

YERALTI TOPLU TAŞIMA SİSTEMLERİNDE ACİL DURUM HAVALANDIRMASI

O. Cahit ERALP
Eren MUSLUOĞLU

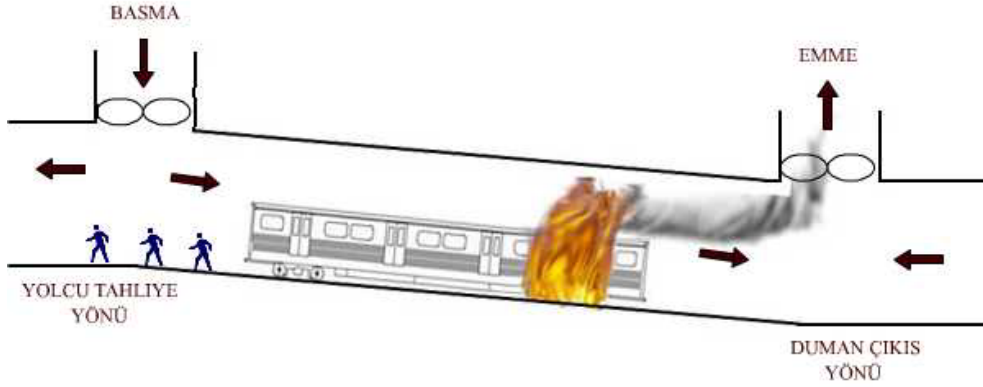
ÖZET

Yeraltı tünellerinde yangın simülasyonu yapmak amacıyla, O.D.T.Ü. Makina Mühendisliği Bölümü Akışkanlar Mekaniği Laboratuvarında “Fire Simulation Program” adında bir bilgisayar programı geliştirilmiştir.

Geliştirilen bilgisayar programı ile, üç tip yangın senaryosu için; yolcu vagonunda çıkan yangın, aracın altında çıkan yangın, ve sürücü kabini içinde çıkan yangın durumlarında; açığa çıkan ısı gücü değeri ve yangın evrelerinin süreleri hesaplanabilmektedir. Farklı durumlar için kritik hız ve yangın bölgesi sıcak hava sıcaklığı değerleri, Subway Environment Simulation (SES) bilgisayar programı kritik hız denklemleri kullanılarak geliştirilmiş olan program içinde hesaplanabilmektedir. Tünel içerisindeki sıcaklık dağılımı zamana bağlı olarak birçok farklı çalışma için; iki fan/havalandırma bacası olan bir tünelde, bir fan/havalandırma bacası olan bir tünelde, havalandırma bacası olmayan bir tünelde, ayrıca iki fan/havalandırma bacası olan bir tünel için bu iki baca arasında ek bir fanlı veya fansız havalandırma bacasının yerleştirilmiş olduğu tünellerde, gözlemlenebilmektedir.

1. GİRİŞ

Son yıllarda kentsel nüfusun hızla artmasıyla birlikte yeraltı toplu taşıma sistemlerine olan ilgi de çoğalmıştır. Toplu taşıma sistemlerinin yoğun olarak kullanılması bu sistemlerde gerekli yolcu konforu ve güvenliğine verilmesi gereken önemi arttırmıştır. Güvenlik tedbiri alınması gerekli konulardan biri trenlerde olası yangınlardır. Özellikle trenin tünel içinde hareketsiz kalarak yanması durumunda yolcuların, treni en kısa zamanda tahliye ederek güvenli bir bölgeye ulaşmaları gerekir. Bu durum “Acil Durum” olarak tanımlanmaktadır. Bir acil durumda, yeraltı toplu taşıma sistemlerine bağlı olan istasyon ve tünellerdeki acil durum fanları devreye girerek hem dumanın tahliyesini ve tünelin soğutulmasını, hem de dumanı yolcu tahliye yönünden aksi yöne iterek yolculara güvenli bir kaçış yolunu sağlamalıdır. Başka bir deyişle yeraltı toplu taşıma sistemlerinde yer alan acil durum havalandırma sistemleri, bir yangın durumunda tünel içerisine yayılan sıcak ve zehirli gazları bir yönde süpürerek, diğer yönde yolcuların tahliyesi için gerekli olan güvenli kaçış yolunu sağlamalıdır. Buna göre havalandırma sistemlerinde kullanılması öngörülen fanların kapasiteleri de, tünel içerisinde tavsiye edilen hava hızlarını sağlayacak bir biçimde seçilmelidir.



