



Yol tüneli yangınında duvar kaplamanının ısıl etkisinin sayısal incelenmesi

Numerical investigation of the thermal effect of wall coating in road tunnel fire

Onur Yemenici^{1,*} , Barbaros Küçük² 

¹ Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bursa/Türkiye
² Karayolları 14. Bölge Müdürlüğü Tünel Bak. İşl. Şef., Bilecik/Türkiye

Öz

Bu çalışmada 1:100 ölçekli doğal havalandırılmalı bir yol tüneli yangınında duvar kaplamanının ısıl etkisi sayısal olarak incelenmiştir. Dış yüzeyi toprak kaplı beton tünel modelinin iç yüzeyine Alüminyum, Nikel ve Kalsiyum-silikat kaplama kullanılarak üç katmanlı yapı oluşturulmuştur. Modelleme bir yol tüneli içerisinde yanma sürecunda oluşan gaz çıkışına bağlı sabit ısı akısında yapılmıştır. Gazın çıkış sıcaklığı 950 K, ısı salınım oranı 50 MW ve kütleli debisi 48.6 kg/s olarak seçilmiştir. Model tasarımı ve akış alanının çözümü hem zamana bağlı ve hem de geçici rejimde ANSYS/FLUENT programı ile yapılmış ve analizlerde standart k-ε türbülans modeli kullanılmıştır. Sonuçlar bir yol tüneli yangınındaki sıcaklık dağılımının beton duvarlar üzerine eklenecek üçüncü bir katmandan etkilendiğini göstermiştir. Üçüncü katman olarak Alüminyum ve Nikel tabaka kullanılan modellerde ısı transferi iki katmanlı modele göre daha fazla iken, Kalsiyum-silikat tabakası kullanılan modelde farkın çok az olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Yol tüneli yangını, Duvar kaplaması, Hesaplamalı akışkanlar dinamiği, Isı iletimi

1 Giriş

Yol tünelleri karayolu ulaşımında sağladığı kolaylık ve trafik akışını hızlandırması yönünden önemli olmasının yanı sıra olası bir yangında müdahalesi zor ve zaman aldığından can ve mal kayıplarına neden olmaktadır. Tünel yangınları üzerine literatürde yapılan çalışmaların çoğu havalandırma ve ısı salınım oranı hesaplaması üzerine yapılırken, son zamanlarda tünel duvarlarının bu yangınlar üzerindeki etkileri üzerine de araştırmalar yapılmaktadır. Örneğin, Saito ve Yamauchi [1] yaptıkları çalışmada FDS (Fire Dynamic Simulator) yazılımını kullanarak duvar yüzeyleri üzerinden ısı kaybını araştırmışlardır. Zamana bağlı yaptıkları analizlerde dokuz farklı malzeme kullanmışlar ve sonuç olarak tavan yüzeyinin altındaki gaz sıcaklığının ısıl ataletine bağlı olduğunu tespit etmişlerdir. Xu vd. [2] ısıl modellemelerin karşılaştırmalarını yapmışlar ve kütle transferi-hacimsel ısı kaynağı modelinin avantajları üzerinde durmuşlardır. Vega vd. [3] yaptıkları çalışmalarında 50 MW'lık bir ısı salınım hızında çıkan gazın sıcaklığının 950 K alınabileceğini belirtmişlerdir. Ayrıca ışının ihmal edilebileceğini ve ısının %35 azaltılabileceğini

Abstract

In this study, the thermal effect of the wall coating in a 1:100 scale natural ventilated road tunnel fire was numerically investigated. A three-layer structure was formed by using Aluminum, Nickel and Calcium-silicate coating on the inner surface of the concrete tunnel model, the outer surface of which was covered with soil. The modeling was carried out at a constant heat flux depending on the gas output formed as a result of combustion in a road tunnel. The outlet temperature of the gas is 950 K, the heat release rate is 50 MW and the mass flow rate is 48.6 kg/s. The model design and solution of the flow field were made with the ANSYS/FLUENT program both in time dependent and transient regime, and the standard k-ε turbulence model was used in the analyses. The results showed that the temperature distribution in a road tunnel fire is affected by a third layer to be added over the concrete walls. In the models using Aluminum and Nickel layer as the third layer, the heat transfer was higher than the two-layer structure, while the difference was found to be very small in the model using the Calcium-silicate layer.

Keywords: Road tunnel fire, Wall layer, Computational fluid dynamics, Heat conduction

vurgulamışlardır. Tomar vd. [4] pasif koruma olarak tünel duvarlarına uygulanan Kalsiyum-silikat tabakasının etkisini incelemişlerdir. Ahşap paletlerden oluşturuldukları simülasyonlarında iki farklı model oluşturmuşlar ve sonuçlarını Runehamar testlerinin sonuçlarıyla karşılaştırmışlardır. 30 dakikalık yangın boyunca Kalsiyum-silikat levhalara sahip tünelin beton tünelle kıyasla daha yüksek HRR (Heat Release Rate) ve gaz sıcaklığına yol açtığını tespit etmişlerdir. Ayrıca kalsiyum silikat ve beton arasındaki farkın zamana göre değiştiğini ve tepe HRR değerinin aynı kaldığını belirtmişlerdir. Gao vd. [5] yaptıkları çalışmada 1/3.7 ölçeğinde beton bir tünel içerisinde 12-120 kW kaynaklar kullanarak sıcaklık dağılımlarını incelemişlerdir. Sonuçta özellikle yan duvarlarda sıcaklık dağılımının monoton olmadığını bildirmişlerdir. Bir tünelde gerçekleşen yangında yangın yerine bağlı olarak duman hareketinin değişimi ise Wang ve Wang [6] tarafından incelenmiştir. Modic [7] yol tünellerinde yangın simülasyonunu yapmışlar ve simülasyonunun sonuçlarını hava hızı, hava sıcaklığı ve duvar sıcaklığına bağlı olarak yorumlamışlardır. Wei vd. [8]

