}$  b)  $4 \times 80 \text{ m}^3/\text{s}$  c)  $4 \times 100 \text{ m}^3/\text{s}$



**Şekil 10:** 20. dakikadaki peron içi bölgesel görüş mesafesi değerleri a)  $4 \times 60 \text{ m}^3/\text{s}$  b)  $4 \times 80 \text{ m}^3/\text{s}$  c)  $4 \times 100 \text{ m}^3/\text{s}$

Acil durum yolcu tahliyesi sırasında bir diğer önemli husus yolcuların maruz kalacağı hava hızıdır. Peron içerisindeki hız dağılımları Şekil 11’de verilmiştir. Beklenildiği gibi en yüksek hız değerleri  $100 \text{ m}^3/\text{s}$  kapasiteye sahip fan grubunda görülmektedir. Bu yüksek hız değerlerinin yolcu tahliyesinde zorluklar yaşatabileceği öngörülmüştür. Bu açıdan bakıldığında, güvenli bir tahliye işlemi için  $80 \text{ m}^3/\text{s}$  kapasiteli fan grubun tercih edilmesi önerilebilir.



**Şekil 11:** 20. dakikadaki peron hız dağılımı. Hız yönü oklarla belirtilmiştir. a)  $4 \times 60 \text{ m}^3/\text{s}$  b)  $4 \times 80 \text{ m}^3/\text{s}$  c)  $4 \times 100 \text{ m}^3/\text{s}$

## 5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Örnek bir delme tip istasyon için yapılan bu mühendislik çalışmasında acil durum havalandırma sisteminin kapasitesinin olası bir tren yangınında etkisi belirlenmiştir. İstasyon içi üç boyutlu ve zamana bağlı akış alanı, sıcaklık ve görüş mesafesi dağılımı HAD analizi ile belirlenmiştir. Seçilen üç farklı fan kapasitesinin her biri için istasyon içerisinde güvenli tahliye koşullarının sağlanıp sağlanmadığı saptanmış, sonuç olarak 4x80 m<sup>3</sup>/s kapasiteli fan grubunun kaçış yollarının güvenliğini sağlamada yeterli olduğu görülmüştür. Bu yeterlilik durumu, hava hızı, sıcaklık ve görüş mesafesi yönünden ilgili NFPA standartlarının belirttiği koşullara göre belirlenmiştir.

Yapılan numerik çözümler sonucunda acil durum fanlarının kapasitesinin yolcu tahliye rotalarının güvenliğini sağlama açısından önemli bir değişken olduğu da gösterilmiştir. Ayrıca, HAD analizinin ve hacimsel ısı üretimine dayanan yangın ve duman modellemesinin bu ve benzeri simülasyonlarda sonuca ulaşmada hızlı ve etkin bir mühendislik yöntemi olduğu gösterilmiştir.

### SEMBOL LİSTESİ

$c_p$	Özgül ısı
$C_u$	Ampirik sabit
$D_{\phi,t}$	Skaler türbülanslı difüzyon katsayısı
$\vec{g}$	Yerçekimi vektörü
$G$	Görüş mesafesi
$K$	Türbülans kinetik enerji
$K_e$	Tabela görünürlük sabiti
$k$	Isı iletim katsayısı
$k_t$	Türbülanslı (Eddy) ısı iletim katsayısı
$p$	Basınç
$q_v$	Hacimsel ısı üretimi
$T$	Sıcaklık
$t$	Zaman
$\dot{Y}_p$	İs partikül üretimi

### Yunan Harfleri

$\alpha_m$	Özgül tükenme katsayısı
$\epsilon$	Türbülans enerji disipasyonu
$\mu$	Dinamik viskozite
$\mu_t$	Eddy viskozite
$\rho$	Yoğunluk
$\sigma_t$	Türbülans Prandtl sayısı
$\phi$	Duman yayılım skaleri