Şekil 1. Tünel Acil Durum Havalandırma Sistemi Çalışma Prensibi

Kapalı bir mekanda meydana gelen bir yangın incelendiğinde, yangının başlamasından tamamen sönmeye kadar 3 temel evrenin; gelişmekte olan yangın, tam gelişmiş yangın, ve sönmekte olan yangın evrelerinin, oluştuğu gözlenmektedir. Bu evrelerin süreleri ve bu evrelerde açığa çıkması beklenen ısı güç değerleri, tünel içerisinde yanmakta olan bir treni tahliye edecek olan yolcuların güvenliği açısından büyük önem taşımaktadır.

Bu bilgiler ışığında, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü Akışkanlar Mekaniği Laboratuvarında, "Fire Simulation Program" adında bir bilgisayar programı geliştirilmiştir. Bu program ile gözlenmesi beklenen yangın evrelerinin süreleri ve bu evrelerde açığa çıkan ısı güçleri ile bir yangın sırasında tünel içerisinde gerekli olan en düşük hava hızı kriteri belirlenebilmekte, ve tünel içerisindeki bir yangın durumunda acil durum havalandırma fanlarının belirlenen hava hızı kriterini sağlayabilmede yeterliliği saptanabilmekte, ayrıca tünel içerisindeki sıcaklık dağılımı da belirlenebilmektedir.

2. YANGININ EVRELERİ

Giriş kısmında belirtildiği gibi bir yangın olayı 3 temel evreye ayrılabilir. Bu evreler gelişmekte olan yangın, tam gelişmiş yangın ve sönmekte olan yangın olarak tanımlanabilir. Düzenli bir yangın durumunda bu 3 evrenin de gözlemlenmesi muhtemeldir, ve bu evrelerde yangının davranış biçimi değiştiğinden her bir evre ayrı ayrı incelenmelidir.

2.1 Gelişmekte olan yangın evresi

Bu evre yangının başladığı andan itibaren yangının tam gelişmiş bir yangın olarak kabul edildiği evreye kadar geçen süreç olarak tanımlanır. Gelişmekte olan bir yangın çok hızlı veya yavaş bir şekilde gelişebilir. Gelişme faktörünü etkileyen en önemli özellikler arasında yangının başlangıç biçimi, yanan malzemelerin yanıcı özellikleri, ortamdaki oksijenin miktarı, ve yanan bölgenin çevresiyle olan ilişkisi sıralanabilir. Yangının hızlı veya yavaş geliştiğini belirlemekte çevreye yaydığı enerji, yani ısı güç değeri büyük önem taşır.

Gelişmekte olan bir yangının matematiksel olarak modellenmesi t-kare yöntemiyle belirlenebilmektedir [1]. Bu yöntemde açığa çıkan ısı güç, yangının gelişme faktörü ile geçen zamanın karesinin çarpılması ile bulunur:

$$\dot{Q} = \alpha \cdot t^2$$

Bu denklemde α yangının gelişme faktörünü, t ise yangının başladığı andan itibaren geçen zamanı belirtmektedir.

NFPA 204M'de gelişme faktörü 0.19 kW/s^2 olan bir yangın çok hızlı, 0.047 kW/s^2 olan bir yangın hızlı, 0.012 kW/s^2 olan bir yangın orta seviyede, 0.003 kW/s^2 olan bir yangın ise yavaş gelişmekte olan yangın olarak sınıflandırılmaktadır [2]. Mott MacDonald Ankara Metrosu için hazırladığı raporda, metro trenleri için yangın gelişme faktörünü 1 W/s^2 olarak kullanmıştır [3].

