

YERALTI TAŞIMA SİSTEMLERİ İSTASYONLARINDA HESAPLAMALI AKIŞKANLAR DİNAMİĞİ YÖNTEMİYLE YANGIN VE HAVALANDIRMA SİMÜLASYONU

Serkan KAYILI
O. Cahit ERALP

ÖZET

Yeraltı toplu taşıma sistemlerinde oluşan yangınlarda insan hayatını esas tehdit eden, yangına doğrudan maruz kalmak değildir. Yangınlarda ölümlerin büyük bölümü dumanın solunması sonucudur. Yeraltı toplu taşıma sisteminde oluşan bir tren yangınında, yangın ve duman yayılımının sayısal simülasyonu, sonuçların değerlendirilmesi ve en iyi kaçış stratejisinin belirlenmesinde faydalı bir araç olarak kullanılmaktadır. Bir istasyon yangınında acil durum havalandırma sistemi ısıyı, dumanı ve yanmadan oluşan zehirli atıkları kaçış yönünden uzaklaştırarak istasyondan tehlikesiz bir bölgeye güvenli kaçışı garanti edecek yeterlilikte olmalıdır. Son yıllarda, acil havalandırma sistemlerinin performansının değerlendirilmesinde araç olarak Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği kullanılmaktadır. Bu çalışmada yeraltı toplu taşıma sistemindeki bir istasyonda, CFDDesign 9.0 Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği programı kullanılarak yangın simülasyonu yapılmıştır. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği simülasyonlarında karmaşık geometrilerdeki akış dağılımını gerçeğe daha yakın tasvir edebilmek için üç boyutlu istasyon modelleri kullanılmıştır. Metro istasyonunda çıkan bir tren yangını simülasyonu için yangının belli bir gelişmişlik düzeyini ifade eden zamandan bağımsız bir analiz yapılmıştır. Yangın, duman ve enerji kaynağı olarak ifade edilmiştir. Bu çalışmalardan elde edilen sonuçlar sıcaklık, hız ve duman yoğunluk dağılımları eş değer eğrileri şeklinde verilmiştir.

1. GİRİŞ

Tarihte yeraltı toplu taşıma sistemlerinde yangınlara azda olsa rastlanmaktadır. Tablo-1'de tarihte yeraltı toplu taşıma sistemlerinde meydana gelen bazı yangınlar belirtilmiştir. Yeraltı toplu taşıma sistemlerinde oluşan yangınlarda insan hayatını esas tehdit eden yangına direkt maruz kalmak değildir. Yangınlarda ölümlerin büyük bölümü duman solunması sonucudur. Yangından oluşan zehirli gazlar hem insanların solunumunu etkilemekte hem de görüş mesafesini düşürmektedir. İnsanların yeraltı toplu taşıma sistemlerini (metroları) güvenli bir şekilde kullanabilmeleri için havalandırma sistemlerinin ayrıntılı ve dikkatli bir şekilde tasarlanması gerekmektedir.

Acil durum havalandırma sisteminin amacı insanlar için gerekli kaçış süresini sağlamanın yanı sıra itfaiye personelinin yangına müdahale etmesini de kolaylaştırmaktır. Sıcaklığın havalandırma sistemi sayesinde düşük seviyelerde tutulması gerekmektedir. Böylelikle insanlar kaçış süresince herhangi bir tehdit ile karşılaşmayacaklardır.

Bu çalışmada yeraltı toplu taşıma sistemindeki bir istasyonda, CFDDesign 9.0 Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği programı kullanılarak yangın simülasyonu yapılmıştır. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği simülasyonlarında karmaşık geometrilerdeki akış dağılımını gerçeğe daha yakın tasvir edebilmek için üç boyutlu istasyon modelleri kullanılmıştır. Metro istasyonunda çıkan bir tren yangınının simülasyonu için zamandan bağımsız bir analiz yapılmıştır. Yangın, duman ve enerji kaynağı olarak ifade edilmiştir. Bu çalışmalardan elde edilen sonuçlar sıcaklık, hız ve duman yoğunluk dağılımları eş değer eğrileri şeklinde verilmiştir.

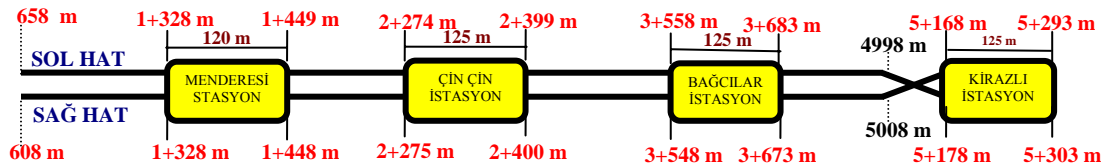
Tablo 1. Yeraltı Toplu Taşıma Sisteminde Oluşan Bazı Yangınlar [1]

