



**bu bir MMO  
yayıdır**

MMO, bu makaledeki ifadelerden, fikirlerden, toplantıda çıkan sonuçlardan ve basım hatalarından sorumlu değildir.

## **Kent İçi Taşıt Tünellerinde Havalandırma ve Ulus Tüneli Örneği**

**ETHEM ÖZBAKIR**

BİLGE  
Müh. ve Müşavirlik A.Ş.

# KENT İÇİ TAŞIT TÜNELLERİNDE HAVALANDIRMA VE ULUS TÜNELİ ÖRNEĞİ

Ethem ÖZBAKIR

## ÖZET

Kentlerde gittikçe artan trafik yükü kent içlerinde taşıt tüneli yapımını gündeme getirmiştir.

Tünel içinde birikecek egzost gazları, özellikle trafik tıkağında araçlardaki insanlar için tehlikeli olmaktadır. Dizel araçlar ayrıca görüntüyü engelleyecek partikül de yaymaktadır.

Ankara, Ulus'ta Atatürk Bulvarı'nın Gençlik Parkı ile Roma Hamamları bölümü arasında çift katlı bir tünel projelendirilmiştir.

Bu tebliğde, genelde kent içi taşıt tünellerindeki cebri havalandırma yöntemleri ve hesap metodları ele alınmakta, özelde de Ulus Tünelinin Alt Tüneli için yapılan hesaplar ve sonuçları anlatılmaktadır.

## GİRİŞ ve KAPSAM

Kentlerde gittikçe artan taşıt sayısı, raylı toplu taşıma sistemlerindeki yetersizlik, bunlara bağlı olarak artan araç trafik yükü ve kent merkezlerinde yeni yollar açmanın olanaksızlığı önce kolay bir çözüm olan köprülülük kavşakları gündeme getirmiştir. Köprülülük kavşakların kentte yarattığı görsel kirlilik ise şehirlerarası yollarda kullanılan taşıt tünellerini kent içlerinde de gündeme getirmiştir.

Yurdumuzda alt geçit anlamına gelebilecek ( Ankara'da Genelkurmay Kavşağı, İstanbul'da Aksaray Kavşağı gibi ) taşıt tünelleri mevcuttur. Ancak, bunlar boylarının kısalığı nedeni ile tüneller için gerekli olan bazı tesisat özelliklerine gereksinme duymamaktadırlar.

Yurdumuzda ( Pozantı-Tarsus otoyolunda Taşoluk Tüneli Ankara-İstanbul otoyolunda Sapanca Tünelleri gibi ) taşıt tünelleri mevcuttur. Ancak, bunlar da gerek trafik yoğunluğu, gerekse de etraflarının bir şehir parçasının yerleşim yoğunluğunda olmaması nedeni ile taşıt tünelleri için gerekli olan bazı tesisat özelliklerine kent içi tünellerinden farklı bir derecede gereksinme göstermektedirler.

Bu yazıda, önce kentiçi taşıt tünellerindeki havalandırma sistemleri tanıtılacak ve havalandırma kriterleri ele alınacak, daha sonra Ankara'nın en eski ve yoğun kent merkezlerinden olan Ulus yöresinde inşa edilmesi planlanan 1 km uzunluğundaki Ulus Tüneli için projelendirilen havalandırma sisteminden bahsedilecektir.

## ULUS TÜNELİ

Ulus-Tarihi Kent Merkezi Koruma İslah-İmar planı'nda kuzey güney yönündeki Atatürk Bulvarının Ulus Meydanı altından geçen bölümünde bir tünel planlanmıştır.

Ankara Büyükşehir Belediye yönetimi 1991-1992 yıllarında tünel yapımı için bir ihale açmıştır. İhaleyi alan firma ile yapım işi gerçekleşmemiş ancak Belediye yönetimi proje ekibine proje ve ihale dosyasının hazırlanma işini yaptırmıştır. Yerel yönetim seçimlerinde yönetimin el değiştirmesinden sonra proje bekleme aşamasındadır.