Gelişmekte olan yangın evresinden sonra tam gelişmiş olan yangın evresinde geçişte parlama evresi gözlemlenmektedir. Bu evrede açığa çıkan ısı gücü değeri yanan bölgenin yüzey kesit alanı, havalandırma açıklıkları gibi yüzeysel özellikleri ile iletkenlik katsayısına bağlıdır.

2.2 Tam gelişmiş yangın evresi

Tam gelişmiş yangın evresi parlama evresini takiben, ortamdaki yanıcı tüm maddelerin yangına karıştığına inanılan evredir. Bu evrede genellikle ortamdaki oksijen miktarı azdır, ve bu evrenin uzunluğu yangına karışan maddelerin sahip olduğu enerjilere bağlı olarak belirlenir. Bu evrede açığa çıkan ısı gücü, tüm yangın boyunca en yüksek değerine ulaşır, ve bu evre sonuna kadar sabit olarak o değerde kaldığı kabul edilir.

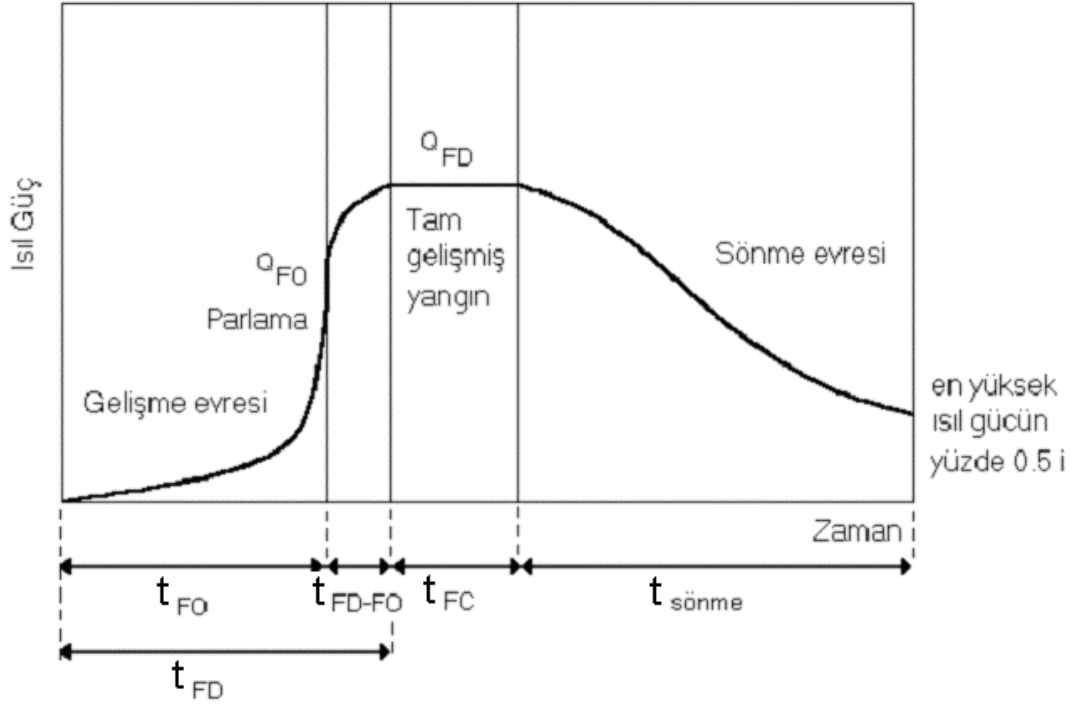
2.3 Sönmekte olan yangın evresi

Bu evrede yangın ortamındaki yanıcı maddelerin tamamının yandığı ve açığa çıkan ısı gücünün azaldığı kabul edilir. Bu evrenin başlangıcı, sıcaklığın yangın olayı boyunca yangın bölgesinde hissedilen en yüksek sıcaklığın yüzde 80'ine düştüğü an olarak alınır. Yangının sönme evresi boyunca açığa çıkan ısı gücü ile zaman arasında üstel bir ilişki vardır. Yangının tamamen söndüğü an ise yangın olayı boyunca açığa çıkan en yüksek ısı gücünün, yüzde 0.5'i değerine düştüğü an olarak belirlenmektedir.