Tarih	Şehir	Ayrıntılar
Mart 1964	New York	Tren ve ekipmanları yandı. 3 kişi yaralandı
Ocak 1968	Tokyo	Trenin frenlerindeki ısınmadan dolayı yangın çıktı. 11 kişi yaralandı
Eylül 1970	Tokyo	Restoran yanmaya başladı ve duman yeraltı toplu taşıma sistemine yayıldı.
Şubat 1976	Londra	Platform ekipmanları yanmaya başladı ve elektrik kesildi. 9 tren tünel içinde durmak zorunda kaldı. 25 kişi yaralandı
Eylül 1979	New York	Transformatörler tutuştu ve 178 kişi yaralandı
Ocak 1979	San Fransisko	Trenden oluşan kıvılcımlar sonucu yangın çıktı. 1 kişi öldü ve 44 kişi yaralandı.
Ağustos 1983	Nagoya	İstasyon transformatörleri yanmaya başladı. 700 kişi tünelden kaçmak zorunda kaldı ve 1 itfaiyeci öldü.
Kasım 1984	Londra	Platform depo sahası yandı; tavan ve duvarlar zarar gördü. 18 kişi yaralandı
Temmuz 1985	Londra	Yürüyen merdiven yanmaya başladı. 1 kişi öldü ve 47 kişi yaralandı.
Aralık 1985	Londra	Yürüyen merdiven yanmaya başladı. 200 kişi kurtarıldı.
Kasım 1987	Londra	Yürüyen merdiven yanmaya başladı ve duman istasyona yayıldı. 84 kişi yaralandı.
Mayıs 1994	Taipei	Transformatörler yanmaya başladı ve duman istasyonun iki katına yayıldı. 10 itfaiyeci yaralandı.
Ekim 1995	Bakü	Trende yangın çıktı. 337 kişi öldü ve 227 kişi yaralandı.
Nisan 2000	Washington, DC	Elektrik kabloları yanmaya başladı. Trende bulunan 273 kişi kurtarıldı.

Çalışmada örnek alınan istasyon, İstanbul Otogar-Bağcılar Raylı Toplu Taşıma Sistemine dahil olan istasyonlardan biridir.

2. SİSTEMİN TANITILMASI

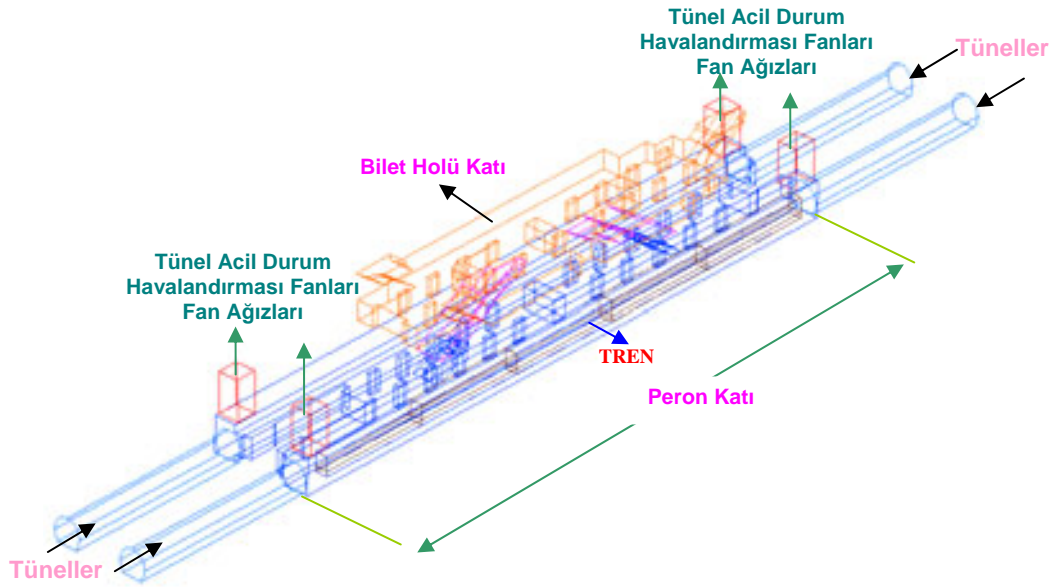
İstanbul Otogar-Bağcılar Raylı Toplu Taşıma Sistemi projesine dâhil olan bir istasyonda yangın durumu CFD (Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği) tekniği kullanılarak incelenmiştir. Söz konusu Raylı Toplu Taşıma Sistemi, yeraltında bulunan kısmında, 4 adet istasyon ve bunlara bağlı tünellerden oluşmaktadır (Şekil-1).

**Şekil 1.** İstanbul Otogar Bağcılar Raylı Toplu Taşıma Sisteminin Şematik Gösterimi [2]

Analizi yapılan istasyonun platform uzunluğu 125 m, genişliği 21 m ve ray üst kotundan yüksekliği 6.17 m'dir. İstasyonun platform ve bilet holü katının üç boyutlu geometrisi bilgisayarlı çizim programı vasıtasıyla modellenmiştir. Şekil-2'de istasyonun üç boyutlu modeli gösterilmiştir. İstasyonunun her iki tarafında ikişer çift tünel acil durum havalandırma fanı yer almaktadır. Bu fanların her birinin kapasitesi $100 \text{ m}^3/\text{s}$ 'dir. Gereken fan kapasiteleri, Subway Environmental Simulation [3] programı kullanılarak yapılan tünel yangını simülasyonları sonucunda belirlenmiştir. Daha sonra yapılan detaylı analizler sonucunda bu fanların kapasiteleri optimize edilmiştir. Tünel havalandırma fanları çift yönlü olarak çalışabilecek şekilde seçilmelidir. Fanların seçilmesinde dikkat edilmesi gereken kriterler NFPA-130 [4] standardında belirtilmiştir.