* Sorumlu yazar / Corresponding author, e-posta / e-mail: oseckin@uludag.edu.tr (O. Yemenici)

Geliş / Received: 06.05.2023 Kabul / Accepted: 27.07.2023 Yayınlanma / Published: 15.10.2023

doi: 10.28948/ngumuh.1293197

tünel yangınlarından uzak alandaki tavan sıcaklık dağılımında duvar faktörünün analitik çalışmasını yapmışlardır. Caliendo vd. [9] yangın tahliye sürecinde tünel kullanıcılarının riske maruz kalma durumlarını değerlendirmek için uygun bir Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (CFD) modeli geliştirmişlerdir. Tablo 1’de gerçek boyutlu tünellerde meydana gelen yangınlarla ilgili yapılmış testlere ait bilgiler verilmiştir. Bu testlerin bir kısmı kullanılmayan tünellerde yapılmıştır. İlk büyük ölçekli test 1965 yılında İsviçre’de Ofenegg Tünelinde gerçekleştirilerek, benzin tanklarının neden olduğu yangınlarda tünelin havalandırma kapasiteleri değerlendirilmiştir. Bu test tünel havalandırma tasarımının temelini oluşturmuştur (Harter [10]). EUREKA (Firetune Project) testleri ise Norveç’te kullanılmayan Repparfjord Tüneli’nde yapılmış en kapsamlı çalışmalardan biridir. Bu çalışmada oksijen tüketimi ilk kez büyük ölçekli bir tünelde gerçek araçlara uygulanmıştır ve havalandırma oranı ile yangın büyüme eğilimi verilmiştir (Haack [11]).

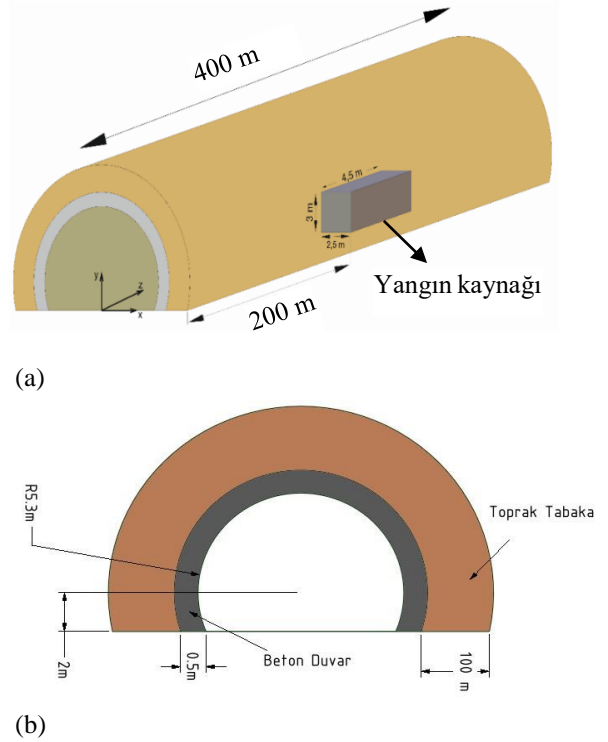
Tablo 1. Gerçek boyutlara sahip tünellerde yapılan çalışmalar (Ingason [12])

Test Programı, Yer, Yıl	Test Sayısı	Yangın Kaynağı	En Yüksek HRR Aralığı (MW)
Ofenegg, İsviçre, 1965	11	Benzin Havuzu	11-80
Glasgow, 1975	5	Gaz/Gazyağı Havuzu	2-8
Zwenberg, Avusturya, 1974-1975	30	Benzin Havuzu/Odun /Lastik	8-21
P.W.R.I., Japonya, 1980	16	Benzin Havuzu/ Yolcu Aracı/Otobüs	9-30
P.W.R.I., Japonya, 1980	8	Benzin Havuzu/ Otobüs	9
TUB-VTT, Finlandiya, 1985	2	Ahşap Beşik	1.8-8
EUREKA/EU499, Norveç, 1990-1992	21	Ahşap Beşik/Heptan Havuzu/ Otomobiller/ Tren/Ağır Vasıta	2-120
Memorial, ABD, 1993-1995	98	Fuel Oil	10-100
Shimizu No.3, Japonya, 2001	10	Benzin Havuzu/ Otobüs/ Otomobiller	2-30
2. Benelux Tüneli, Hollanda, 2002	14	n-Heptane Toluene, Otomobil, Ağır Yüklü Tır	3-26
Runehamar Tüneli, Norveç, 2003, 2013	4	Selüloz, Plastik, Mobilya, Tahta Palet	70-203
Brunsborg, İsveç, 2011	2	Metro	77
San Pedro Tüneli, 2012	1	Ağır Yüklü Tır	150
Carleton Laboratuvarı, 2011	2	Tren ve Metro	32-55

Bu sayısal çalışmada doğal havalandırma 1:100 ölçekli bir yol tünelinde meydana gelen bir yangında duvar kaplamasının etkisi incelenmiştir. Analizlerde tünel modelinin iç yüzeyinde Alüminyum (Al), Nikel (Ni) ve Kalsiyum-silikat (Calc) olmak üzere 3 farklı kaplama malzemesi kullanılmıştır.

