



**Bu bir MMO
yayıdır**

MMO bu yayındaki ifadelerden, fikirlerden, toplantıda çıkan sonuçlardan, teknik bilgi ve basım hatalarından sorumlu değildir.

ACİL DURUM TÜNEL HAVALANDIRMASINDA BÖLGESEL FAKTÖRLERİN SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ

EFE ÜNAL
AIRONN HAVALANDIRMA

ACİL DURUM TÜNEL HAVALANDIRMASINDA BÖLGESEL FAKTÖRLERİN SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ

Efe ÜNAL

ÖZET

Türkiye'nin yüz ölçümünün yaklaşık yarısı yükseltisi 1000 metreyi aşan yüksek alanlardan oluşmaktadır. Özellikle Karadeniz Bölgesi'nde dağların kıyıya paralel uzanması sebebiyle iç ve kıyı bölgeler arasındaki bağlantı kış aylarında hava şartları sebebiyle oldukça zorlaşmaktadır. Kırsal bölgelerdeki ekonomiyi geliştirmek için uzun tüneller yapılmakta ve yapılması planlanmaktadır. Bu gelişmeler ile birlikte, günlük ve acil durum (yangın) tünel havalandırma yönetimi konuları önem kazanmaktadır. Tünel havalandırmasında kullanılacak jet fanlar seçilirken tünelin uzunluğu, tünel şerit sayısı, tünel de oluşacak trafik yoğunluğu, tünelin inşa edileceği bölge hava şartları gibi birçok parametre göz önünde bulundurulur. Bu çalışmada, tünelin inşa edileceği bölgedeki hava koşullarının yangın durumunda tünel havalandırmasına etkisi sayısal olarak incelenmiştir. Bu amaçla, günlük ve acil durum (yangın) havalandırma hesapları yapılmış tünel içerisinde farklı dış hava koşulları için 200 MW'lık bir yangının, 3 boyutlu zamana bağlı sayısal simülasyonları yapılmıştır. Navier Stokes denklemleri gelişmiş ve uluslararası kabul gören sayısal model algoritmaları kullanılarak çözülmüştür. Yapılan analiz sonuçları karşılaştırılmış ve dış hava koşullarında meydana gelen hava hızı değişikliklerinin tünel içerisindeki yangın dumanının tahliyesine etkisi gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Tünel Havalandırma, Tünel Yangını, Jet Fan, HAD.

ABSTRACT

Nearly the half of Turkey consists of high fields which reach more than 1000 meters. Especially, in Black Sea region in which mountains lie parallel to the shore, the access between inner and shore areas becomes difficult in the winter time because of the weather condition. Long high way tunnels have been constructing in order to improve the economy in rural areas. With those improvements, the management of daily and emergency tunnel ventilation has become crucial. The length of tunnel, number of lanes in the tunnel, traffic density and the region's weather condition are some of the parameters that need to be considered carefully while jet fans that are used for tunnel ventilation are chosen. In the present study, the effect of region's weather condition on the tunnel ventilation in case of fire was investigated numerically. For this purpose, daily and emergency (fire) tunnel ventilation calculations and the numerical simulations depends on 3 dimensional time were performed for the fire that has 200 MW energy for various weather conditions. Navier Stokes and Reynold equations were solved by using advanced and internationally accepted numerical model algorithms. The results of the analysis were compared and the effects of the speed changes of the wind to the evacuation of the smoke in the tunnel were stated.

Key Words: Tunnel Ventilation, Tunnel Fire, Jet Fan, CFD

1. GİRİŞ

Açık karayollarında kaza olma olasılığı karayolları tünellerinde olma olasılığından çok daha fazladır. Fakat karayolları tünellerinde kaza olması durumunda oluşacak yangında veya oluşacak zehirli gazların etkisi açık karayollarından çok daha fazladır. Bunun sebebi ısının ve oluşan dumanın tünel içerisinde hapsolmesidir. Tüneller içerisinde bu oluşan ısıyı ve dumanı tahliye etmek için 3 çeşit mekanik havalandırma sistemi bulunmaktadır. Bunlar boylamasına, enine ve yarı eninedir [1]. Boylamasına mekanik havalandırma sistemleriyle kirli havayı tünel çıkış portalından dışarı atılırken, taze havada giriş portalından tünel içerisine alınır. Bu tünel tavanına yerleştirilen jet fanların itki gücüyle sağlanır.

Tünel içerisindeki yangının etkisi yangının tünel içerisindeki pozisyonuna bağlıdır. Tünel girişine yakın bir yerde oluşacak bir kaza da çıkan yangının tahliyesi çıkışa yakın bir yerde çıkan yangından daha zordur. Buna ek olarak tünel geometrisi de yangının oluşturacağı sonuçları etkileyen faktörler arasındadır. Uzun tünellerde çıkan yangınlar daha tehlikeli olmaktadır. Tünel geometrisinin kavisli olması da olumsuz etkiler arasında yer almaktadır. Tünel havalandırma hesapları yapılırken tünel içerisinde belli bir oranda araçla dolu olduğu ön görülmektedir. Buda demek oluyor ki, yangın durumundaki tünel içerisindeki araç yoğunluğu yangın tehlikesini etkilemektedir. Bu araçlar hava akışına karşı bir güç oluşturacakları için duman tahliyesini zorlaştıracaklardır.

Doğal hava şartları da tünel hesaplamalarında önemli bir yer tutmaktadır. Havanın sıcaklığı ve nemi jet fan itki güçlerini etkileyecektir. Ayrıca araç akış yönünün aksine oluşacak rüzgâr, yangın anında dumanın tünel içerisinde tahliyesini zorlaştıran etkilerden biri olacaktır.