3. YANGIN SENARYOSU SİMÜLASYONU

Bu CFD (Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği) çalışmasında istasyonun katı modeli oluşturulup, analiz Cfdesign 9.0 programında yapılmıştır. Cfdesign [5] genel ısı-akış problemlerinde sonlu elemanlar ayrıklaştırma yöntemine göre çözüm yapan bir CFD analiz programıdır. Simülasyonda kullanılan model Şekil 2'de gösterilmektedir.



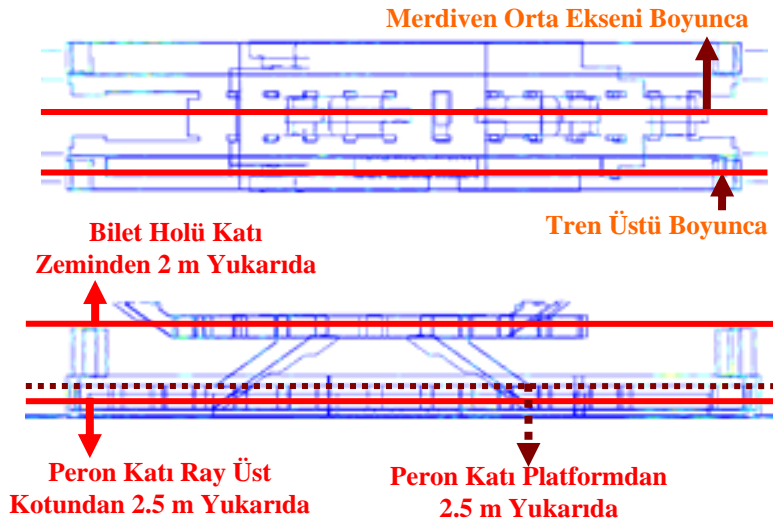
Şekil 2. İstasyonun 3 Boyutlu Modeli

Sayısal çözüm ağı tetrahedral elemanlar kullanılarak Cfdesign programında oluşturulmuş olup yaklaşık 800,000 tane elemandan oluşmaktadır. Analizde k-ε türbülans modeli kullanılmıştır. Ortam sıcaklığı kritik durum gözönüne alınarak 33°C seçilmiştir. Yapılan çalışmada ışıma ve duvarlarda iletim yolu ile ısı transferi göz önüne alınmamıştır. Yangın sonucu oluşan duman, hava ile benzer özelliklere sahip bir akışkan olarak modellenmiştir. Hava için temel ideal gaz yasası öngörülmüş ve hava yoğunluğunun sıcaklık ile değiştiği varsayılmıştır. Ayrıca havanın ısı transfer katsayısı ve sabit basınçtaki ısı sıhasının sıcaklık ile değiştiği öngörülmüştür. Trenin 5 adet vagonu olduğu öngörülmüş ve trenin toplam uzunluğu 118 m olarak alınmıştır. Trenin yüksekliği 3,36 m genişliği ise 2,68 m'dir. Yangının trenin ortadaki vagonun alt bölgesinde başladığı varsayılmıştır. Trenin yangın bölgesi dışındaki yapısal kütlesi, trenin alüminyumdan olduğu varsayılarak modellenmiştir. Yangın ısı yük ve duman olarak simüle edilmiştir; yangın yükü olarak Şartname gereği öngörülen 15 MW alınmıştır. Yangının gelişim evresi analiz sırasında göz önüne alınmamıştır; bu sebepten zamana bağlı akış çözümüne gidilmemiştir.

İstasyon duvarlarında kayma yok sınır şartı uygulanmış ve duvarlarda ısı transferi olmadığı varsayılmıştır. Tünel acil durum havalandırma fan karakteristikleri çok dik olduğundan fan ağızlarına sabit debi sınır şartı uygulanmıştır. Yangın bölgesinde duman kütesinin havanın kütesine oranı 1, %100 olarak alınmıştır. Fanların tünellerden emdiği hava miktarını azaltmak amacıyla modellenen istasyonun, her iki tarafında bulunan istasyonların da tünel acil durum havalandırma fanları çalıştırılmıştır. Tünellerde uygulanan sınır koşulları daha önce yapılan tek boyutlu simülasyon sonucunda elde edilmiştir. Bilet holü katındaki çıkış merdivenlerine atmosfer basınç sınır şartı uygulanmış ve sıcaklıkları da 33 °C olarak alınmıştır.