2 Materyal ve metod

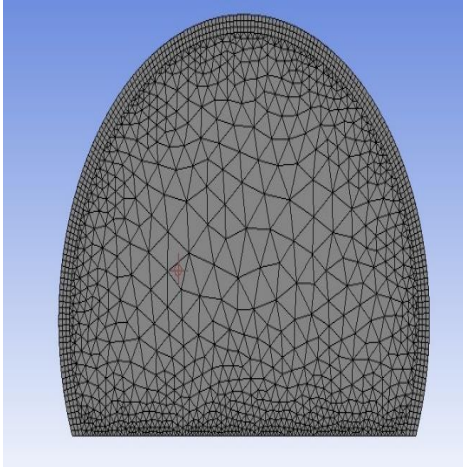
Bu çalışmada 400 m uzunluğa sahip 1:100 ölçekli tünel modellemesi ve analizler ANSYS/FLUENT programı ile yapılmıştır. Yol tünelleri genel yapıları itibarıyla toprak içine gömülü betonarme yapılar olduklarından iki katmanlıdır. Analizlerde modelin iç yüzeyine Alüminyum, Nikel ve Kalsiyum-silikat ile 3. bir tabaka oluşturularak ısı etkileri incelenmiştir. Yangın kaynağı olarak tünel girişinden 200 m mesafede 3m x 2.5m x 4.5m boyutlarında hacimsel bir ısı kaynağı tasarlanmıştır. Yol tüneli modelinin genel görünüşü ve kesit detayı Şekil 1 (a) ve (b)’de sırasıyla gösterilmiştir. Çözüm için oluşturulan tünel çapı 10.6 m, beton duvarın kalınlığı 0.5 m ve toprak tabakanın kalınlığı 100 m olarak belirlenmiştir.



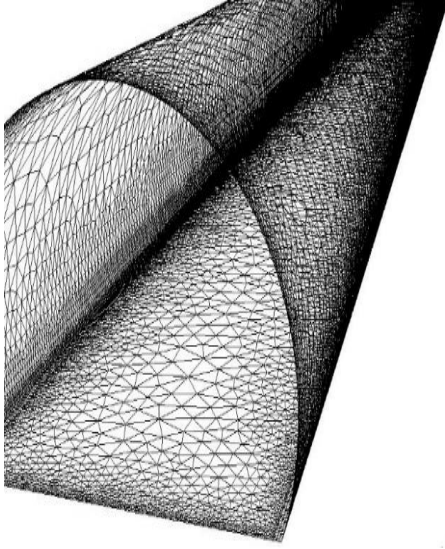
Şekil 1. Tünel modelinin (a) genel görünüşü ve (b) kesit detayı

Şekil 2 (a) ve (b)’de çözüm alanı içerisinde oluşturulan ağ yapısının detayları verilmiştir. Analizlerde oluşturulan ağ ağırlıklı olarak tetrahedral hücrelerden meydana gelmektedir. Elde edilen ağ yapısının çarpıklık oranı 0.61 ve minimum ortogonal kalitesi 0.38 olarak iyi seviyededir. Analizlerin doğruluğunu arttırmak için tünel duvarı olarak modellenen bölgede Inflation metodu kullanılarak 3 tabakalı ve daha kübik yapılar oluşturulmuştur. Duvara yakın bölgede inflation metodunun kullanılması duvar etkilerinin daha iyi analiz edilmesini sağlamaktadır (Udemy [13]). Yol

tüneli modeli için yapılan ağdan bağımsızlık çalışması en kaba, orta ve en ince ızgara olmak üzere sırasıyla 1222490, 2214102 ve 2594011 hücre sayısı ile duvardan geçen ısı miktarına bağlı olarak yapılmıştır. Duvardan geçen ısı miktarı değerleri 241.69 W, 239.53 W ve 239.24 W olarak sırasıyla en kaba, orta ve en ince ızgara için elde edilmiştir. Sonuç olarak analizlerde orta ızgara yapısı olan 2214102 hücre sayısının doğruluk açısından yeterli olduğu belirlenmiş ve Shell conduction metodu kullanılmıştır.



(a)



(b)

Şekil 2. Akış alanı ağ yapısı

Çalışmada ısı kaynağı olarak hacimsel ısı kaynağı yanma modeli kullanılmış ve modelleme bir yol tünel içerisinde yanma sonucunda oluşan gaz çıkışına bağlı sabit ısı akısında yapılmıştır. Isı salınım oranı 50 MW ve gazın çıkış sıcaklığı 950 K olarak seçilmiştir. Tünel tabanı adyabatik, duvar ilk sıcaklığı ve ortam sıcaklığı ise 285.15 K olarak alınmıştır. HRR miktarı ölçek modele göre 3250 W olarak hesaplanmış ve buradan çıkan sıcak havanın kütleli debisi $48.6 \cdot 10^{-4}$ kg/s olarak elde edilmiştir. Vega vd. [3]' nin belirttiği gibi ışınlam etkileri ihmal edilmiş ve ışınlamın ihmaline bağlı olarak HRR miktarı %35 azaltılmıştır.

Tablo 2' de tünel modelinde kullanılan toprak, beton, Kalsiyum-silikat, Nikel ve Alüminyum malzemelere ait ısı özellikler gösterilmektedir.

Tablo 2. Modelde kullanılan malzemelerin ısı özellikleri

Malzeme	Yoğunluk	Özgül	İletim	Isı Yayılma	Isıl Depolama	Isıl
Adı	(kg/m ³)	Isı	Katsayısı	Katsayısı	Kapasitesi	Atalet
		(J/kg K)	(W/mK)	(m ² /s)	(J/Km ²)	(J/m ² Ks ^{1/2})
Beton	2100	880	1.5	8.11×10^{-7}	1.84×10^6	1664.9
Kalsiyum	820	1000	0.16	1.95×10^{-7}	8.20×10^5	362.2
Silikat						
Nikel	8900	460.6	91.74	2.23×10^{-5}	4.01×10^6	19392.6
Toprak	2050	1840	0.52	1.37×10^{-7}	3.77×10^6	1400.5
Alüminyum	2719	871	202.4	8.54×10^{-5}	2.37×10^6	21893.6

