



Tünel Yangınlarında Jet Fan Diziliminin Duman ve Isı Kontrolüne Olan Etkilerinin İncelenmesi

Songül Solmaz¹, Tolga Demircan^{1,*}

¹Makine Mühendisliği Bölümü, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale, Türkiye

Makale Tarihi

Gönderim: 01.10.2021
Kabul: 04.02.2022
Yayın: 25.09.2022

Araştırma Makalesi

Öz – Bu çalışmada, bir karayolu tüneline çıkabilecek olası bir yangın sonucu oluşan yüksek ısı ve dumanın kontrolü üzerine çalışılmıştır. Bu kapsamda, tünel girişinden iki farklı konum için olası yangın modelleri oluşturulmuştur. Yangın sonucu oluşacak dumanın tünel dışına atılabilmesi amacıyla, tünel boyunca farklı noktalara üç adet aksiyel jet fanın yerleştirildiği düşünülmüştür. Oluşturulan yangın modelleri için, tünel içerisine yerleştirilmiş olan bu jet fanlarının farklı açıklık kapalılık durumları için farklı yangın senaryoları oluşturularak, sayısal analizler tekrarlanmıştır. Böylelikle yangın konumunun ve fan diziliminin sıcaklık, duman, CO ve O₂ değerlerine olan etkileri incelenmiştir. Sonuç olarak, tünelin girişine yakın bölgelerde çıkan bir yangında tünel içerisinde ki sıcaklık ve duman dağılımının, tünel çıkışına yakın bölgelerde çıkan bir yangına göre daha yoğun olduğu belirlenmiştir. Fanların açıklık ve kapalılık durumunun ise, tünel içerisindeki sıcaklık ve duman dağılımlarını önemli ölçüde etkilediği gözlemlenmiştir. Hiçbir fanın çalışmadığı durumda, tünel içindeki sıcaklık ve duman seviyelerinin çok yükseldiği ve ortamın insan sağlığı için olumsuz özelliklerde olduğu belirlenmiştir. Sadece 3. fanın açık olmasının, yangın kaynaklı duman, sıcaklık, CO ve O₂ değerleri üzerinde ki iyileştirici etkisinin çok düşük düzeyde kaldığı gözlemlenmiştir. Ancak sadece 1. fanın veya sadece 2. fanın açık olması durumlarının, tünel içi duman ve ısı kontrolünde daha efektif sonuçlar verdiği kanaatine varılmıştır. Tüm fanların açık olduğu durumda ise, diğer tüm durumlara göre duman, sıcaklık ve CO değerlerinin minimum seviyede, O₂ değerinin ise maksimum seviyede gerçekleştiği gözlemlenmiştir. Dolayısıyla, incelenen parametre aralığında tüm fanların açık olduğu durumun optimum duman ve ısı kontrolü sağladığı tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler – Duman kontrolü, jet fan, ısı salınım oranı, tünel yangınları

Investigation of The Effects of Jet Fan Sequence to Smoke and Heat Control for Tunnel Fires

¹Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering and Architecture, Kırıkkale University, Kırıkkale, Türkiye

Article History

Received: 01.10.2021
Accepted: 04.02.2022
Published: 25.09.2022

Research Article

Abstract – In this study, fire models for two different locations from the tunnel entrance are created. To discharge the smoke due to the fire outside the tunnel, three axial jet fans are considered to be positioned at different points along the tunnel. For the created fire models, different fire scenarios for open and closed positions of these jet fans inside the tunnel are created. Thus, the effects of the fire location and fan sequence on temperature, smoke, CO and O₂ values are investigated. It is observed that the open or closed status of the fans had a significant effect on temperature and smoke distribution inside the tunnel. When none of the fans was open, it is found that the temperature and smoke levels inside the tunnel increased at a high level. It is observed that when only the 3rd fan was open, the improvement effect on fire-induced smoke, temperature, CO and O₂ values were at a very low level. However, when only the 1st fan or only the 2nd fan was open, it is found that smoke and temperature control inside the tunnel was more effective. When all the fans were open, it is observed that smoke, temperature and CO value were at the minimum level and the O₂ value was at the maximum level compared to all other states. Therefore, it is determined that the optimum smoke and heat control was achieved in all fans are open status for the investigated parameter range.

Keywords – Heat release rate, jet fan, smoke control, tunnel fires.

¹ sngl.solmaz@gmail.com

² tolgademircan@gmail.com

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author

1. Giriş

Günümüzde, trafikte bulunan araç sayısı her geçen gün artmaktadır. Bu durum, mevcut karayollarının yetersiz kalmasına ve trafik yoğunluğuna sebep olmaktadır. Trafik yoğunluğunun çok fazla olduğu yollarda, hem trafik yoğunluğunu azaltmak hem de zaman ve yakıt tasarrufu sağlamak amacıyla yeraltı tünelleri yapılmaktadır. Ayrıca engebeli bir yapıya sahip yollarda, ulaşımı kolaylaştırması ve ulaşım süresini kısaltmaları sebebiyle yer altında yapılan tünellerin önemi aşikardır. Ancak ulaşımında kullanılan tünel sayısı arttıkça, tünel içerisinde meydana gelen kaza sayısı da artmaktadır. Tünel içerisinde oluşabilecek bir kaza, normal yolda gerçekleşebilecek bir kazaya göre çok daha fazla can ve mal kaybına sebep olabilmektedir. Çünkü uzun tüneller, bir nevi kapalı bir ortam gibi kabul edilebilmektedir. Tünel içerisinde bir kaza olduğunda, tünel içindeki trafik kaza nedeni ile durabilmektedir. Dolayısıyla tünel içerisinde gerçekleşen bir araç kazasında, kazalı aracın alev alması durumunda oluşan bir yangın tünel içerisinde duran diğer araçlara sıçrayabilmekte ve onlarında da yanmasına sebep olabilmektedir.

Tünel içerisinde oluşan yangın sonucu, zehirli gazlardan oluşan duman ve yüksek sıcaklık tünelin içine hızla yayılabilmektedir. Oluşan bu duman görünürlüğü azaltarak, tünel içindeki insanların tüneli terk etmesini, yangın söndürme ve ilkyardım personelinin ise kazazedelere ulaşımını zorlaştırabilmektedir. Ayrıca zehirli gazlar, tünel içerisinde bulunan insanların nefes almasını zorlaştırmakta ve can kaybına sebep olabilmektedir. Tüm bu olumsuzluklar nedeniyle, tünel içerisinde olası bir yangın durumunda, oluşan yüksek ısının ve dumanın kontrollü ve hızlı bir şekilde tünel dışına atılması hayati önem arz etmektedir. Bu amaçla, tünel havalandırma sistemleri kullanılmaktadır. Tünel havalandırma sistemi seçilirken, tünel uzunluğu, kesit büyüklüğü, eğimi ve kullanan araç yoğunluğu vb. faktörler dikkate alınmaktadır. Günümüzde tünel havalandırmasında jet fanlar sıklıkla kullanılmaktadır. Jet fanlar tünel içindeki mevcut havayı üfleyerek tünel çıkışına doğru bir hava akışı sağlamaktadır. Olası bir yangın durumunda, bu hava akışı sayesinde duman ve yüksek sıcaklıklar tünel dışına doğru süpürülerek, tünel içerisinde insan sağlığına uygun bir ortam sağlanmaktadır. Ancak jet fanlarının sayısı ve dizilimi, bu duman kontrolü için önemli bir parametredir.

