

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İSTANBUL METROSUNDA HAVALANDIRMA SİSTEMLERİ VE
DUMAN TAHLİYESİ

Abdulgaffar YETGİN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Isı Proses Programı

Danışman

Prof. Dr. Derya Burcu ÖZKAN

Temmuz, 2019

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**İSTANBUL METROSUNDA HAVALANDIRMA SİSTEMLERİ VE
DUMAN TAHLİYESİ**

Abdulgaffar YETGİN tarafından hazırlanan tez çalışması 04/07/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Derya Burcu ÖZKAN

Yıldız Teknik Üniversitesi

Danışman

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Derya Burcu ÖZKAN, Danışman

Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Galip TEMİR, Üye

Yıldız Teknik Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi M. Alper ÖZPINAR, Üye

İstanbul Ticaret Üniversitesi

Danışmanım Prof. Dr. Derya Burcu ÖZKAN sorumluluğunda tarafımda hazırlanan İstanbul Metrosunda Havalandırma Sistemleri ve Duman Tahliyesi başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Abdulgaffar YETGİN

İmza



*Aileme
ve
Biricik eşime*

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans Tezimde değerli fikir ve görüşlerine başvurduğum, bu dönemde desteğini hiçbir zaman esirgemeyen değerli hocam ve tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Derya Burcu ÖZKAN'a saygı, sevgi ve teşekkürlerimi en içten dileklerle sunarım.

Hayatımda önemli yeri olan, benden desteğini hiç esirgemeyen, sevgili eşim Kevser Pınar YETGİN'e ve çocuklarıma özellikle teşekkür ederim. Ayrıca annem, babam ve kardeşlerime hayatım boyunca hep yanımda oldukları, sevgi ve desteklerini hiç eksik etmedikleri için çok teşekkür ederim.

Abdulgaffar YETGİN

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ.....	vii
KISALTMA LİSTESİ	ix
ŞEKİL LİSTESİ.....	x
TABLO LİSTESİ.....	xi
ÖZET	xii
ABSTRACT.....	xiii
1 GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı	4
1.3 Hipotez.....	4
2 METROLARDA HAVALANDIRMA SİSTEMLERİ	5
2.1 Genel Bilgi	5
2.2 Sistem Tanımı.....	6
2.2.1 Peron Konfor Havalandırması Senaryosu	18
2.2.2 Tünel Konfor Havalandırması Senaryosu.....	19
2.2.3 Tren Piston Etkisinin Ortadan Kaldırılması.....	19
2.2.4 Bilet Holü Konfor Havalandırması	22
2.2.5 Teknik Odalar Havalandırması.....	22
2.3 Tünel Havalandırma Sistemi Çalışma Kapsamı.....	23
2.3.1 Normal Faaliyet	23
2.3.2 Sıkışık Faaliyet	23
2.3.3 Olağanüstü Koşullar.....	23

2.4 Peron Altı Egzoz Fan Sistemi Çalışma Kapsamı	24
3 ACİL DURUM YANGIN SENARYOSU	25
3.1 Amaç.....	25
3.2 Analiz Girdileri	25
3.2.1 Tüneller ve İstasyonlar	25
3.2.2 Metro Aracı ve Tünel Karakteristik Verileri	26
3.2.3 Tünel ve Yolcu Bölümü Havalandırma Fanları Karakteristik Verileri.....	27
4 DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	30
4.1 Saha Ölçüm Çalışmaları	30
4.2 CFD ve SES simülasyonları.....	35
5 SONUÇ VE ÖNERİLER	50
A YENİKAPI-VEZNECİLER ARASI TÜNEL YANGIN SENARYOLARI.....	52
Kaynakça.....	54

SİMGE LİSTESİ

a	Aracın ön yüzey alanı (m ²)
A	Tünel kesit alanı (m ²)
A ₁	Peron alanı (m ²)
A ₂	Panosu alanı (m ²)
A _s	Peron kesit alanı (m ²)
°C	Santigrat derece
C _D	Aerodinamik sürtünme katsayısı
C _p	Havanın özgül ısı katsayısı (J/kgK)
CO	Karbonmonoksit
db	Aracın maksimum hızdan durma mesafesi (m)
f	Motor çalışma yüzdesi
F _D	Aracın sürüklenme kuvveti (N)
F _m	Mekanik direç kuvveti (N)
g	Yer çekim ivmesi (m/s ²)
H	Tünel yüksekliği
K _E	Aracın maksimum hızdaki kinetik enerjisi ((kj/h)
K _g	Eğim düzeltme katsayısı
K _W	Motor gücü (Watt)
L	Tünel uzunluğu (m)
lx	Aydınlatma ölçü birimi (lüx)
n	Saatteki sefer sayısı
ppm	Milyonda bir birim
q _{AC}	Araç soğutmadan gelen ısı kazancı (Watt)
q _{AX}	Araç aksesuar motorlarından gelen ısı kazancı (Watt)
q _D	Aracın aerodinamik sürüklenmeden gelen ısı kazancı (Watt)
q _m	Aracın motor kayıplarından gelen ısı kazancı (Watt)
q _M	Aracın mekanik dirençlerinden gelen ısı kazancı (Watt)
q _{SR}	Aracın resistör dirençlerinden gelen ısı kazancı (Watt)
Q	Yangın Yüğü (Watt)
Q _{fan}	Fan Debisi (m ³ /s)
R	Katener ve Ray direnci toplamı (milliohms/km)
T	Bir vagonun soğutma kapasitesi (Watt)
t _a	Aracın hızlanma zamanı (s)
T _f	Yangın bölgesi sıcaklığı (K, °C)
U	Aracın ortalama hızı (m/s)
V _c	Kritik Hız (m/s)
V ₀	3. Raydaki Voltaj (volt)
W	Vagon ağırlığı (ton)
W _e	Vagonun yolcu dahil ağırlığı (ton)
W _L	Tünel aydınlatma (Watt/m)

ρ Havanın yoğunluğu (kg/m^3)
 ϵ_m Tahrik motoru verimi
 θ Tünel eğimi(%)



KISALTMA LİSTESİ

ASHRAE	Amerikan Isıtma Soğutma ve İklimlendirme Mühendisleri Derneği
ACS	Klima Sistemi
AG	Alçak Gerilim
CFD	Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği
ECS	Çevresel Kontrol Sistemi
EXC	Tünel Egzoz Fanı Panosu
EXF	Tünel Egzoz Fanı
FE	Aspiratör Fanı
FS	Besleme Fanı
HVAC	Isıtma, Havalandırma ve İklimlendirme
INF	Taze Hava Fanı
IHK	Isıtma Havalandırma Klimatizasyon
İBB	İstanbul Büyükşehir Belediyesi
MCC	Motor Kontrol Panosu
NFPA	Ulusal Yangın Koruma Derneği
OG	Orta Gerilim
OTE	Peron Üstü Egzoz
PM	Partikül Madde
SEDH	Metro Çevresel Tasarım El Kitabı
SES	Metro Çevresel Simülasyonu
TVC	Tünel Havalandırma Fanı Panosu
TVF	Tünel Havalandırma Fanı
TVS	Tünel Havalandırma Şaftı
TJF	Tünel Jet Fanı
UPE	Peron Altı Egzoz

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1	Sistemde kullanılan ekipmanların şematik gösterimi	5
Şekil 2.2	Tünel havalandırma şaftı.....	7
Şekil 2.3	Tünel havalandırma fanı (TVF)	7
Şekil 2.4	Bypass ve izolasyon damperleri	8
Şekil 2.5	Jet fanları.....	8
Şekil 2.6	Yolcu bölümü ve tünel havalandırma sistemi şematik gösterimi	10
Şekil 2.7	Tünel eğimi ile eğim faktörü parametresi değişimi	17
Şekil 2.8	Yolcu bölümü havalandırma sistemi	18
Şekil 2.9	Egzoz fanı (EXF).....	22
Şekil 3.1	Yenikapı - Vezneciler arası şematik gösterim	26
Şekil 4.1	Yenikapı-Vezneciler arası 1. yangın senaryosu	30
Şekil 4.2	Çok fonksiyonlu ölçüm cihazı	31
Şekil 4.3	M52 makas bölgesi hat-1 ayrımı	32
Şekil 4.4	M52 makas bölgesi	32
Şekil 4.5	Yenikapı-Vezneciler arası ölçüm noktaları	33
Şekil 4.6	Ters katmanlaşma (backlayering)	36
Şekil 4.7	Kritik hıza ulaşmış hava akımı	36
Şekil 4.8	M52 makas cfd model gösterimi	37
Şekil 4.9	CFD ile zamana bağlı sıcaklık dağılımı	39
Şekil 4.10	CFD ile zamana bağlı görüş mesafesi	40
Şekil 4.11	Mimik diyagram	42
Şekil 4.12	Normal yangın senaryosu CFD ile zamana bağlı sıcaklık dağılımı	46
Şekil 4.13	Normal yangın senaryosu CFD ile zamana bağlı görüş mesafesi	47
Şekil 4.14	Normal yangın senaryosu CFD ile zamana bağlı hava hızı dağılımı.....	48
Şekil A.1	Yenikapı Vezneciler Arası Yangın Senaryoları (1-5).....	52
Şekil A.2	Yenikapı Vezneciler Arası Yangın Senaryoları (6-10)	53

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1	Değişik seviyelerde basınç değişimlerinde kulağın hissettiği algılar	20
Tablo 2.2	Bofor (Beaufort) skalası [10]	21
Tablo 2.3	Havalandırma sisteminde kullanılan cihazlar [18]	23
Tablo 3.1	Makas bölgeleri listesi	26
Tablo 3.2	Araç, yangın ve tünel karakteristik verileri [18]	26
Tablo 3.3	Araç özellikleri [18]	27
Tablo 3.4	TVF ve EXF verileri [18]	28
Tablo 4.1	Ölçüm aletinin genel özellikleri.....	31
Tablo 4.2	Senaryo-1 yangın noktalarındaki saha ölçüm sonuçları	33
Tablo 4.3	Alternatif senaryolarla farklı noktalardaki saha ölçüm sonuçları.....	34
Tablo 4.4	SES sonuçları ve saha test sonuçları.....	43

İstanbul Metrosunda Havalandırma Sistemleri Ve Duman Tahliyesi

Abdulgaffar YETGİN

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. Derya Burcu ÖZKAN

Kentlerin büyümesi ile birlikte oluşan kent merkezlerindeki ulaşım talebindeki artış; metro, hafif metro, veya raylı sistem olarak nitelenen yeraltı toplu taşıma sistemlerini zorunlu kılmaktadır. Ülkemizde de, raylı sistem yatırım seferberliği başlamış ve büyükşehirlerimiz yatırım bütçelerinin en büyük payını bu alana tahsis etmeye başlamışlardır. Yer altı raylı sistem istasyonlarının, hem işlevlerini uygun şekilde yerine getirmesi, hem de yolcuların ve personelin konfor ve güvenliğini sağlamak için havalandırma ve yangın tesisatı ile donatılması gerekmektedir.

Bu tez çalışmasında, İstanbul'da bulunan metrolardaki genel havalandırma sistemlerinden bahsedilmiş ve örnek iki istasyon arasında meydana gelebilecek bir araç yangınında, ilgili yangın senaryosu dikkate alınarak CFD simülasyon sonuçları ile soğuk simülasyon bir çalışmada yapılan ölçümlerin sonuçları deneysel ve sayısal olarak irdelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Metro, yangın senaryosu, acil durum havalandırması, duman tahliyesi, SES ve CFD

Ventilation Systems And Smoke Evacuation In Istanbul Metro

Abdulgaffar YETGİN

Department of Mechanical Engineering

Ms. Thesis

Advisor: Prof. Dr. Derya Burcu ÖZKAN

Increase in the demand of transportation at city centers enforces railway systems which generally use underground routes and stations; named as metro, LRT or railway systems. In our country extensive railway system investments had started and municipalities spare largest portion of their investment budgets to this field. To function properly and also to provide comfort and safety for passengers and staff, underground railway system stations should be equipped with a series of ventilating and fire installation.

In this thesis, general ventilation systems in subways in Istanbul mentioned and in a vehicle fire that may occur between two sample stations, considering the relevant fire scenario, CFD simulation results and the results of measurements conducted in a cold run study were evaluated experimentally and numerically.

Keywords: Metro, fire senario, emergency ventilation, smoke evacuation, SES and CFD

1.1 Literatür Özeti

Metrolarda meydana gelebilecek yangınlar ile ilgili, yangın anında yolcu kaçışının güvenle sağlanabilmesi, duman tahliyesinin en doğru şekilde yapılması ve uygun kapasitede fan seçimlerinin yapılabilmesi adına literatürde birçok çalışma yapılmış, NFPA ve ASHRAE'de belirli hesap yöntemleri önerilmiş, bunlarla ilgili de çeşitli tez, makale ve yayınlar ortaya konmuştur.

A.S. TOPRAK [1] 2014 yılında yaptığı tez çalışmasında; İstanbul Büyükşehir Belediyesi (İBB) Kadıköy-Kartal Metro Hattı'nın Ayrılıkçeşme ve Acıbadem istasyonları arasında konumlanmış olan makas tüneline oluşabilecek bir yangını, Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (CFD) yöntemi ile simule ederek, Fire Dynamics Simulator (FDS 6.0.1, Smokeview SMV 6.1.5) programı kullanılarak çeşitli örnek çalışmalar yapmıştır. Tünel havalandırma fanının (TVF) kapasitesini arttırarak, sisteme Jetfan ekleyerek ve mimaride değişiklikler yaparak uygulama farklılıklarında acil durum havalandırma sisteminin etkinliğini gözlemlemiştir. Acil durum havalandırmasına birçok farklı faktörün etki ettiğine ve en doğru çözüm için CFD analizinin önemine değinmiştir.

CHANG LIU vd. [2] 2019 yılında yayınladıkları çalışmada; metro makas tüneline bir tren yangını ele almış, gerçek bir tünel, TVF, Jetfan, betonarme egzoz kanalları ve diğer yardımcı ekipmanları da dahil ederek, Fire Dynamic Simulator 6.3.2 (FDS) programı ile sayısal bir modellemeyi, tam ölçekli bir çalışma ve teorik bir modeli karşılaştırarak doğrulamaya çalışmıştır.

Trenin başında, ortasında ve sonundaki yangın durumları için iki farklı yangın yükünü ele alarak, hem sayısal analiz ile hem de saha ölçümü ile yaptığı karşılaştırmada, beş farklı havalandırma tipini devreye sokarak, hangi tip havalandırmanın daha verimli olduğunu sorgulamıştır. Yapılan çalışmalar

sonucunda, Yarı-Hybrid olarak adlandırılan hem TVF hem Jetfanların kısmi olarak devrede olduğu havalandırma senaryosunun duman sıcaklığı ve gaz konsantrasyonunu düşürüp, görüş mesafesini de arttırarak en uygun senaryo olduğu ortaya konmuştur.

Ö. YAZICI [3] 2013 yılında yaptığı tez çalışmasında; Üsküdar-Çekmeköy Metrosuna ait bir istasyon ele alınıp, istasyon yapısı ve ilgili tünellerde çıkabilecek yangınların senaryoları oluşturulmuş ve CFD yazılımı olan ANSYS CFX programı ile çözümleme yapılmıştır. Simülasyonlarda acil durum havalandırma sistemi kritiğe tabi tutulmuş, istasyon ve tünel geometrisinin yangına etkisi incelenmiştir. Zamana bağlı yapılan simülasyonlarda ise yangının zamanla gelişimi incelenmiştir. Çalışma sonucunda, istasyonda yangın perdesi kullanımının, yangının ilerlemesini önlemede ve sıcak dumanının hızlı bir şekilde tahliyesini sağlamakta daha etkili olduğu görülmüştür.

N.ESKİN vd. [4] 2017 yılında yaptıkları çalışmada; Yenikapı-Haciosman metro hattındaki (M2) Şişli istasyonu için yangın senaryolarını CFD analizleri ile irdeleyerek yolcu kaçış yollarının güvenliğinin sağlanıp sağlanmadığını incelemiştir. Güvenli yolcu kaçış koridoru oluşturmak için farklı yangın bölgelerinde ve yüklerde SES programı ile M2 metro hattının tamamının kritik hız analizleri yapıp buna göre de TVF fan kapasiteleri belirlenmiştir. İstasyon, tünel, shaftlar ve fanların kapasitelerine ait bilgiler girilerek farklı senaryoların CFD Simulation programı ile yangın simülasyonu yapılmış, fanların acil durumda uygunluğu değerlendirilmiştir. Çalışma sonunda da, Şişli istasyonu yolcu kaçışı için tüm sıcaklık ve hız değerlerinin kabul edilebilir ve güvenli seviyede olduğu görülmüştür.