Akış alanının çözümü için yapılan analizlerde standart k-ε türbülans modeli geliştirilmiş duvar fonksiyonları ile birlikte kullanılmıştır. Ayrıca analizlerde SIMPLE çözüm yaklaşımı kullanılmış ve denklemler ikinci dereceden ayrıklaştırma yöntemi ile çözülmüştür. Basınç tabanlı yapılan analizlerde yer çekimi etkisi de dâhil edilerek, zamana bağlı, geçici rejim ile çözümler yapılmıştır. Denklem (1), (2) ve (3)' de sırasıyla süreklilik, momentum ve enerji denklemleri verilmiştir.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial r}(\rho u_r) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial \theta}(\rho u_\theta) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho u_z) = 0 \quad (1)$$

$$\left(\frac{\partial u_r}{\partial t} + u_r \frac{\partial u_r}{\partial r} + \frac{u_\theta}{r} \frac{\partial u_r}{\partial \theta} + \frac{u_\theta}{r \sin \theta} \frac{\partial u_r}{\partial \phi} - \frac{u_\theta^2 + u_\phi^2}{r} \right) = -\frac{\partial p}{\partial r} + \rho g_r \quad (2)$$

$$+ \mu \left(\nabla^2 u_r - \frac{2u_r}{r^2} - \frac{2}{r^2} \frac{\partial u_\theta}{\partial \theta} - \frac{2}{r^2} u_\theta \cot \theta - \frac{2}{r^2 \sin \theta} \frac{\partial u_\phi}{\partial \phi} \right)$$

$$\rho C_p \left(\frac{\partial T}{\partial t} + u_r \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{u_\theta}{r} \frac{\partial T}{\partial \theta} + u_z \frac{\partial T}{\partial z} \right) = \quad (3)$$

$$k \left(\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 T}{\partial \theta^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) + \mu \phi$$

Burada ϕ yayılımı enerjisini ifade etmektedir. Standart k-ε türbülans modelinde k türbülans kinetik enerjisi ifade ederken, ε yayılımını ifade etmektedir. k ve ε transport denklemleri sırasıyla Denklem (4) ve (5)' te verilmiştir.

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \rho \frac{\partial}{\partial x_i}(ku_i) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + P_k + P_b - \rho \epsilon - Y_M + S_k \quad (4)$$

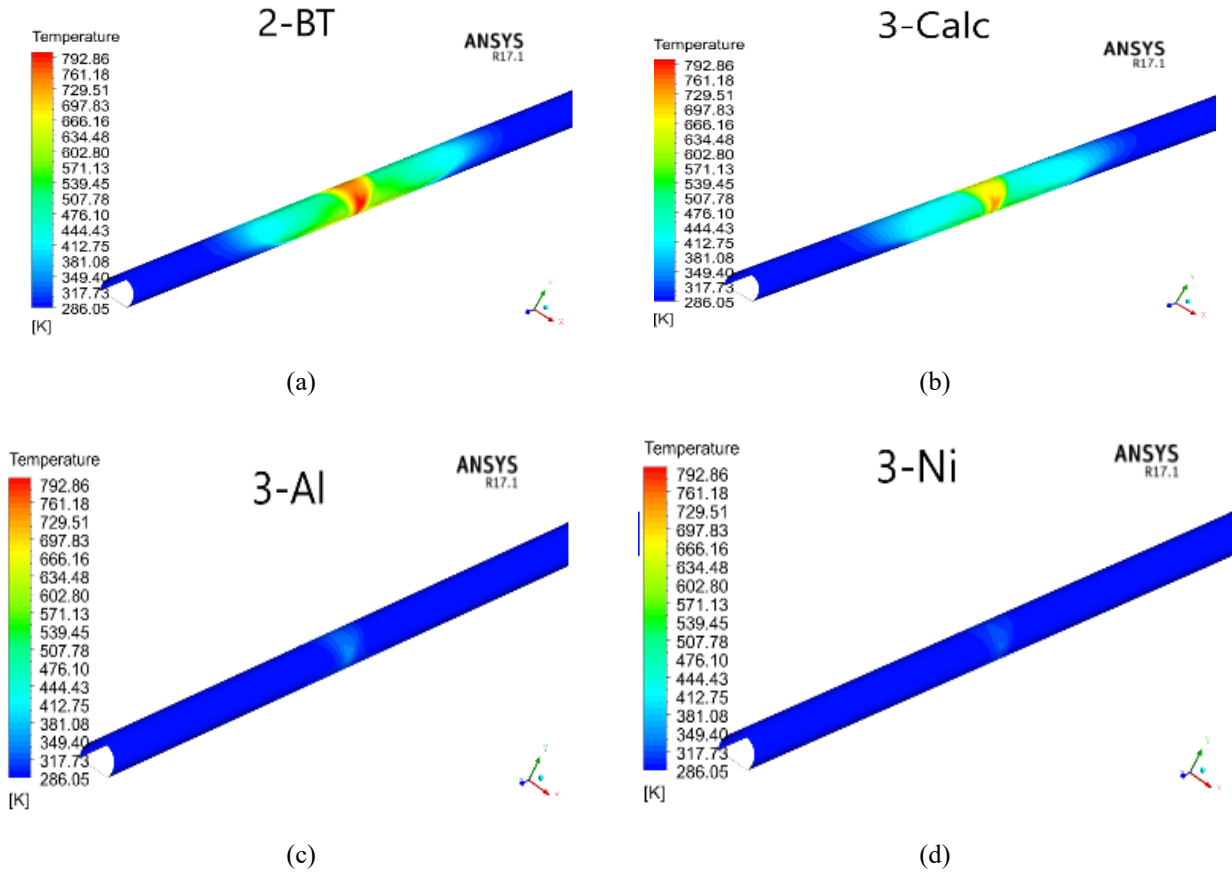
$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \epsilon) + \rho \frac{\partial}{\partial x_i}(\epsilon u_i) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} \right] + \rho C_{1\epsilon} \frac{\epsilon^2}{k + \sqrt{\nu \epsilon}} + C_{1\epsilon} \frac{\epsilon^2}{k} C_{3\epsilon} P_b + S_\epsilon \quad (5)$$