Hazırlanan projeye göre taşıtlar Gençlik Parkı ile Roma Hamamları arasındaki 1 km'lik kapalı bölümü bulunan ( giriş çıkış rampaları ile 1.3 km'lik ) tüneli kullanacaklardır. Tünel birbirinden prefabrik yapı elemanları ile ayrılmış ve 2 şerit gidiş ve 2 şerit dönüş olarak iki ayrı tüpten oluşmaktadır. Tünelde park edecek, indirme bindirme yapılacak bölümler mevcut değildir.

Toplu taşıma araçları ise 500 m'lik kapalı bölümü bulunan ve birinci tünelin üstünde yer alan ikinci bir tüneli kullanacaklardır. Bu tünel Osmanlı Bankası ile İş Bankası arasında yer almaktadır. Birbirinden prefabrik elemanlarla ayrılmış 2 geliş ve 2 gidiş hatlı iki ayrı tüpten oluşmaktadır. Ulus Meydanı altında her iki yönde otobüs durakları ve yolcu platformları mevcuttur.

Zeminde ise sadece servis amaçlı bir yolu bulunan yaya bölgesi düzenlenmesi yapılmıştır.

Ulus Tünelinin tipik enkesiti Şekil 1. de gösterilmiştir.

Bu yazıda, esas olarak Alt Tüneldeki cebri havalandırma önlemleri konu edilmektedir.

## TAŞIT TÜNELLERİ NİÇİN HAVALANDIRILIR?

İçten yanmalı motorlar, toksik bileşimler içeren egzost gazları üretirler. Dizel motorlu araçların egzostu, tünel içindeki görüşü azaltan ve araç sürmeyi tehlikeli hale getiren, yüksek yoğunlukta duman da içerir.

Tünelleri kullanan sürücülerin, sağlıklarını tehlikeye atmadan ve güvenli bir şekilde taşıtlarını kullanabilmesi için tünel hava kalitesinin belirli sınırların altında tutulması gerekir.

Öte yandan, bir yangın durumunda, oluşacak duman ve ısının tünel içindeki insanların kaçış yollarını tehlikeye sokmayacak şekilde insanlardan uzaklaştırılması zorunludur.

Tünel havalandırmasının prensibi, kirli havanın yoğunluğunun temiz hava ile seyreltilerek, kabul edilebilir düzeylere indirilmesi esasına dayanır.

Tünel havalandırma sistemleri, " Doğal (Natural )" ve " Cebri ( Mechanical ) olmak üzere 2 kategoriye ayrılabilir.

Doğal havalandırma yöntemleri, özellikleri ve kısıtları ayrı bir konu olup, bu yazıda ele alınmayacaktır.

## CEBRİ HAVALANDIRMA SİSTEMLERİ

ASHRAE'ye göre tünel havalandırmasında mekanik yöntemleri kullanan dört farklı sistemden bahsedilebilir.( 1 )

### 1. Boylamasına havalandırma ( Longitudinal ventilation )

Tünellerde kullanılan en basit havalandırma sistemi olup hava sınırlı sayıda yerden girip, çıkmaktadır. Tünel içinde boylamasına bir hava akımı söz konusudur. Bu sistemde hava kanalları olmayıp, hava akımı girişten çıkışa sabit bir hızla gerçekleştirilmektedir.

Bu sistemde kullanılan metotlardan birincisi, havanın bir aksiyal fan yardımı ile tünel girişine enjekte edilmesidir. Bu hava, gelen trafiğin yarattığı piston etkisi ile tünele alınan hava ile karışmakta ve tüneli boyu boyunca katederek tünelin çıkış ağzından kirlenmiş olarak dışarı atılmaktadır. (Şekil 2.A).

Trafiğin tek yönlü çalıştığı tünellerde bu metod etkilidir. Hava hızı tünel boyunca sabit kalmakta, giriş ağzında temiz olan hava, giderek kirlenmekte ve çıkış ağzında en yüksek kirliliğe ulaşmaktadır. Meteorolojik koşulların ters dönmesi ile çıkış ağzındaki kirlilik düzeyi yükselmektedir. Tünel uzunluğunun artması ve enjekte edilen hava miktarının azalması da çıkış ağzındaki hava kirliliğini artıran diğer faktörlerdir.