M.İ.BİLGE [5] 2018 yılında yaptığı tez çalışmasında; Fire Dynamics Simulator (FDS) CFD Yazılımı kullanılarak, Marmaray Metro Hattının tüneline bir yangın senaryosunun simülasyonunu hazırlamıştır. Simülasyonun ana amacı, metro tünellerinde yangın olması durumunda acil durum havalandırma sistemlerinin etkisini gözlemlemek ve tünellerdeki güvenlik derecesinin artırılmasının yollarını araştırmaktır. İstanbul Metrosunda farklı noktalarda yapılan saha testlerinde tünel acil durum havalandırma sisteminin kapasitesi ölçülmüş ve ölçülen değerler CFD simülasyonunda giriş koşulları olarak kullanılmıştır. Tam ölçekli üç boyutlu tünel

geometrisi içerisinde beş vagonlu metro treni yerleştirilmiştir. Uygun yaklaşımlar kullanılarak yangının büyümesi modellenmiş ve tünel içerisindeki sıcaklık ve duman dağılımı incellenmiştir. Tünel havalandırma sistemi çalışırken ve çalışmazken elde edilen sonuçlarda sıcaklık dağılımı ve görüş mesafesi grafikleri elde edilmiştir. Yapılan simülasyonların sonuçları incelendiğinde, özel bir koşul olan orta vagon yangını durumunda fan operasyonunun yolcu tahliyesini olumsuz etkilediği görülmüştür. Bu özel durumda, acil durum havalandırma fanlarının kapatılması ve yolcuların bu şekilde tahliye edilmesi önerilmiştir.

O.C.ERALP vd. [6] 2010 yılında yayınladıkları makalede; yeraltı metro sistemlerinde istasyon ve tünel havalandırması ile ilgili tasarım kriterleri ve bir takım teknik yaklaşımlara değinilmiştir. Bu bağlamda, yolcu konfor havalandırması ve yangın anında yolcu tahliyesinin güvenilir bir şekilde yapılabilmesi için öngörülen acil durum havalandırması üzerinde durulmuştur. Konfor havalandırması ile ilgili kısımda, tren geçişi esnasında oluşan piston etkisinden ve havalandırma verimliliğini etkileyen, ASHRAE standartlarında belirtilen hava değişim miktarlarından bahsedilmiştir. Acil durum havalandırması ile ilgili kısımda da, SES ve CFD gibi programlarla sistemin yeterliliğine bakılıp, gerekli simülasyonların yapılarak fan kapasitesi, kritik hız, duman dağılımı gibi kriterlere dikkat edilmesi gerekliliği ortaya konmuştur. Aynı zamanda bunlarla ilgili örnek uygulamalar da sunulmuştur.

F.AYDIN [7] 2013 yılında yayınladığı makalede; metrolarda tesis edilen tünel havalandırma ve yolcu bölüm havalandırma sistemlerinin birleştirilmesine yönelik çalışmalara değinilmiştir. Bu tasarım değişikliğinin yeni yapılacak metrolarda ve de halihazırdakilerde uygulanabilirliği, sisteme katacağı faydalar ve karşılaşılabilecek problemlere de değinilmiştir. Sistem çözümlerken tren piston etkisi, ekipman ömrü, acil durum yangın senaryoları, fanların çalışma kriterleri ve enerji tüketimi gibi konular da aydınlatılmaktadır. Uluslararası standartlar ile dünyadaki metro uygulamalarının konu hakkındaki yaklaşımından bahsedilmiştir.

1.2 Tezin Amacı

Günümüzde yapımı ve kullanımı yaygın hale gelen yer altı metrolarında en önemli unsurların başında tünel acil durum havalandırması gelmektedir. Olası bir yangın anında öncelikle yolcuların can güvenliğinin sağlanarak güvenli bir alana ulaştırılmaları için uygun koşulların oluşturulması gerekmektedir. Bu noktada, yangın anında oluşan dumanın, yolcuyu olumsuz etkilemeden en doğru şekilde tahliye edilmesi ve yönlendirilmesi önem arz etmektedir.

Bu tezde, bir metro tüneline makas bölgesinde olabilecek bir araç yangınında, dumanın uygun bir şekilde tahliye edilebilmesi için mevcut fanların kapasitelerinin yeterli olup olmadığının ve buna bağlı olarak bir jet fan ihtiyacı durumunun; sahada hava hız ölçümleri ile SES ve CFD simülasyon çalışmaları yapılarak ortaya çıkan hava hızlarının karşılaştırılması neticesinde tespit edilmesi amaçlanmıştır.

1.3 Hipotez

Metrolarda bir tren yangınında acil durum havalandırmasında kullanılan fanların kapasitelerinin doğru seçilip uygunluğunun tespit edilmesi en önemli husustur. Bunu yaparken farklı yöntemler kullanılmakla beraber dikkat edilmesi gereken başlıca unsurlar; gerekli sınır şartlarının belirlenerek doğru bir yangın simülasyon çalışması yapılması, hava hızı, görüş mesafesi ve sıcaklık gibi belli değerlerin yönetmelik ve standartlarda belirlenmiş sınırlar içerisinde olması, dumanın istenildiği şekilde tahliyesinin yapılabilmesidir.

Sonuç olarak doğru seçilmiş bir fan ve uygun bir yangın senaryosu ile yangın anında güvenli bir yolcu ve duman tahliyesi sağlanmış olacaktır.

METROLARDA HAVALANDIRMA SİSTEMLERİ

2.1 Genel Bilgi

Tüm metro hatlarında, öngörülen işletme şartlarının sınırları içinde yolcular, personel ve ekipman için uygun olacak bir ortamın oluşturulması ve konforun sağlanması ve kontrol edilmesi amacıyla, havalandırma sistemleri dizayn edilmiştir. Teknik alanlarda bulunan elektrik - elektronik ekipmanlardan, ısıyı uzaklaştırmak için havalandırma yöntemleri tasarlanmıştır. Peronlarda trenin ani hızlanması ve frenlemesi ile oluşan ısının da hava egzoz sistemi ile atılması sağlanmıştır.

Havalandırma sistemleri, normal ve sıkışık zamanlarda istasyon ve tünellerde uygun koşulların elde edilmesini ve yangın durumunda insanların güvenle tahliyesini sağlayacak şekilde dizayn edilmektedir.

Sistemde kullanılan ekipman ve enstrümanlar Şekil 2.1'de gösterilmiştir.



Şekil 2.1 Sistemde kullanılan ekipmanların şematik gösterimi

Normal koşullarda aşağıdaki havalandırma sistemleri öngörölür;

- Genel alanların havalandırması (bilet holü/ara katlar)
- Peron havalandırması
- Tünellerin havalandırması
- İstasyon teknik ve kullanılabilir odaların havalandırması

2.2 Sistem Tanımı

Her bir metro hattında farklı sistem yapıları olmasına karşı, genel işletme algoritması hepsinde aynıdır.

Yangın halinde duman tahliyesinin güvenli bir şekilde yapılabilmesi, itfaiye ve ilk yardım ekiplerinin istasyon ve tünelde rahatça ilerleyebilmesi için duman kontrol sistemi tesis edilmektedir.

Tren işletmesinin normal faaliyeti sırasında tünellerde havalandırma, trenin piston etkisi ile sağlanmaktadır. Olağıüstü durum ve sıkışık işletme sırasında ise tünel havalandırılması cebri havalandırma sistemi ile sağlanmaktadır.

Yolculu alanlarda çevresel kontrol, yangın anında ve tersinir çalışabilen fan ve kanal tesisatı ile sağlanmaktadır. İstasyonların iki ucunda bulunan tünel havalandırma şaftlarındaki (TVS) (Şekil 2.2) fanlar (TVF) (Şekil 2.3), bypass ve izolasyon damperleri (Şekil 2.4) yardımıyla, sıkışık ve acil ihtiyaç durumlarında istasyonu veya ilgili tünelleri havalandırmakta ve normal işletme durumlarında da hava akışına yardımcı olmaktadır.



Şekil 2.2 Tünel havalandırma şaftı



Şekil 2.3 Tünel havalandırma fanı (TVF)



Şekil 2.4 Bypass ve izolasyon damperleri

Tünellerde ve özellikle makas bölgelerinde hava hızının yeterli gelmediği durumlarda Jet fanları (JF) (Şekil 2.5) da kullanılabilir.



Şekil 2.5 Jet fanları

TVS'ler, Hat-1 ile Hat-2'yi kontrol edilebilen pnömatik damperler ile birbirinden bağımsız olarak ayırabilmektedir. Her TVS'de %100 tersinebilir aksel fanlar bulunmaktadır. Ayrıca, TVF ler, bazı metro hatlarında %100 yedekli iken bazılarında gerekli kapasite iki fanla aynı anda sağlanmaktadır. TVF'ler, tünel veya

istasyondan çektikleri dumanı/kirli havayı yer yüzüne veya atmosferden çektikleri temiz havayı tünel ve istasyon içerisine verebilmektedir.

İstasyon yardımcı teknik alanları, mekanik ve elektrik odaları hariç iklimlendirilmiştir. İstasyonların yolculu alanlarında klima yapılmamıştır. Sinyalizasyon ve haberleşme odaları da klimatize edilmiştir.

Havalandırma sistemi istasyon alanlarına göre  farklı bölüme ayrılmıştır.

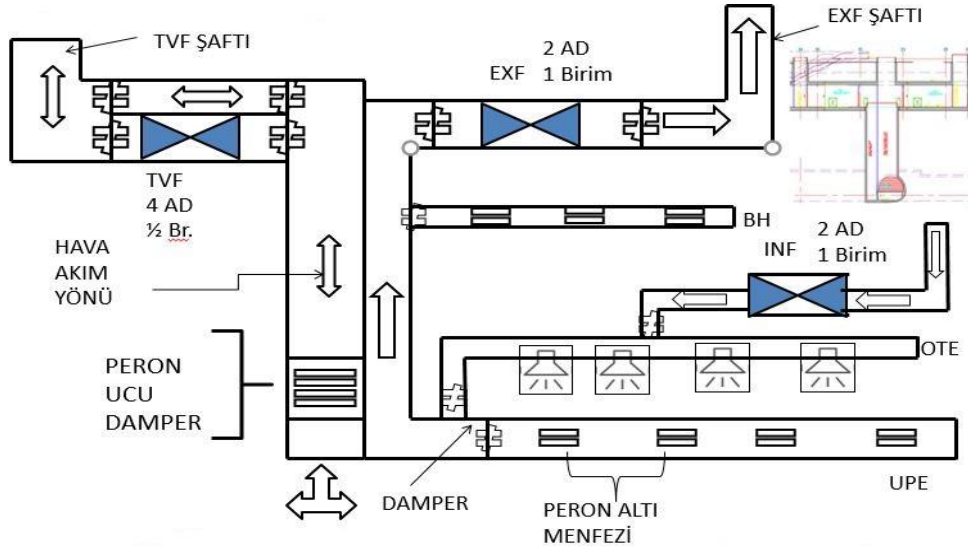
- Tünel havalandırma sistemi
- İstasyon yolcu bölümü havalandırma sistemi
- Teknik birimler havalandırma sistemi

Havalandırma sistemi yolcu ve personel konforu, ekipman odalarının soğutulması ve duman tahliyesini sağlamak üzere tasarlanmıştır.

Peron ve tünelde oluşan kirli hava, yüksek sıcaklık ve trenin oluşturduğu piston etkisinin giderilmesi işlerinin tamamı otomasyon sistemi ile yapılmaktadır.

Peronlarda bulunan sıcaklık sensörleri, yüksek sıcaklığı algılayarak ısıtma havalandırma klimatizasyon (IHK) senaryosunu başlatmakta ve ilgili fanlar devreye girerek konfor şartlarını sağlamaktadır.

Tünel ve yolcu bölümü havalandırma fanlarının istasyonda konumlandırılması mimari yapıya göre değişmektedir. şekil 2.6'da örnek bir yolcu bölümü ve tünel havalandırma sistem yerleşimi görülmektedir.



Şekil 2.6 Yolcu bölümü ve tünel havalandırma sistemi şematik gösterimi

İstasyon ve tünellerde meydana gelebilecek tren yangınları için acil durum yangın senaryoları oluşturulmaktadır. İstasyondaki ve tüneldeki yangınların ayrı olarak değerlendirilmesi gerekmektedir. İstasyondaki araç yangınında CFD (Computational Fluid Dynamics) tasarım aracı kullanılabilmektedir. [8], [9] Tünel ve makas bölgelerindeki tren yangınında ortaya çıkan dumanın geri yayılması ve kontrolü için uzunlamasına ne miktarda hava gerektiğini belirlemek üzere ise SES (Subway Environment Simulation) programı kullanılmaktadır. [10], [11]

Tünel havalandırma sistem tasarımında, tünelde herhangi bir yerde tren yangını çıkma olasılığı dikkate alınmalıdır. Sistemde kullanılan trenin türü çıkabilecek en büyük yangın yükünü belirler.

Tünel havalandırma hesapları yapılırken tünel ısı kazancı ve ısı kayıpları dikkate alınarak gerekli debi hesabı yapılmaktadır.

Tünel ısı kazancı hesabı;

Bir istasyondaki ısı kazançları, trenlerin işletmesi esnasında açığa çıkardıkları ısı, yavaşlama ve hızlanma esnasında trenden çıkan ısı ile 3. ray/katener ve istasyon ile tren içindeki yolculardan kaynaklanan ısı kazançlarının toplamıdır. İstasyonda trenlerin frenleme ve ivmelenmeleri esnasında açığa çıkan ısı, havanın direncinden, sürtünmeden, motor kayıplarından ve rezistörlerden kaynaklanan ısı kazançlarının

sırasıyla frenleme yolu ve ivmelenme yoluna göre hesaplanması ile bulunur. Bu hesaplamalarda kullanılan denklemler şunlardır; [11]

- Aerodinamik sürüklenmeden açığa çıkan ısı kazancı (q_D),

$$q_D = 2,74 \cdot 10^{-4} \cdot F_D \cdot d_b \cdot n \quad (2.1)$$

denklemini ile hesaplanır ve bu denklemdaki

F_D : Aerodinamik sürüklenme kuvveti (N)

olup, aşağıdaki (2.2) denkleminde bulunur.

$$F_D = 4,96 \cdot 10^{-1} \cdot a \cdot \rho \cdot C_D \cdot U^2 \quad (2.2)$$

Denklemler 2.1' ve 2.2' deki terimler

a : Trenin ön yüzey alanı (m^2)

ρ : Havanın yoğunluğu (kg/m^3)

C_D : Aerodinamik sürtünme katsayısı

U : Trenin ortalama hızını (m/s)

ifade etmektedir.

- Mekanik dirençlerden gelen ısı kazancı (q_M),

$$q_M = (2162 \cdot F_m \cdot d_b \cdot W \cdot N \cdot n) / 7.78 \cdot 10^6 \quad (2.3)$$

denklemini ile hesaplanır ve bu denklemdaki

F_m : Mekanik direnç kuvveti (N/ton) olup, aşağıdaki (2.4) denklemi ile bulunur.

$$F_m = 1,3 + 116/W + (1.003 \cdot 10^{-1}) \cdot U \quad (2.4)$$

Denklemler 2.3 ve 2.4' deki terimler

d_b : Trenin maksimum hızdan durma mesafesi (m)

W : Yolcu dahil bir vagonun ağırlığı (ton)

N : Vagon sayısı (adet)

n : Saatteki sefer sayısı (ad/h)

U : Trenin ortalama hızını (m/s)

ifade etmektedir.

- Resistör dirençlerinden gelen ısı kazancı (q_{SR}),

$$q_{SR} = 0,555 \cdot K_E \cdot 1 / \varepsilon_m \quad (2.5)$$

denklemini ile hesaplanır ve bu denklemdaki

K_E : Aracın maksimum hızdaki kinetik enerjisi (kJ/h) olup, aşağıdaki (2.6) denklemini ile bulunur.

$$K_E : 4.3 \cdot 10^{-3} \cdot W_e \cdot N \cdot n \cdot U^2 \quad (2.6)$$

Denklemin 2.5 ve 2.6'daki terimleri

ε_m : Tahrik Motoru Verimi

W_e : Yolcu dahil bir vagonun atalet momenti (ton)

N : Vagon sayısı (adet)

n : Saatteki sefer sayısını (adet)

U : Değişim hızı ilk adım için (m/s)

ifade etmektedir.

- Motor kayıplarından gelen ısı kazancı (q_m),

$$q_m = [(0,27 \cdot K_E) + q_D + q_M + q_{SR}] \cdot [(1 - \varepsilon_m) / \varepsilon_m] \quad (2.7)$$

denkleminde hesap edilir ve bu denklemdaki terimler

q_D : Aerodinamik sürüklenmeden açığa çıkan ısı kazancı (W)

q_M : Mekanik dirençlerden gelen ısı kazancı (W)

q_{SR} : Resistör dirençlerinden gelen ısı kazancı (W),

ε_m : Tahrik Motoru Verimini

ifade etmektedir.

- Katener ve ray dirençlerinden gelen ısı kazancı (q_{SR}),

$$q_{SR} = 2,22 \times [(0,27 \cdot K_E) + q_D + q_M + q_{SR}]^2 \cdot R / (n \cdot t_a \cdot V_0^2) \quad (2.8)$$

denklemleri ile hesap edilir ve bu denklemlerdeki terimler

K_E : Aracın maksimum hızdaki kinetik enerjisi (kJ/h)

q_D : Aerodinamik sürüklenmeden açığa çıkan ısı kazancı (W)

q_M : Mekanik dirençlerden gelen ısı kazancı (W)

q_{SR} : Resistör dirençlerinden gelen ısı kazancı (W),

R : Katener ve ray direnci toplamı (milliohm/km)

n : Saateki sefer sayısını (adet)

t_a : Hızlanma zamanı (s)

V_0 : 3.raydaki voltajı (V)

ifade etmektedir.

- Tünel aydınlatmadan gelen ısı kazancı (q_D),

$$q_D = W_L \cdot L \quad (2.9)$$

denklemleri ile bulunur ve bu denklemlerdeki terimler

W_L : Tünel aydınlatma (W/m)

L : Tünel Uzunluğunu (m)

ifade etmektedir.