Yangın evreleri bir bütün olarak incelendiğinde Şekil 2 elde edilmektedir.

2.4 “Fire Simulation Program” ile yangın evrelerinin incelenmesi

“Fire Simulation Program” ile bir metro treninde oluşabilecek 3 ayrı yangın tipi incelenebilmektedir bunlar; yolcu vagonunda, vagonun altında, ve sürücü kabininde olmak üzere sıralanabilir. Bu 3 farklı yangın tipi için de aynı yangın gelişme faktörü kullanıldığında, vagonun altında çıkan yangın, açığa çıkan ısı gücü ve yangın süresi bakımından en kritik olanıdır. “Fire Simulation Program” ile tipik bir metro treni yangın durumu için yapılan çalışmalar sonucunda Tablo 1'deki değerler elde edilmiştir.



- t_{FO} : Parlama evresine kadar geçen süre
 t_{FD} : Tam gelişmiş yangın evresine ulaşıncaya kadar geçen süre
 t_{FC} : Tam gelişmiş yangın evresinin süresi
 $t_{sönme}$: Tam gelişmiş yangın evresinden yangının sönmeye kadar geçen süre
 Q_{FO} : Parlama evresinin başlama anında açığa çıkan ısı gücü
 Q_{FD} : Tam gelişmiş yangın evresinde açığa çıkan ısı gücü

Şekil 2. Isıl gücün zamanla değişimi ve yangın evreleri [1]

Tablo 1. Yangın Tiplerinin Karşılaştırılması (Gelişme faktörü = 1 W/s²)

	Yolcu vagonunda çıkan yangın	Vagonun altında çıkan yangın	Sürücü kabininde çıkan yangın
Q_{FO}	2.28 MW	5.79 MW	0.38 MW
Q_{FD}	9.16 MW	12.33 MW	1.11 MW
t_{FO}	25 dak	40 dak	10 dak
t_{FD}	50 dak	58 dak	17 dak
t_{FC}	42 dak	48 dak	14 dak
$t_{sönme}$	133 dak	155 dak	46 dak
t_{toplam}	226 dak	262 dak	78 dak

3. HAVA HIZI KRİTERLERİ

Yeraltı toplu taşıma sistemlerinde, olası bir yangın durumunda tünel içerisinde olması gereken hava hızı değerleri, NFPA (National Fire Protection Association) 130 kurallarına bağlı olarak belirlenir. NFPA-130 kurallarına göre olası bir yangın durumunda tünel içerisinde olması beklenen en düşük hava hızı değeri 2.5 m/s'dir. Bu değer yapılan çalışmalar ışığında, insanların hava akımını hissedebileceği en düşük hava hızı olarak belirlenmesi sonucunda elde edilmiştir. Ayrıca insanların, hızı en fazla 11 m/s olan hava akımına karşı yürüyebilecek olmalarından dolayı, acil bir durumda tünel içerisinde olması gereken en yüksek hava hızı değeri 11 m/s olarak tayin edilmiştir.