Kullanılan metotlardan ikincisi, tünelin ortasında fan yerleştirilmiş bulunmasıdır ( Şekil 2.B). Tünelin her iki ucundan alınan hava, pozitif bir baca etkisi yaratılarak, kirlenmiş olarak şafttan dışarı atılmaktadır. Çift yönlü trafiğin işlediği tünelde pik kirlilik yoğunluğu şaftın bulunduğu yerde oluşacaktır. Tek yönlü trafiğin işlediği tünelde ise, kirlilik düzeyi dengesezleşecektir.

Boylamasına havalandırma biçimlerinden bir başkası ise, tünel orta noktasında iki adet şaft bulunmasıdır ( Şekil 2.C ). Tünel giriş ağzından giren hava 1.şaft içine yerleştirilen fan yardımı ile dışarı atılmaktadır. 2.şaft içine yerleştirilen fanla içeriye üflenen temiz hava kirlenmiş olarak tünel çıkış ağzından dışarı çıkmaktadır. Ters yönde esen rüzgarlar tünelin ikinci bölümündeki hava akımını kesebilmekte, üfleme fanı ile egzost aspiratörü arasında kısa devre oluşabilmekte ve bu bölümde kirlilik yoğunluğu artabilmektedir.

Giderek daha çok kullanılmaya başlayan, boylamasına havalandırma metotlarından bir diğeri tünel tavanına asılan fanlarla yapılan havalandırmadır. Jet ( jetfoil, booster ) tipi fanların kullanıldığı havalandırmada, daha önce tanıtılan metotların gereksinim duyduğu aksiyal fanların konulacağı binalar ortadan kalkmakta, buna karşılık fanların asılabilmesi için tünel yüksekliği veya genişliğinin büyütülmesi gerekebilmektedir. Tünel içindeki trafiğin akış yönünde havayı üfleyen jet fanların, sayısı ve ebadı, tünel içindeki toplam hava akış hareketine gösterilen en yüksek dirence ve fanların monte edilebileceği hacime bağlıdır.

## 2. Yarı kanallı havalandırma ( Semi - transverse ventilation )

Bu sistemde hava, tünel uzunluğu boyunca homojen olarak üflenmekte veya emilmektedir.

Kullanılan metotlardan biri üfleme hava kanalıdır ( Şekil 3.A ). Temiz hava bir fan yardımı ile eşit aralıklarla yerleştirilmiş üfleme menfezlerinden tünele üflenmek üzere hava kanallarına basılmaktadır. Egzost gazlarının en kısa sürede seyreltilmesi için üfleme menfezleri araç egzost borusu seviyesinde yerleştirilmektedir. Hava kanalı ile yol arasında oluşturulan yeterli basınç farkı, piston etkisini ve rüzgarı yenerek, kirlı havanın tünel tavanına yükselmesini ve iki ayrı yönde hareket ederek tünel giriş ve çıkış ağzından tahliyesini sağlar.

Emiş hava kanalı bir başka yöntemdir ( Şekil 3.B ). Tünel giriş ve çıkış ağzlarından alınan hava, tavana döşenen hava kanalı ve egzost fanı ile emilip dışarı atılmaktadır. Tek yönlü trafiğin bulunduğu tünellerde hava kirliliği çıkış ağzında artmaktadır. Çift yönlü trafikte ise hava kirliliği tünelin orta noktasında en yüksek değerine ulaşmaktadır.

Bir başka yöntem ise üfleme ve emme kanallarının tünelin belirli bölümlerine uygulanmasıdır (Şekil 3.C). Giriş ağzından giren hava tünelin ilk bölümünün tavanındaki emiş hava kanalları ve fan yardımı ile dışarı atılmaktadır. Tünelin ikinci bölümünden hava kanalları ile üflenen hava ise çıkış ağzından dışarı çıkmaktadır.

## 3. Tam kanallı havalandırma ( Full transverse ventilation )

Uzun tünellerde bu sistem kullanılır. Tüm tünel boyunca hem üfleme hemde emiş hava kanalları birlikte uygulanır ( Şekil 4 ). Araç egzost seviyesinden, tercihan iki taraftan, üflenen hava, tavadaki hava kanalları ile emilip dışarı atılmaktadır. Piston etkisinin yarattığı hava hareketleri hariç, tünel içinde açıkta boylamasına hava akımı oluşmaz.