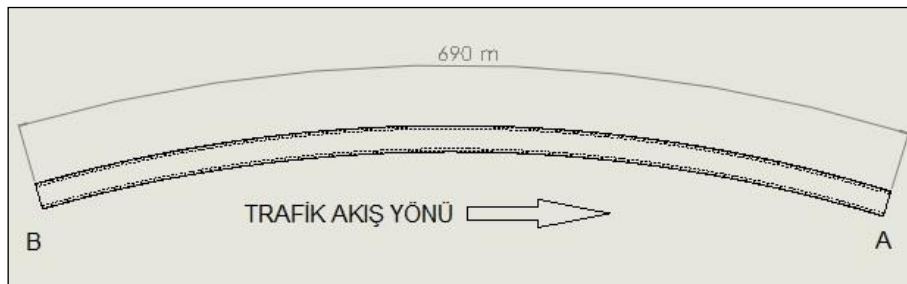
Bu çalışmanın amacı tünel içerisinde yangın anında oluşacak ısının ve dumanın tahliyesinde karşı rüzgâr etkisinin incelenmesidir. Bu konudaki çalışma motivasyonumuz şöyledir. Tünel havalandırma hesapları yapılırken, bölgedeki rüzgâr değerlerinin bugüne kadar ki ortalama değerleri hesaba katılmaktadır. Kabul edilmelidir ki, rüzgâr kontrol edilemez. Bu sebeple hesaplanan aksine bir durumla karşılaşıldığında nasıl bir senaryo ortaya çıktığı incelenmek istenmiştir.

Hesaplanan ve hesaplanandan daha fazla bir ters rüzgâr etkisinin olması durumları için HAD analizleri yapılmıştır. Analizler sonucunda tünel içerisindeki görüş mesafesi, zehirli gaz konsantrasyonu ve 3 boyutlu duman dağılımı değerleri karşılaştırılmıştır.

2. TÜNEL ÖZELLİKLERİ

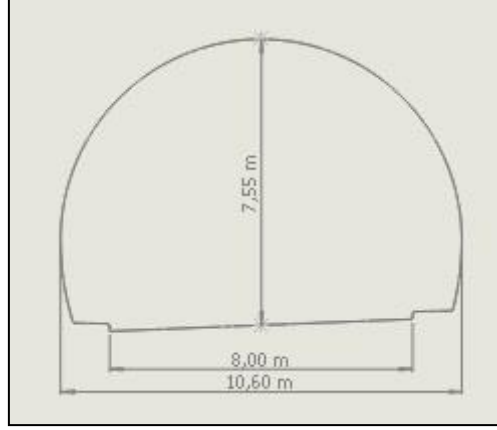
2.1. Tünel Geometrisi

İncelenen tünel İstanbul'da Beykoz ile Kavacık ilçelerini birbirine bağlayan tek yönlü bir şehir içi tüneldir. Tünel geometrisi Şekil 1 de gösterildiği gibi kavisli olup A ve B portalları arasında mesafe 690 m dir. Dikey olarak incelendiğinde B ile A portalları arasında düzenli olarak %-1,5 eğim bulunmaktadır.



Şekil 1. Tünel Plan görünümü ve ölçüsü

Tünel Şekil 2 gösterildiği gibi bir kesite sahiptir. Tünel yüksekliği 7,55 m iken genişliği 10,6 m dir. Tünel 4 m lik 2 şeritten oluşmakta ve bu 2 şeritte aynı yönde ulaşım hizmet etmektedir. Tünelin her iki tarafında da yaklaşık birer metrelik yürüyüş yolu bulunmaktadır. Acil durumda insanların kaçışı için yan tüpe geçişler bulunmaktadır fakat bu geçişler yangın kapıları ve duvar ile tünel geometrisi bozulmayacak şekilde inşa edilmiştir.



Şekil 2. Tünel Kesit görünüşü ve ölçüleri

2.2. Trafik Değerleri

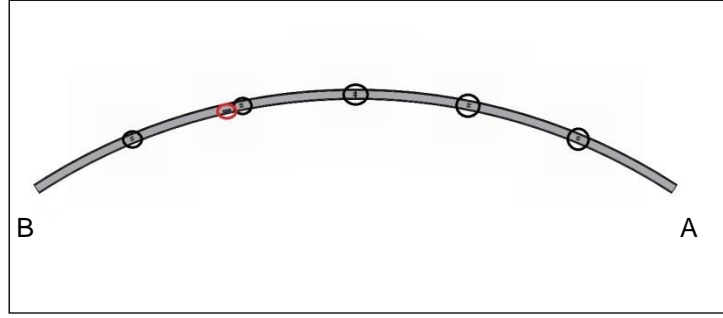
Tünel içerisinde tünel birim uzunluğundaki araç sayısı 0.262 olarak kabul edilmiştir. Tünel içerisindeki ağır taşıt/hafif taşıt oranı 0.3 olarak ele alınmıştır. Yasal olarak tünel içerisindeki hız sınırı 60 km /h olarak belirlenmiş ve bu sebep ile daha yüksek hızlar cezalarla azaltılmaya çalışılmıştır.