Karayolu tünellerinde yangını oluşturan ve yangın sonucunu etkileyen pek çok parametre olduğundan dolayı; tünellerde yangını, yangın kaynaklı dumanın hareketini, yangın sonucu meydana gelen zehirli gazların konsantrasyonunu hep birlikte ele almak gerekmektedir. Bu sebeple karayolu tünellerinde çıkan yangın pek çok araştırmacının ilgi odağı ve pek çok araştırmanın konusu olmuştur. Literatür incelendiğinde, araştırmacıların karayolu tünel yangınları konusunda; gerçek boyutta veya ölçeklendirilmiş tünelleri kullanarak, yangın kaynaklı dumanın akış hareketi ve karakteristiği, uygun duman tahliye yönteminin belirlenmesi ve tünel havalandırma metotları gibi hususlar üzerinde deneysel ve sayısal çalışmalar yürüttüğü görülmüştür. Bu çalışmalardan bazılarında aşağıda yer verilmiştir.

Li ve diğerleri, boyuna havalandırma sistemine sahip bir tünel yangınında, kritik hızı ve geri katmanlaşma tabakasının uzunluğu üzerinde çalışmışlardır. Çalışmalarının sonucunda, kritik hızın boyutsuz ısı salım oranının 0,15 değerine yaklaşırken meydana geldiğini belirtmiştir (Li vd., 2010). Ünal çalışmasında, 690 m uzunluğuna ve %1,5 eğime sahip bir karayolu tüneline, yangın olması durumunda bölgedeki hava koşullarının tünel havalandırmasına etkisini sayısal olarak incelemiştir. Tünel çıkışında rüzgar hızının 4 m/s ve 10 m/s olduğu durumlar için 2 farklı senaryo oluşturmuştur. Rüzgar hızının 10 m/s olması durumunda; tünel içindeki görüş mesafesinin daha düşük, zehirli gaz konsantrasyon değerlerinin ise daha fazla olduğunu belirtmiştir (Ünal, 2015). Fan ve diğerleri, dikey shaftlı doğal havalandırma sistemine sahip karayolu tünellerinde, CO yoğunluğu, duman ısı, duman hızı, duman boşaltma etkinliğinin duman boşaltma verimliliğine etkisini ölçmek için deneysel incelemeler yapmışlardır (Fan vd., 2013). Bilgin, hava kirliliği, yanma reaksiyonları, yanma sonucu meydana gelen zararlı gaz emisyonları, bu emisyonların çevreye ve insan sağlığına zararları üzerine çalışmıştır. Tünellerin yapım şekilleri, işlevleri ve AB standartlarından bahsetmiştir. Sonuç olarak, karayolu tünellerinde tünel güvenliğinin bir sistem olarak ve AB mevzuatına uygun olarak ele alınması gerektiğini belirtmiştir (Bilgin, 2014). Karaaslan ve diğerleri, at nalı kesitine sahip 300 m uzunluğunda, her biri 3 adet fan içeren 3 adet jet fan grubunun yerleştirilmiş olduğu bir karayolu tüneline incelemişlerdir. Bu amaçla, 10 MW ve 50 MW'lık iki farklı yangın büyüklüğü ve farklı senaryolarda çalıştırılan jet fanlar için CFD analizleri yapmışlardır. Sonuç olarak tünel içi kritik hız değerini 2,46 m/s olarak belirlemişlerdir (Karaaslan vd., 2013).

Tian ve diğerleri, tam ölçekli bir tünelde metanol-benzin karışımı olan çeşitli yakıtlarla gerçekleşen bir yangından kaynaklı dumanın, farklı rüzgar koşulları için tünel içerisindeki sıcaklık dağılımını deneysel olarak

incelemişlerdir (Tian vd., 2017). Alpgiray, enine havalandırma sistemine sahip bir karayolu tüneline 10 MW ısı yayılım oranında olan bir yangın için, emme-basma fan gruplarını tünelin girişine, merkezine ve çıkışına yerleştirilerek inceleme yapmıştır. Sonuç olarak, fanların çalışma sırası, tünel geometrisi, yangın büyüklüğü gibi parametrelerin, tünel havalandırma sisteminin tasarımı için önemli parametreler olduğunu belirtmiştir (Alpgiray, 2016). Wang ve arkadaşları, bir tünel yangınında egzoz çıkış açıklıklarının duman yayılma performansı üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Bu amaçla, tam ölçekli bir tünelde gerçekleştirilecek bir yangını üç boyutlu bilgisayar modeli FDS ile simüle ederek, tünelin sıcaklık ve duman dağılımını belirlemişlerdir. Sonuç olarak; duman geri katmanlaşma tabakasının egzoz açıklıklarından önemli derecede etkilendiğini belirtmişlerdir (Wang vd., 2016). Yuan ve diğerleri, tren vagonu içinden çıkan bir yangında, farklı lokasyonlarda yangının çıkması durumunda yangın bölgesinin, duman ve sıcaklık dağılımı üzerine olan etkileri üzerine sayısal olarak çalışmışlardır. Vagonun içinde yangın yerinin önemli bir etkisinin olmadığı kanaatine varmışlardır (Yuan vd., 2015).

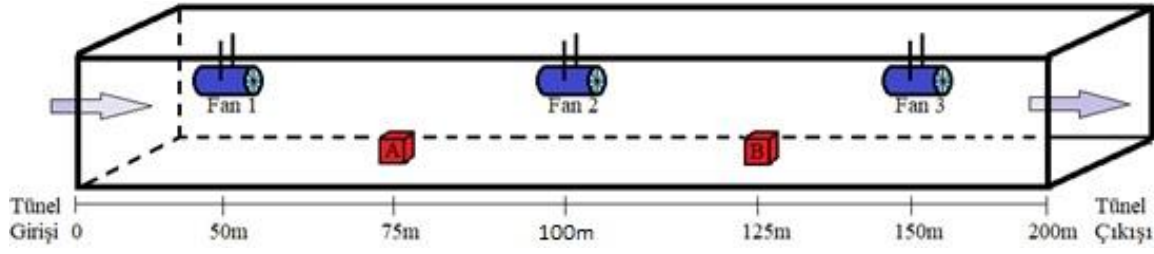
Lin ve diğerleri yapmış oldukları çalışmada, tünel yangınlarında taşıt kaynaklı tünel tıkanıklığının duman kontrol sisteminin performansına etkisini sayısal olarak incelemişlerdir. Sonuç olarak taşıt kaynaklı tıkanıklığın, tünellerde duman kontrolü için faydalı olan kritik hızı düşürdüğünü, tünelin tıkanıklık olan tarafında kütle akış hızının azaldığını ve boşaltımın mümkün olmadığını belirtmişlerdir (Lin vd., 2016). Li ve diğerleri, birleşim kavşağı olan bir karayolu tünellerinde duman kontrolünü sayısal olarak incelemişlerdir. Bu amaçla, ana tünelde duman kontrolünü, farklı yangın güçleri için kritik hızı kullanarak yapmışlardır. Sonuç olarak, ana tünelde duman geri akışının engellenebildiğini fakat birleşim kavşağında duman kontrolünün iyi sağlanmadığını belirtilmiştir (Li vd., 2017). Altay, at nalı kesitine sahip bir karayolu tüneline, 10 MW ve 50 MW ısı salınım oranına sahip yangınlar için farklı senaryoları sayısal olarak incelemiştir. Sonuç olarak, 50 MW ısı salım hızına sahip bir yangında duman tahliyesinin oldukça zor olduğunu, uygun duman tahliyesinin ancak fan gruplarının tünel çıkışına daha yakın bir yerde konumlanması ile mümkün olabileceğini belirtmiştir (Altay, 2016). Fan ve diğerleri, bir karayolu tünellerinde olası bir yangın durumunda enine duman sıcaklık dağılımı ve uzunlamasına duman sıcaklık dağılımı arasındaki farkı incelemek için deneysel çalışmalar yapmışlardır. Bu kapsamda, yangın kaynağının yeri değiştirilerek farklı senaryolar hazırlanmıştır. Sonuç olarak tünel yan duvarlarının bloke edici etkisi nedeniyle, sıcaklık artışının enine bozulma oranının uzunlamasına olandan daha büyük olduğunu gözlemlemişlerdir (Fan vd., 2013).