4. ANALİZ SONUÇLARI

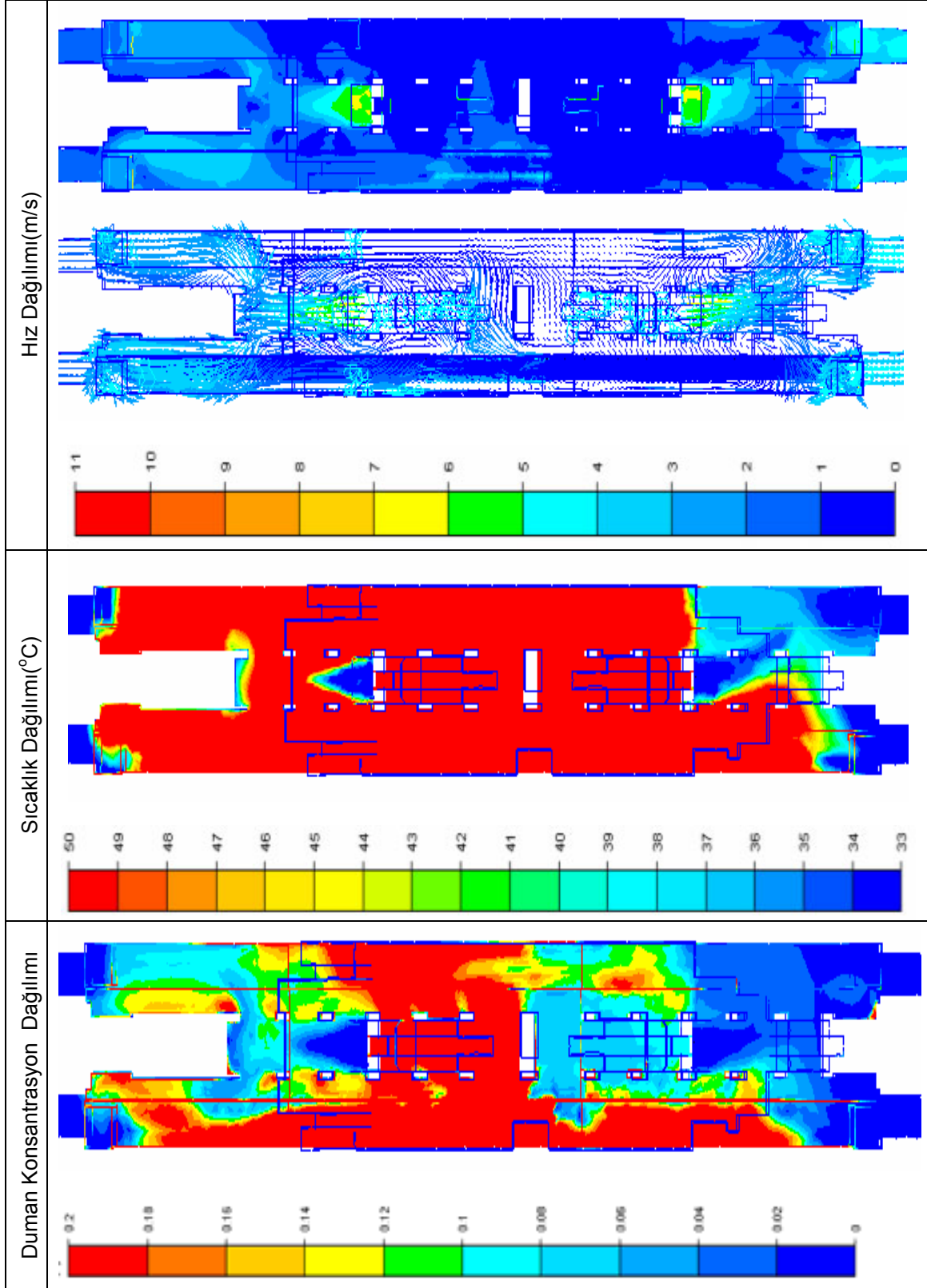
Yapılan Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Simülasyonunun sonuçları sıcaklık dağılımı, hız dağılımı ve duman konsantrasyonunu gösteren eş değer eğrilerle ifade edilmiştir. Yapılan Simülasyon sonuçları farklı kesitlerde incelenmiş ve şematik gösterimleri aşağıda verilmiştir (Şekil-3).