2.3. Havalandırma Sistemi

Tünel havalandırmasının boylamasına havalandırma sistemi kullanılarak yapılmasına karar verilmiştir. Havalandırma sistemi için 5 çift aksiyal jet fan tünel tavanına yerleştirilmiştir. İlk aksiyal jet fan çifti tünel girişi olan B portalından 110 m mesafeye yerleştirilmiştir. Diğer aksiyal jet fan çiftleri ise 120 m ara ile tünel boyunca yerleştirilmiştir. Aksiyal jet fanların yerleri Şekil 3 de siyah çemberlerle gösterilmiştir. Bu ölçü belirlenirken aksiyal jet fanların birbirlerinin akışlarını etkilememesine dikkat edilmiştir. Her bir jet fanın maksimum çıkış hızı 32,5 m/s ve debisi ise 39,7 m³/s dir. Operatörlerin yangının hemen fark ettiğini ve jet fanlarını bununla beraber tam kapasite çalıştırdığını ön görülmüştür.

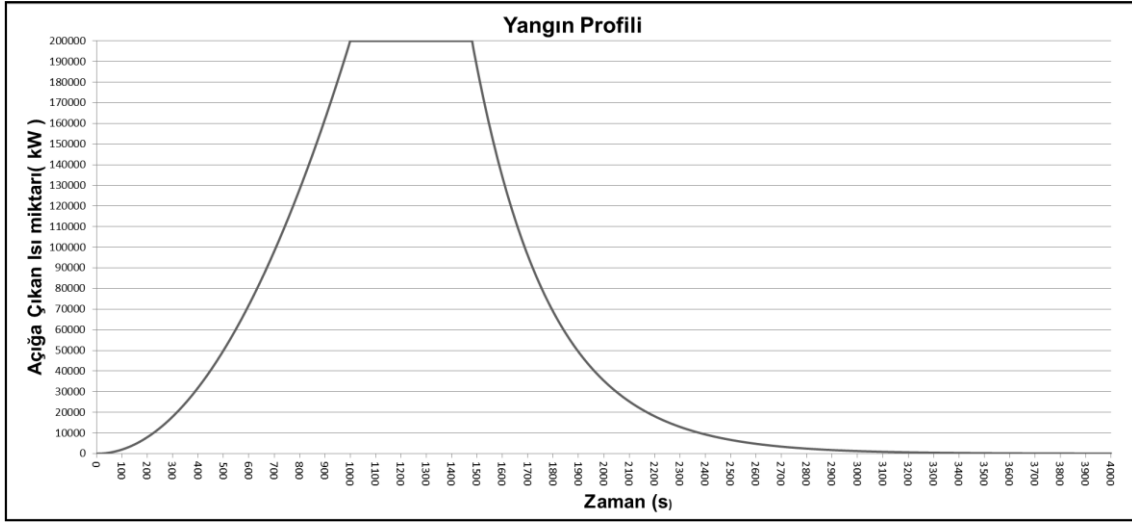
2.4. Yangın Senaryosu

HAD simülasyonu tünel içerisinde oluşacak değişik yangın senaryoları için yapılabilir. Örneğin tünel içerisinde geçen araba, otobüs, petrol tankeri gibi araçların tünel içerisindeki değişik pozisyonları için yanma senaryoları oluşturulabilir. Bu yapılan çalışmada tünel içerisinde geçen petrol tankerinin tünel girişi B portalından 210 m mesafede sağ şeritte Şekil 3 de kırmızı çember ile gösterildiği yerde yandığı düşünülmüştür.



Şekil 3. Tünel içerisinde aksiyal jet fan yerleşimi ve yangın noktası

Petrol tankeri HAD analizinde ölçüleri 8 x 3 x 2,4 m (UxYxG) olan dikdörtgenler prizması olarak alınmıştır. Petrol tankeri yanarken ortaya çıkan maksimum ısının 200 MW olduğu düşünülmüştür. Yangın profili Şekil 4 te gösterildiği gibidir. 0. Saniye tutuşmanın başladığı, 1000. s ye kadar büyüme evresinin gerçekleştiği, 1000 ile 1480 s arasında tam gelişmiş yangının devam ettiği ve daha sonra yangının sönmeye evresine girdiği ön görülmüştür. Yangının büyüme evresi t^2 kanununa göre hesaplanmıştır.



Şekil 4. Yangın Profili

3. HAD MODELİ

3.1. Türbülans Modeli Ve Zaman Adımı

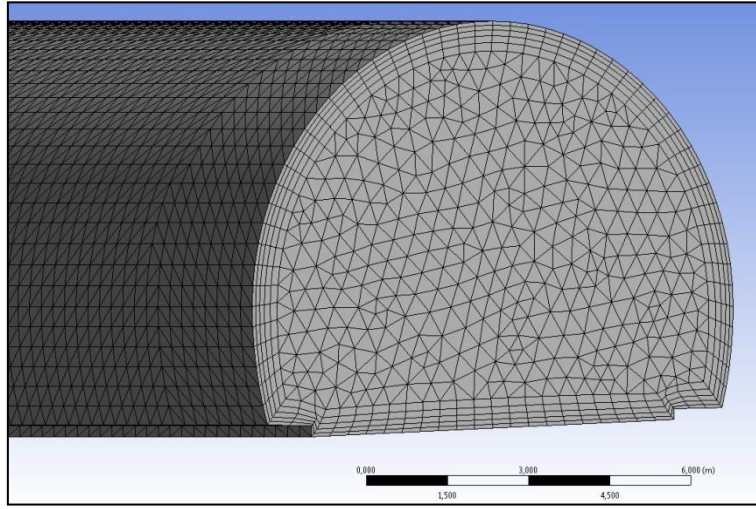
Yangın anında tünel içerisindeki türbülanslı akış, sayısal olarak RANS, LES veya DNS türbülans modelleri kullanılarak çözülebilir. Fakat DNS ve LES türbülans modellerinin doğru sonuç verebilmeleri için sayısal ayrıklaştırmanın yüksek Reynolds sayılarında tünel içerisinde oluşacak küçük türbülansları çözebilecek kadar küçük olmalıdır. Günümüz teknolojisinde bu tarz çözümler yüksek bilgisayar teknolojilerine ihtiyaç duymaktadır. Bu sebeple, RANS bu tarz mühendislik yaklaşımlarında, akış hakkında bilgiler edinmek amacıyla kullanılması uygundur.