Burada kaldırma kuvveti ve hız gradyanlarından kaynaklanan türbülans kinetik enerjiler sırasıyla P_b ve P_k ile tanımlanırken, Y_M türbülansın tüm yayılma hızına oranını ifade etmektedir. Ayrıca $C_1 = \max \left[0, 43, \frac{\eta}{\eta+5} \right]$, $\eta = S \frac{k}{\epsilon}$, $S = \sqrt{2S_{ij}S_{ij}}$ ve $S_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_j}{\partial x_i} + \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right)$ ile tanımlanır ve $C_{1\epsilon}$, $C_{2\epsilon}$, σ_k ve σ_ϵ değerleri sırasıyla 1.44, 1.9, 1.0 ve 1.2'dir.

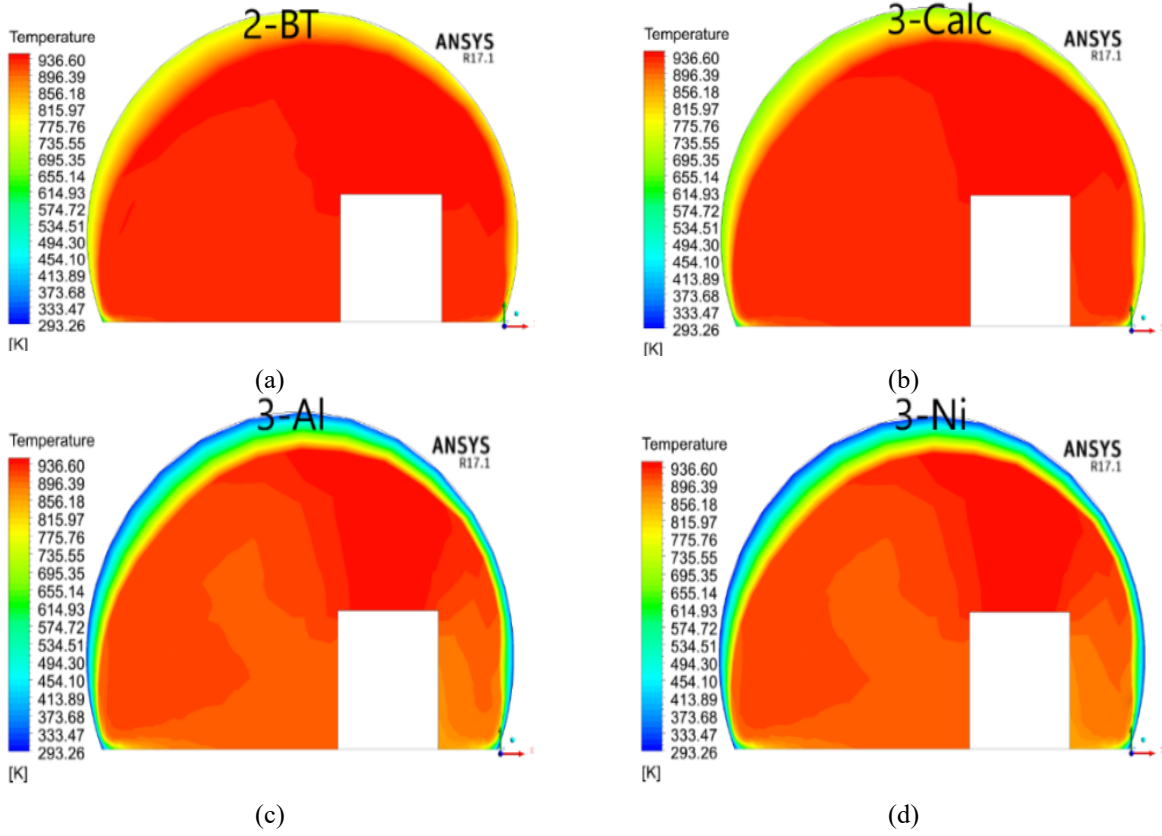
3 Bulgular ve tartışma

Bu bölümde iki tabakalı beton-toprak model ile üç tabakalı yapılara sahip tünel modellerinin iç yüzeylerindeki sıcaklık dağılımları incelenmiş ve üçüncü katman olarak