Tünel acil durum havalandırma sistemlerinde göz önünde bulundurulması gereken bir diğer etken ise "Kritik Hız"dır. Tünel içerisinde hareketsiz kalmış, yanmakta olan bir trenden sıcak ve zehirli gazlar tüm tünele yayılacak şekilde açığa çıkmaktadır. Eğer tünel acil durum havalandırması bu sıcak ve zehirli gazları, tünel içerisinde bir yöne doğru yönlendirmede yeterli olamazsa bu gazlar tüm tüneli sararak yolcuların güvenliği tehdit edebilmektedir. Kritik hız, trenden yayılmakta olan sıcak ve zehirli gazları, tünel içerisinde bir yöne doğru yönlendirmek için, dolayısıyla diğer yönde yolcular için güvenli bir kaçış yolu sağlamak için, gerekli olan en düşük hava hızı değeridir. Kritik hız değeri, yangın yükü, ortam sıcaklığı, tünel kesit alanı, tünel eğimi, tünel yüksekliği gibi birçok parametreye bağlıdır. Kritik hız değeri, kritik hız ve yangın bölgesi sıcak hava sıcaklığı denklemlerinin iteratif bir biçimde çözülmesi sonucunda elde edilir:

$$V_c = K_1 K_g \left(\frac{gHQ}{\rho c_p AT_f} \right)^{1/3}$$

$$T_f = \frac{Q}{\rho c_p AV_c} + T$$

$$K_g = 1 + 0.0374(gr)^{0.8}$$

Bu denklemlerde; V_c kritik hızı (m/s), Q yangın yükünü (W), T_f yangın bölgesi sıcak hava sıcaklığını (K), T ortam sıcaklığını (K), A tünel kesit alanını (m^2), ρ havanın yoğunluğunu (kg/m^3), c_p sabit basınçlı havanın özgül ısı katsayısını (J/kg.K), H tünel yüksekliğini (m) göstermektedir. K_1 birimsiz sabit = 0.61, K_g ise eğim düzeltme katsayısını göstermektedir. "gr" yüzde cinsinden tünelin eğimi olduğunda K_g denklemden elde edilmektedir.

K_g değerinin kullanılması ile ilgili olarak dikkat edilmesi gereken nokta, eğer tünel içerisinde yangın olan bölgede havalandırma yönü yokuş yukarı veya düz ise K_g değeri 1 olarak alınır, eğer havalandırma yönü yokuş aşağı ise K_g için verilen denklem kullanılarak değer birden büyük bulunur. Bunun gerekçesi, sıcak gazların tünelin tavanına doğru yükselecek olması, hatta eğimli olan tünellerde daha fazla yükselecek şekilde eğimi kullanarak yayılmasıdır. Dolayısıyla yokuş aşağı yapılacak olan havalandırma durumunda, yükselen sıcak gazları da yokuş aşağı süpürmek için daha yüksek havalandırma hızına ihtiyaç duyulmaktadır, bu da kritik hız için daha yüksek bir değer hesaplanmasını açıklamaktadır.

Kritik hız değeri, 2 farklı kesit alanına baz alınarak hesaplanabilir. Bunlardan ilki tünelin boş kesit alanına göre, ikincisi ise tünelin kesitinde trenin de var olduğu düşünülerek, tünel kesit alanından tren kesit alanının çıkarılması ile elde edilen net alan baz alınarak hesaplama yapılmasıdır.

"Fire Simulation Program" ile farklı tünel kesit alanlarında, tünel eğimlerinde, yangın yüklerinde ve ortam sıcaklıklarında 2 farklı kesit alanı baz alınarak da birçok kritik hız değeri hesaplanabilmektedir. Yapılan çalışmalar sonucunda aşağıdaki genel sonuçlar elde edilmiştir.