Bu çalışmadaki simülasyonlar ANSYS CFX yazılımında yürütülmüştür [2]. Simülasyonlar için bir RANS türbülans modeli olan k-w SST(Shear Stress Theorem) seçilmiştir. Çünkü bu türbülans modeli laminar-geçiş-türbülanslı bölgeler için en hassas öngörüü oluşturmaktadır. Analizler zamana bağlı

olarak çözülmüştür. Analizler için zaman adımı olarak 1 s seçilmiştir. Zamana bağlı analizler tünel içerisinde duman-temiz hava oranı 0 oluncaya kadar yürütülmüştür.

3.2. Mesh

Yürütülen yangın analizi senaryolarında, tetrahedral elemanlardan oluşan yapısal olmayan (unstructured) ve düzensiz bir mesh kullanılmıştır. Mesh yangın noktasında ve fan bölgelerinde iyileştirilmiştir. Fanlara 5 cm/kenarlık, yanan petrol tankerinde ise yapısal ve düzenli mesh atılmıştır. Yangın bölgesinde 15 m lik yarı çapa ise 20 cm/kenarlık eleman büyüklüğü olan meshler tercih edilmiştir. Tünel girişi B portalındaki mesh Şekil 5 te gösterilmiştir. Şekil 5 te görüldüğü gibi tünel boyunca tünel duvarından sınır tabakasına yapısal mesh uygulanmıştır. Tünel için toplamda 5.147.504 eleman kullanılmıştır. Mesh yapısı meshten bağımsız (grid independency) sonuç elde edebilmek için test edilmiştir. Analiz sonuçları $y+$ değerinin 3,5 den küçük olduğunu göstermektedir.



Şekil 5. Tünel girişi B portalındaki mesh

3.3. Simülasyonlar Varsayımlar

Tünel girişi ve çıkışı olan B ve A portalları için açıklık sınır şartı kullanılmıştır. Hava koşullardan doğan etkiyi görmek amacıyla çıkış portalı A'ya 4 m/s ve 10 m/s rüzgâr etkisini karşılayacak basınç değerleri tanımlanacak 2 analiz oluşturulmuştur. Bu basınç değerleri aşağıdaki denklemden elde edilmiştir.

$$\Delta P = \rho V^2 / 2 \text{ (Pa)} \quad (1)$$

ΔP	Gösterge Basıncı	(Pa)
ρ	Havanın yoğunluğu	(kg/m ³)
V	Hava Hızı	(m/s)

Elde edilen değer analiz programında açıklık sınır şartının içerisine tanımlanmıştır. Başlangıç değeri olarak tünel içerisindeki hız değeri 0'a, sıcaklık değeri ise 25 °C ye ayarlanmıştır. Duvar pürüzlülük kat sayısı olarak 0,03 m olarak girilmiştir. Duvarlar adiyabatik olarak tanımlanmıştır. Analizde jet fanlar tedarikçilerin sağlamış olduğu itki güçlerinden birim hacimdeki itki gücü hesaplanarak birer momentum kaynağı olarak tanımlanmıştır. Bu birim hacimdeki itki gücü değerleri jet fan atış yönlerine göre kartezyan koordinat sisteminde hesaplanarak paylaştırılmıştır. Literatürdeki tünel HAD analizleri incelendiğinde yakınsama değeri olarak 10^{-3} - 10^{-4} arasında bir değer alındığı görülmüştür. [3,4] Yapılan analizde bu değer 10^{-3} olarak alınmıştır.

3.4. Modellemeler

Tünel içerisindeki yangını simüle etmek amacıyla senaryo gereği yangının gerçekleştiği yerde kimyasal reaksiyon içermeyen ısı kaynağı oluşturulmuştur. Bahsedilen ısı kaynağı Şekil 4 de gösterilen zamana bağlı ısı yayılımı grafiğindeki değerleri sağlayacak şekilde analiz programının dilinde tanımlanmıştır. Duman oluşumu kütle kaynağı olarak aynı subdomain da tanımlanmıştır. Duman oluşum verimi analiz programında 0,05 kg/kg olarak tanımlanmıştır. Buna ek olarak dumanın kinematik yayılma değeri 0,00001 m²/s olarak alınmıştır.

Analiz sonucu olarak sunulan görüş mesafesi değerleri hesaplanırken aşağıda gösterilen denklemlerden yararlanılmıştır.

$$K=K_m \times m \quad (1/m) \quad (2)$$

K	Sönme katsayısı	(1/m)
K _m	Birim kütledeki sönme katsayısı	(m ² /kg)
m	Duman kütle konsantrasyonu	(kg/m ³)

Birim kütledeki sönme katsayısı alevlenmiş yangın için 0,0076 m²/kg olarak alınmıştır.[5] Hesaplanan Sönme katsayısını kullanarak görüş mesafesini bulmak için aşağıdaki denklemden yararlanılmıştır.