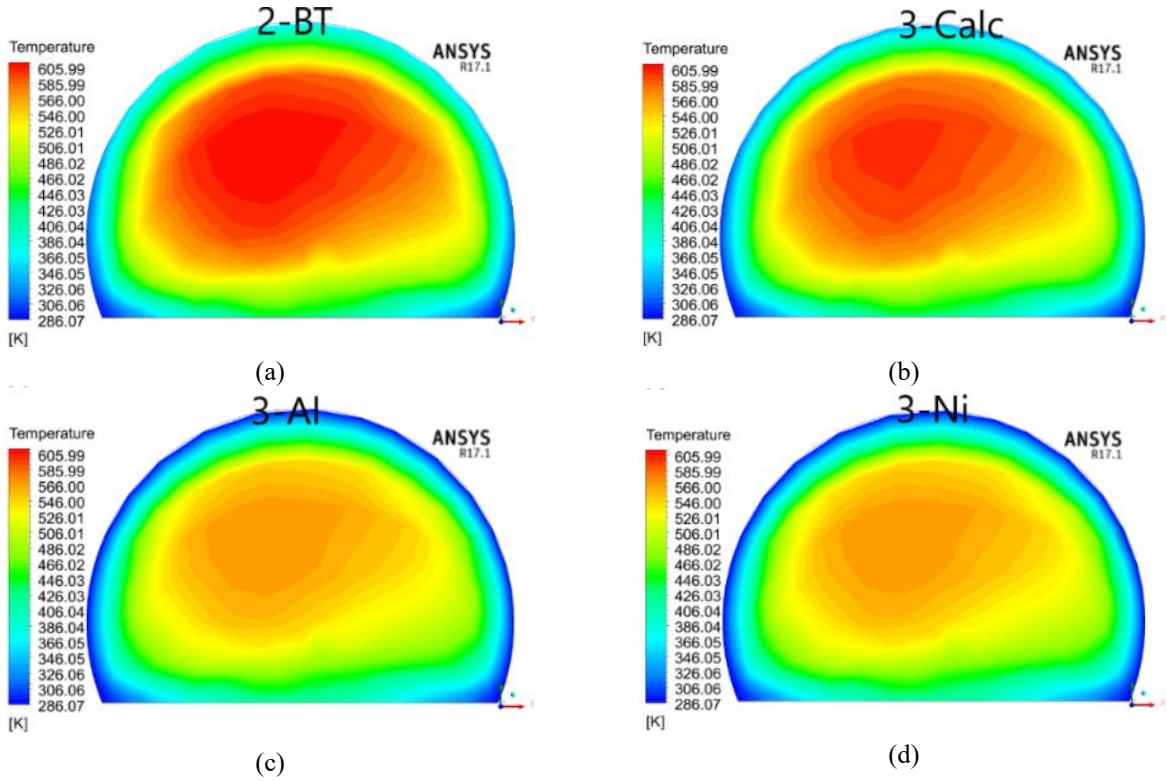
kullanılan malzemelere ait ısıl özelliklerin etkileri ortaya konmuştur. Analizler zamana bağlı olarak 300 s için yapılmıştır. Şekil 3 (a-d)' de tünel duvarının iç yüzeyindeki sıcaklık dağılımları sırasıyla iki katmanlı ve üçüncü katman olarak Kalsiyum-silikat, Alüminyum ve Nikel uygulanan model için gösterilmiştir. İki ve üç katmanlı tüm tünel modellerinde, maksimum sıcaklıklar tünel duvarının yangın kaynağına en yakın iç yüzeylerinde oluşmuştur. Bu en yüksek sıcaklık değeri iki tabakalı modelde 806 K olarak elde edilirken, Kalsiyum-silikat, Alüminyum ve Nikel kaplı üç katmanlı modellerde sırasıyla 747 K, 341 K ve 320 K olarak tespit edilmiştir. Yangın kaynağından uzaklaştıkça yüzey sıcaklıkları düşmüştür. Al. ve Ni. duvar kaplaması kullanılan modellerde tünelin iç yüzeyinden daha fazla ısı transferi olduğundan, ortam sıcaklığı ve yüzey sıcaklığı düşmüştür. Ni. ile Al. malzemelerin ısı iletim katsayısı farklı olmasına rağmen analizlerde çok yakın sonuçlar elde edilmiş, bu iki malzemenin ısıl atalet değerlerinin çok yakın olması ile açıklanabilir. Ayrıca beton-toprak tabakanın ısıl depolama kapasitesi yüksek olduğundan ısıyı ortama hapsettiği tespit edilmiştir. Bu sonuçlar Saito ve Yamauchi [1]' nin çalışmalarında elde ettikleri sonuçlarla benzerlik göstermektedir.



Şekil 3. Tünel duvarının iç yüzeyindeki sıcaklık dağılımları: (a) iki katmanlı, (b) Kalsiyum-silikat, (c) Alüminyum ve (d) Nikel kaplı model



Şekil 4. Tünelin 2. metresinde x-y düzleminin sıcaklık dağılımları (a) iki katmanlı, (b) Kalsiyum-silikat, (c) Alüminyum ve (d) Nikel kaplı model

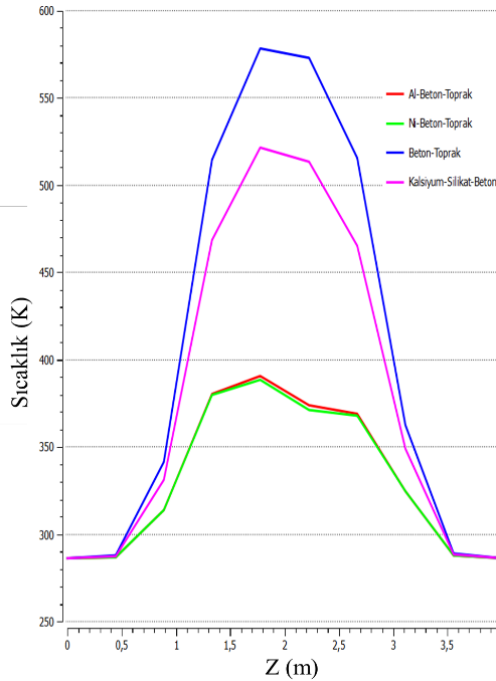


Şekil 5. Tünelin 3. metresinde x-y düzleminin sıcaklık dağılımları (a) iki katmanlı, (b) Calc., (c) Al. ve (d) Ni. kaplı model

Şekil 4 (a-d)' de tünelin yangın kaynağının bulunduğu 2. metresinde x-y düzleminin sıcaklık dağılımları sırasıyla iki katmanlı ve duvar kaplaması olarak Calc., Al. ve Ni. uygulanan modeller için gösterilmiştir. Tüm modellerde yangın kaynağından uzaklaştıkça sıcaklıkların azaldığı, Alüminyum ve Nikel kaplı üç tabakalı modellerde ise sıcaklık değişiminin daha büyük olduğu tespit edilmiştir. Tavandaki sıcaklık Al ve Ni kaplı üç katmanlı modellerde ısı iletimi etkisiyle daha düşüktür. Bu duvar kaplamalarına sahip tünel tavanındaki sıcaklıklar 900 K'den 420 K'e hızlı bir düşüş gösterirken, iki tabakalı modelde sıcaklığın 780 K'e düştüğü gözlemlenmiştir. Ayrıca Kalsiyum-silikat kaplı üç tabakalı tünelin iç sıcaklığı iki tabakalı tünelle benzer şekilde 740 K'e düşmüştür. Kalsiyum-silikat malzemenin ısı iletim katsayısı düşük olduğundan ısıyı iç ortama hapsedmiştir.