### KAYNAKLAR

- [1] M. Gür, N. Eskin, Ü. Altıntaş, and O. Büyüksirin, "Acil Durum (Yangın) Şartlarında Peron Ayırıcı Kapıların (PAK) Etkisinin İncelenmesi," ISTANBUL, 2004.
- [2] F. E. Camelli, G. Byrne, and R. Löhner, "Modeling subway air flow using CFD," *Tunn. Undergr. Sp. Technol.*, vol. 43, pp. 20–31, 2014.
- [3] Y. D. Huang, C. Li, and N. C. Kim, "A numerical analysis of the ventilation performance for different ventilation strategies in a subway tunnel," *J. Hydrodyn.*, vol. 24, no. 2, pp. 193–201, 2012.
- [4] M. Tsukahara, Y. Koshiba, and H. Ohtani, "Effectiveness of downward evacuation in a large-scale subway fire using Fire Dynamics Simulator," *Tunn. Undergr. Sp. Technol.*, vol. 26, no. 4, pp. 573–581, 2011.
- [5] S. Abu-Zaid, "Analyzing a Transit Subway Station During Fire Emergency Using Computational

- Fluid Dynamics,” *Transp. Res. Rec. J. Transp. Res. Board*, vol. 1521, pp. 159–164, 2007.
- [6] S. Karaaslan, N. Dinler, and N. Yücel, “Metro İstasyonunda Farklı Yanma Modelleri Kullanarak Yangın Simülasyonu,” *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, vol. 26, no. 3, pp. 533–547, 2011.
- [7] S. Kayılı and O. C. Eralp, “Fire Dynamics Simulator Programıyla Yer Altı Toplu Taşıma İstasyonlarında Yangın ve Havalandırma Simülasyonu,” *Mühendis ve Makina*, vol. 52, no. 612, pp. 42–50, 2011.
- [8] National Fire Protection Association, *NFPA 130: Standard for Fixed Guideway Transit and Passenger Rail Systems*. NFPA, 2003.
- [9] National Fire Protection Association, *NFPA 204: Standard for smoke and heat venting*. NFPA, 2002.
- [10] F. Blennemann, G. Girnau, and H. Grossmann, *Brandschutz in Fahrzeugen und Tunneln des ÖPNV*. Cologne, 2005.
- [11] B. E. Launder and B. I. Sharma, “Application of the energy-dissipation model of turbulence to the calculation of flow near a spinning disc,” *Lett. Heat Mass Transf.*, vol. 1, no. 2, pp. 131–137, Nov. 1974.
- [12] J. H. Klote and J. A. Milke, *Principles of Smoke Management*. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2002.
- [13] J. H. Klote and P. G. Turnbull, *Handbook of Smoke Control Engineering*. 2012.

## ÖZGEÇMİŞ

### Ünal ALTINTAŞ

1990 yılı Trabzon doğumludur. 2013 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. Aynı Üniversiteden 2018 yılında Yüksek Mühendis ünvanını almıştır. 2013-2016 Yılları arasında İTÜ’de 113M038 numaralı projede bursiyer olarak, 2016-2018 yıllarında Yüksel Proje Uluslararası A.Ş.’de Makine Mühendisi olarak görev yapmıştır. 2018 yılı Eylül ayından beri Daimon Mühendislik Müşavirlik Danışmanlık Ltd. Şti’de Makine Mühendisi olarak görev almaktadır. Tünel havalandırma sistemleri, yangın simülasyonları konularında çalışmaktadır.

### Engin Deniz CANBAZ

1993 yılında Çanakkale’de doğdu. 2016 yılında İTÜ Makina Fakültesi, Makina Mühendisliği bölümünde lisans eğitimini, 2018 yılında İTÜ Makina Fakültesi Isı-Akışkan bölümünde yüksek lisans eğitimini tamamladı. Halen İTÜ Makina Fakültesinde araştırma görevlisi olarak da çalışmasını sürdürmektedir.