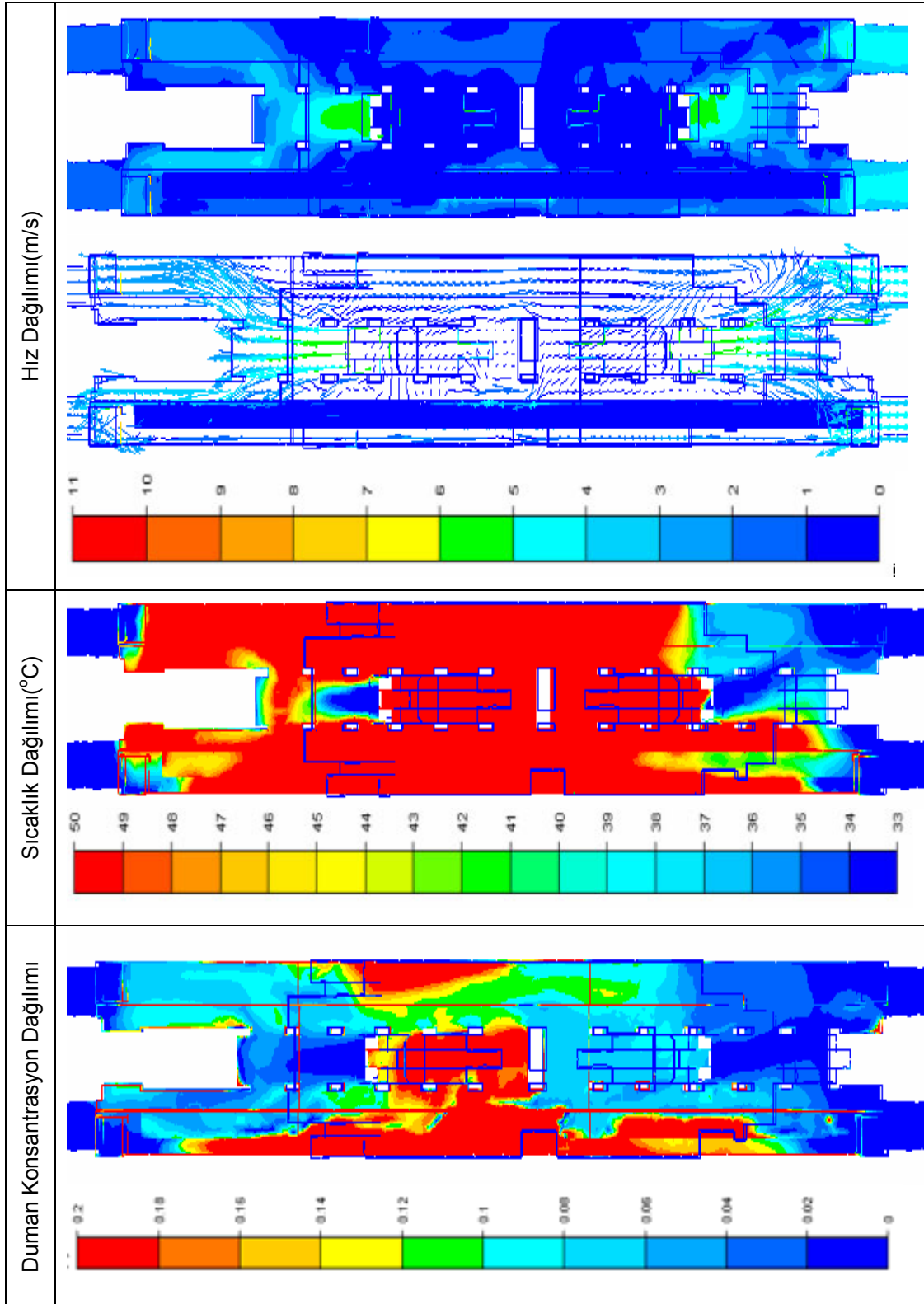
Şekil 3. Analiz Sonuçlarının İncelendiği Düzlemler

Sıcaklık dağılımları incelendiğinde yolcu tahliye yönü boyunca Şekil 4-7'de gösterildiği üzere sıcaklığın insan hayatını tehdit edecek düzeylere ulaşmadığı gözlemlenmiştir. Ayrıca NFPA 130 [4] standardında belirtilen en yüksek/maksimum 60 °C sıcaklık kriteri sağlanmıştır. Şekil 6'da kaçış yolu olarak belirlenen merdivenlerdeki hava hızı, duman ve sıcaklık dağılımları merdiven kesiti boyunca gösterilmektedir. Hava hızı dağılımları incelendiğinde istasyonun kaçış amacıyla kullanılacak merdivenlerinde sürekli bir temiz hava akışı olduğu gözlemlenmiştir. Merdivenlerden aşağı doğru olduğu görülen bu temiz hava akışı, yanma sonucu oluşan gazların istasyonun üst katlarına kaçmasını engellemekte ve kaçış yönündeki sıcaklığın insanları tehdit edecek boyuta ulaşmamasını sağlamaktadır. Şekil 7'de bilet holü katında oluşan hava hızı, sıcaklık ve duman dağılımları gösterilmiş ve bilet holü katının dumandan ve yüksek sıcaklıktan arındırılmış olduğu gözlemlenmiştir.