Yuan ve diğerleri, 1:5 oranında küçültülmüş doğal havalandırılmalı bir tünel yangınında duman yayılım özelliklerini deneysel olarak incelemişlerdir. Yapmış oldukları bu çalışmada tünel içerisinde ısı yayılım oranı, shaft mesafesi, shaft boyutu, tren tıkanıklığı ve duman perdesi gibi bazı faktörlerin etkisini araştırmışlardır (Yuan vd., 2013). Li ve diğerleri, tünellerde eğimin kritik hız üzerindeki etkisini sayısal ve deneysel olarak incelemişlerdir. Sonuç olarak, yangın büyüklüğü ve tünel eğimi arttıkça kritik hızın arttığını belirtmişlerdir (Li vd., 2017). Lee ve diğerleri, tünel yangınlarında tünel en-boy oranının duman hareketi üzerine etkilerini sayısal ve deneysel olarak incelemişlerdir. Sonuç olarak, tünel yangınlarında en-boy oranının dumanın büyüme ve gelişmesini etkilediğini belirtmişlerdir (Lee vd., 2016).

Bu çalışma kapsamında ise, bir karayolu tüneline araç kazası nedeniyle çıkabilecek olası bir yangın sonucu oluşan yüksek ısı ve dumanın kontrolü üzerine çalışılmıştır. Bu kapsamda, tünel girişinden iki farklı konum için olası yangın modeli oluşturulmuştur. Yangın sonucu oluşacak dumanın tünel dışına atılabilmesi amacıyla, tünel boyunca farklı noktalara üç adet aksiyel jet fanın yerleştirildiği düşünülmüştür. Oluşturulan yangın modelleri için, tünel içerisine yerleştirilmiş olan bu jet fanlarının farklı açıklık kapalılık durumları için farklı yangın senaryoları oluşturularak, sayısal analizler tekrarlanmıştır. Böylelikle yangın konumunun ve fan diziliminin yangın kaynaklı dumanın hareketine, tünel içi sıcaklık, CO ve O₂ değerlerine olan etkileri incelenmiştir.

2. Materyal ve Yöntem

Bu çalışma kapsamında, bir tüneline yangın tahliye sisteminin sayısal olarak incelenebilmesi için 8x8x200 m boyutlarında ve duvar kalınlığı 50 cm olan bir karayolu tüneli ele alınmıştır. Bu tünelde, ısı yayılım oranı 5 MW olan ve propanın (C₃H₈) yanması sonucu oluşan olası bir yangın kaynağı, tünel girişinden 2 farklı uzaklık için konumlandırılarak incelemeler yapılmıştır. Bu kapsamda, tünel girişinden farklı uzaklıklara üç adet aksiyel jet fan yerleştirildiği düşünülmüştür. Bu jet fanlarının farklı açıklık kapalılık durumları için farklı yangın senaryoları oluşturularak sayısal analizler tekrarlanmıştır. Bu çalışma kapsamında incelenen tünel geometrisinin şematik gösterimi Şekil 1’de verilmiştir. Şekilde görüldüğü üzere, tünel girişinden 75. metrede çıkan yangının merkezi A ile, 125. metrede çıkan yangının merkezi ise B ile gösterilmiştir.



Şekil 1. İncelenen model tünelin şematik gösterimi

Fanların diziliş şeklinin, tünel içerisindeki duman ve sıcaklık dağılımına etkisini incelemek, yangın sonrasında insanların tüneli tahliye edebilecek görünürlük düzeyine erişebilmesini sağlayıp sağlamadığını analiz edebilmek amacıyla, fan hızı 30 m/s sabit hızda tutularak; bütün fanlar kapalı, sadece birinci fan açık, sadece ikinci fan açık, sadece üçüncü fan açık ve bütün fanlar açık olacak şekilde farklı yangın senaryoları oluşturularak simülasyonlar yapılmıştır. Bu senaryolarda yangının ilk 360 saniyesi zamana bağımlı olarak incelenmiştir. Bu çalışma kapsamında incelenen analiz parametreleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1

Analiz parametreleri

Yangın Konumu	75 m ve 125 m
Fan Konumu	50 m, 100 m ve 150 m
Fan Açık/Kapalı Durumu	Hepsi Kapalı, Sadece 1. fan açık, Sadece 2. fan açık, Sadece 3. fan açık, Hepsi Açık

2.1. Diferansiyel Denklemler

İncelenen yangın modelinin sayısal olarak çözülmesinde kullanılan süreklilik denklemi Denklem 2.1'de, türlerin korunumu denklemi Denklem 2.2'de, momentum denklemi Denklem 2.3'de, enerjinin korunumu denklemi ise Denklem 2.4'de verilmiştir (Chiam, 2005).