- Araç soğutma dış ünitesinden gelen ısı kazancı (q_{AC}),

$$q_{AC} = 3,78 \cdot 10^4 \cdot T \cdot N \cdot n \cdot t_1 \quad (2.10)$$

denklemleri ile hesaplanır ve bu denklemlerdeki terimler

T : Bir vagonun soğutma kapasitesi (W)

N : Vagon sayısı (adet)

n : Saateki sefer sayısını (adet)

t_1 : İki istasyon arasındaki yolculuk süresini (s)

ifade etmektedir.

- Araç aksesuar motorlarında gelen ısı kazancı(q_{AX}),

$$q_{AX} = 0,277.KW.f.N.n.t_1 \quad (2.11)$$

denklemini ile hesaplanır ve bu denklemdaki terimler

KW: Bir vagona ait hava kompresör gücü (W)

f : Motor çalışma yüzdesi

N: Vagon sayısı (adet)

n : Saateki sefer sayısı (adet)

t_1 : İki istasyon arasındaki yolculuk süresi (s)

- İstasyondan gelen ısı kazançları

İstasyonda oluşan ısı kazancı; aydınlatma, reklam pano aydınlatma, sinyallerden ve yürüyen merdivenlerden gelen ısı kazançlarının toplamı ile bulunur.

İstasyon aydınlatmasından gelen ısı kazancı,

$$q_{istasyon} = A_1 \cdot q \quad (2.12)$$

denklemini ile hesaplanır ve bu denklemdaki terimler

A_1 : Peron alanı (m^2)

q : İstasyon aydınlatmadan gelen ısı (W/m^2)' yı ifade etmektedir.

Pano aydınlatmadan gelen ısı kazancı ,

$$q_{pano} = A_2 \cdot q \quad (2.13)$$

denklemini ile hesaplanır ve bu denklemdaki terimler

A_2 : Pano alanı (m^2)

q : Pano aydınlatmadan gelen ısı (W/m^2)' yı ifade etmektedir.

Sinyalden gelen ısı kazancı,

$$Q_{\text{sinyal}} = q \cdot n \quad (2.14)$$

denklemleri ile hesaplanır ve bu denklemlerdeki terimler

q : Araç sinyalizasyon gücü (W)

n : Araç sinyali adetini ifade etmektedir.

Yürüyen merdivenlerden gelen ısı kazancı,

$$Q_{\text{merdiven}} = KW \cdot n \cdot f \quad (2.15)$$

denklemleri ile hesaplanır ve bu denklemlerdeki terimler

KW : Yürüyen merdiven motor gücü (W)

n : Yürüyen merdiven adedi

f : Yürüyen merdiven yükleme yüzdesini ifade etmektedir.

Isı Kaybı ise;

- Peron altı egzoz havalandırması istasyonda ısı kaybına sebep olmaktadır. Peronaltı havalandırma en az %60-65 verimlilikle çalışmalıdır. [11]
- Toprak temaslı duvarlardan ısı transfer olacaktır.

Gerekli **hava debisi** ise;

Isı kazancı hesabı yapılan istasyonu soğutmak için gerekli hava debisi denklemi

$$Q = (3.27 \cdot q) / (1.15 \cdot \Delta t) \quad (2.16)$$

olup buradaki

Q : Hava debisi (m^3/h)

q : Toplam ısı kazancı (W)

Δt : Kabul edilebilir sıcaklık farkı ($^{\circ}C$)' nı gösterir.

Tünelde hareketsiz şekilde duran ve yanan trenden yolcuların tahliyesi en önemli kısımdır. Acil durum havalandırması, yolcu kaçış yönünü güvenli hale getirerek dumanı ve sıcak gazları istenilen yöne doğru itirebilmelidir. Bunu yapabilmek için gerekli olan en düşük hıza "kritik hız" denir. Tünelin yüksekliği, kesit alanı, eğimi, sıcaklık ve yangının büyüklüğü kritik hızı etkileyen başlıca faktörlerdir.

Kritik hız aşağıda verilen denklemlerin tekrarlı şekilde çözülmesiyle hesaplanır; [12], [13]

$$V_c = K_1 \cdot K_g [(g \cdot H \cdot Q) / (\rho \cdot C_p \cdot A \cdot T_f)]^{1/3} \quad (2.17)$$

$$T_f = Q / (\rho \cdot C_p \cdot A \cdot V_c) + T \quad (2.18)$$

$$K_g = 1 + 0.0374 (\theta)^{0.8} \quad (2.19)$$

olup, bulunan kritik hızda fan debisi aşağıdaki 2.20 denklemi ile bulunur.

$$Q_{Fan} = A \cdot V_c \quad (2.20)$$

V_c : Kritik hız (m/s)

Q : Yangın yükü (W)

T_f : Yangın bölgesi sıcak hava sıcaklığı (K)

T : Ortam sıcaklığı (K)

A : Tünel kesit alanını (m²)

ρ : Havanın yoğunluğu (kg/m³)

c_p : Sabit basınçlı havanın özgül ısı katsayısı (J/kg.K)

H : Tünel yüksekliği (m)

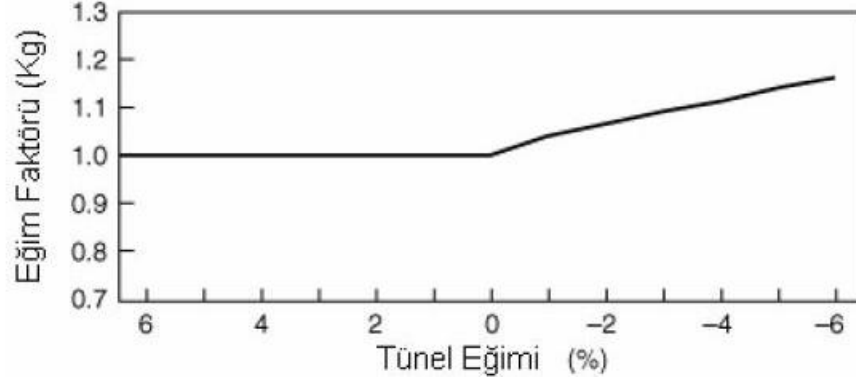
K_1 : Birimsiz sabit = 0.61

K_g : Eğim düzeltme katsayısı

θ = tünelin eğimi (%)

Tünelde yangın olan bölgede havalandırmanın yönü yokuş yukarı veya düz ise K_g katsayısı 1 olarak kabul edilir, ama havalandırma yönü yokuş aşağı ise K_g denklemi değer 1 den büyük bulunur (Şekil 2.7) Çünkü, sıcak gazlar tünelin tavanına doğru hareket edip yükselerek yayılmaktadır. Bu nedenle yokuş aşağı havalandırma yapmak gerektiğinde, yükselen sıcak gazları süpürebilmek için daha yüksek hava hızına ihtiyaç duyulmaktadır, böyle bir durumda kritik hız için daha yüksek bir değer hesaplanacaktır. Kritik hız değeri, tünelde tren olması veya olmaması durumuna bağlı olarak 2 farklı şekilde hesap edilir. Tünelde tren olduğu durumda,

tünelin kesit alanından trenin kesit alanının çıkartılıp net alana göre hesaplama yapılır. [13], [14]



Şekil 2.7 Tünel eğimi ile eğim faktörü parametresi değişimi

Tünel havalandırma sisteminde genel itibariyle basma-çekme prensibi kullanılmaktadır. Bundan dolayı, yangının olduğu bölgenin bir tarafındaki istasyon veya tüneldeki fanlar basma diğer taraftakiler ise çekme durumunda çalışırlar.

İnsanların yangın anında oluşan sıcak duman içerisinde hayatta kalabilmesi için ilave yangından korunma önlemleri alınmalıdır. Bu ortamda insanın bulunabilmesi için dumansız tabaka kısmının yeterli yükseklikte olması gerekir. Bu yükseklikte sıcaklık ($T < 50^{\circ}\text{C}$) (Araştırmalara göre bu sıcaklığa max. maruz kalma süresi 18,8 dakikadır.) ve yeterli oksijen miktarı da ($> \%14.$) olmalı ve ayrıca zararlı madde konsantrasyonları da sınır değerleri aşmamalıdır (örneğin $\text{CO} < 500 \text{ ppm}$). Tahliye güzergâhları boyunca herhangi bir nokta üzerinde minimum 2 m yükseklik korunmalı ve bu CFD modellerinde gösterilmelidir. [15], [16]

Ayrıca yolcu tahliyesi esnasında kaçış yolu üzerinde soğuk duman tabakasında 80 lx'de yakılan bir işaretin 30 m den görülebilmesi, kapı ve duvarların ise 10 m den fark edilmesi sağlanmalıdır. [16] Merdiven girişlerinde duman olmamalıdır. Ayrıca tahliye, yangın başladıktan sonra 15. dakikaya kadar tamamlanmalıdır.

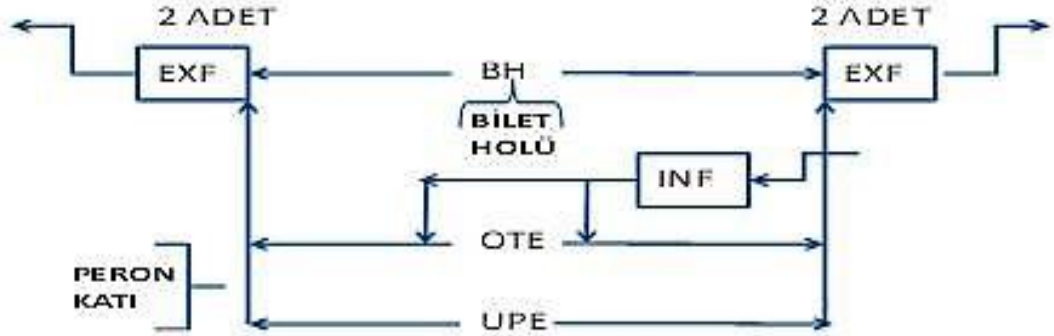
Yukarıdaki sınır değerlerden birine ulaşılmasına kadar ki zamana, istasyonun dumanla dolma zamanı denir. Dumanla dolma zamanı daima ilgili istasyonun tahliye zamanından daha uzun olmalıdır. [7]

2.2.1 Peron Konfor Havalandırması Senaryosu

EXF fanları peron altı menfezlerden emiş yapar, INF fanları peron üstü anemostadlardan taze hava verir. Sıcaklık, sensörden gelen bilgiye göre set değerinin altına düştü ise konfor havalandırması otomasyon tarafından kapatılır. Farklı metro hatlarında bu senaryo değişiklik gösterebilir.

Bazı metro hatlarında farklı tasarımlar olmakla beraber, EXF ler de, TVF ler gibi peron sonlarındaki shaftların bir kısmını kullanmaktadır. Fanlar peron seviyesine kadar inşai havalandırma shaftını kullanmakta olup peron altı ve peron üstüne hitap etmektedir. Peron üstü kanalları acil durum havalandırmasında kullanılmaktadır. Bilet holüne de kanallar ile bağlanmaktadır. Bu şekilde peron seviyesi ve bilet holü havalandırması sağlanmaktadır. Normal şartlarda, bilet holü ve peronda bulunan sıcaklık sensörleri vasıtasıyla veya zaman ayarlı olarak çalışırlar.

Acil durum anında da peronda çıkacak bavu yangınında (1 Megawatt (MW) büyüklüğünde kabul edilir [4], [17]) Şekil 2.8'de görüldüğü üzere OTE kanallarını kullanarak yolculara ve acil durum ekibine uygun şartlar sağlanmaktadır. Bu kanallar normal şartlarda INF kanalı olarak hizmet vermektedir.



Şekil 2.8 Yolcu bölümü havalandırma sistemi

Normal şartlarda istasyonlarda SES User Manuel ve SEDH (Subway Environmental Design Handbook) de belirtilen hesap yöntemleri ile SES 4.1 programına veriler girilip ısı yükler ve segmentlerdeki ısı kayıpları hesaplanmaktadır. [10], [11]

2.2.2 Tünel Konfor Havalandırması Senaryosu

Genel itibariyle metrolarda tünel içerisinde perondan 20 metre uzaklığa sıcaklık sensörleri ve hava kalite sensörleri yerleştirilmektedir. Tünel içinde oluşabilecek sıcak ve kirli hava, sensörler ile algılanıp ECS tarafından havalandırma senaryosu devreye sokulur. Tünel konfor havalandırmasında TVF ler düşük frekanslarda çalışmaktadır. Komşu iki istasyondaki fanlardan biri kirli hava atışını diğeri taze hava girişini sağlamaktadır.

2.2.3 Tren Piston Etkisinin Ortadan Kaldırılması

Tren hareket halindeyken tünelde bir hava akımı oluşmaktadır. Bu hava akımının tren üzerinde fazla bir etkisi olmazken, perona girerken oluşan hava etkisi yolcuların üzerinde büyük bir etki oluşturmaktadır. Bu hava akışı peronun iki ucunda bulunan şaftlardan dengelenmektedir. Şaftların önünde bulunan damper grupları normal işletme durumunda her zaman açık konumdadır. Şaftın bağlandığı bölümde TVF ler ve TVF lerin üzerinde de by-pass damperleri bulunmaktadır. TVF damperleri fanın çalışmadığı durumlarda kapalı pozisyonundadır. TVF lerin üzerlerinde bulunan by-pass damperleri TVF çalışmadığı durumlarda açık konumdadır. Böylece, piston etkisi ile oluşan hava açık damperler vasıtasıyla perondan dış ortama doğru doğal bir şekilde atılmaktadır.

Piston etkisi çözülmesi gereken en önemli konulardan biridir. Çünkü yapılan araştırmalarda, aerodinamik süreksizlikler nedeniyle, hareket halinde olan bir trenin içindeki yolcular ile peronda bulunan yolcuların kulak ve sinüslerine rahatsızlık veren bir statik basınç farkının meydana geldiği görülmüştür. Sinüsler basınç değişimlerinden dolayı en hassas olan bölgelerdir. [7], [10]

Kısaca bu basınç değişimlerinin insan vücuduna etkisi aşağıdaki Tablo 2.1'de özetlenmiştir.

Tablo 2.1 Değişik seviyelerde basınç değişimlerinde kulağın hissettiği algılar

Kulak Belirtileri	Orta kulak ve dış ortam arasındaki basınç farkı (Psi)
Kulağın içerisinde hissedilebilen şişlik	0,06-0,10 (413-690 Pa)
Şişlik artımının hissedildiği seviye	0,10-0,19 (690-1310 Pa)
Ses duyma teneğinin azaldığı şişlik seviyesi	0,19-0,29 (1310-2000Pa)
Kulağın rahat çalışmasını engelleyen hastalık belirtilerinin başladığı seviyeleri (Kulak tınlaması, ortada derecede baş dönmesi ve ağrı)	0,29-0,58 (2000-3999 Pa)

Piston etkisine bağlı olarak dikkat edilmesi gereken konuların başında hava hızı ve kalitesinin kontrolü gelmektedir. Hamburg'ta bir metro tüneline bir grup kadın ve erkek üzerinde araştırma yapılmış olup 2,9 m/s üzerindeki hızlarda rahatsız bir ortam oluştuğu ve hızın 5,38 m/s in üstüne çıktığında ise tahammül edilemeyecek bir durum oluştuğu gözlemlenmiştir. Acil durumda ise bu değer 0,75-11 m/s arasında değişmektedir. [10]

Amerikan Meteoroloji Dairesinin rüzgar şiddetini belirlemek için kullandığı Bofor skalası (Tablo 2.2) metrolarda da kullanılmaktadır. Mesela bir metro istasyonunda Bofor 4'e göre rüzgar toz parçacıklarını havaya kaldırıp şapka vs. uçurduğu için bu durum istenmemektedir.

Bu durumun önüne geçilmesi için peron katının başında ve sonunda havalandırma şaftları yapılmıştır. Bu şaftların peron katında bulunan çıkış noktalarına özellikle tünel tarafına doğru pah verilerek trenin piston etkisiyle gelen pozitif basınç buralardan dışarı atılarak istasyonda daha düşük hava hızlarının oluşması sağlanmaktadır. Her ne kadar Bofor Skalası, insan hareketlerine etki eden konfor koşullarına karşılık gelen bir değer olup, yangın ve dumanın yayılımı, tahliyesi konusunda bir temel referans olmasa da, temel alınan hava hızlarının kaçmakta olan insanlara olan etkisinin değerlendirilmesi için bir gösterge oluşturmaktadır.