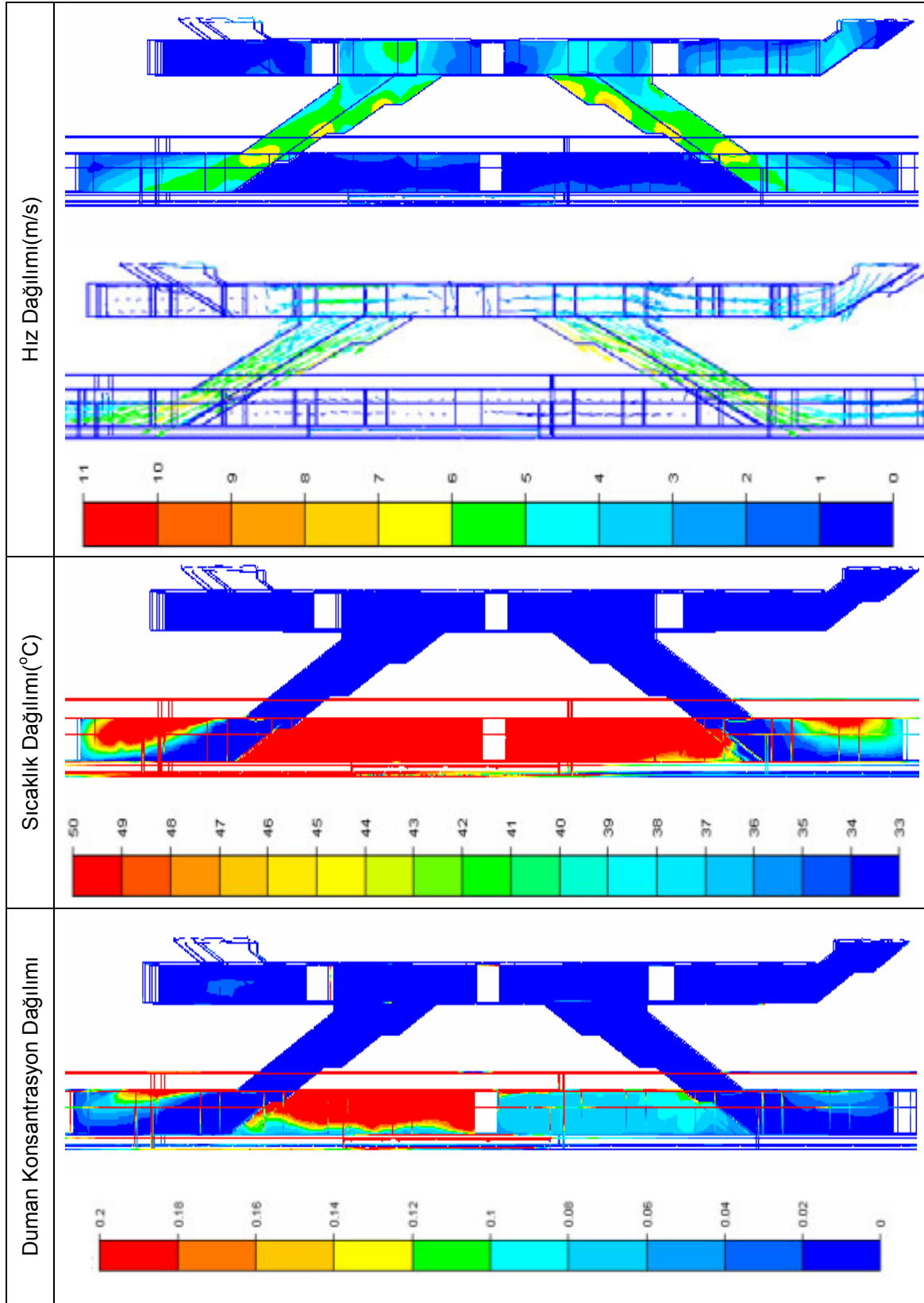
Akış vektörleri incelendiğinden istasyonun boyunca yer alan duvarların hava akımını etkilediği görülmüştür. İstasyon içindeki karmaşık akış, dumanın tünel havalandırma fanları vasıtasıyla etkili bir şekilde emilmesini zorlaştırmaktadır. Duman ve sıcak havanın merdivenin altındaki boşluktan diğer hat yönüne doğru da yayıldığı gözlemlenmiştir.



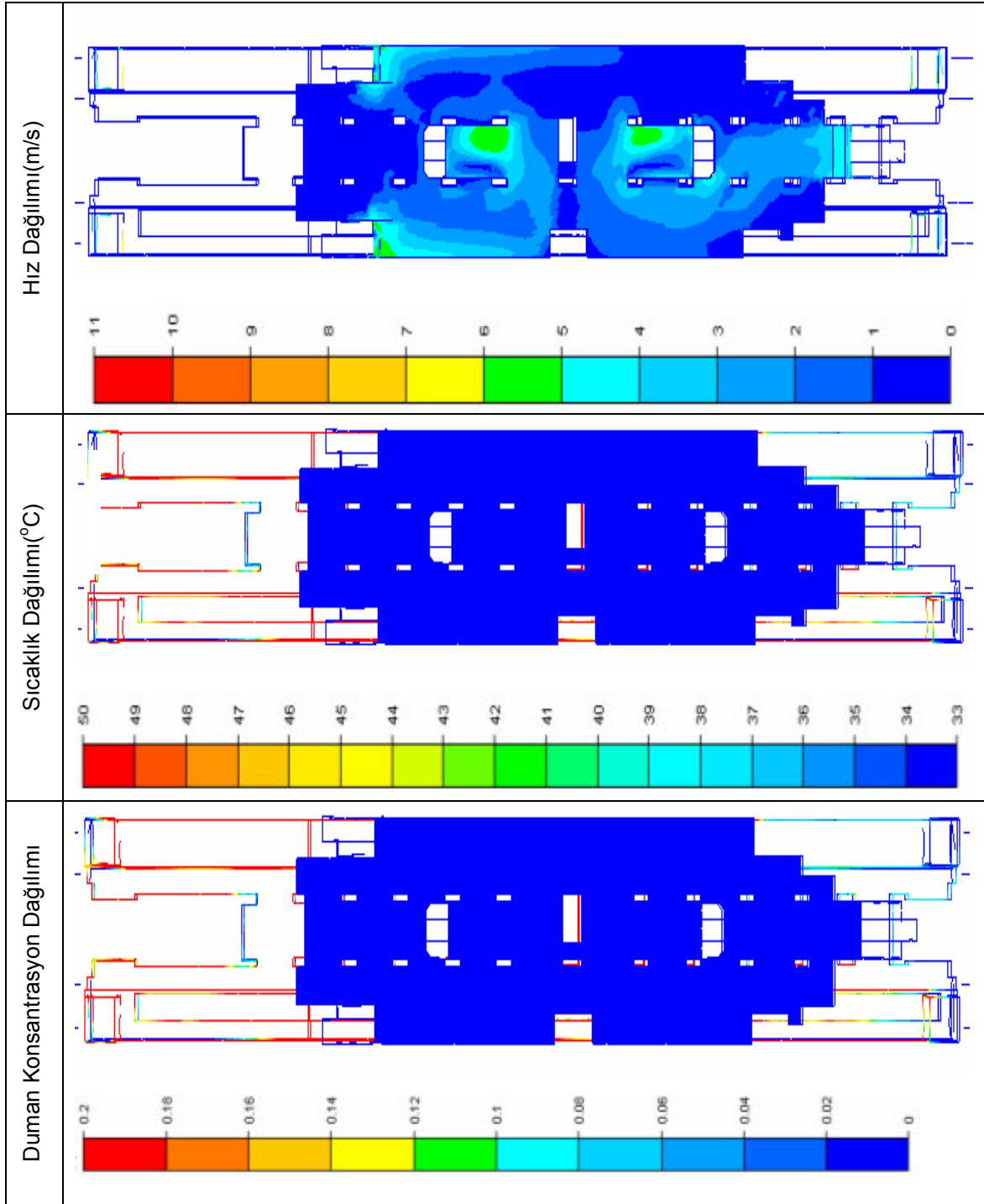
Şekil 4. Platform Kotundan 2.5 m Yükseklikteki Hız (m/s) , Sıcaklık (°C) ve Duman Konsantrasyonu Dağılımları [2]