Süreklilik denklemi

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot \rho u = 0 \quad (2.1)$$

Türlerin korunumu denklemi

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho Y_i) + \nabla \cdot \rho Y_i u = \nabla \cdot \rho D_i \nabla Y_i + \dot{m}_i'' \quad (2.2)$$

Momentum denklemi

$$\rho \left(\frac{\partial u}{\partial t} + (u \cdot \nabla) u \right) = -\nabla p + \nabla \cdot \tau + \rho g + f \quad (2.3)$$

Enerjinin korunumu denklemi

$$\left(\frac{\partial}{\partial t} (\rho h) + \nabla \cdot \rho h u \right) = \left(\frac{\partial p}{\partial t} + u \cdot \nabla p \right) + q''' - \nabla \cdot q_{rad} + \nabla \cdot k \nabla T + \sum_i \nabla \cdot h_i \rho D_i \nabla Y_i \quad (2.4)$$

2.2. Sınır Şartları

Problemin diferansiyel denklemlerinin sayısal olarak çözülebilmesi için, sınır şartlarının bilinmesi gerekmektedir. Bu kapsamda, çözüm başlangıcında tünelin içerisinde 20 °C sıcaklığa sahip durağan ortam havası bulunduğu düşünülmüştür. Tünelin içinde hava akışını sağlayan jet fanların hızlarının 30 m/s olacak şekilde sabit olduğu ve bu fanların açıklık/kapalılık durumunun ise incelenen yangın senaryosuna göre değiştiği kabul edilmiştir. Tünel içerisinde meydana gelen yangının propanın (C₃H₈) yanması sonucu oluştuğu, ısı salınım oranının (HRR) ise sabit 5 MW değerinde olduğu varsayılmıştır. Yanma sonucu ortaya çıkan gazların ise atmosfer basınca sahip bir dış ortama gönderildiği düşünülmüştür.

2.3. Sayısal Yöntem

Bu çalışmada ele alınan tünelin sayısal olarak incelenmesi sırasında çözücü program olarak Fire Dynamics Simulator (FDS) yazılımı kullanılmıştır. Grafik ara yüzü olarak ise Pyrosim programının deneme sürümü tercih edilmiştir. Bu kapsamda FDS ve Pyrosim programlarının 2018 versiyonları kullanılmıştır. Akışı modellemek için Large Eddy Simulation (LES) yaklaşımı ve Smagorinsky–Lilly türbülans modeli kullanılmıştır. Bu modelde türbülans viskozitesi Denklem 2.5 yardımıyla belirlenmektedir. (Yuen vd. 2017, Tian ve Xiao 2020)

$$\mu_T = \rho(C_s \Delta)^2 |\tilde{S}| \quad (2.5)$$

Burada C_s terimi Smagorinsky katsayısıdır ve bu çalışma kapsamında C_s katsayısının değeri 0,15 olacak şekilde sabit tutulmuştur. \tilde{S} ve Δ terimleri ise sırasıyla Denklem 2.6 ve Denklem 2.7 yardımıyla belirlenmektedir. (Yuen vd. 2017, Tian ve Xiao 2020)

$$|\tilde{S}| = \sqrt{2\tilde{S}_{ij}\tilde{S}_{ij}} \quad (2.6)$$

$$\Delta = \sqrt[3]{\Delta x \Delta y \Delta z} \quad (2.7)$$

ise gerinim tensörüdür ve Denklem 2.8 aracılığı ile belirlenmektedir. (Yuen vd. 2017, Tian ve Xiao 2020)

$$\tilde{S}_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \quad (2.8)$$

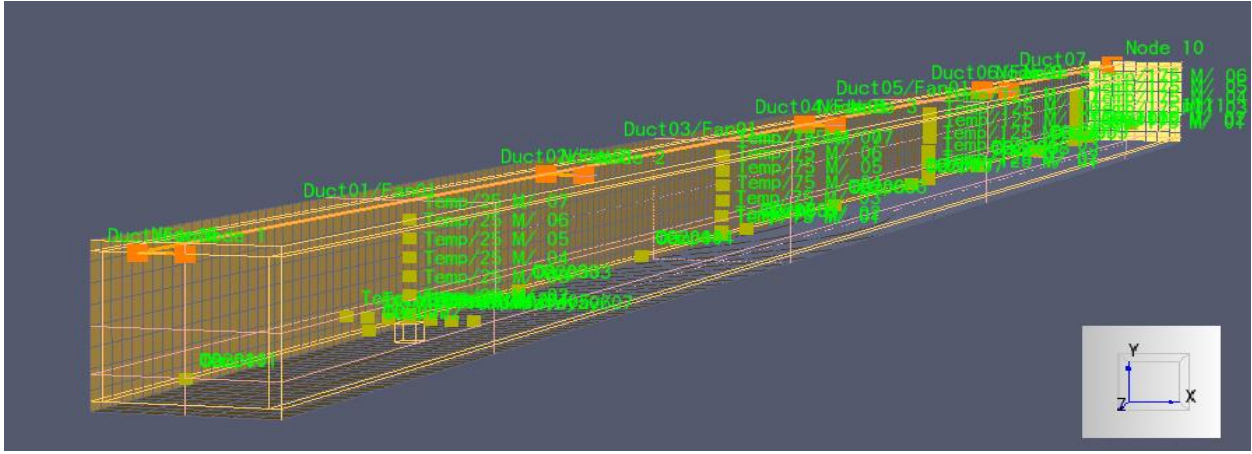
Yanmayı modellemek için ise Karışım Kesri Modeli (Mixture Fraction Model) kullanılmıştır. Sayısal çözümler, zamana bağlı algoritma kullanılarak yangının ilk 360 saniyesi için gerçekleştirilmiştir. FDS yazılımı ve Pyrosim ara yüzü ile yürütülen analizlerden elde edilen sonuçlar, Smokeview görüntüleme ara yüzü aracılığı ile görüntülenmiştir.

Oluşturulan tünelin ağ yapısını da içeren izometrik görünümü Şekil 2’de verilmektedir. İlgili şekilde, sıcaklık, CO, O₂ vb. büyüklüklerin ölçümünün yapıldığı prob noktaları ve jet fanların konumları birlikte görülmektedir. Ağ yapısı oluşturulurken, farklı sayıda eleman sayısına sahip ağ yapıları için deneme simülasyonları yapılmıştır. Tünel girişinden 75 m uzaklıkta gerçekleşen bir yangın için elde edilen maksimum sıcaklığın eleman sayısı ile değişimi Tablo 2’de verilmiştir. Çizelgeden de görüldüğü üzere, eleman sayısının 43200 değerinden sonra, maksimum sıcaklık değeri fazla değişim göstermemektedir. Bundan dolayı 43200 eleman sayısına sahip ağ yapısı optimum ağ yapısı olarak belirlenmiştir. Tüm simülasyonlar bu optimum ağ yapısı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Tablo 2

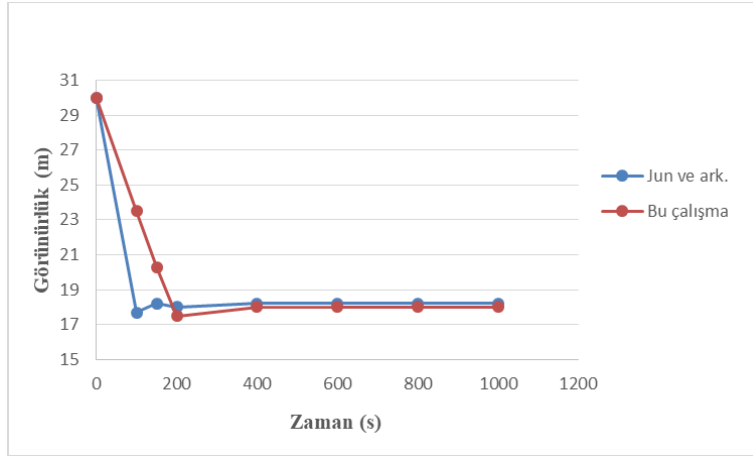
Maksimum sıcaklığın eleman sayısı ile değişimi