Tablo 2.2 Bofor (Beaufort) skalası [10]

Bofor	Rüzgarın Tanımı	Açık ve düz alanda 10 metre yükseklikte tanımlanmış Rüzgar hız sınırları		Rüzgarın yaptığı etki
		m/s	km/h	Karada
0	Sakin	0-0,2	1	Duman dikine yükselir.
1	Esinti	0,3-1,5	1-5	Rüzgarın yönü rüzgardan değil, dumanın sürüklenmesinden belli oluyor.
2	Hafif Rüzgar	1,6-3,3	6-11	Rüzgar insan teninde hissedilebilir, yapraklar titreşir, rüzgar gülü harekete geçer.
3	Tatlı Rüzgar	3,4-5,4	12-19	Rüzgar, yaprakları ve ince dalları sürekli hareket ettirir ve bayrakları hafif dalgalandırır.
4	Orta rüzgar	5,5-7,9	20-28	Rüzgar, toz ve kağıt parçacıkları uçurur, küçük dalları hareket ettirir.
5	Sert Rüzgar	8,0-10,7	29-38	Yapraklı küçük ağaçlar sallanmaya başlar, iç sularda tepeli dalgacıklar oluşmaya başlar.
6	Kuvvetli Rüzgar	10,8-13,8	39-49	Büyük dallar sallanır, telgraf tellerinde ıslık sesi işitilir, şemsiye taşımak güçleşir
7	Fırtınamsı Rüzgar	13,9-17,1	50-61	Bütün ağaçlar sallanır, rüzgara karşı yürümek güçleşir.
8	Fırtına	17,2-20,7	62-74	Rüzgar genellikle filizleri kırar ve rüzgara karşı yürümek genellikle çok zordur
9	Kuvvetli Fırtına	20,8-24,4	75-88	Zayıf binalarda hasar meydana gelir, bacalar yıkılır, kiremitler uçar.
10	Şiddetli Fırtına	24,5-28,4	89-102	Karada nadir olup, ağaçları kökünden söker, binalarda önemli zararlar yapabilir.
11	Çok Şiddetli Fırtına	28,5-32,6	103-117	Ender rastlanır ve geniş çapta hasarlara neden olur.
12	Harikeyn (Orkan)	32,7 ve daha fazla	118 ve daha fazla	-

2.2.4 Bilet Holü Konfor Havalandırması

Bilet holü konfor havalandırması, bilet holündeki sıcaklık sensöründen ECS otomasyon sistemine gelen bilgiyle otomatik çalıştırılmaktadır. IHK senaryosunun devreye girmesi ile EXF (Şekil 2.9) emiş yönünde çalışarak kirli havayı dışarı atar. EXF fanlarına ait peron altı ve peron üstü damperleri senaryo sırasında kapalı duruma geçer. Bilet holü katına hitap eden damper ise açık pozisyona geçer. [18]



Şekil 2.9 Egzoz fanı (EXF)

2.2.5 Teknik Odalar Havalandırması

İstasyondaki mahallerin hepsinde havalandırma sistemi bulunmaktadır.

Teknik odaların havalandırma sistemi, personel konforunu sağlamak ve cihazlardan gelen ısı kazançlarını gidermek için tasarlanmaktadır.

Tüm istasyona ait elektromekanik sistem odaları teknik birim ve teknik hacimlerde bulunmaktadır.

Havalandırma tasarımı, ısı kaybı / kazancı hesaplarına dayanmaktadır. Elektrik ekipman odalarındaki havalandırma tesisatı yaydıkları ısıl yükleri karşılamak için tasarlanmaktadır. ECS, elektrik ekipman odalarında sıcaklık 35 °C'yi aştığında ilgili fanları devreye sokar. Sinyalizasyon ve haberleşme odalarında bulunan havalandırma sistemi, konfor havalandırması için tasarlanmaktadır. Soğutma

görevini odalarda bulunan klimalar üstlenmiştir. Mekanik ve diğer mahallerin havalandırması ise hava değişimine göre tasarlanmaktadır.

Havalandırma sisteminde genellikle Tablo 2.3'te belirtilen cihazlar kullanılmaktadır.

Tablo 2.3 Havalandırma sisteminde kullanılan cihazlar [18]

ALAN	KULLANILAN CİHAZ
BİLET HOLÜ YOLCU ALAN HAVALANDIRMASI	EXF
PERON SEVİYESİ YOLCU ALAN HAVALANDIRMASI	EXF - INF
PERSONEL ODALARI HAVALANDIRMASI	FS - FE - ACS
TÜNEL KONFOR HAVALANDIRMASI	TVF - JF

2.3 Tünel Havalandırma Sistemi Çalışma Kapsamı

Tünel havalandırma sistemi, aşağıdaki faaliyet durumlarında yer altı ortam koşullarının kontrolünü sağlamaktadır.

2.3.1 Normal Faaliyet

Tren işletmesinin planlanan program dahilinde gerçekleştiği normal şartlarda çevresel kontrol sistemi, yolcu bölümlerini istenilen konfor seviyesinde tutmak üzere tren piston hareketi ile oluşan sıcak havanın tünellerden alınıp, taze havanın içeri çekilebileceği şekilde ayarlanmıştır.

2.3.2 Sıkışık Faaliyet

Trenlerin önceden planlanmış ya da planlanmamış bir anda duraklaması halinde normal koşulda tren piston hareketiyle oluşan hava akımını sağlamak için TVF'ler çalıştırılmaktadır.

Fanlar itme-çekme şeklinde çalıştırılmakta yani tünelin bir ucundaki fanlar besleme yaparken diğer taraftakiler egzoz durumunda çalıştırılarak bir hava akımı sağlanmaktadır.

2.3.3 Olağanüstü Koşullar

Olağanüstü koşul ise, sınırlama getirilmeden yeraltında yangın çıkmasıdır. Tünel havalandırma sistemi, yanma sonucu ortaya çıkan gazların etkisini azaltarak onları ortamdaki uzaklaştırmakta ve hava sıcaklığını düşürmek için de ilgili mahale

dışardan temiz hava sağlamaktadır. Ayrıca tünel havalandırma sistemi, yangın esnasında insanların güvenli bir şekilde tahliyesini sağlamak ve acil müdahale ekibinin yangına yaklaşmasını kolaylaştırmak için tünel ve istasyon bölgesinde hava akışını kontrol etmektedir.

2.4 Peron Altı Egzoz Fan Sistemi Çalışma Kapsamı

Bu sistemler resistörler, iklimlendirme kondenseri, insanlardan ve istasyon teçhizatları tarafından üretilen ısıyı atmak için tasarlanmıştır. Ön hesaplamalar için tren ısı çıktısının kontrol hacmi ısı yükünün 2/3 (üçte ikisi) olduğu ve UPE 'nin %50 verimle çalıştığı kabul edilmektedir. [8]

İstasyonlarda ısı yüklerini azaltmak için yolculara temiz hava sağlamak ve acil durumlarda güvenli alan oluşturulduğunda temiz hava ihtiyacını karşılamak üzere temiz hava besleme (INF) sistemi bulunmaktadır.

İstasyonlarda ısı yükleri hesaplanırken SES User Manuel'de belirtilen hesap yöntemleri ya da doğrudan SES 4.1 programı ile istenilen hesap girdileri girilip ısı yükleri ve segmentlerde oluşan ısı kayıpları hesaplanmaktadır. [10], [11]

Sistem aşağıdaki işlemleri yerine getirmektedir.

- a) Normal faaliyette, istasyonda bulunan cihazların, yolcuların ve trenlerin oluşturduğu ısının giderilmesi.
- b) Yangın anında duman kontrolü.

Peronaltı kirli hava sisteminde, peron ve bilet holü katına hitap eden toplam 4 adet çift yönlü fan bulunmaktadır.

Bilet holünden duman tahliyesi, bir motorlu damperle tamamlanan kanal vasıtasıyla sağlanmaktadır.

3.1 Amaç

Çalışmamızın amacı metrolarda yangın durumunda acil durum havalandırma sistemini Haciosman – Yenikapı (M2) metro örneğinde ele alarak, Yenikapı ve Vezneciler istasyonları arasında bulunan M52 makas bölgesinde ve makas bağlantı tüneline durarak yanan bir araç yangınında, yolcuların dumansız kaçış yollarını kullanarak yangın bölgesini tahliye etmelerini sağlayacak olan makas bölgesi havalandırma metodolojisini ve CFD ile yapılan simülasyon sonuçlarının değerlendirmesini ortaya koymaktır.

İlgili yangın senaryosu işletildiğinde sahada yapılan soğuk simülasyon hava hız ölçümleri ile CFD sonucunda ortaya çıkan havalandırma hızları karşılaştırılarak duman tahliyesi açısından mevcutta var olan TVF ve EXF lerin yeterliliğinin tespit edilmesi, sonrasında da SES 4.1 simülasyonu ile belirlenen sınır koşullarını kullanarak PyroSim programı ile yapılan sayısal CFD analizleri sonucunda ilgili makas bölgesindeki jet fan ihtiyacının her iki durum için de değerlendirilmesi yapılmıştır.

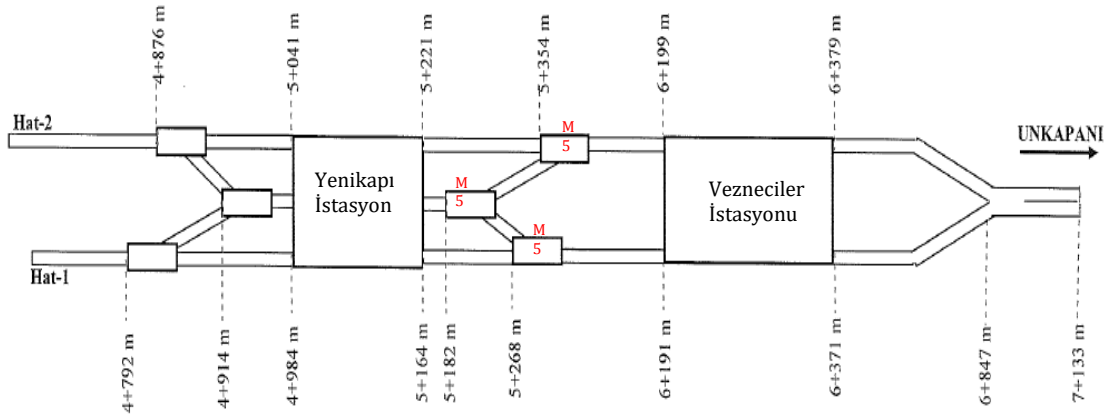
3.2 Analiz Girdileri

Yenikapı-Vezneciler arasında EK-A acil durum havalandırma yangın senaryoları için saha testleri yapılmıştır. Bu senaryoları gerçekleştirmek ve gerekli analizleri yapabilmek için kullanılan tren verileri, hat ve istasyon geometrileri, kullanılan fan özellikleri, yangın yükü, mevcut acil durum senaryoları öncelikle açıklanacaktır.

3.2.1 Tüneller ve İstasyonlar

Yenikapı-Vezneciler arasında M52, M53 ve M54 makasları bulunmaktadır. İki istasyon arasında hat tünelleri ve bunlara bağlı 3 adet bağlantı tüneli bulunmaktadır. Çalışmanın yapıldığı bölge, Yenikapı istasyonu ile Vezneciler

istasyonu'nu içeren kısımdır. İlgili istasyonlar, konumları ve şematik gösterimi Şekil 3.1'de sunulmuştur. Makas bölgeleri listesi Tablo 3.1'de gösterilmiştir.



Şekil 3. 1 Yenikapı - Vezneciler arası şematik gösterim

Tablo 3.1 Makas bölgeleri listesi

Makas	Başlangıç	Hat	Komşu İstasyon
Makas 52	5+268.000	Hat-1	Yenikapı – Vezneciler
Makas 53	5+182.000	Hat-3	Yenikapı – Vezneciler
Makas 54	5+354.500	Hat-2	Yenikapı – Vezneciler

3.2.2 Metro Aracı ve Tünel Karakteristik Verileri

Kullanılan araca, yangın yüküne ve tünellere ait veriler Tablo 3.2 ve Tablo 3.3'de belirtilmiştir.

Tablo 3.2 Araç, yangın ve tünel karakteristik verileri [18]

Yangın Yüğü (HRR) [MW]	18
Yangın Yüğü'nün Konvektif Kısmı [MW]	14,4
Kritik hız için referans denklem	Kennedy Denklemi
Tren ön kesit alanı [m²]	9,94
Tren toplam uzunluğu [m]	180
Tren Dizi Sayısı	8
Araç önüne bağlı sürüklenme katsayısı	0,56 (SES Kullanıcı El Kitabı)
Tren sürtünme katsayısı	0,023 (SES Kullanıcı El Kitabı)
Hat Tünelleri Kesiti [m²]	26,6
Hat Tünelleri Çevresi [m]	19,10
Makas Tünelleri Kesiti [m²]	73,20
Makas Tünelleri Çevresi [m]	34,70

Tablo 3.3 Araç özellikleri [18]

Tip	Alstom
Boy	MC 21.600, M-T 21.360, TOP 85.920mm
Araç Genişliği	3.050 mm
Araç iç Tavan Yüksekliği	2.080 mm
Araç Dış Tavan Yüksekliği	3519 mm (3619 mm Telsiz Anteni Dahil)
Koridor Genişliği	745 mm
Kapı Eşik Seviyesi	1050 mm
Kapı Genişliği	1370 mm
Kapı Yüksekliği	1950 mm
Ray açıklığı	1435 mm
Platform Yüksekliği	1030mm
Alt ekipman ray kotundan yükseklik	80mm
Katener Yüksekliği	170mm ray üzerinde (3. ray)
Yolcu (m²'de 6 kişi)	MC 228(54+174) M-T 240(60+180) TOP: 936
Boş ağırlık	MC(32.117)kg, T(22.295)kg, M(31.650)kg TOP(118.179)kg
Dolu Ağırlık(m² de 6 kişi)	MC 48.077kg, M 48.450kg, T 39.095kg TOP(183.699)kg

3.2.3 Tünel ve Yolcu Bölümü Havalandırma Fanları Karakteristik Verileri

Tünel havalandırma fanları ve yolcu bölümü havalandırma fanlarına ait veriler Tablo 3.4'de gösterilmiştir.

Tablo 3.4 TVF ve EXF verileri [18]

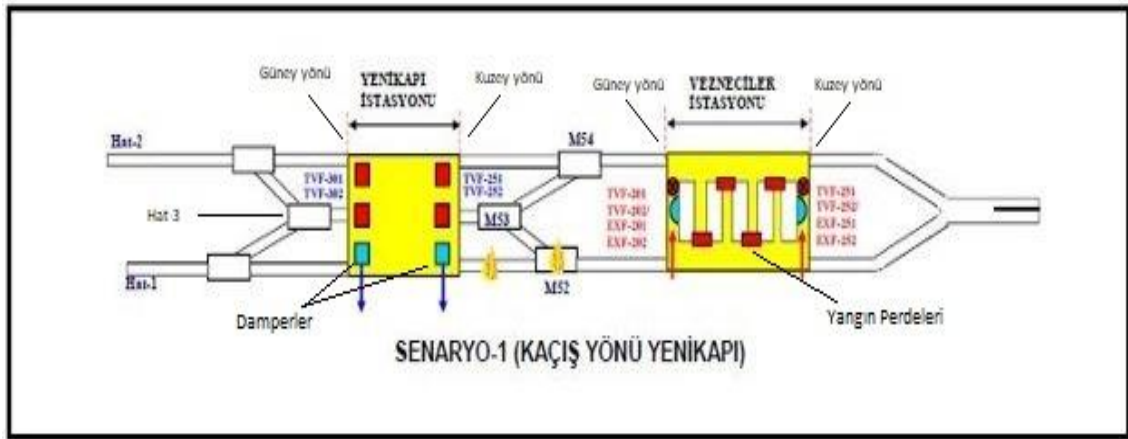
İstasyon	Ekipman Kod	Tip	Adet	Kapasite	Ekipman özellikleri	Güç (kW)
S16	S16/TVF/251	Tünel havalandırma fanı	1	252000 m ³ /h, 1000 Pa	Aksiyal, çift yönlü, frekans konvertörlü, 250°C ye 1 saat dayanabilir	110
S16	S16/TVF/252	Tünel havalandırma fanı	1	252000 m ³ /h, 1000 Pa	Aksiyal, çift yönlü, frekans konvertörlü, 250°C ye 1 saat dayanabilir	110
S16	S16/TVF/301	Tünel havalandırma fanı	1	252000 m ³ /h, 1000 Pa	Aksiyal, çift yönlü, frekans konvertörlü, 250°C ye 1 saat dayanabilir	110
S16	S16/TVF/302	Tünel havalandırma fanı	1	252000 m ³ /h, 1000 Pa	Aksiyal, çift yönlü, frekans konvertörlü, 250°C ye 1 saat dayanabilir	110
S16	S16/EXF/251	Yolcu bölümü havalandırma fanı	1	148680 m ³ /h, 1665 Pa	Aksiyal, çift yönlü, frekans konvertörlü, 250°C ye 1 saat dayanabilir	132
S16	S16/EXF/252	Yolcu bölümü havalandırma fanı	1	148680 m ³ /h, 1665 Pa	Aksiyal, çift yönlü, frekans konvertörlü, 250°C ye 1 saat dayanabilir	132
S16	S16/EXF/301	Yolcu bölümü havalandırma fanı	1	148680 m ³ /h, 1415 Pa	Aksiyal, çift yönlü, frekans konvertörlü, 250°C ye 1 saat dayanabilir	110
S16	S16/EXF/302	Yolcu bölümü havalandırma fanı	1	148680 m ³ /h, 1415 Pa	Aksiyal, çift yönlü, frekans konvertörlü, 250°C ye 1 saat dayanabilir	110
S15	S15/TVF/201	Tünel havalandırma fanı	1	252000 m ³ /h, 1000 Pa	Aksiyal, çift yönlü, frekans konvertörlü, 250°C ye 1 saat dayanabilir	110
S15	S15/TVF/202	Tünel havalandırma fanı	1	252000 m ³ /h, 1000 Pa	Aksiyal, çift yönlü, frekans konvertörlü, 250°C ye 1 saat dayanabilir	110

Tablo 3.4 TVF ve EXF verileri [18] (devam)

İstasyon	Ekipman Kod	Tip	Adet	Kapasite	Ekipman özellikleri	Güç (kW)
S15	S15/TVF/251	Tünel havalandırma fanı	1	252000 m ³ /h, 1000 Pa	Aksiyal, çift yönlü, frekans konvertörlü, 250°C ye 1 saat dayanabilir	110
S15	S15/TVF/252	Tünel havalandırma fanı	1	252000 m ³ /h, 1000 Pa	Aksiyal, çift yönlü, frekans konvertörlü, 250°C ye 1 saat dayanabilir	110
S15	S15/EXF/201	Yolcu bölümü havalandırma fanı	1	99000 m ³ /h, 1010 Pa	Aksiyal, çift yönlü, frekans konvertörlü, 250°C ye 1 saat dayanabilir	55
S15	S15/EXF/202	Yolcu bölümü havalandırma fanı	1	99000m ³ /h, 1010 Pa	Aksiyal, çift yönlü, frekans konvertörlü, 250°C ye 1 saat dayanabilir	55
S15	S15/EXF/251	Yolcu bölümü havalandırma fanı	1	99000 m ³ /h, 1010 Pa	Aksiyal, çift yönlü, frekans konvertörlü, 250°C ye 1 saat dayanabilir	55
S15	S15/EXF/252	Yolcu bölümü havalandırma fanı	1	99000m ³ /h, 1010 Pa	Aksiyal, çift yönlü, frekans konvertörlü, 250°C ye 1 saat dayanabilir	55

4.1 Saha Ölçüm Çalışmaları

Yenikapı-Vezneciler arasında toplam 10 adet yangın senaryosu bulunmaktadır. Bu senaryolar EK-A Acil Durum Havalandırma Yangın Senaryoları'nda gösterilmiştir. Bu yangın senaryolarından kritik olarak değerlendirilen Senaryo-1 (Şekil 4.1) esas alınarak gerekli saha hava hız ölçüm, CFD ve SES çalışmaları yapılmıştır.