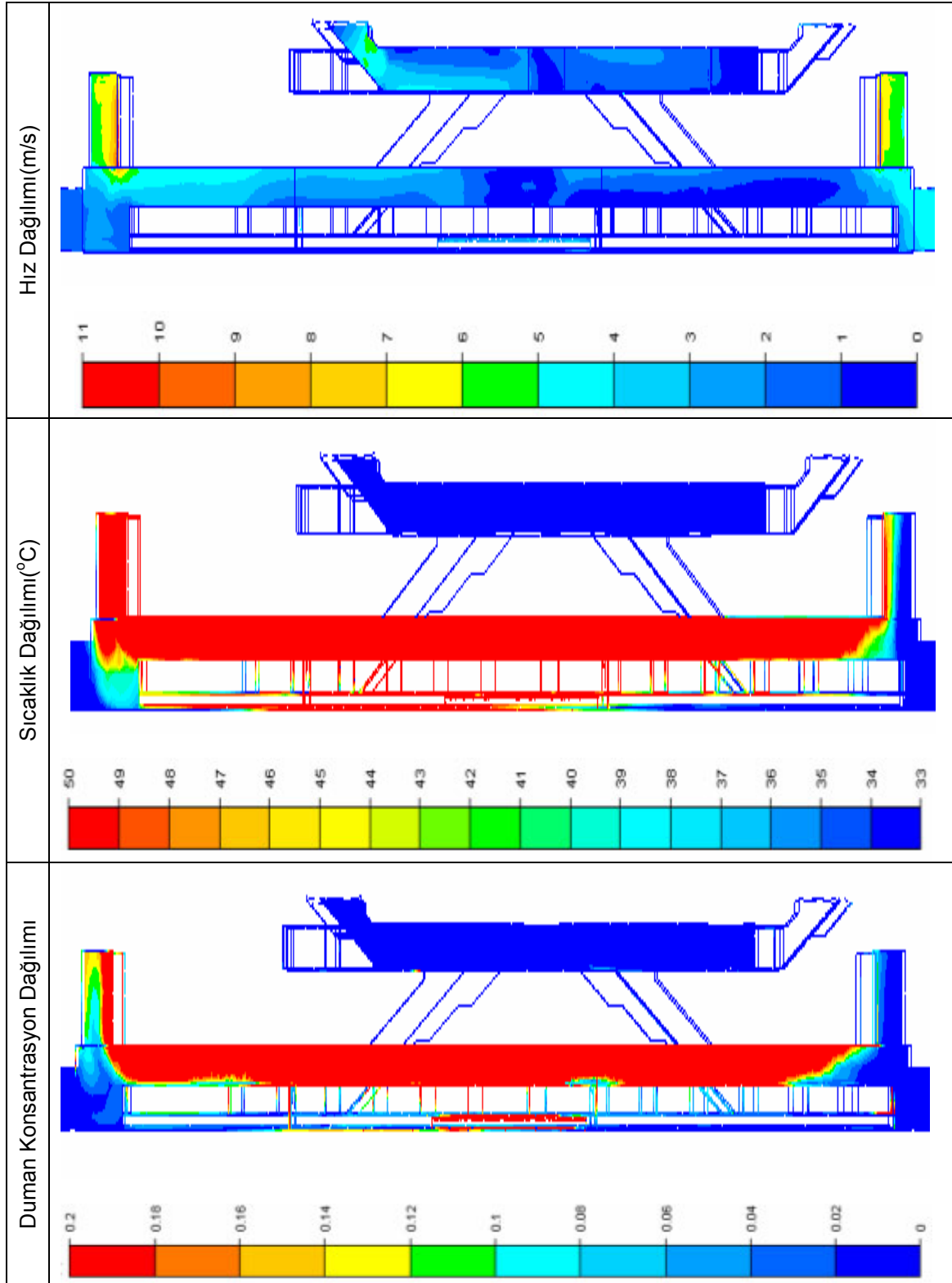
Şekil 5. RayÜst Kotundan 2.5 m Yükseklikteki Hız (m/s), Sıcaklık(°C) ve Duman Konsantrasyonu Dağılımları [2]