Eleman Sayısı	T _{maks}
1600	112,13 °C
12800	123,28 °C
43200	128,86 °C
102400	129,12 °C



Şekil 2. Modelin izometrik görünümü

Bu çalışmada kullanılan sayısal yöntemin ve yapılan kabullerin doğruluğunu ve güvenilirliğini kontrol etmek amacıyla, bu çalışmadan elde edilen sonuçlar literatürde bulunan benzer bir çalışmanın sonuçları ile kıyaslanmıştır. Bu amaçla, literatürde bulunan [Jun vd. \(2013\)](#) tarafından yapılan çalışma, onların geometrisi ve sınır şartları için tekrarlanmıştır. İncelenen tünelin 300-350 m aralığı için her iki çalışmadan elde edilen sonuçlar Şekil 3’de birlikte verilmektedir. Şekilden görüldüğü üzere, iki çalışma için çizilen eğriler benzer bir profil oluşturmaktadır. Yangının başlangıç anlarında eğriler arasında biraz farklılıklar olmasına rağmen, 200. saniyeden sonra her iki eğri birbiri ile uyum içindedir. Dolayısıyla bu çalışmada ele alınan sayısal yöntem ve kabullerin güvenilir seviyede olduğu söylenebilir.



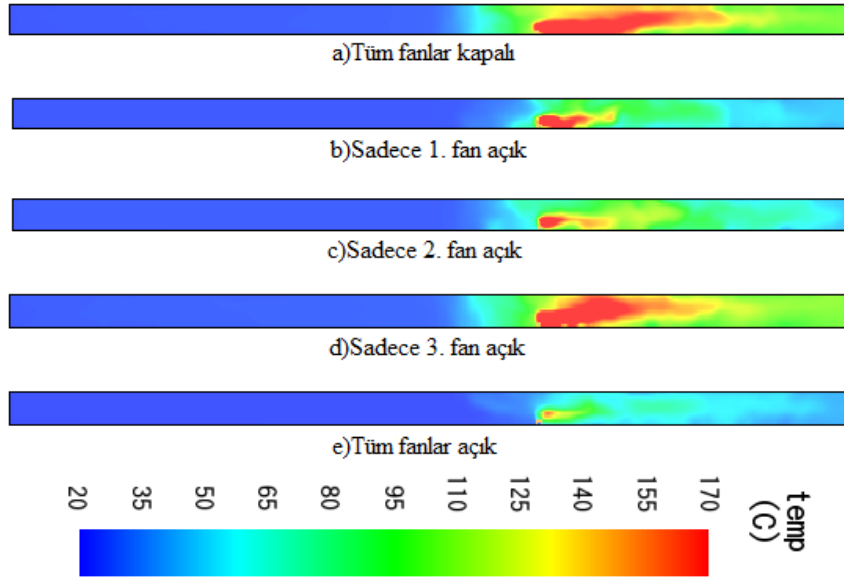
Şekil 3. Bu çalışmanın sonuçları ile literatür (Jun vd., 2013) sonuçlarının karşılaştırılması

3. Bulgular ve Tartışmalar

Bu çalışma kapsamında, bir karayolu tüneline çıkan olası bir yangın durumu için tünelin yangın tahliye sistemi sayısal olarak incelenmiştir. Bu kapsamda, ısı yayılım oranı 5 MW olan olası bir yangın kaynağının tünel girişinden 2 farklı uzaklık için konumlandırıldığı ve tünel girişinden farklı uzaklıklara üç adet aksiyel jet fanın yerleştirildiği düşünülmüştür. Fan hızı 30 m/s sabit hızda tutularak; bütün fanlar kapalı, sadece 1. fan açık, sadece 2. fan açık, sadece 3. fan açık ve bütün fanlar açık olacak şekilde farklı yangın senaryoları oluşturularak simülasyonlar yapılmıştır. Yapılan analizlerden elde edilen bazı sonuçlar aşağıda verilmiştir.

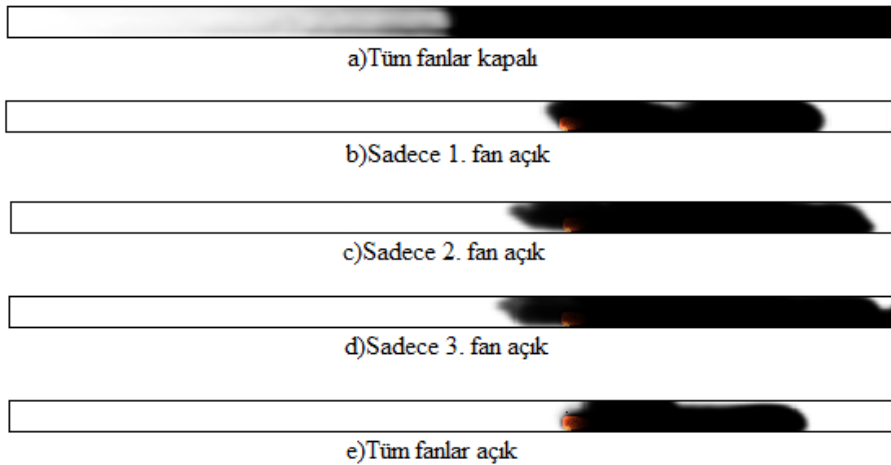
Yangın konumu 125 metre olduğu durumda 360. saniyenin sonunda, farklı fan açıklık senaryoları için elde edilen tünel içi sıcaklık dağılımları Şekil 4’te görülmektedir. Şekil incelendiğinde; tüm fanlar kapalı iken tünel içi sıcaklık değerlerinin çok yükseldiği, tünel girişinden 125 m uzakta meydana gelen yangın merkezi ve

çevresinden tünel çıkışına doğru can ve mal güvenliği için uygun sıcaklık şartlarının kalmadığı görülmüştür. Buna karşılık tüm fanların açık olması durumunda tünel içi sıcaklık durumunun iyi seviyelere ulaştığı, insanlar için tünelden güvenli bir çıkış alanının oluştuğu gözlemlenmiştir. Sadece 3. fanın açık olması durumunda ise, bu fanın konumunun yangın konumundan daha ileride kalması sebebiyle sıcaklık üzerinde iyileştirici bir etkisi bulunmadığı belirlenmiştir. Ancak sadece 2. fanın açık kalmasının 3. fana kıyasla daha iyi sonuçlar verdiği kanaatine varılmıştır.