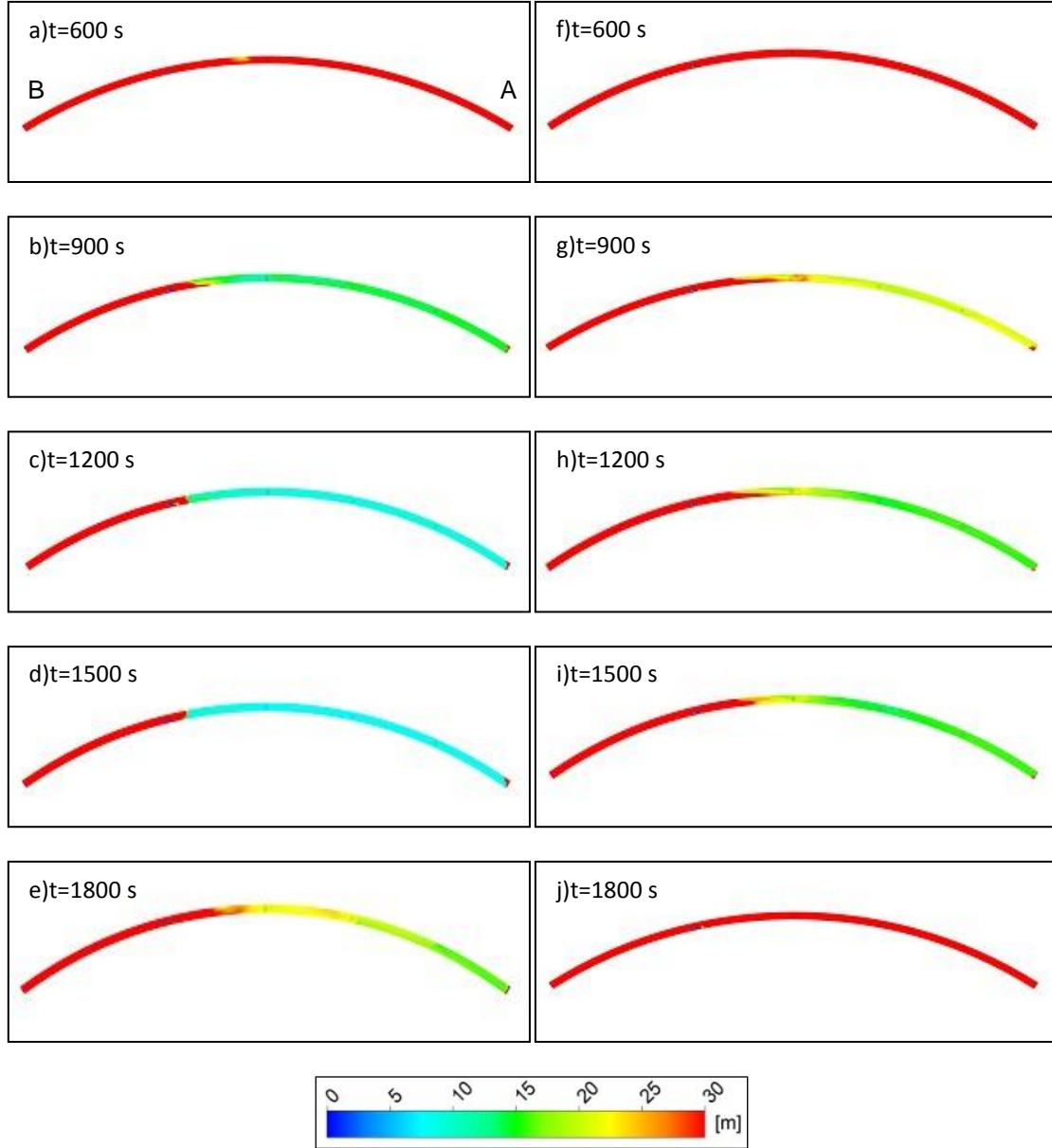
$$K \times S = 3 \quad [6] \quad (3)$$

K	Sönme katsayısı	(1/m)
S	Görüş Mesafesi	(m)

4.HAD ANALİZ SONUÇLARI

Geometri özellikleri önceki kısımlarda belirtilmiş olan tünel için 2 farklı HAD analizi yapılmıştır. Jet fan âdeti belirlemek için yapılan boylamasına mekanik havalandırma hesaplarında dış rüzgâr etkisi 4 m/s olarak alınmıştır. Yapılan ilk analiz (S1) boylamasına mekanik havalandırma hesabına göre yapılmıştır. Diğer analizde (S2) ise aynı jet fan sayısında dış rüzgâr etkisi 10 m/s olacak şekilde düşünülmüştür. Yapılan analizler de görüş mesafesi ve zehirli gaz değerleri tünel zemininden 1,7 m yükseklikte incelenmiş ve karşılaştırılmıştır. Ayrıca tünel içerisinde yangın sonucu oluşan dumanın 3 boyutlu dağılımları karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma yapılırken belli zaman aralıklarında değerler gösterilmiştir.