Şekil 6. Merdiven Orta Eksenini Boyunca Hız (m/s), Sıcaklık (°C) ve Duman Konsantrasyonu Dağılımları [2]



Şekil 7. Bilet Holü Katında 2 m Yükseklikteki Hız (m/s) , Sıcaklık (°C) ve Duman Konsantrasyonu Dağılımları [2]



Şekil 8. Tren Boyunca Hız (m/s), Sıcaklık(°C) ve Duman Konsantrasyonu Dağılımları [2]

SONUÇ

İstasyonda yapılan simülasyon çalışmaları sonucunda;

1. Yapılan yangın simülasyon çalışması kapsamında yolcu tahliyesi esnasında yalnızca tünel acil durum havalandırma fanlarının çalışması yeterli görülmüştür. Sistemde bulunan acil durum havalandırma fanları ile, istasyonun her iki tarafındaki kaçış yollarının insan tahliyesi için uygun olduğu, sıcaklığın NFPA standardında belirtilen 60 °C değerinin altında kaldığı belirlenmiştir. Bu durumda istasyon içinde bulunan kaçış yollarının dumandan ve yüksek sıcaklıktan arıtıldığı gözlemlenmiştir.
2. İstasyon yangınlarında zamandan bağımsız hesaplamalı akışkanlar dinamiği analizlerinin yapılması, acil durum havalandırma sistemi fanlarının yeterliliğinin tespiti için gereklidir.
3. Zamana bağlı akış çözümleri ise yangının gelişim süreci hakkında fikir verebilmekte ve zaman zaman kullanılmaktadır.
4. İstasyon acil durum havalandırmasında kullanılan tünel fanlarının kapasiteleri, tünellerde yapılan yangın simülasyonları sonucunda tespit edilmiştir. Bu fanların istasyon yangın simülasyonu içinde kullanılması durumda fan kapasiteleri istasyonun konumuna, istasyon geometrisi ve fan yerleşim durumuna göre farklılık gösterebilir. Bu nedenle istasyonlarda yangın ve havalandırma senaryosunun tespit edilmesinde üç boyutlu hesaplamalı akışkanlar dinamiği yöntemiyle analizlerin yapılması gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Chen, F., Guo, S., Chuay H., Chien, S., “Smoke Control of Fires in Subway Stations”, Theoretical and Computational Fluid Dynamics, Cilt 16, Sayı 5, Sayfa 349-368,2003
- [2] Eralp, O.C., Otogar - Bağcılar Raylı Toplu Taşıma Sistemi Çin Çin İstasyonu Yangını CFD Analizi, ODTÜ-TARU A.Ş., Ekim 2006
- [3] Subway Environmental Design Handbook, V.1, Principles and Applications, 2nd Edition, U.S. Department of Transportation, 1976
- [4] NFPA, NFPA 130-Standard for Fixed Guideway Transit System, National Fire Protection Association, 2003 Edition
- [5] Cfdesign Technical Reference Version 9.0, Blue Ridge Numerics Incorporation,2006

ÖZGEÇMİŞ

Serkan KAYILI

2002 yılında ODTÜ Makina Mühendisliği Bölümünden Lisans, 2005 yılında yine aynı bölümden Yüksek Lisans derecelerini aldı. 2002 yılından bu yana aynı bölümde Araştırma Görevlisi olarak çalışan Serkan KAYILI, ODTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği Programı'nda doktora öğrenimi ile çalışmalarını sürdürmektedir. Deneysel ve sayısal akışkanlar mekaniği, metrolarda tünel ve istasyon yangınları konularında çalışmaktadır.

O. Cahit ERALP

O. Cahit Eralp 1971 yılında ODTÜ Makina Mühendisliği Bölümü'nden Lisans, 1974 yılında yine aynı bölümden Yüksek Lisans derecelerini aldı. 1974-1976 yılları arasında Cambridge Üniversitesi (UK) Whittle Laboratuvarlarında Turbomakinalar konusunda araştırmalar yapan O.C. Eralp 1980 yılında Cranfield Institute of Technology (UK)'den doktora derecesini aldı. Aynı yıl ODTÜ Makina Mühendisliği Bölümüne dönen O.C. Eralp, 1984'de doçent, 1990 da profesör oldu. Uzmanlık ve araştırma konuları: “Akışkanlar Mekaniği, Gaz Dinamiği, Doğal Gaz ve Boru Hatları, Turbomakinalar, Deneysel Teknikler ve Endüstriyel Havalandırma” dir. Çok sayıda endüstriyel araştırma projesinde yönetici, araştırmacı ve danışman olarak çalıştı. O.C.ERALP, gaz dinamiği konusunda yurt dışında basılmış İngilizce bir kitap, boru hatları konusunda ODTÜ'de basılan ders notları ile doğal gaz teknolojisi ile ilgili iki patent ve çok sayıda yaygın sahibidir.