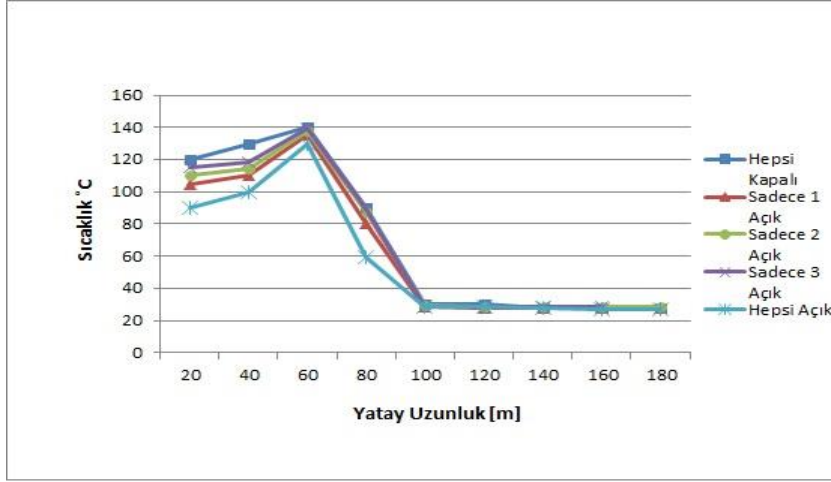
Şekil 4. Yangın konumu 125 m ve $t=360$ s için sıcaklık dağılımı, a)Tüm fanlar kapalı, b)Sadece 1. fan açık, c)Sadece 2. fan açık, d)Sadece 3. fan açık, e)Tüm fanlar açık

Yangın konumu 125 metre olduğu durumda 360. saniyenin sonunda, farklı fan açıklık durumları için elde edilen tünel içi duman dağılımları Şekil 5'te verilmektedir. Şekil incelendiğinde, tüm fanların kapalı olması durumunda tünelin büyük bir bölümünün duman ile kaplandığı, insanlar için görüş mesafesinin oldukça azaldığı, duman miktarının artmasına bağlı olarak zehirli gaz miktarının arttığı ve insan sağlığı için tehlikeli boyutlara ulaşabileceği görülmektedir. Tüm fanların açılmasının duman seviyesini önemli ölçüde azalttığı, görünürlük düzeyini arttırmaya katkı sağladığı ve güvenli bir çıkış için daha fazla alan meydana getirdiği gözlemlenmiştir. Tek bir fanın açık olduğu durumlar karşılaştırıldığında, sadece ilk fanın açık olduğu durumda tünelin büyük bir kısmında görünürlüğün uygun seviyede olduğu gözlemlenmiştir. Sadece üçüncü fanın açılmasının duman dağılımı üzerinde önemli bir katkı sağlamadığı belirlenmiştir. Eğer tünel içerisinde sadece tek bir fan açılacaksa ise, bunun ilk fan olması gerektiği anlaşılmaktadır.



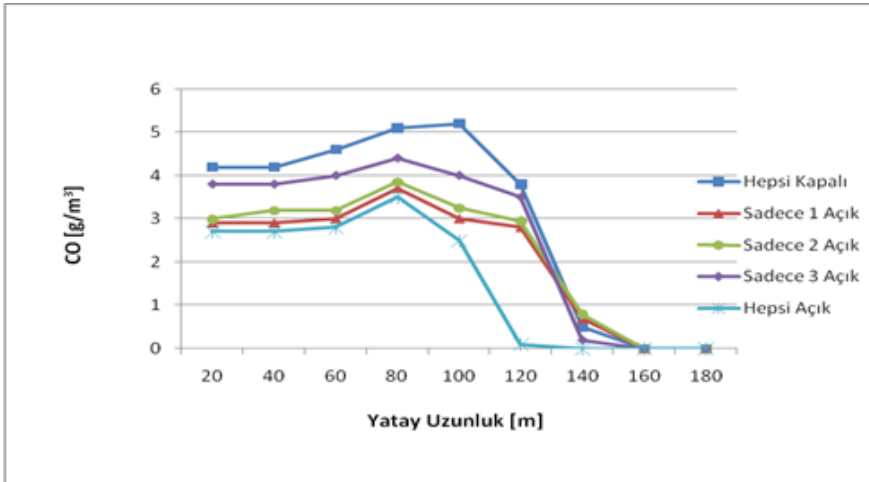
Şekil 5. Yangın konumu 125 m ve $t=360$ s için duman dağılımı, a)Tüm fanlar kapalı, b)Sadece 1. fan açık, c)Sadece 2. fan açık, d)Sadece 3. fan açık, e)Tüm fanlar açık

Şekil 6'da tünel girişinden 75 m uzaklıkta gerçekleşen yangında 360 saniye sonunda, fanların açıklık kapalılık durumlarındaki değişimin tünel boyunca oluşan sıcaklık değerleri üzerindeki etkilerini gösteren eğriler verilmiştir. Şekilden de görüldüğü üzere, yangın merkezinde tüm fan durumları için sıcaklık değerleri en yüksek seviyeye ulaşmış ve yangın merkezinden tünel çıkışına doğru ilerledikçe sıcaklık değerlerinin azalıp tünel çıkışında normal değerlere ulaştığı görülmüştür. Tüm fanlar kapalı olduğu durumda, tünel içi sıcaklık değerlerinin diğer fan durumlarına kıyasla daha yüksek olduğu ve tüm fanların açılmasının sıcaklık değerleri üzerinde iyileştirici etkide bulunduğu anlaşılmıştır. Sadece 1. fanın veya sadece 2. fanın açık olması durumlarının, sıcaklık dağılımı üzerinde olumlu etkide bulunduğu, fakat sadece 3. fanın açık olmasının tüm fanların kapalı olmasıyla neredeyse eş değer sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.



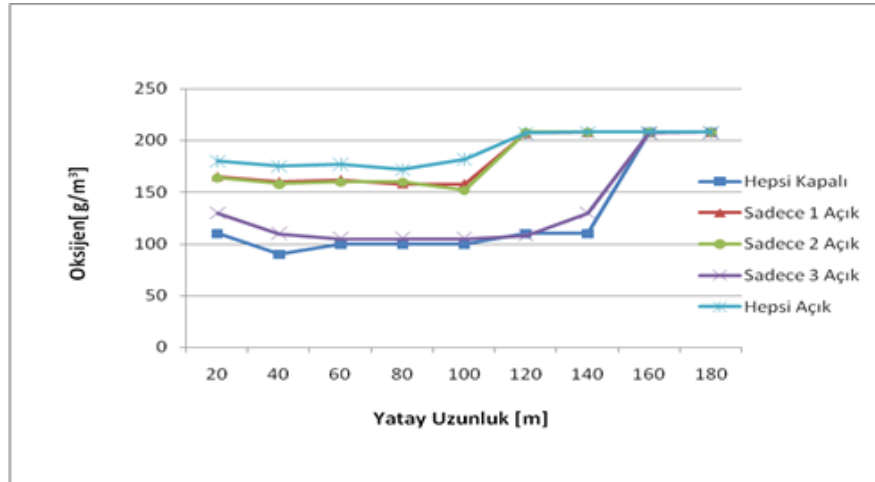
Şekil 6. Yangın konumu 75 m ve t=360 sn için, sıcaklığın tünel boyunca değişimi

Şekil 7'de tünel girişinden 75 m uzaklıkta gerçekleşen bir yangın için 360. saniye sonunda, fanların açıklık kapalılık durumlarındaki değişimin tünel boyunca oluşan CO dağılımı üzerindeki etkileri grafiksel olarak verilmiştir. Tüm fan durumları için yangının merkezine yakın bölgelerde CO değerlerinin en yüksek seviyede olduğu gözlemlenmiştir. Bu bölgelerde CO seviyesi insan sağlığı için tehlikeli sınırlara ulaşmıştır. Tünel çıkışına doğru ise CO normal değerlere ulaşmıştır. En kötü durum fanların hepsinin kapalı olduğu durumda gerçekleşmiştir. Fanların açılması tünel içinde oluşan CO değerlerini azaltıcı etkide bulunmuştur. Tek fan açık olması durumunda, sadece 1. veya sadece 3. fanın açık olması benzer bir etkiye sebep olmuştur. Ancak sadece 3. fanın açık olduğu durumda, fanın konumunun yangın merkezinin ilerisinde olması sebebiyle CO seviyesinin diğer durumlara göre daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Fanların hepsinin açık olduğu durumda ise, tünel boyunca minimum CO seviyesi gerçekleşmiş, özellikle tünelin çıkışına doğru CO değerlerinde ani bir düşüş gözlemlenmiştir.