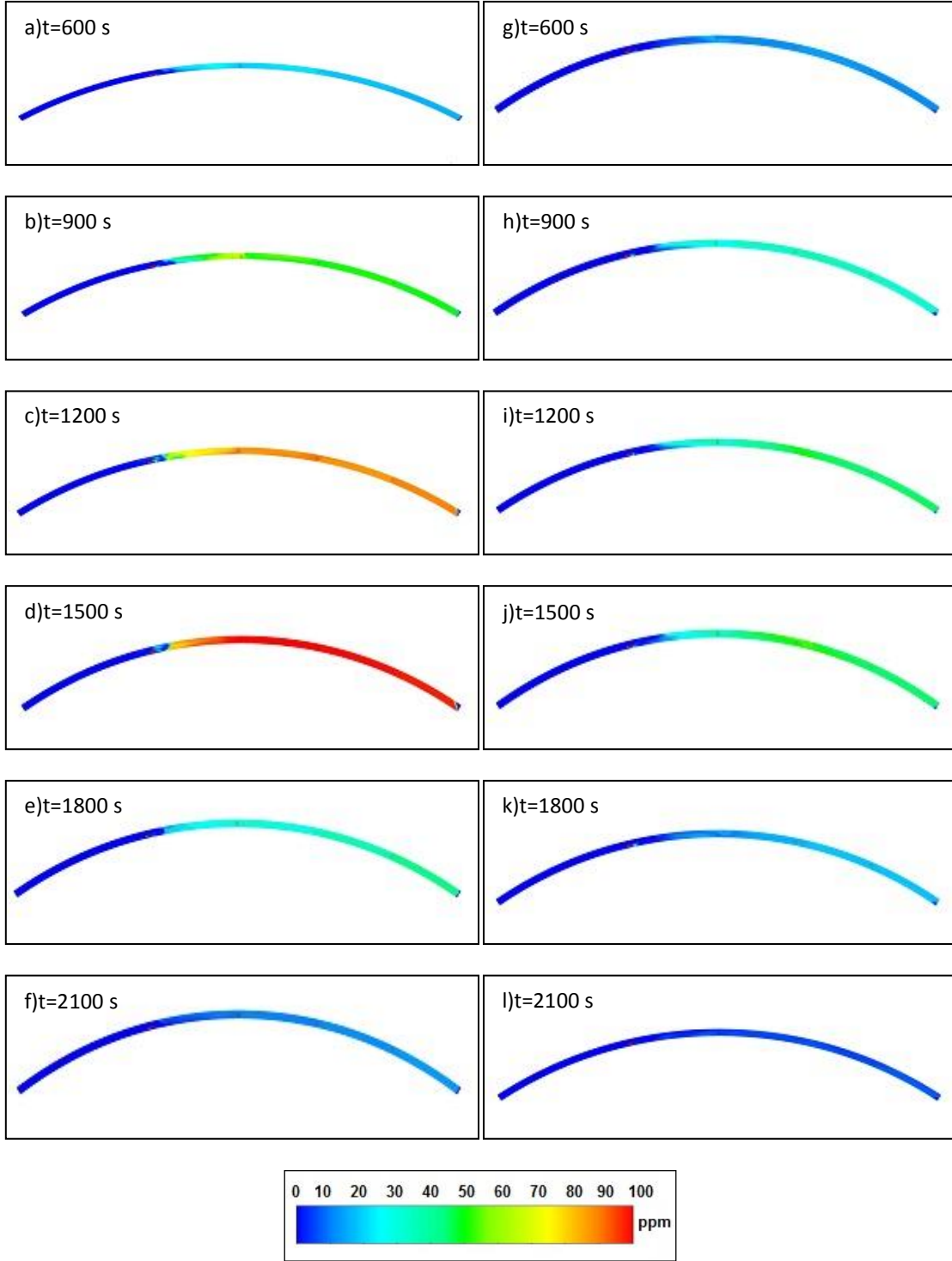
Şekil 6 da yapılan analizlerde farklı zaman adımlarındaki tünel zemininden 1,7 m yükseklikteki görüş mesafeleri gösterilmiştir. Ortalama insan boyunun 1,7 m olduğu düşünülerek bu yükseklikteki görüş mesafesi yangın anında insanların kaçışı için oldukça önemlidir. Yangının başlangıcından 10 dak. sonra Şekil 6 a'da görüldüğü gibi S2 analizi için tünelin girişi B portalından yaklaşık 320 m sonra bölgesel olarak görüş mesafesinin yaklaşık 20 m ye indiği gözükmemektedir. Fakat S1 analizinde aynı zaman diliminde görüş mesafesinde böyle bir düşüş yaşanmamıştır. Şekil 6 b ve g de gösterilen bir sonraki zaman adımı incelendiğinde S2 analizi için yangın noktasından yaklaşık 30 m sonra görüş mesafesindeki değişiklik görülmektedir. S1 analizi için aynı zaman adımına bakıldığında zaman bu mesafenin arttığı açıkça görülmektedir. Yangın başlangıcından 20 ve 25 dak. sonraki, yangın noktasından tünel çıkışı olan A portalına kadar olan bölgede S2 analizinde görüş mesafeleri incelendiğinde görüş mesafe değerlerinin 10 m nin altına düştüğü açıkça görülmektedir. Aynı zaman diliminde S1 analiz sonuçlarında aynı bölgedeki görüş mesafesi değerleri PIARC(1999) da kaçış işaretlerini görebilmek için gerekli görüş mesafesi olan 15 m civarındadır [7]. Tünel çıkışı A portalındaki 20 m lik bir alandaki görüş mesafesi değerlerine bakılacak olursa, Şekil 6 c de gösterildiği gibi görüş mesafesinin bu bölgede 30 m olduğu fakat Şekil 6 h da ise bu değer 15 m civarından olduğu görülecektir. Ters rüzgârın etkisi burada açıkça görülmektedir.