- 2 farklı uygulamada ortam sıcaklığı aynı kabul edilirse, yangın yükü daha fazla olan uygulamada, kritik hız değeri diğer uygulamaya göre daha yüksek çıkmaktadır. Özetle daha yüksek yangın yükü değeri için, daha yüksek kritik hız değeri hesaplanmaktadır.
- 2 farklı uygulama için yangın yükü değerleri sabit kabul edilirse, ortam sıcaklığı daha yüksek seçilen uygulamada kritik hız değeri, diğer uygulamaya göre çok az farkla daha düşük çıkmaktadır. Fakat yangın bölgesinde sıcak hava sıcaklığında bir artış olduğundan, genellikle kritik olan durumun yüksek ortam sıcaklığı olan uygulama olduğu ortaya çıkmaktadır.
- Yokuş aşağı yapılan havalandırma ile düz seviyede veya yokuş yukarı yapılan havalandırma durumları karşılaştırıldığında, daha önceden belirtildiği gibi, yokuş aşağı yapılacak olan havalandırma durumunda kritik hız değeri daha yüksek çıkmaktadır.
- 2 farklı uygulamada baz alınan kesit alanları farklı olarak düşünüldüğünde, net alan ile yapılan hesaplamalarda, tünelin kesit alanının tamamının alındığı çalışmaya göre daha yüksek kritik hız değerleri elde edilmektedir.

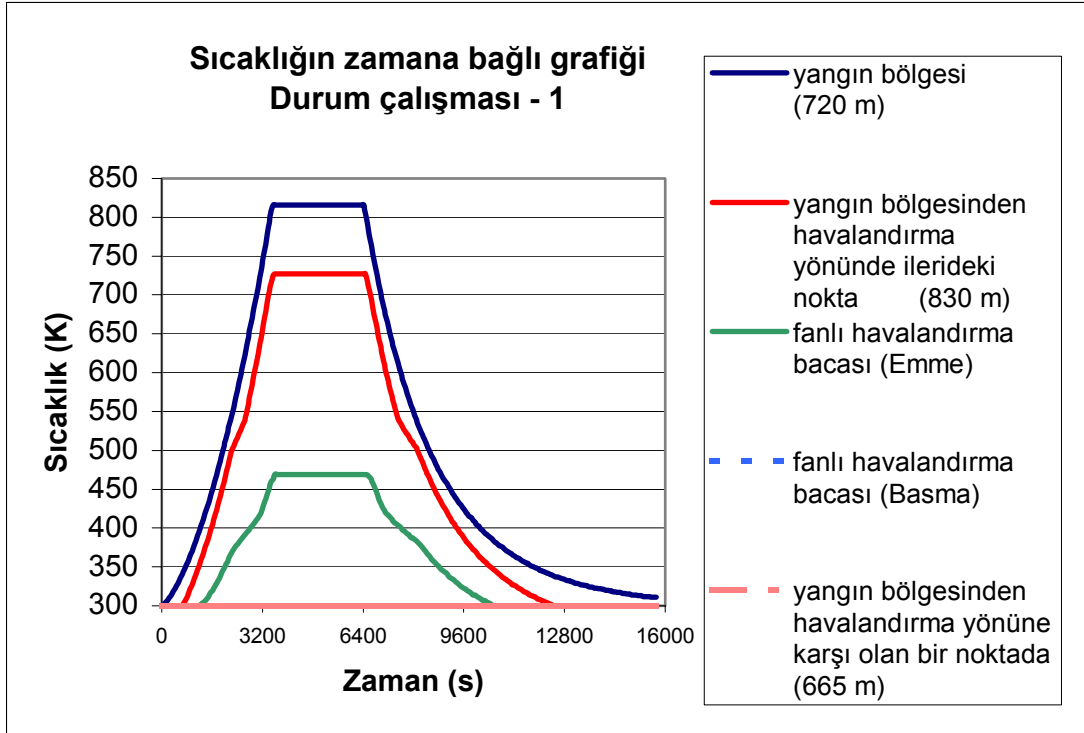
Bu bilgiler ışığında, tünel acil durum havalandırma sistemi, hareketsiz yanmakta olan trenin yer aldığı tünel için gerekli olan en düşük hava hızı kriterini; 2.5 m/s veya daha büyükse kritik hız olarak sağlamak zorundadır.