Şekil 4. 1 Yenikapı-Vezneciler arası 1. yangın senaryosu

Öncelikle, NFPA 130 [16] doğrultusunda söz konusu sistemin yangın olmayan durumlardaki hava hızları belirlenerek sistem yeterliliğinin belirlenmesi gerekmektedir.

Tünelde hava hız testleri yapılarak doğrulama yapılırken aşağıda belirtilen hususlara dikkat edilmesi gerekmektedir.

1. Tünel içi hava hızları test edilirken ilgili senaryodaki bütün ekipmanların doğru bir şekilde çalıştığı teyit edilmelidir.

2. Tren'in blokaj etkisinin de dikkate alınabilmesi amacıyla hat içinde ilgili konumda tren bekletilmelidir.

3. İlgili istasyondaki yangın perdelerinin ve kapılarının mutlaka aktif olarak çalıştığı teyit edilmelidir.

4. Hava hızı ölçümleri yapılırken, kalibre edilmiş cihazlar ile (Hava hızı ölçer vb.) tren ile tünel arasında kalan alandan yapılmalıdır.

Yenikapı-Vezneciler istasyonları arasında, hat-1'de M52 makasını da kapsayacak şekilde treni konumlandırarak, Şekil 4.1'de görülen 1. Yangın senaryosu devreye sokulmuştur. Yenikapı istasyonu hat-1 güney ve kuzey tarafında bulunan damperler açık, hat-2 ve hat-3'te bulunan damperler ise kapalı olacak şekilde TVF'ler üfleme çalıştırılıp, Vezneciler istasyonunda da yangın perdeleri kapalı, hat-1 damperler açık ve hat-2 damperler kapalı olarak tüm TVF ve EXF'ler de egzoz çalıştırılarak hava hız ölçümü yapılmıştır. Ölçüm esnasında Şekil 4.2 'de görünen ve özellikleri Tablo 4.1 'de verilen kalibrasyonlu Fluke 975 marka bir cihaz kullanılmıştır.



Şekil 4.2 Çok fonksiyonlu ölçüm cihazı

Tablo 4.1 Ölçüm aletinin genel özellikleri

Ölçülen Parametreler	Aralık	Görüntüleme Çözünürlük	Okunan değer in % olarak hassasiyeti
Sıcaklık	-5 ° ila 122 °F -20 ° ila 50 °C	0,1 °F 0,1 °C	±0,9 °C /±1,62 °F from 40 °C'den 50 °C'ye ±0,5 °C /±1,00 °F 5 °C'den 40 °C'ye ±1,1 °C /±1,98 °F -20 °C'den 5 °C'ye
Nispi Nem	10 to 90 % R.H. kondenssiz	0,1 %	±3 % RH, %10 RH'den %90 RH'ye %1 histeresis dahil
Hava Hızı	50 ile 3000 fpm 0,25 ile 15 m/sec	1 fpm 0,001 m/sn	%±4 veya 4 fpm* %±4 veya .02 m/sn*, hangisi daha büyükse * Doğruluk özelliği yalnızca 50 fpm veya 0,25 m/sn'nin üzerindeki hız ölçümleri için geçerlidir.
CO ₂	0 ile 5000 ppm	1 ppm	Isınma zamanı 1 dakika (tam özellikler için 5 dakika) 2,75% + 75 ppm
CO	0 – 500 ppm	1 ppm	±5 % or ±3 ppm, hangisi büyükse, @ 20 °C ve 50 %RH Şu Sıcaklığın üzerinde ek indirgeme: kalibrasyon sıcaklığına göre %±0,6 /°C %±0,6 /°C < 20 °C Uzun süreli drift < %2 her ay için. Maksimum shift, kuru veya nemli şartlarda depolamada*: günde %±0,6 (Referans depolama test koşulları: 50 °C, %15 RH ve 30 °C, %95 RH)

İlk hava hızı ölçümü, M52 makası ile Yenikapı istasyonu arasındaki Hat-1 tüneli içinde yürüme yolunda (Şekil 4.3), 2 m yükseklik seviyesinde üç farklı noktadan (daha doğru sonuç alabilmek için bu üç değerın ortalaması alınmıştır) yapılmıştır.



Şekil 4.3 M52 makas bölgesi hat-1 ayrımı

İkinci ölçüm ise, M52 makas bölgesinde yürüme yolunda (Şekil 4.4), 2 m yükseklik seviyesinde yine üç farklı noktadan yapılmıştır.



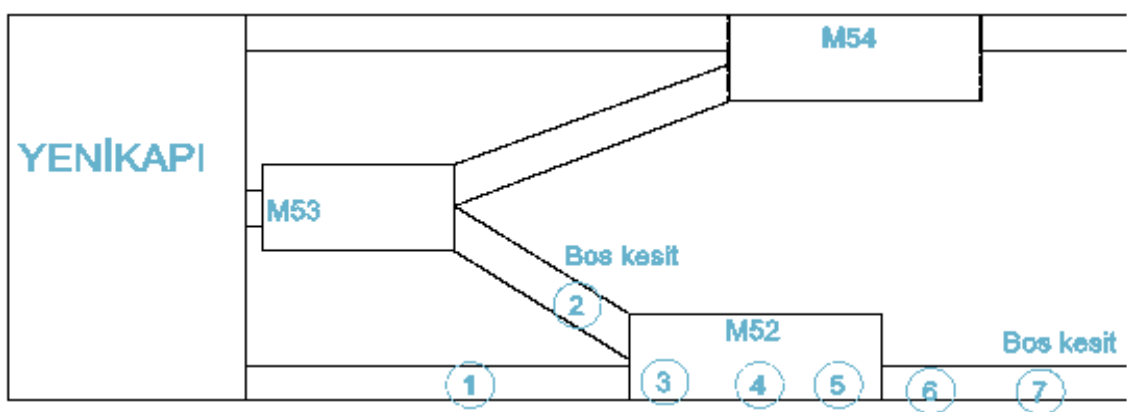
Şekil 4.4 M52 makas bölgesi

Havalandırma hızı, mevcutta bulunan fanların tasarımında, tüm hat geometrisi kullanılarak yapılan SES simülasyon sonuçları ile elde edilen hızdır. Havalandırma hızı ile beraber kritik hız formüllerine dayanarak elde edilmiş olan kritik hız değerleri ve belirlenmiş iki farklı noktada yapılan saha ölçüm değerleri Tablo 4.2’de gösterilmiştir.

Tablo 4.2 Senaryo-1 yangın noktalarındaki saha ölçüm sonuçları

Yangın Senaryoları	Hava Hızı Ölçüm Senaryoları	Yenikapı TVF/251-251	Yenikapı TVF/301-302	Vezneciler TVF/251-252	Vezneciler TVF/201-202	Hat	Yangın Yeri (km)	Havalandırma Hızı (m/s)	Kritik hız (m/s)	Ölçülen Değer (m/s)	Kaçış Yönü	Vezneciler İst. Hava perdesi	Yenikapı İst. Damper HAT1	Yenikapı İst. Damper HAT2	Yenikapı İst. Damper HAT3
SENARYO-1	1	B	B	E-(HAT1)	E-(HAT1)	Hat1	5+203	3,5	2,5	2,3	YENİKAPI	HAT 1 tarafı kapalı	A	K	K
	2	B	B	E-(HAT1)	E-(HAT1)	Hat1	5+282	2,8	2,1	2,5	YENİKAPI	HAT 1 tarafı kapalı	A	K	K

Saha ölçüm sonuçları, her iki noktada da havalandırma hızının altında çıkmıştır. Ancak bu durum, fanların kapasitelerinin uygun olup olmadığını anlamak için tek başına yeterli gelmeyecektir. Mevcut fanların yeterliliğini görmek amacıyla yapacağımız CFD çalışmasına daha fazla ve doğru girdiler verebilmek adına, kesitlerin değiştiği ve buna bağlı olarak gerek debi gerekse hızların değişiklik göstereceği Şekil 4.5’de gösterilen 7 farklı nokta belirlenerek, bu bölgelerde hava hız ölçümleri yapılmıştır.



Şekil 4.5 Yenikapı-Vezneciler arası ölçüm noktaları

Verilerin doğruluğunu arttırabilmek için Senaryo-1’de fan ve damperlerin pozisyonlarında değişiklikler yaparak birbirinden farklı alternatif 6 senaryo

çalıştırılmış ve her bir senaryo için söz konusu noktalardaki hızlar ölçülmüştür. Trenin yangın anında bulunduğu bölge ise yine Senaryo-1 deki konumu olmuştur. Ölçüm metodu da önceki ölçümlerin aynısı olup, hız, ilgili ölçüm noktasında 3 farklı alandan ölçülüp ortalaması alınmış ve sonuçlar Tablo 4.3’de gösterilmiştir.

Tablo 4.3 Alternatif senaryolarla farklı noktalardaki saha ölçüm sonuçları

YENİKAPI		Ölçüm Noktalarında Ölçülen Hız (m/s)						
No	Alternatif Senaryolar	1	2	3	4	5	6	7
1	+/- Yenikapı güney TVF tüm damperler, kuzey Hat-1 açık, Yenikapı ve Vezneciler EXF’ler kapalı	2,50	0,70	1,80	1,10	1,10	4,10	2,30
2	+/- Vezneciler EXF’ler çalıştı. Yenikapı EXF’ler sadece Hat-1 peronaltı açık	2,80	1,30	2,20	1,40	1,50	3,80	3,00
3	+/- Yenikapı EXF’ler sadece Hat-1 peronüstü açık	2,70	1,40	2,00	1,40	1,50	4,70	3,10
4	+/- Yenikapı EXF’ler tüm peronüstü açık	2,70	1,40	1,80	1,50	1,50	4,50	3,20
5	+/- Yenikapı peron üstü tüm EXF’ler açık, Hat-1 ve Hat-3 TVF damperleri açık	2,10	1,50	1,40	1,20	1,20	4,50	3,00
6	+/- Yenikapı kuzey tüm TVF damperleri açık	2,00	1,60	1,10	1,10	1,00	4,50	2,80

Alternatif senaryolardaki değerlerin, tüm ölçüm noktalarında birbirine yakın çıktığı görülmüştür. Tren 1,3,4,5,6 noktalarını kapsayacak şekilde konumlandığı için, bu bölgelerin hepsinde blokaj etkisi olmakta ve hızı etkilemektedir. 1 no’lu nokta tünelin içerisinde olduğu için, kesit alanı daha fazla olan M52 makası içerisindeki 3, 4, ve 5 no’lu ölçüm noktalarına göre daha yüksek hız ölçülmüştür. 6 noktası da tek bir tünel içerisinde olmasına karşın makas bölgesinden sonra kesitte ani bir daralma olduğu için daha yüksek bir hız ölçülmüştür. 7 noktasında da kesitleri birbirine yakın olan 1 noktasına göre biraz daha yüksek bir değer elde edilmiştir. Bunun sebebi de 7 noktasından sonra Vezneciler istasyonuna doğru eğimin artmasıdır. 2 noktasında ise M53 makas bölgesinden gelen kısmi hava ve hat-1 tarafından kaçan hava kaynaklı daha düşük bir hız ölçülmüştür.

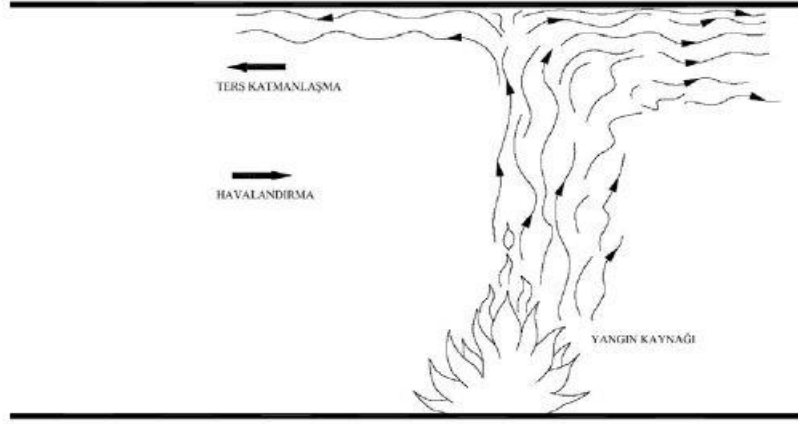
Alternatif senaryolardan 1 no’lu senaryo seçilerek, burada ölçülen hız değerleri ile CFD simülasyonu yapıлып, bölgedeki sıcaklık ve duman dağılımları tespit edilip,

mevcut fanlar gerekli şartları sağlıyor mu, yoksa ilave bir fan ihtiyacı var mı ortaya konmaya çalışılmıştır.

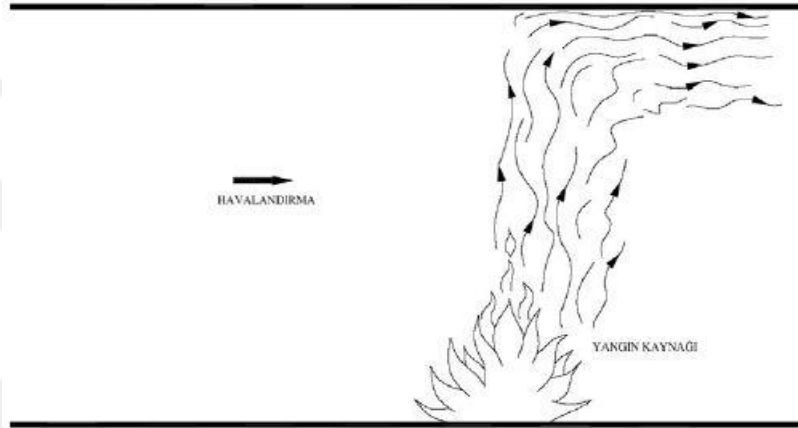
4.2 CFD ve SES simülasyonları

Acil durum havalandırma sistemi, her türlü sistem bileşeni ile bir bütün olarak çalışarak, can güvenliğini doğrudan veya dolaylı olarak etkileyen unsurların etkilerini gidermek veya azaltmak ve yaşanabilir ortam koşullarını sağlamak zorundadır. Bu amaçla çalışacak olan sistem, en az aşağıdaki gerekleri yerine getirmelidir;

- Kaçış yollarındaki hava hızının en az 0.75 m/s 'ye eşit veya büyük olması [16]
- Can güvenliği açısından, kaçış yollarında oluşacak hava akımlarının, kaçışa mani olacak hıza (en fazla 11 m/s) ulaşmaması [16]
- Can güvenliği açısından, yangın süresince, oluşan dumanın, acil durum yönetimi prosedürlerine uygun olarak, belirli bir yöne süpürülerek ters katmanlaşmanın (Şekil 4.6) (Şekil 4.7) önlenmesi [16]
- Can güvenliği açısından, kaçış süresince, kaçış yollarında yolcuların ve personelin maruz kalacağı hava sıcaklığının en fazla 50 °C olması [18]
- Can güvenliği açısından, kaçış yollarında, peron zemininden en az 2 metre yükseklikte, aydınlatılmış işaretlerin en az 30 metreden görülebilmesi ve kapı ile duvarların da 10 metreden fark edilebilmesi [16]
- Acil durumda çalışacak ekipmanların, mücadele süresi boyunca (1 saat) veya en az tahliye süresi boyunca, performanslarında herhangi bir düşme olmaksızın, işlevlerini yerine getirmeleri [16]. Bu bağlamda, fanlar, damperler, susturucular, vb. ekipmanların çevresinde oluşacak sıcaklıkların 250 °C'yi aşmaması. [18]



Şekil 4.6 Ters katmanlaşma (backlayering)



Şekil 4.7 Kritik hıza ulaşılmış hava akımı

Yangın durumu fark edilip tahliye kararı verildiği andan, yangının parlama noktasına geleceği ana kadar geçen süre içinde "tünel havalandırma fanlarının" devreye girmesi ve yolcuların fanlarla sağlanan temiz (dumandan arındırılmış) hava akımına karşı, tünelden tahliye edilebileceği bir ortam sağlanacağı varsayımı simülasyona başlangıç koşulunu oluşturmaktadır.