Şekil 5 (a-d)' de tünelin 3. metresinde x-y düzleminin sıcaklık dağılımları sırasıyla iki katmanlı ve üçüncü katman olarak Kalsiyum-silikat, Alüminyum ve Nikel uygulanan modeller için gösterilmiştir. İki tabakalı ve Kalsiyum-silikat kaplı üç katmanlı modelde tünel iç sıcaklığı 600 K civarında sabit kalırken, Nikel ve Alüminyum kullanılan üç tabakalı modelde daha düşük olduğu görülmüştür.

İki tabakalı ve Kalsiyum-silikat kaplı üç tabakalı modelde ısının içerde hapsedildiği ve iç sıcaklığın daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bu iki modelde elde edilen iç bölge sıcaklıkları tünelin 2. metresindeki sıcaklıklardan daha düşüktür.



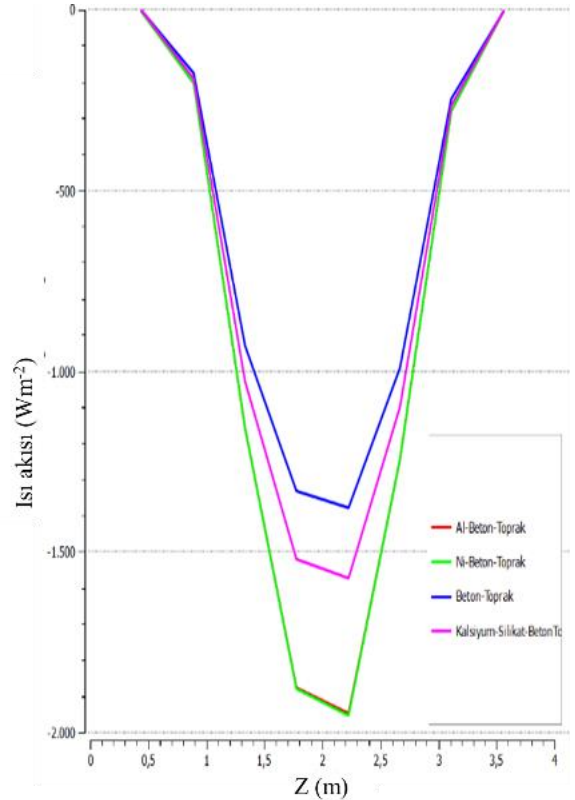
Şekil 6. Tüm modeller için tünel tavanının altında z ekseninde sıcaklık değişimi

Yol tüneli tavanının hemen altındaki sıcaklığın tünel uzunluğu boyunca değişimi Şekil 6' da verilmiştir. Tünel tavanındaki en yüksek sıcaklık Alüminyum ve Nikel kaplı

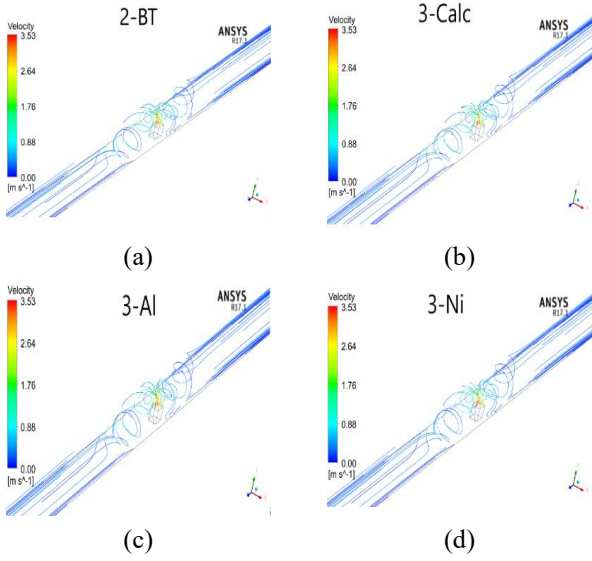
modellerde 390 K olarak elde edilirken, Kalsiyum-silikat kaplı tünelde bu değer 520 K olarak tespit edilmiştir. Kalsiyum-silikat kaplı modelde elde edilen bu değer Tomar vd. [4] çalışmalarında elde ettikleri sonuçlarla benzerlik göstermektedir. Modeller içinde en yüksek sıcaklık değerlerinin izlendiği herhangi bir kaplamanın olmadığı beton-toprak modelde ise aynı noktadaki tavan sıcaklığının 600 K'e yaklaştığı görülmüştür.

Şekil 7' de iki katmanlı ve üçüncü katman olarak Calc., Al. ve Ni. uygulanan modeller için tünel tavanının hemen altındaki ısı akısının tünel uzunluğu boyunca değişimi verilmiştir. Isı akısının tünel girişinde tüm modeller için çok yakın değerler aldığı, yangın kaynağına yakın bölgelerde artarak değiştiği ve yangın kaynağından uzaklaştıkça yine her modelde benzer değerler aldığı görülmüştür. Yol tünelinin tavanı altındaki ısı akısının en yüksek değeri daha yüksek ısı iletim katsayısına sahip olan Alüminyum ve Nikel tabakalarda 1950 W/m² olarak elde edilmiştir. Beton-toprak tünelde, bu iki modele oranla % 26 daha düşük ısı akısı belirlenirken, Kalsiyum-silikat kaplı tünelde ise % 15 daha düşük ısı akısı ortaya çıkmıştır.