Şekil 6. a)-e) Rüzgâr hızı 10 m/s için analiz (S2) için farklı zaman adımları için 1,7 m deki görüş mesafesi, f)-j) Rüzgâr hızı 4 m/s için analiz (S1) için farklı zaman adımları için 1,7 m deki görüş mesafesi

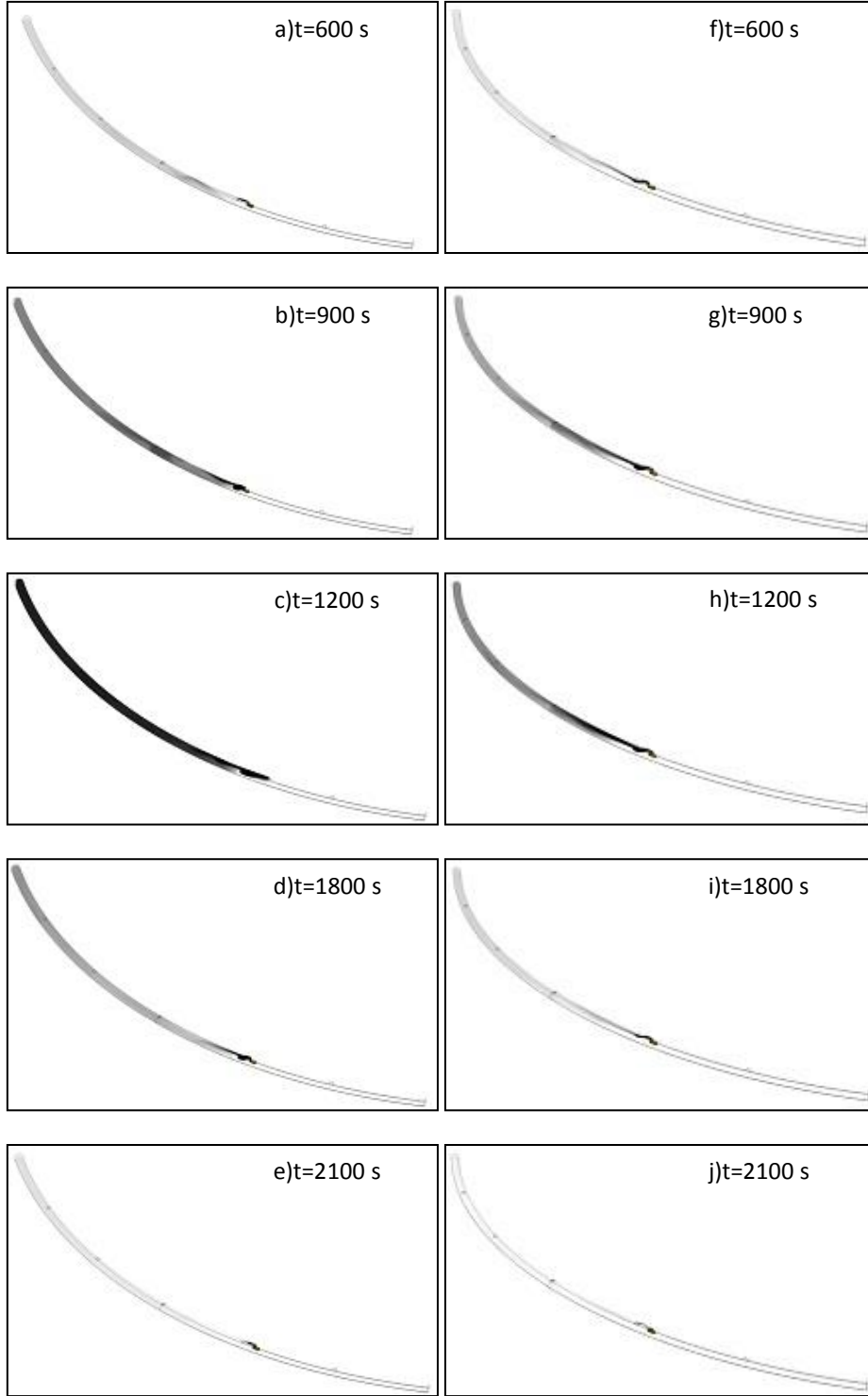
S1 analizinde rüzgârın itki gücü jet fanların bu yükseklikte oluşturduğu itki gücünü yendiği için dışarıdan temiz havayı içeri taşımakta ve dumanın tahliyesini zorlaştırmaktadır. Şekil 6 e ve j de gösterilen görüş mesafe değerlerine bakıldığında S1 analiz sonuçlarında tünel genelinde görüş mesafesinin 30 m nin üzerine çıktığı görülmektedir. Fakat S2 analiz sonucunda görüş mesafesi değerlerinin daha düşük olduğu açıktır.

Tünel zemininden 1,7 m deki zehirli gaz konsantrasyonlarını belli zaman adımları için Şekil 7 gösterilmiştir. Aynı zaman adımları için zehirli gaz konsantrasyonu değerleri, S2 analizinde S1 analizine göre fazla olduğu açıkça görülmektedir. Şekil 7 d de S2 analizinin yangın başlangıç anından 25 dak. sonraki duman konsantrasyonu değeri gösterilmiştir. Bu değerlerin yangın noktası ve tünel çıkışı A portalı arasında kalan bölgede sınır değer olan 100 ppm in üzerinde olduğu görülmektedir [8]. S1 analizi için aynı zaman adımını Şekil 7 j de gösterilmiştir.



Şekil 7. a)-e) Rüzgâr hızı 10 m/s için analiz (S2) için farklı zaman adımları için 1,7 m deki zehirli gaz konsantrasyonu, f)-j) Rüzgâr hızı 4 m/s için analiz (S1) için farklı zaman adımları için 1,7 m deki zehirli gaz konsantrasyonu

Zehirli gaz konsantrasyonu değerleri 100 ppm değerinin altında ortalama 45 ppm civarındadır. S2 analizinde Zehirli gaz konsantrasyonu değerleri insanlar için tehlike oluşturmaktadır. Tünel içerisindeki havanın uygun şekilde seyreltilip tahliye edilemediği görülmektedir.