Bu durumda yolcuların tahliyesi, yangın profillerine göre, yangın henüz parlama noktasına erişmeden başlamaktadır. Yolcuların temiz hava akımına doğru yürüme yolundan çıkış noktasına doğru ilerleyeceği öngörülmektedir.

Tablo 4.3'deki ölçüm sonuçlarından elde edilen debi değerleri ve Bölüm 3'te belirtilen diğer parametreler kullanılarak PyroSim simülasyon programı kullanılarak CFD simülasyonu çalıştırılmıştır.

CFD simülasyon analizindeki model gösterim Şekil 4.8'de görülmektedir.



Şekil 4.8 M52 makas CFD model gösterimi

Makas bölgelerinde akışın çok yönü olmasından dolayı, SES El Kitabı'nda yer alan formüllerin temel almış olduğu en temel kabul olan tek yönlülük kabulü geçersiz olmakta, makas bölgeleri için söz konusu formüller ile yapılan hesaplamalar tamamen geçersiz olmakta ve yanıltıcı sonuçlar vermektedir.

Kritik hız formüllerinin geçerli olabilmesi için, ilgili kesitte akışın tek olması şarttır. Ancak, makas bölgelerinin tünellere göre yaklaşık 4,3 kat daha büyük kesit alanına sahip olması, akışı tek yönlülükten uzaklaştırmaktadır. Bunun sonucunda, makas bölgelerinde, akış tek yönlülük özelliğini yitirip çok yönlü moduna geçmektedir.

Makas bölgesindeki büyük kesit alandan dolayı, her ne kadar kesit alanının büyümesinden dolayı hız küçülmekte olsa da, ters katmanlaşmayı önleyebilmek için gerekli hava debisi artmaktadır.

Makas bölgelerinin havalandırılmasında, makas bölgelerine özgü bir havalandırma yönteminden yararlanılmaktadır.

Makas bölgeleri için geçerli olan bu yaklaşıma göre, amaç,

- Taze havanın sağlandığı kaçış yolu olarak hizmet eden 2 adet tünelde (makas bölgesine bağlanan diğer tünel, duman ve ısının taşınması için kullanılmaktadır), en az 1,5 m/s'lik hava hızı sağlayarak bu kaçış tünellerine dumanın girmesi engellenecektir.
- Duman atımı için emme modunda çalışan fanların emiş yaptığı tünelde, en az 1,5 m/s hava hızı sağlanarak, makas bölgesinde toplanan duman emilecek, böylelikle makas bölgesinde dumanın sürekli birikerek makas bölgesini tamamen doldurmasının önüne geçilecektir.

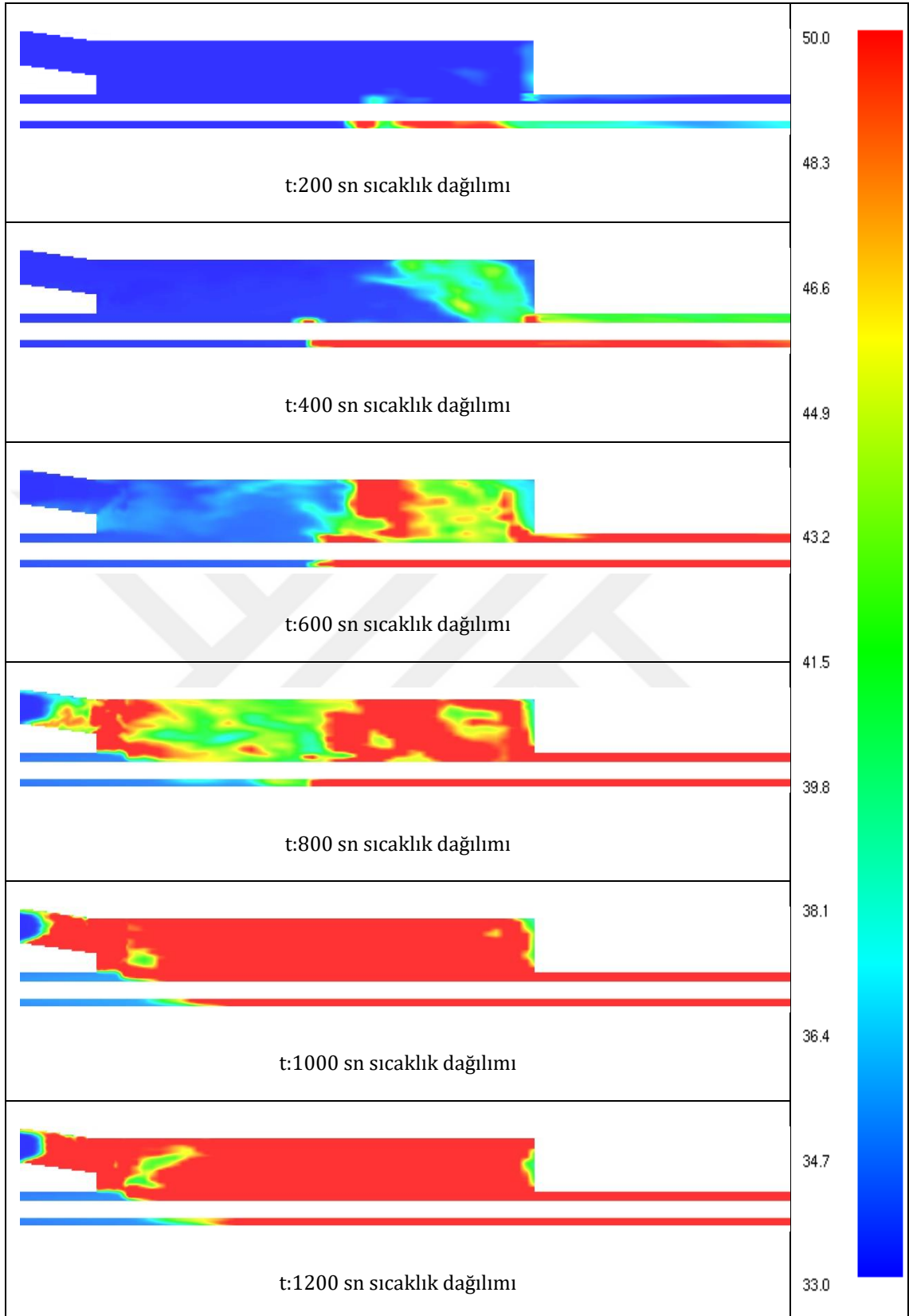
1,5 m/s hava hızı, dumanın yatay doğrultudaki hareketinin belirginleşmeye başladığı hız aralığının (0.3-1.5 m/s) üst limitidir. Bu hız değeri aynı zamanda Tablo

2.2’de sunulan Bofor Skalası’nda “Bofor 1” şiddetine karşılık gelmektedir. 1,5 m/s hava hızı, yangının bulunmadığı ve göreceli olarak soğuk olan duman bulutunu kararlı bir şekilde ittirmek için yeterince güçlü bir hava hızı olarak bilinmektedir.

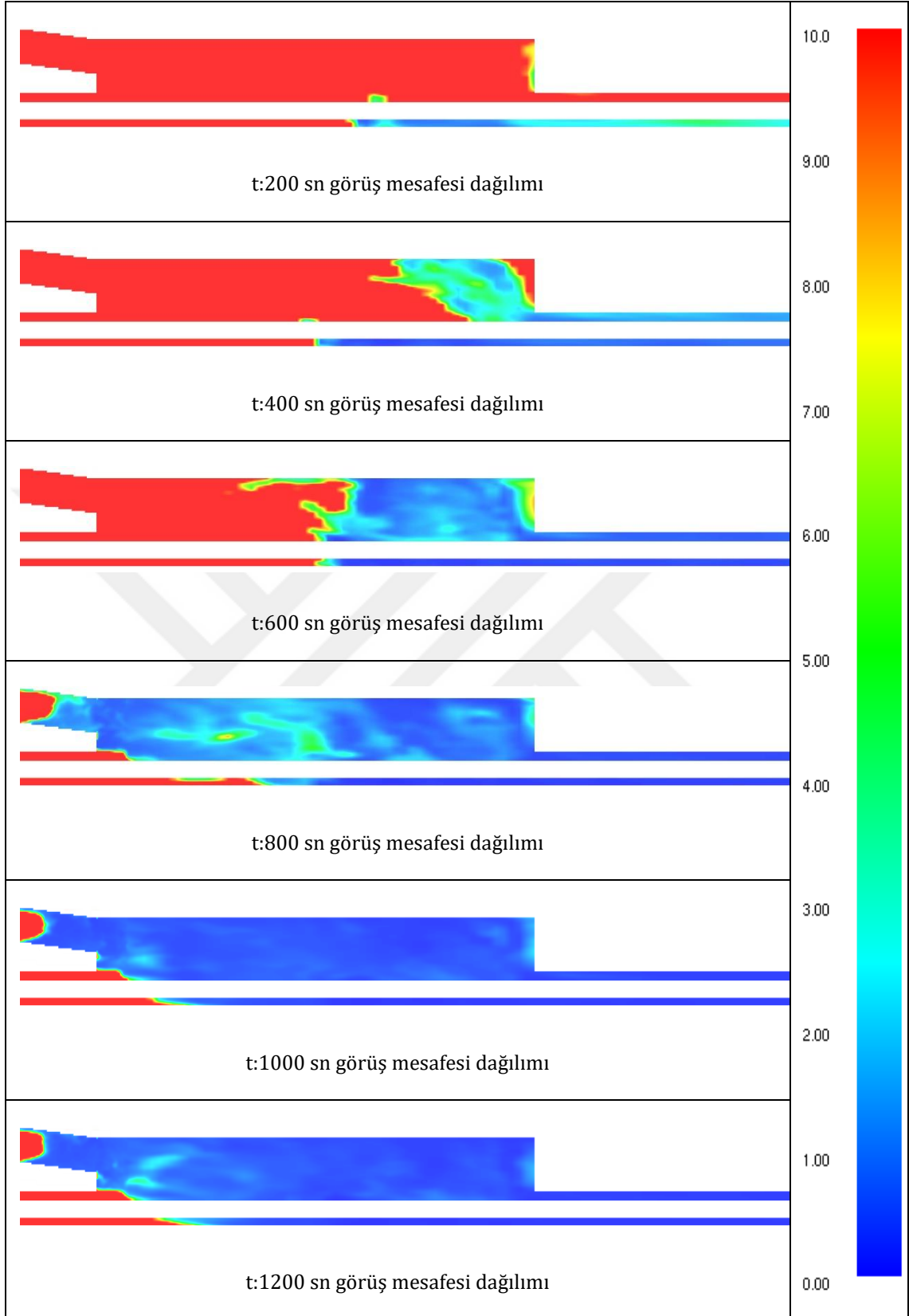
Bu yaklaşımda, makas bölgesi araç yangını durumunda, amaç ters katmanlaşmayı önlemek değildir. Amaç, makasın bir duman toplanma hacmi (rezervuar) gibi davranarak, dumanı içerisinde tutmasını sağlamak ve insanların kaçmak için kullandığı kaçış tünellerinde en az 1,5 m/s taze hava sağlayarak yolcuların dumansız bir ortamdan güvenle boşaltılmasını sağlamaktır.

Dolayısıyla makas bölgelerinde uygulanan yaklaşım, hem bu bölgelerdeki duman hareketi yönünden güvenli tarafta kalınmasını sağlar, hem de makaslarda uygulanabilirliği olmayan ve uygulanmaya çalışıldığı takdirde çok yüksek fan kapasite gereksinimlerine işaret eden Kritik Hız yaklaşımının uygunsuzluğunu ortadan kaldırır.

Tüm bu noktalar dikkate alınarak yapılan CFD çalışması sonrasında zamana bağlı olarak oluşan sıcaklık ve görüş mesafesi dağılımları Şekil 4.9, Şekil 4.10’da gösterilmiştir.



Şekil 4.9 CFD ile zamana bağlı sıcaklık dağılımı



Şekil 4.10 CFD ile zamana bağlı görüş mesafesi

Şekil 4.9 ve Şekil 4.10'da görüldüğü üzere, soğuk simülasyon sonuçlarından alınan hava hızı değerlerine göre yapılan CFD simülasyonunda zamana bağlı sıcaklık dağılımına baktığımızda, 800. saniyeden sonra M52 ve M53 makaslarını bağlayan bağlantı tüneline duman kaçtığı görülmektedir. M52 makas bölgesine doğru duman dağılımından dolayı sıcaklıkların 45 °C üzerine çıkmaya başladığı ve ilerleyen zamanda 50 °C ve üzerine çıktığı görülmektedir. Zamana bağlı görüş mesafesine bakıldığında da aynı zaman diliminde dumandan dolayı mesafenin çok kısa sürede perondan 2 m yükseklikteki düzlemde, 10 m'nin altına indiği görülmüştür. Yani fanlar çalıştığı zaman ortaya çıkan hava hızları, dumanı makas bölgesine hapsedip güvenli bir şekilde yolcuların tahliye olmasını sağlayacak ortamı oluşturamamıştır.

Bu şartlar altında değerlendirdiğimizde, yolcu tahliyesi esnasında yolcu kaçış yönüne doğru olan duman hareketini önlemek ve bu dumanı süpürmek amacıyla bölgeye Jet fan konulması gerektiği ortaya çıkmaktadır. Ancak yangının konumu, tünelin eğimi, yangının büyüklüğü gibi faktörler, yangın esnasında duman hareketini etkileyen en önemli faktörlerden olduğu için doğrudan soğuk simülasyon sonuçlarını kullanıp CFD analizini yaparak jet fan gerekliliğine karar vermek doğru değildir.

CFD sonucu dikkate alındığında, konulması gereken Jet fanın kapasitesinin tespit edilebilmesi ve de makas bölgesinde yeni oluşacak hava hızları ve debilerin ortaya çıkarılarak sınır koşullarının belirlenmesi amacıyla SES simülasyonu yapıлып, oradan elde edilecek sınır değerler ile yeniden bir CFD simülasyonu yapmak daha doğru bir sonuç verecektir.

Her metro sistemi, ortam sıcaklığından tünel ve istasyon geometrilerine, hat güzergâhlarından araç karakteristiklerine kadar birçok parametre bakımından birbirinden tamamen farklı ve tektir. Simülasyonda mimari ve inşai çizimlerden tünel ve istasyon geometrileri, uzunlamasına ve enlemesine kesit çizimler ile tüm yapısal geometriler temel alınıp SES Programı Ağ Yapısı (mimik diyagram) oluşturulmaktadır. Tüneller için, hat güzergâhları ve eğim bilgileri alınarak ağ yapısı tamamlanmaktadır. Temel olarak, eğimin fazla olduğu bir tünelde, yanan aracın ısı yayılım gücünden kaynaklı havanın kaldırma kuvveti daha fazla olmakta, dolayısıyla tüneldeki hava akışına daha fazla bir dirençle karşılaşmaktadır.

Daha sonra simülasyon girdileri (tünel bilgileri, araç bilgileri, yangın yükü, vs) sisteme tanıtılarak simülasyon çalıştırılmıştır.

Hem soğuk simülasyon hem de yangın durumu şartlarında ve farklı senaryolar işletilerek yapılan SES simülasyonu sonucu elde edilen hızlar Tablo 4.4'tedir.

Tablo 4.4 SES sonuçları ve saha test sonuçları

Senaryo No	Araç Konumu	Senaryo	Çalışma Kaynağı	BESLEME (YENİKAPI) Açıklama	ÖLÇÜM NOKTALARI						
					1	2	3	4	5	6	7
1B	1,3,4,5,6	Soğuk Simülasyon Sonuçları	Sahada Ölçülen	Yenikapı güney TVF tüm damperler, kuzey hat-1 açık, Yenikapı ve Vezneciler Exfler kapalı	2,50	0,70	1,80	1,10	1,10	4,10	2,30
			SES Sonuçları	Yenikapı güney TVF tüm damperler, kuzey hat-1 açık, Yenikapı ve Vezneciler Exfler kapalı	3,34	1,05	1,32		5,01	3,15	
	Araç Yok		SES Sonuçları	Yenikapı güney TVF tüm damperler, kuzey hat-1 açık, Yenikapı ve Vezneciler Exfler kapalı	2,80	0,76	1,29		3,57	3,57	
1B	1,3,4,5,6	Yangın Senaryosu	SES Sonuçları	Yenikapı güney TVF hat 1 damperi, kuzey hat-1 açık, Yenikapı EXF'ler kapalı ve Vezneciler Exfler Açık (Normal Yangın Senaryosu)	3,62	3,5	2,43		9,20	5,78	
1B	1,3,4,5,6	Yangın Senaryosu	SES Sonuçları	Yenikapı güney TVF hat-1 damperi, kuzey hat-1 açık, Yenikapı EXF'ler kapalı ve Vez. Exfler Açık (M53'e JF 6,8 m3/s, 225 N ilave edildi)	3,29	3,77	2,46		9,31	5,85	
1B	1,3,4,5,6	Yangın Senaryosu	SES Sonuçları	Yenikapı güney TVF hat-1 damperi, kuzey hat-1 açık, Yenikapı EXF'ler kapalı ve Vez. Exfler Açık (M53'e JF 22,1 m3/s, 749 N ilave edildi)	2,55	4,38	2,51		9,53	5,98	

SES simülasyon sonuçları tüm sistem rejime oturduktan sonra oluşan havalandırma hızlarıdır. Dolayısıyla saha testlerinde oluşan havalandırma hızları ölçüm zamanı önem arz etmektedir.