4. ACİL DURUM HAVALANDIRMA SİSTEMİNİN YETERLİLİĞİ VE TÜNEL İÇERİSİNDE SICAKLIK DAĞILIMI

“Fire Simulation Program”, havalandırma bacalarının tünel üzerindeki yerleri ve bacaların geometrik detayları ile tünel yapısı belirlenmiş olan sistemler için karar verilen acil durum fanlarının kapasitelerinin, sistem için yeterli olup olamayacağına karar vermek için kullanılabilir. Program içerisinde, havalandırma bacası boyunca oluşan kayıplar ile tünel içerisinde pürüzlülüklerden dolayı olan kayıplar, tünelin istasyona bağlanması veya atmosfere açılmasından doğan kayıplar hesaba katılmakta, beraberce çözümlenerek, acil durum fanlarının debisi ve basma yüksekliği hesaplanabilmektedir. Dolayısıyla, tünel içerisinde yangın bölgesinde hesaplanan havalandırma hızı ile gerekli olan en düşük hava hızı karşılaştırılarak, acil durum havalandırma fanlarının yeterliliği konusunda bir karar verilebilir.

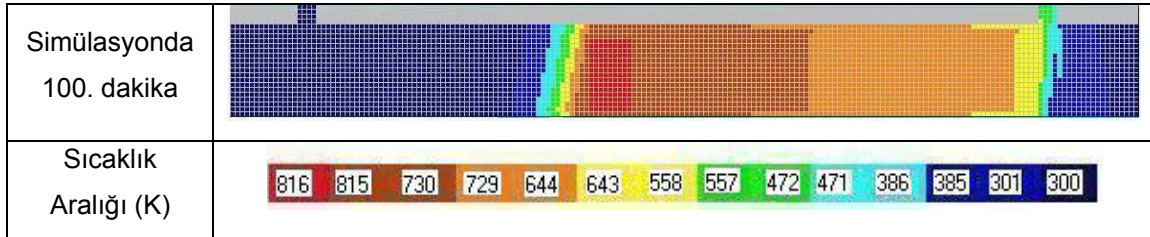
“Fire Simulation Program” ile ayrıca tünel içerisinde bir yangın durumunda oluşan sıcaklık dağılımı da gösterilebilmektedir. Metro tüneli için hidrolik çap hesaplanarak, tünel modeli silindirik bir tüp olarak düşünülmektedir. Tünel içinden duvarlara ve oradan da toprağa ısı geçişi ile ilgili iletim ve taşınım (konveksiyon) denklemleri tünelin parçaları içerisinde enerji denklemi kullanılarak yazılmaktadır. Her bir zaman dilimi için sıcaklık değerlerini güncelleyerek ve her yeni hesaplama değeri için bir önceki zaman diliminden alınan değerleri kullanarak dolaylı yoldan zamana bağlı olan bir çözüm elde edilmektedir.

Tünel içerisindeki sıcaklık dağılımı fanlı veya fansız havalandırma bacasına sahip olan birçok farklı tünel yapısı için incelenmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda, tünel içerisinde belli noktalarda elde edilen sıcaklığın zamana bağlı grafiği ideal duruma oldukça benzemektedir (Şekil – 3).

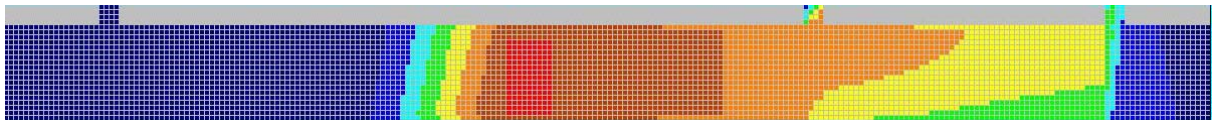


Şekil 3. Sıcaklığın zamana bağlı grafiği – Durum çalışması – 1 [4]

Tünel içerisinde elde edilen sıcaklık dağılımları grafiklerinden iki tanesi örnek olarak Şekil 4 ve 5'te gösterilmektedir. Şekil 4'te sol tarafta basma yönünde, sağ tarafta ise emme yönünde çalışmakta olan fanlı havalandırma bacalarının yer aldığı bir tünel sistemi, Şekil 5'te ise tünelin ortasında fansız bir havalandırma bacası kullanılmaya durumunda oluşabilecek sıcaklık dağılımını gösteren bir sistemin şekilleri gösterilmektedir.