Şekil 8. a)-e) Rüzgâr hızı 10 m/s için analiz (S2) için farklı zaman adımları için 3 boyutlu duman dağılımı, f)-j) Rüzgâr hızı 4 m/s için analiz (S1) için farklı zaman adımları için 3 boyutlu duman dağılımı

Şekil 8 de yangın anında tünel içerisindeki duman dağılımı farklı zaman adımları için gösterilmiştir. Jet fan sisteminin çalışmadığı durumda yangın sebebiyle oluşan sıcak duman doğası gereği tünel tavanına doğru yükselme eğiliminde bulunacaktır. Daha sonra katmanlaşarak tünelin her iki yönüne doğru ilerlemeye başlayacaktır. Jet fan sisteminin amacı dumanı yangın noktasından tünel çıkışı olan A portalına yönlendirmektir. Diğer bir bakış açısıyla dumanın tünel girişi B portalına yönlendiğini

engellemektir. S2 ve S1 bir analiz sonuçları incelendiğinde yangın başlangıç anından 15 dak. ya kadar böyle bir yönlenme görülmemektedir. Fakat yangın büyüme evresini tamamladığında S2 analizinde Şekil 8 c görüldüğü gibi ters katmanlaşma yani yangın sonucu oluşan dumanın tünel girişi B portalına yönlendiği görülmektedir. Aynı zaman adımı S1 analiz sonucunu gösteren Şekil 8 h incelendiğinde böyle bir ters katmanlaşma görülmemektedir. Dumanın S1 analizinde gerekli şekilde seyreltilip tünel çıkışı A portalından uygun şekilde atıldığı açıkça görülmektedir. S2 analiz sonuçlarında görüldüğü gibi duman yüksek ters rüzgâr etkisinden dolayı yangın noktasıyla tünel çıkış portalı arasında çıkışıp yoğunluğu artmaktadır.

SONUÇ

Yapılan Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği analizlerinde açıkça görülmektedir ki; tüneller de boylamasına havalandırma sistemlerinde ters rüzgârın büyüklüğü duman tahliyesini etkilemektedir. Boylamasına havalandırmada kullanılacak jet fanların seçimine karar verilirken yapılan hesaplamalarda, jet fanların etkisini karşı rüzgârın oluşturacağı itkiyi yenebilecek kapasiteler seçmeye dikkat edilmelidir. Doğru hesaplamalar için yürütülen S1 analiz sonuçlarında hiçbir terslik görülmemektedir. Fakat fazla rüzgâr hızıyla yapılan S2 analizinde yangın sonucunda oluşan duman, jet fanların ve rüzgârın karşılıklı oluşturduğunu itki kuvvetleri sebebiyle, yangın noktasıyla tünel çıkış portalı A arasında sıkışmaktadır. Sonuç olarak tünel içerisinde ki duman tahliye edilmektedir fakat yukarıda bahsedilen sebeple tünel içerisinde insan hayatını tehlikeye atan sonuçlar ortaya çıkmakta ve tünel içerisinden duman tahliye süreleri uzamaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] KAYILI, S. "TÜNEL YANGINLARININ VE YANGIN GÜVENLİĞİ İÇİN KULLANILAN HAVALANDIRMA SİSTEMLERİNİN ÖZELLİKLERİ", Mühendis ve Makine Cilt no:51,Sayı:604, 2010.
- [2] ANSYS, 2010. ANSYS CFX, Release 14.5.
- [3] C. CALIENDO, P. CIAMBELLI, M.L.D. GUGLIELMO, M.G. MEO, P. RUSSO, " SIMULATION OF FIRE SCENARIOS DUE TO DIFFERENT VEHICLE TYPES WITH AND WITHOUT TRAFFIC IN A BI-DIRECTIONAL ROAD TUNNEL", Tunneling and Underground Space Technology 37, Pg. 22-36, 2013
- [4] R. BUBBICO, B. MAZZAROTTA, N. VEERDONE, "CFD ANALYSIS OF THE DISPERSION OF TOXIC MATERIALS IN ROAD TUNNELS", Journal of Loss Prevention in the Process Industries 28, Pg. 47-59, 2014
- [5] QUINCY, MA, DINENNO, P. J. BEYLER, C. L. CUSTER, R. L. P. WALTON, W. D., EDITOR(S), "SFPE HANDBOOK OF FIRE PROTECTION ENGINEERING." 2nd Edition, Section 2, Chapter 15, National Fire Protection Assoc., 2/217-227 p., 1995.
- [6] T. JIN, J. Fire and Flamm., 9, p. 135 , 1978.
- [7] PIARC, "FIRE AND SMOKE IN ROAD TUNNELS", PIARC Technical Committee C5 Road Tunnel, 1999.
- [8] NFPA, "NFPA-502- STANDART FOR ROAD BRIDGES AD OTHER LIMITED ACCESS HIGHWAYS.", National Fire Protection Association, USA, 2008.

ÖZGEÇMİŞ

Efe ÜNAL

1987 yılı Aydın doğumludur. 2010 yılında T.C. Yeditepe Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makine Bölümünü bitirmiştir. Aynı üniversiteden 2013 yılında Yüksek Mühendis unvanı almıştır. 2010-2013 yılları arasında Araştırma görevlisi, 2013 Mayıs ayından beri Aironn Havalandırma şirketinde görev almaktadır. Akışkanlar dinamiği ve Hesaplamalı akışkanlar dinamiği konularında çalışmaktadır.