Şekil 7. Yangın konumu 75 m ve t=360 sn için, CO seviyesinin tünel boyunca değişimi

Şekil 8’de tünel girişinden 75 m uzaklıkta gerçekleşen bir yangın için 360. saniye sonunda, fanların açıklık kapalılık durumlarındaki değişimin tünel boyunca oluşan oksijen dağılımı üzerindeki etkileri görülmektedir. Şekil incelendiğinde, fanların hepsinin kapalı ve sadece 3. fanın açık olduğu durumlar için çizilen eğrilerin birbirleri ile oldukça benzer olduğu görülmektedir. Bu iki durumda da, özellikle yangının başlangıç konumuna yakın bölgelerde oksijen seviyesinin düştüğü belirlenmiştir. Tüm fanların açılması durumunda ise, tünel içerisindeki dumanın tünel çıkışına doğru en iyi şekilde tahliye edilebilmesinden dolayı, tünel boyunca O_2 seviyesinin optimum düzeyde tutulabildiği görülmüştür. Sadece 1. fanın ve sadece 2. fanın açık olması durumlarının da, tünel içerisindeki O_2 seviyesine iyileştirici etkide bulunduğu belirlenmiştir.

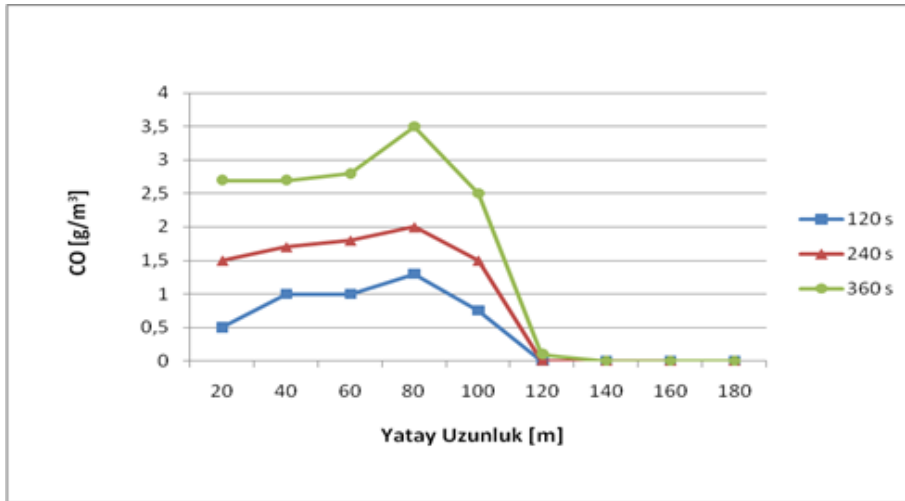


Şekil 8. Yangın konumu 75 m ve t = 360 sn için, O_2 seviyesinin tünel boyunca değişimi

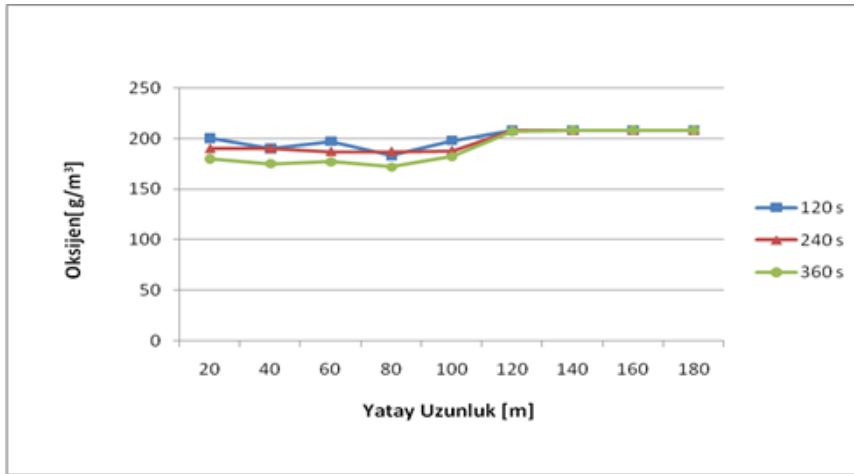
Şekil 9’da ise tünel girişinden 75 m uzaklıkta meydana gelen bir yangında tüm fanların açık olması durumunda, yangın başlangıcından 120, 240 ve 360 saniye sonundaki tünel içi CO ve O_2 değerleri birlikte görülmektedir. Bu kapsamda CO’nun tünel uzunluğu boyunca değişimi Şekil 9a’da, O_2 ’nin tünel uzunluğu boyunca değişimi ise Şekil 9b’de verilmiştir. Zamana bağlı olarak yapılan analizler sonucunda yangın merkezi ve yakın çevresinde, ilerleyen zamana bağlı olarak CO değerlerinin yükseldiği O_2 değerlerinin ise azaldığı görülmüştür. Tünel çıkışına doğru ise zamana bağlı olarak önemli bir değişim olmadığı gözlemlenmiştir.