SES çalışması yapılırken, hem soğuk hava hem de yangın anındaki gerçek durumu görmek için sıcak hava ile simüle edilmiştir. Sonuçları makas bölgesi havalandırma yaklaşımını dikkate alarak değerlendirdiğimizde, SES simülasyonunda soğuk simülasyon olarak çalışılarak elde edilen değerlerin genel olarak beklendiği şekilde, saha testlerindeki ölçüm sonuçlarından daha yüksek olduğu görülmektedir. M52 makas noktasında ise oldukça yakın değerlerin çıktığı görülmüştür. (3, 4 ve 5 nolu ölçüm sonuçları ortalaması 1,33 iken SES’de 1,32 dir.) Mevcuttaki normal yangın senaryosuna göre çıkan değerlerin aynı zamanda cihaz havalandırma hızı ile kritik hızdan da yüksek olduğu ve sistem için yeterli olduğu anlaşılmaktadır.

SES çalışması yapılırken farklı durumlar da çalışılmıştır. Yapılan soğuk simülasyon sonuçları ile araçlı ve araçsız değerler ortaya konulmuştur. Makas bölgesinde araç yokken değerler düşmektedir. Bu ise beklenen bir sonuçtur. Çünkü araç blokaj etkisi ortadan kalktığından, 2 nolu ölçüm noktasında havalandırma hızı düşmektedir.

Tren’in blokaj etkisinin de dikkate alınabilmesi amacıyla hat içinde ilgili konumda tren konumlandırılarak oluşan havalandırma hızları verilmiştir. 6 ve 7 nolu ölçüm noktalarına bakıldığında trenin konumu 6 nolu ölçüm noktasından sonra bitmektedir. 6 nolu bölgede tren olduğu için kesit alanı daralmakta ve hız artmakta, 7 nolu bölgede ise tren olmadığı için alan büyüdüğünden dolayı hız düşmektedir.

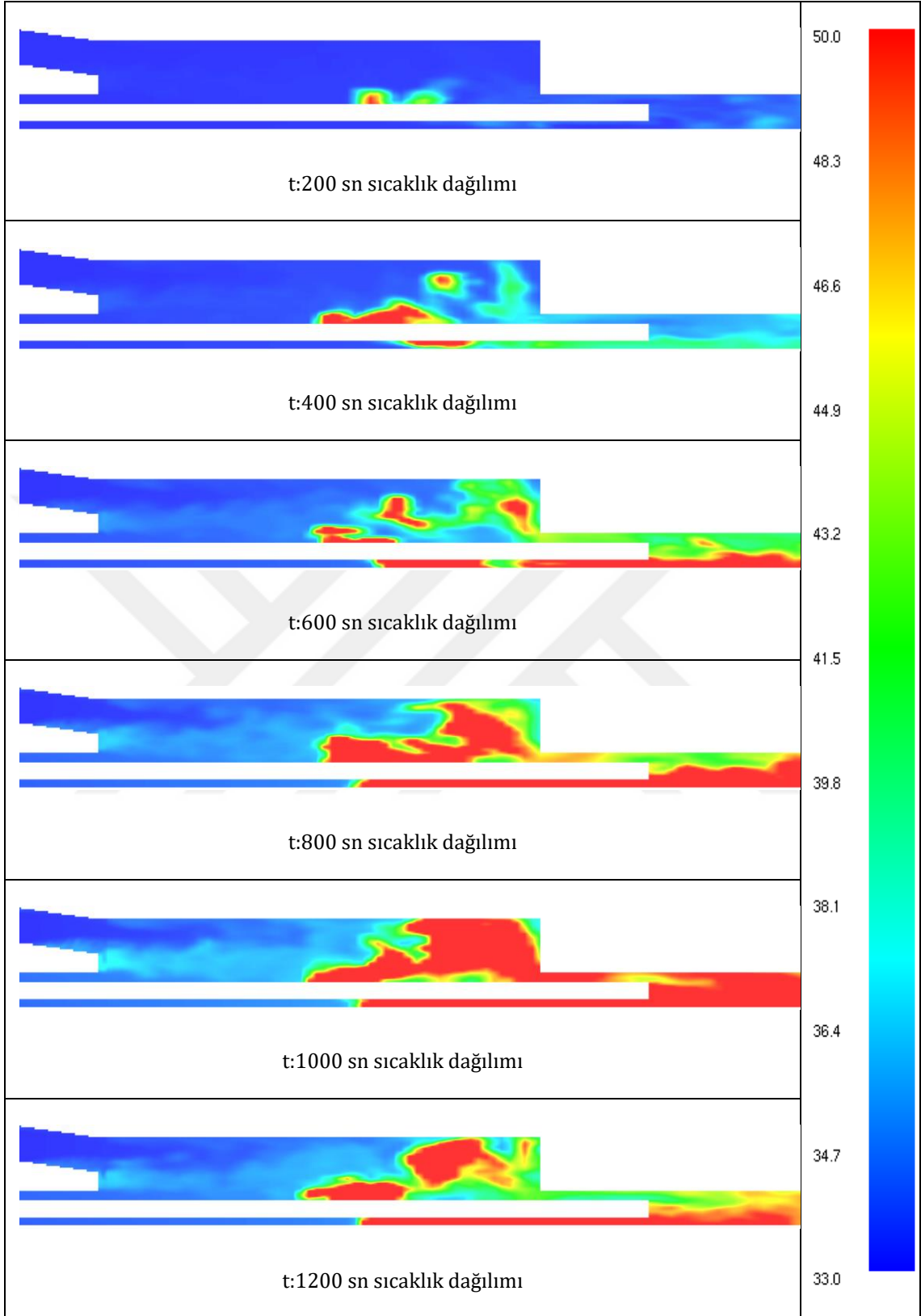
Mevcuttaki normal yangın senaryosu işletildiğinde, hızların, beklendiği gibi sıcak dumanın davranışından dolayı, tüm noktalarda soğuk simülasyonla yapılan çalışmaya göre daha yüksek çıktığı görülmektedir. Makas tüneli yaklaşımına göre de makasın başındaki ve sonundaki tünel bölgelerindeki hızlar 1,5 m/s den büyük çıkmıştır. Yani makas bölgesi için yeterli hızlar sağlanmaktadır.

M53 makas bölgesine bir jet fan ilave edildiğinde; Tablo 4.4’te görüldüğü üzere, 2 nolu ölçüm bölgesinde beklendiği gibi hız artmakta, hat-1 bölgesinde (1 nolu ölçüm

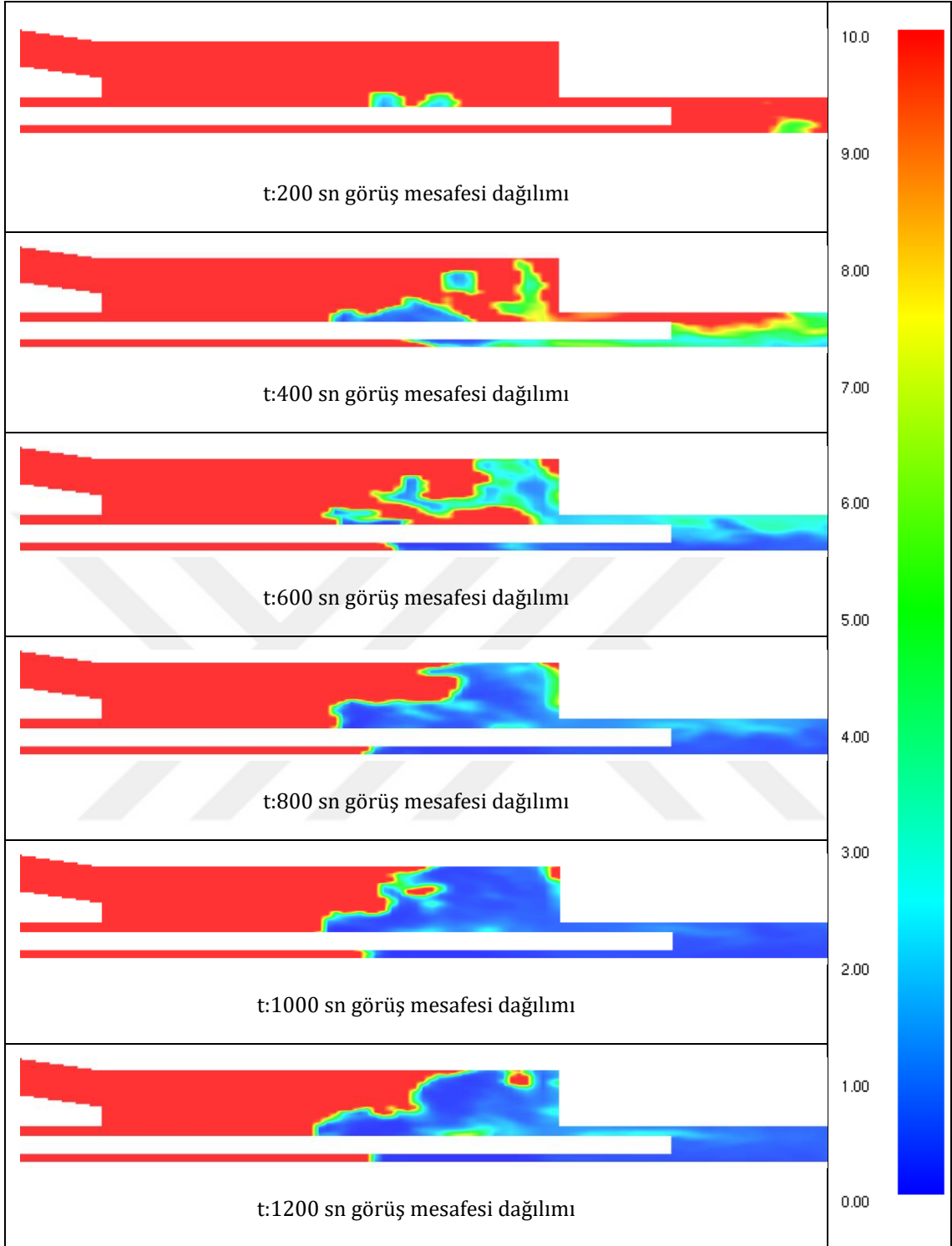
noktasında) ise hava hızı düşmektedir. Bunun sebebi, M53 makas bölgesinden (hat-3) gelen havanın bir kısmı hat-1 tarafına doğru yönelmekte ve hat-1 bölgesindeki hava hızını düşürmektedir. Ayrıca yine Tablo 4.4'te, jet fanın kapasitesi arttırıldığında hat-1 tarafındaki hızın daha da düştüğü görülmektedir. Bu durum dumanın istasyona doğru kaçışına sebep olup yolcuların zehirlenmesine sebebiyet verebilir. SES sonucunu dikkate aldığımızda, soğuk simülasyon ile yapılan CFD simülasyonunun aksine yangın anındaki sıcak havanın hareketine baktığımızda acil durum havalandırma sistemine jet fan ilave etmenin gerekli olmadığı hatta sistemi daha olumsuz etkilediği görülmektedir.

SES simülasyonunda, mevcut normal yangın senaryosundan elde edilen veriler ile yeniden bir CFD analizi gerçekleştirilmiştir. Tablo 4.4 Senaryo-1B'de yer alan, Yenikapı güney TVF Hat 1 damperi ve kuzey Hat-1 damperi açık, Yenikapı EXF'ler kapalı ve Vezneciler EXF'ler açık durumunu içeren senaryo işletilerek fanların çalışması ile dumanın hareketi gözlemlenmiştir.

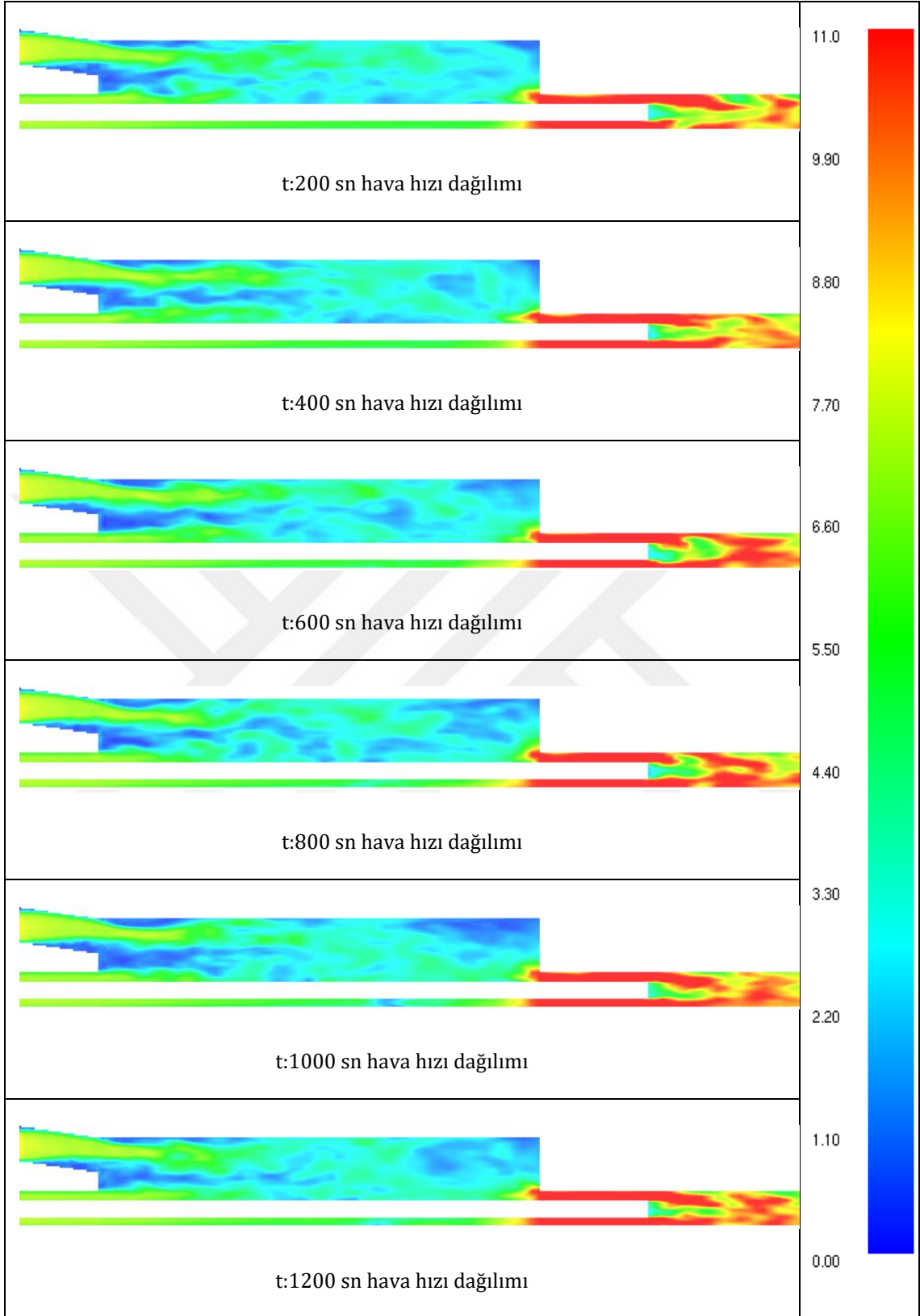
Yapılan CFD simülasyonu sonucunda oluşan zamana bağlı sıcaklık, görüş mesafesi ve hava hızı dağılımları Şekil 4.12, Şekil 4.13 ve Şekil 4.14'de gösterilmiştir.



Şekil 4.12 Normal yangın senaryosu CFD ile zamana bağlı sıcaklık dağılımı



Şekil 4.13 Normal yangın senaryosu CFD ile zamana bağlı görüş mesafesi



Şekil 4.14 Normal yangın senaryosu CFD ile zamana bağlı hava hızı dağılımı

Şekil 4.12’de zamana bağlı sıcaklık dağılımına bakıldığında, makas bölgesinde yolcu tahliyesinin yapıldığı hat-1 tüneli ile hat-3 bağlantı tüneline hava sıcaklığının 30-35 °C aralığında olduğu, yani sınır değeri 50°C’nin altında kaldığı görülmektedir. Dumanın yönlendirildiği Vezneciler tarafında ise 600. sn den sonra 50°C’lere ulaştığı görülmektedir.

Şekil 4.13’de zamana bağlı görüş mesafesi dağılımında da yine hat-1 ve hat-3 bağlantı tünellerinde 10m ve üzeri bir görüş mesafesi olduğu, dumanın yönlendirildiği bölgede ise yine 600. sn ile beraber sınır değerin altına düştüğü görülmektedir.