Şekil 4. Durum çalışması – 1 için 100. dakikada sıcaklık dağılımı [4]



Şekil 5. Basma fanlı, fansız, emme fanlı havalandırma bacaları ile çalışılan bir sistem

SONUÇ

Fire Simulation Program kullanılarak yeraltı toplu taşıma tünellerinde çıkabilecek bir yangın durumunda;

- Yangının çıkış noktasına ve yerine bağlı olarak yangın evrelerinin süreleri ve açığa çıkması beklenen ısı güçler hesaplanabilmektedir;
- Kritik hız değeri hesaplanarak gerekli olan en düşük hava hızı kriteri belirlenebilmektedir;
- Hava hızı kriterine bağlı olarak havalandırma ve tünel sistemi için acil durum fan sisteminin yeterliliğine karar verilebilmekte, ve tünel içerisinde sıcaklık dağılımı bulunabilmektedir;
- Tünel içerisinde bulunan sıcaklık dağılımına bağlı olarak insanların güvenliği (kaçış yolu boyunca en yüksek sıcaklığın 60°C olması gerekliliği–NFPA130) ve fanların dayanıklılığı (1 saat boyunca 250°C'ye dayanıklı olması) konusunda karar verilebilmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Enclosure Fire Dynamics, Karlsson, B.; Quintiere, J.G., CRC Press, 2000
- [2] NFPA, Guide for Smoke and Heat Venting, NFPA 204M, National Fire Protection Association, Quincy, MA, 1985
- [3] MACDONALD, M; "Vehicle Fire Load Calculation and Fire Simulation", Ankara Metro Report, November 1997
- [4] MUSLUOĞLU, E; "Simulation of a Fire Incidence in Underground Transportation Systems", M. Sc. Thesis, Middle East Technical University Mechanical Engineering Department, 2003
- [5] ERALP, O. C.; "Ankara Metrosu III. Aşama İstasyon ve Acil Durum Tünel Havalandırması Simülasyon Çalışmaları", Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Makina Mühendisliği Bölümü, Haziran 2003
- [6] ERALP, O. C.; "Ankaray 3. Aşama AŞTİ-Çayyolu 1. Etap Raylı Sistem İstasyon ve Tünel Acil Durum Havalandırması Avan Proje Raporu", Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Makina Mühendisliği Bölümü, Mart 2003
- [7] ERALP, O. C., ÇORUH M. M., ARSAVA M, "Yeraltı Toplu Taşıma Tünellerinde Yangın Güvenliği", Yangın ve Güvenlik, Mart – Nisan 2000, Sayı:49

ÖZGEÇMİŞLER

O. Cahit ERALP

O. Cahit Eralp 1971 yılında ODTÜ Makina Mühendisliği Bölümünden Lisans, 1974 yılında yine aynı bölümden Yüksek Lisans derecelerini aldı. 1980 yılında Cranfield Institute of Technology 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, Boru Hatları, Turbomakinalar ve Deneysel Tekniklerdir. 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 Üniversitede basılan ders notları ile Doğal Gaz teknolojisi ile ilgili iki patent ve çok sayıda yayın sahibidir.

Eren MUSLUOĞLU

1979 yılı Ankara doğumludur. 2000 yılında ODTÜ Makina Mühendisliği Bölümünden Lisans, 2003 yılında yine aynı bölümden Yüksek Lisans derecelerini aldı. 2000 yılında aynı bölümde Araştırma Görevlisi olarak göreve başlamış ve halen bu görevde çalışmaktadır. Akışkanlar Mekaniği ve Metro Tünel Yangınları konularında çalışmaktadır.