Şekil 8 (a-d)' de iki katmanlı Calc., Al. ve Ni. kaplı yol tüneli modellerinde tünel içerisindeki sıcak gazın hız dağılımları sırasıyla verilmiştir. Her model için hız değişimlerinin benzer olduğu tespit edilmiştir. Yangın kaynağına yakın bölgelerde vorteksler oluştururken, tünel portallarına yakın bölgelerde daha düzgün bir akış görülmüştür.



Şekil 7. Tüm modeller için tünel tavanının altında z ekseninde ısı akısı değişimi



Şekil 8. Tünel içindeki sıcak gazın hız değişimi: (a) iki katmanlı, (b) Calc., (c) Al. ve (d) Ni. kaplı model

4 Sonuçlar

Bu çalışmada toprak-beton olmak üzere iki tabakadan oluşan 1:100 ölçeğinde yol tüneli modeline, üçüncü bir katman olarak Alüminyum, Nikel ve Kalsiyum-silikat tabakaları uygulanarak ısı etkiler sayısal olarak incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar şu şekilde özetlenebilir;

- Yol tüneli yangınlarında tünel içi ve yüzeylerindeki sıcaklık dağılımının toprak-beton tünelin üzerine eklenecek üçüncü bir kaplama malzemesinden etkilendiği görülmüştür.
- Sıcaklık dağılımı üzerinde en etkin parametrenin ısı atalet olduğu, bununla birlikte kaplama malzemesinin ısı iletim katsayısı ve ısı depolama kapasitesinin de önemli olduğu tespit edilmiştir.
- Üçüncü katman olarak Al. ve Ni. tabaka kullanılan modellerde ısı transferi iki katmanlı modele göre daha fazla iken, Kalsiyum-silikat tabakası kullanılan modelde farkın çok az olduğu tespit edilmiştir.
- Ni ve Al kaplı tünel modellerinde yapılan analizlerde yakın sonuçlar elde edilirken, Kalsiyum-silikat kaplı modelin iki katmanlı modelle benzer sonuçlar verdiği görülmüştür.
- Tünel iç yüzeyindeki en düşük ve en yüksek sıcaklık değerleri 351 K ve 806 K olarak sırasıyla Ni. kaplı üç tabakalı ve beton-toprak iki tabakalı modelde görülmüştür.

Çıkar çatışması

Yazarlar çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

Benzerlik oranı (iThenticate): % 12

Kaynaklar

- [1] S. Saito and Y. Yamauchi, Numerical study of the influence of tunnel wall properties on ceiling jet. Tunnelling and Underground Space Technology incorporating Trenchless Technology Research, 110,

103811. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.tust.2021.104087>.
- [2] T. Xu, D. Zhao, H. Tao and P. Lei, Extended CFD models for numerical simulation of tunnel fire under natural ventilation: Comparative analysis and experimental verification. Case Studies in Thermal Engineering, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2022.101815>.
- [3] M.G. Vega, M.A. Diaz, J. M. Oro, R.B. Tajadura and C. S. Morros, Numerical 3D simulation of a longitudinal ventilation system: Numerical 3D simulation of a longitudinal ventilation system: Tunnelling and Underground Space Technology, 23, 539-551, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.tust.2007.10.001>.
- [4] M.S. Tomar, S. Khurana and S. Chowdhury, A numerical method for studying the effect of calcium silicate lining on road tunnel fires. Thermal Science and Engineering Progress, 43, 2022. [doi:10.1016/j.tsep.2022.101245](https://doi.org/10.1016/j.tsep.2022.101245).
- [5] Y. Gao, G. Zhu, S. Gu and H. Zhu, Experimental investigation on longitudinal and transverse temperature distribution in a horseshoe shaped tunnel fire. Advances in Structural Engineering, 2089-2096, 2019. <https://doi.org/10.1177/1369433219831485>.
- [6] F. Wang and M. Wang, A computational study on effects of fire location on smoke movement in a road tunnel. Tunnelling and Underground Space Technology, 51, 405-413, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.tust.2015.09.008>.
- [7] J. Modic, Fire simulation in road tunnels. Tunnelling and Underground Space Technology, 18, 2003. [https://doi.org/10.1016/S0886-7798\(03\)00069-5](https://doi.org/10.1016/S0886-7798(03)00069-5).
- [8] T. Wei, W. Zhao and R. Zong, Analytical study of wall factor on the ceiling temperature distribution in the far field for tunnel fires. Journal of Wind Engineering & Industrial Aerodynamics, 171, 196-201, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.jweia.2017.09.018>.
- [9] C. Caliendo and G. Genovese and I. Russo, Risk analysis of Road Tunnels: A computational fluid dynamic model for assessing the effects of natural ventilation. Appl. Science 11, 32, 2021. <https://doi.org/10.3390/app11010032>.
- [10] A. Hearter, Fire Tests in the Ofenegg-Tunnel in 1965. Proceedings of the International Conference on Fires in Tunnels, Sweden National Testing and Research Institute, 195-214, 1994.
- [11] A. Haack, Introduction to The EUREKA EU 499 Firetune project. Proceedings of the International Conference on Fire in Tunnels, Sweden National Testing and Research Institute, 3-19, 1994.
- [12] H. Ingason, Fire Testing in Road and Railway Tunnels. Flammability testing of materials used in construction, transport and mining, 231-274, Woodhead Publishing, 2006. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102801-8.00011-9>.
- [13] Udey, ANSYS Fluent - CFD Analiz Mühendisi Yetiştirme Eğitimi, 2021.