Şekil 4.14’de zamana bağlı hava hızı dağılımına bakıldığında ise, senaryo boyunca hızın M53 makas bölgesi tüneline 3-4 m/s arasında değiştiği ve Yenikapı tarafı hat-1’de de 4 m/s’ye yakın değerlerde olduğu, yani makas bölgesi yaklaşımında dikkate alınan en az 1,5 m/s hız değerinin üzerinde olduğu, dumanın yönlendirildiği Vezneciler tarafında ise üst sınır değeri olan 11 m/s nin üzerine çıktığı görülmektedir. Bu bölgede hızların yüksek olmasının en büyük sebebi, trenin bulunduğu yerde kesit alanını daraltmasıdır.

SES simülasyonundan elde edilen değerler kullanılarak çalıştırılan CFD analiz sonuçlarına bakıldığında, mevcutta kullanılan tünel havalandırma ve egzoz fanlarının, dumanı makas bölgesi içerisinde yeterli bir zaman hapsedip sonrasında tahliyesini gerçekleştirebildiği, yolcuların da güvenli bir şekilde kaçışına ortam sağladığı anlaşılmıştır.

Tekrarlanan Senaryo-1 yangın senaryosunda yolcuların güvenli tahliyesi için yeterli hız, görüş mesafesi ve sıcaklık kriterlerinin sağlandığı gözlemlenmiştir.

Bu tez çalışmasında, günümüzün en önemli ulaşım araçlarından biri olan yer altı metrolarında olabilecek bir tren yangınında, istasyonlarda kullanılan acil durum havalandırma ve yangın sistemlerinin yeterliliği, hem yolcuların güvenli şekilde tahliye edilebilmesi hem de yangın anında oluşan sıcak dumanın ortamdaki doğru bir şekilde atılabilmesi açısından, İstanbul metrosu örnek alınarak deneysel ve sayısal çalışma yapıp değerlendirilmiştir.

Araç yangınları istasyon ve tünel içi olarak ayrılmaktadır. Bu çalışmada ise iki istasyon arasındaki bir makas bölgesinde yanıp duran bir tren yangınına ele alan bir senaryo üzerinde çalışılmıştır.

Deneysel çalışmada, sahada, soğuk simülasyon olarak nitelendirdiğimiz, yangın olmadan ilgili bir senaryo çalıştırılıp, senaryoya dahil olan tüm ekipmanlar olması gereken pozisyonlarını aldıktan sonra sistem rejime oturduğunda, farklı noktalardan soğuk hava hızı ölçümleri yapılmıştır. Daha sonra bu hızlar kullanılarak sıcaklık ve görüş mesafesi dağılımlarını görmek için CFD simülasyonu yapılmıştır. Buradaki sonuçlar, mevcut fanların duman tahliyesi için yeterli gelmediğini, jet fan ilavesi gerektiğini göstermiştir. Jet fan kapasitesini bulmak için SES simülasyonu yapılmıştır. Hem soğuk simülasyon hem de yangın senaryosuna göre birçok farklı girdilerle yapılan SES çalışmasından elde edilen hava hızı değerlerine göre, mevcut fanların gerçek bir yangın anında dumanın sahadan uzaklaştırılması için yeterli olup, ilave jet fana da gerek olmadığı anlaşılmıştır.

Bu durumu doğrulamak amacıyla da, SES'ten elde edilen değerler ile ilgili senaryo için yeniden CFD simülasyonu yapılmıştır.

Sonuçta CFD analiz sonuçlarına göre, söz konusu yangın senaryosunda yolcuların güvenli tahliyesi için yeterli kriterlerin sağlandığı gözlemlenmiştir. Çalışmadan alınan sonuçlara göre, mevcut yangın senaryolarının uygun olduğu, jet fana ihtiyaç olmadığı görülmüştür.

Sahada soğuk simülasyon ölçülen hava hızları ile sayısal modelleme sonucu simülasyonda elde edilen hızların, makas bölgesinin giriş ve çıkışındaki bölgede yaklaşık % 75 uyumlu olduğu, M52 makas bölgesi içersinde ise %100 lük bir uyum olduğu görülmüştür. Yalnız, hava hız ölçümlerinin tünel içerisinde farklı noktalardan yapılması, ayrı senaryolar işletilmesi gibi durumlarda bu oranların değişeceği unutulmamalıdır. Sahadaki soğuk simülasyon bir hava hız ölçümünde, ölçüm aynı düzlemde ne kadar fazla noktadan alınabilirse, daha iyi bir ortalama elde edilip karşılaştırma o kadar doğru yapılabilir.

Her bir yangın senaryosunda ölçülen hava hızları farklı çıkabilir. Yangının olduğu yere bağlı olarak, hangi istasyona doğru yolcu tahliyesinin olacağı, hangi yöne duman tahliyesi yapılacağı ve ilgili fanların hangilerinin basma hangilerinin egzoz yapacağı her senaryoda ayrıdır. Bu nedenle bazı senaryolarda fanların kapasitesi çok yüksek gibi görünürken, bazı senaryolarda kapasitesi tam yetmektedir. Bazı durumlarda iki istasyon arasındaki yangında, kapasitelerin yetmediği anda komşu istasyonlardaki fanların da devreye girmesi gerekebilir, yani bir senaryoda 3 veya 4 istasyona ait fanlar duman tahliyesi için kullanılabilir.

Metrolarda meydana gelen araç yangınlarında, başarılı bir yolcu ve duman tahliyesi yapılabilmesini etkileyen önemli unsurlar bulunmaktadır. Tüm bunlar dikkate alınarak farklı bir çok yangın senaryosu oluşturulmaktadır.

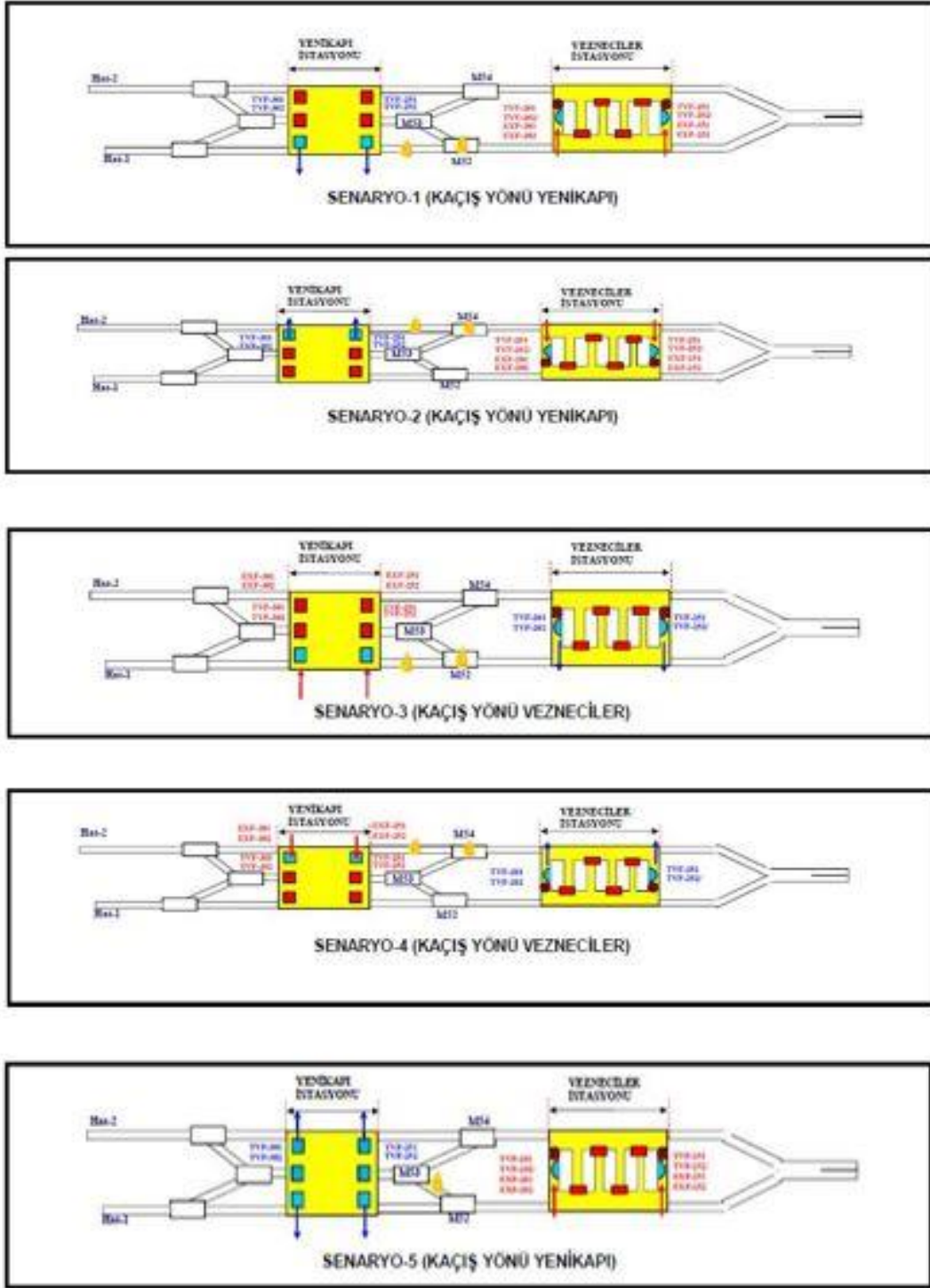
Bu unsurların başında;

- İki istasyon arasında çıkan araç yangınında aracın tünelin neresinde olduğu (hangi istasyona daha yakın)
- Tünel veya istasyondaki araç yangınlarında, yangının trenin neresinde çıktığı (başında, ortasında veya sonunda)
- Tünel içerisindeki eğim durumu ve duman tahliyesinin hangi yöne olacağı
- Makas tüneli yangınlarında aracın konumu
- Doğru değerlerle gerçekleştirilmiş SES ve CFD simülasyonları
- Doğru belirlenmiş fan kapasiteleri

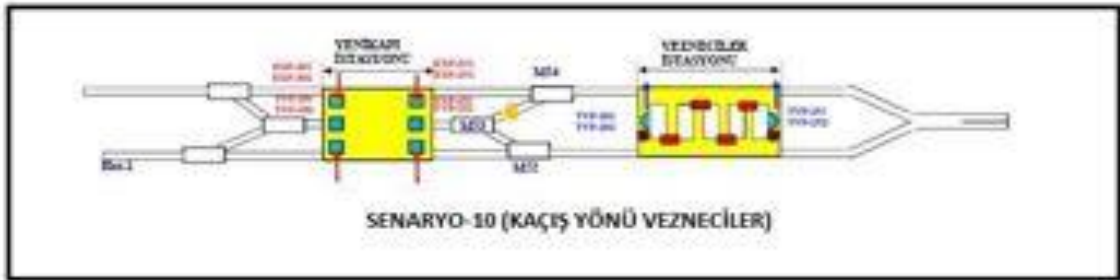
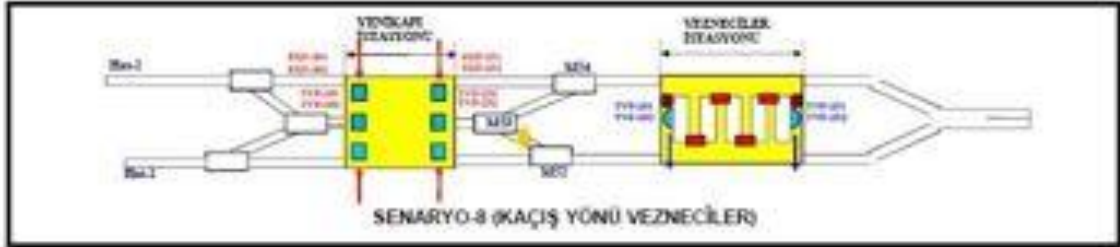
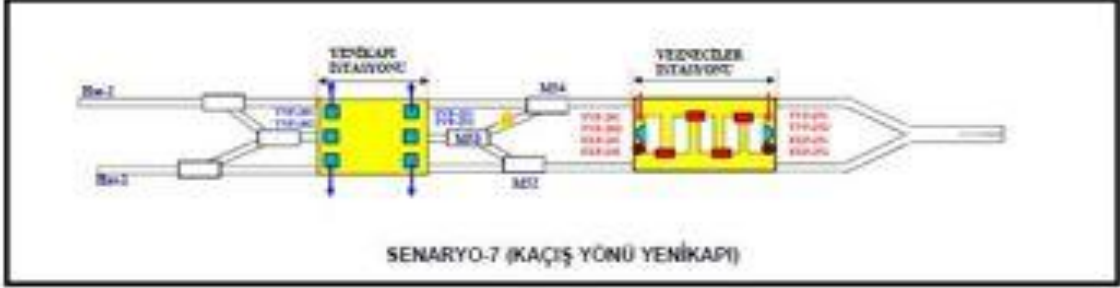
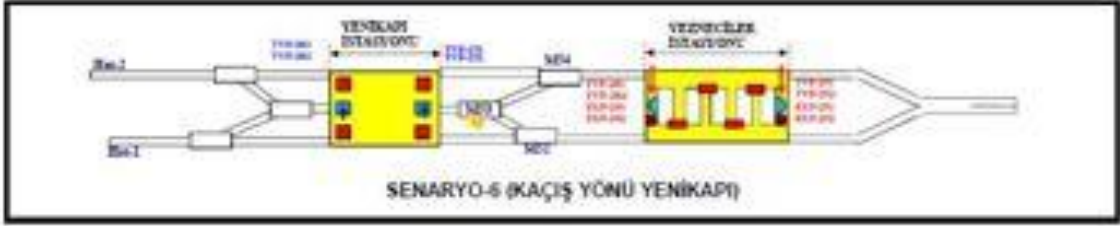
gelmektedir.

A

YENİKAPI-VEZNECİLER ARASI TÜNEL YANGIN SENARYOLARI



Şekil A.1 Yenikapi Vezneciler Arası Yangın Senaryoları (1-5)



Şekil A.2 Yenikapı Vezneçiler Arası Yangın Senaryoları (6-10)

- [1] A. S. Toprak, «Cfd Application Of A Metro Tunnel Fire Safety And Emergency Ventilation Systems,» Yüksek Lisans Tezi, M.Ü., 2014.
- [2] C. Liu, M. Zhong, X. Tian, P. Zhang ve S. Li, «Study On Emergency Ventilation For Train Fire Environment In Metro,» Building and Environment, pp. 267-283, 2019.
- [3] Ö. Yazıcı, «Metro İstasyonları ve Tünellerinde Yangın ve Tedbirlerinin Analizi,» Yüksek Lisans Tezi, GYTE, 2013.
- [4] N. Eskin ve M. Gür, «İstanbul Şişli Metro İstasyonu Yangın Simülasyonu Ve Yolcu Tahliyesinde Tvf Fanlarının Etkisi,» Tüyak Yangın Mühendisliği Yangın Güvenliği Ve Teknolojileri Dergisi, no. 1, pp. 46-52, 2017.
- [5] M. İ. Bilge, «Cfd Simulation Of Train Fire In The Istanbul Metro Tunnel,» Master of Science, METU, 2018.
- [6] O. C. Eralp, T. Köktürk ve S. Kayılı, «Yeraltı Raylı Toplu Tasıma Sistemleri Acil Durum ve Konfor Havalandırmasında Tasarım Kriterleri ve Teknik Yaklaşımlar; Türkiye'deki Uygulamalar,» TTMD, Mart-Nisan 2010.
- [7] F. Aydın, «Combine To The Ventilation Systems For Passengers And Tunnel Areas In Metro Systems,» %1 içinde 2. Uluslararası Raylı Sistemler Mühendisliği Sempozyumu, Karabük, 2013.
- [8] 2003 ASHRAE HANDBOOK : Heating, Ventilating, and Air-Conditioning Applications, 2003.
- [9] ANSI/ASHRAE Standard 62.1-2010, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., 2010.
- [10] T. D. Corp., Subway Environmental Design Handbook. Volume II. Subway Environment Simulation Computer Program (SES). Part 1. User's Manual, Washington, D.C, 1975.
- [11] T. D. Corp., Subway Environmental Design Handbook. Volume I. Principles and Applications, Washington, D.C, 1976.
- [12] W. D. Kennedy, J. A. Gonzalez ve J. G. Sanchez, «Derivation and Application of the SES Critical Velocity Equations,» %1 içinde Ashrae Journal, 1996, p. 53.
- [13] Ş. Akgül Laloğlu, «Metro İstasyon Ve Tünellerinde Havalandırma Sistemi Tasarımı,» Yüksek Lisans Tezi, PÜ, 2010.
- [14] O. C. Eralp ve E. Musluoğlu, «Yeraltı Toplu Taşıma Sistemlerinde Acil Durum Havalandırması,» %1 içinde VI. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi Ve Sergisi, 2003.
- [15] G. Girnau ve F. Blennemann, Brandschutz in Fahrzeugen und Tunneln des ÖPNV, 2005.
- [16] National Fire Protection Association, NFPA 130 - Standard for Fixed Guideway Transit and Passenger Rail Systems, 2017.
- [17] National Fire Protection Association, NFPA 204 - Standard for Smoke and Heat Venting, 2007.

[18] İBB Raylı Sistemler Müdürlüğü, İstanbul Metrosu Yenikapı - Şişhane Arası Elektro-Mekanik Sistemleri Temin, Montaj Ve İşletmeye Alma İşleri Teknik Şartnamesi ve Sözleşmesi, 2004.