4. Sonuçlar

Bu çalışmada, bir karayolu tüneline çıkan olası yangın senaryoları için tünelin yangın tahliye sistemi sayısal olarak incelenmiştir. Bu kapsamda, ısı yayılım oranı 5 MW olan olası bir yangın kaynağının tünel girişinden 2 farklı uzaklık için konumlandırıldığı ve tünel girişinden farklı uzaklıklara üç adet aksiyel jet fanın yerleştirildiği düşünülmüştür. Bütün fanlar kapalı, sadece 1. fan açık, sadece 2. fan açık, sadece 3. fan açık ve bütün fanlar açık olacak şekilde farklı yangın senaryoları oluşturularak analizler yapılmıştır. Yapılan analizlerin sonucunda, fanların açıklık kapalılık durumlarının tünel içi görünürlülük, duman, sıcaklık, CO ve O_2 seviyelerini önemli ölçüde etkilediği gözlemlenmiştir. Fanların hepsinin kapalı olması durumunda, yangın kaynaklı oluşan CO ve dumanın tünel dışına tahliye edilmesi için gereken taze havanın sağlanamadığı tespit edilmiştir. Bundan dolayı, tünel boyunca sıcaklık ve CO seviyesinin yükseldiği, tünel içi duman yayılımının arttığı ve O_2 seviyesinin ise azaldığı gözlemlenmiştir. Dolayısıyla hiçbir fanın çalışmadığı durum için, olası bir yangın durumunda tünel içindeki ortamın insan sağlığı için olumsuz özelliklerde olduğu belirlenmiştir. Sadece 3. fanın açık olmasının, yangın kaynaklı duman, sıcaklık, CO ve O_2 değerleri üzerinde ki iyileştirici etkisinin çok düşük düzeyde olduğu gözlemlenmiştir. Ancak sadece 1. fanın veya sadece 2. fanın açık olması durumlarının, insan sağlığı için daha efektif sonuçlar verdiği kanaatine varılmıştır. Tüm fanların açık olduğu durumda ise, duman, sıcaklık ve CO değerlerinin minimum seviyede, O_2 değerinin ise maksimum seviyede gerçekleştiği gözlemlenmiştir. Dolayısıyla, incelenen parametre aralığında tüm fanların açık olduğu durumun optimum duman ve ısı kontrolü sağladığı söylenebilir. Ayrıca tünel çıkışına daha yakın bir noktada meydana gelen olası bir yangının duman tahliyesinin, tünel girişine yakın bölgede meydana gelen bir yangına kıyasla daha fazla gerçekleştirilebildiği gözlemlenmiştir.



(a)



(b)

Şekil 9. Yangın konumu 75 m ve tüm fanlar açık olduğu durumda, farklı zaman anları için (a) CO ve (b) O₂ seviyesinin tünel boyunca değişimi

Yazar Katkıları

Songül Solmaz: Literatür taramasını yapmış, model geometriyi oluşturmuş, sayısal doğrulama işlemini yapmış, sayısal analizleri tamamlamış, grafik, tablo ve şekilleri hazırlamıştır.

Tolga Demircan: Çalışma konusunu belirlemiş, çalışmayı planlamış, tasarlamış, yönetmiş ve denetlemiş, elde edilen verileri değerlendirmiş, grafikleri yorumlamış ve makaleyi yazmıştır.

Çıkar Çatışması

Yazarlar çıkar çatışması bildirmemişlerdir.

Kaynaklar

Alpgiray, B. (2016). *Enine havalandırma sistemine sahip bir tünelde yangın kaynaklı dumanın tahliyesinin sayısal yöntemle incelenmesi* (Yüksek Lisans Tezi). Erişim adresi: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>

Altay, M., (2016). *Tünel yangınlarının modellenmesi ve etkin parametrelerin modellemedeki gerçekçiliğinin incelenmesi* (Yüksek Lisans Tezi). Erişim adresi: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>

- Bilgin, F. (2014). *Karayolu tünellerinde araç emisyonları havalandırma ve yangın önleme esasları* (Yüksek Lisans Tezi). Erişim adresi: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- Chiam, B.H. (2005). *Numerical simulation of a metro train fire* (Master's thesis). University of Canterbury, Christchurch, New Zealand.
- Fan, C.G., Ji, J., Gao, Z.H. ve Han, J.Y. (2013). Experimental study on transverse smoke temperature distribution in road tunnel fires. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 37, 89–95. <https://doi.org/10.1016/j.tust.2013.04.005>
- Fan, C.G., Ji, J., Gao, Z.H., Han, J.Y. ve Sun, J.H. (2013). Experimental study of air entrainment mode with natural ventilation using shafts in road tunnel fires. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 56, 750–757. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2012.09.047>
- Jun, D., Li, M., Zhen-ping, W., Zhen, X. ve Wei-feng, W. (2013). Simulation study on critical velocity of longitudinal ventilation tunnel fire. *Procedia Engineering*, 52, 67-71. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2013.02.107>
- Karaaslan, S., Hepkaya, E. ve Yücel, N. (2013). Cfd simulation of longitudinal ventilation systems in a scaled short tunnel. *Isı Bilimi ve Teknigi Dergisi*, 33, 1, 63-77.
- Lee, S. R. ve Ryou, H. S. (2016). A numerical study on smoke movement in longitudinal ventilation tunnel fires for different aspect ratio. *Building and Environment*, 41, 719–725. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.03.010>
- Li, J., Deng, Q., Li, Y. ve Wang, Z. (2017). Numerical evaluation on the smoke control strategies and parameters for the road tunnel with converging junctions. *10th International Symposium on Heating, Ventilation and Air Conditioning, ISHVAC2017* (pp. 1858-1863) Jinan-China. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.10.262>
- Li, J., Tian, Y., Li, Y., Zhao, Y., ve Huang, Y. (2017). Numerical and experimental study on the effects of the slope on the critical velocity in titled tunnels. *10th International Symposium on Heating, Ventilation and Air Conditioning, ISHVAC2017* (pp. 1864–1870) Jinan-China. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.10.265>
- Li, Y.Z., Lei, B. ve Ingason, H. (2010). Study of critical velocity and backlayering length in longitudinally ventilated tunnel fires. *Fire Safety Journal*, 45, 361–370. <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2010.07.003>
- Lin, P., Zhang, Y., Li, T. ve Si, Y. (2016). A numerical study on the impact of vehicles' blockage on the performance of semi-transversal smoke control system in tunnel fire. *Procedia Engineering*, 135, 248 – 260. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.01.120>
- Tian, G. ve Xiao, Z. (2020). New insight on large-eddy simulation of flow past a circular cylinder at subcritical Reynolds number 3900. *AIP Advances*, 10, 085321. <https://doi.org/10.1063/5.0012358>
- Tian, X., Zhong, M., Shi, C., Zhang, P. ve Liu, C. (2017). Full-scale tunnel fire experimental study of fire-induced smoke temperature profiles with methanol-gasoline blends. *Applied Thermal Engineering*, 116, 233–243. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2017.01.099>
- Ünal, E. (2015). Acil durum tünel havalandırmasında bölgesel faktörlerin sayısal olarak incelenmesi. *12. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi* (pp. 677-686). İzmir.
- Wang, Q., Tang, F., Li, L., Zhang, X. ve Fan, C. (2016). Large eddy simulation on the effect of smoke exhaust openings arrangement on the smoke spread in tunnel fires. *Procedia Engineering*, 135, 309 – 315.
- Yuan, Z., Lei, B. ve Bia H. (2015). The effect of fire location on smoke temperature in tunnel fires with natural ventilation. *Procedia Engineering*, 121, 2119–2124. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.09.082>
- Yuan, Z., Lei, B. ve Kashef, A. (2013). Reduced-scale experimental research on fires in tunnels with natural ventilation. *The 9th Asia-Oceania Symposium on Fire Science and Technology*, (pp. 907-915). <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2013.08.142>
- Yuen, A.C.Y., Yeoh, G.H., Timchenko, V., Cheung, S.C.P., Chan, Q.N. ve Chen, T. (2017). On the influences of key modelling constants of large eddy simulations for large-scale compartment fires predictions. *International Journal of Computational Fluid Dynamics*, 31(6-8), 324-337. <https://doi.org/10.1080/10618562.2017.1357809>