#### 4. Karma havalandırma ( Mixed ventilation )

Yukarıda tanımlanan, boylamasına, yarı kanallı ve tam kanallı havalandırma sistemleri tünellerin özelliklerine göre değişik birleşmeler oluşturarak karma olarak kullanılabilir. Ancak bu sistem bazı sorunlar yarattığından uzun tünellerde tercih edilmemektedir.

Tünel cebri havalandırılmasında kullanılan belli başlı yöntemlerin tünel enkesiti içindeki görünümüleri şematik olarak Şekil 5.de gösterilmiştir.

#### TEMİZ HAVA GEREKSİNMESİNİN BELİRLENMESİ

Taşıt tünellerinde temiz hava gereksinmesinin belirlenmesi için kullanılan hesap yöntemi Yol Kongrelerinin Daimi Uluslararası Birliği ( PIARC; Permanent International Association of Road Congresses ) nin 1987 yılında Brüksel'de yaptığı Kongrede belirlenmiştir. ( 2 )

PIARC'ın 1991 yılında Marakeş'te yaptığı XIX. Kongrede emisyon değerlerinde bazı düzeltmeler öngörülmüş, ancak hesap yöntemi değişmemiştir. ( 3 )

İngiltere'de hazırlıkları tamamlanmakta olan Tünel Dizayn Kriterleri Standardı da temiz hava gereksinmesinin hesaplanmasında PIARC'ın 1987 yılı Brüksel Raporunu benimsemiştir. ( 4 )

Tünellerdeki havalandırma dizayn kriterleri CO, No<sub>x</sub> ve dumanın seyreltilmesi olup ayrı ayrı hesaplanmak zorundadır.

CO seyreltilmesi için gerekli taze hava miktarı, kendini etkileyen çeşitli faktörlerin fonksiyonu olarak şöyle gösterilebilir:

$$Q_F = f \left( \frac{q_{co} \times f_v \times f_i \times f_H \times D_{pc}}{CO_{lim}} \right)$$

Burada;

Q <sub>F</sub>	: Taze hava miktarı gereksinmesi ( m <sup>3</sup> / s, km, şerit )
q <sub>co</sub>	: Birim otomobil CO emisyon miktarı ( m <sup>3</sup> / h, oto )
f <sub>v</sub>	: Hız faktörü ( - )
f <sub>i</sub>	: Tünel eğim faktörü ( - )
f <sub>H</sub>	: Tünelin inşa edileceği yerin deniz seviyesinden yükseklik faktörü ( - )
D <sub>pc</sub>	: Kilometre-şerit başına otomobil sayısı ( oto/km, şerit )
CO <sub>lim</sub>	: İzin verilen maksimum CO yoğunluğu ( ppm CO )

Bir başka ifade ile;

- \* Birim otomobil CO emisyon miktarı ( eski model ve motoru ayarsız araçlarda daha çok ),
- \* Araç hızı,
- \* Rampa çıkışlarda tünel eğimi,
- \* Deniz seviyesinden yükseklik,
- \* Trafik yoğunluğu,

arttıkça,

- \* İzin verilen maksimum CO yoğunluğu düzeyi ise

azaldıkça,

CO seyreltilmesi için gerekli taze hava miktarı artacaktır.

Öte yandan tüneldeki bir başka hava kirliliği unsuru olan NO seyreltilmesi de benzer parametrelere bağlıdır. Bu konumda q<sub>co</sub> yerine q<sub>NO</sub> ve CO<sub>lim</sub> yerine NO<sub>lim</sub> kullanılmaktadır.

Tüneldeki kontrol edilecek üçüncü unsur "duman" olup seyreltilmesi için gerekli taze hava miktarı da, CO seyreltilmesi metoduna benzer şekilde tanımlanabilir;

$$Q_F = f \left( \frac{q_T \times m \times f_{IV} \times f_H \times D_{HV}}{K_{lim}} \right)$$

Burada;

- $Q_F$  : Taze hava miktarı gereksinmesi (  $m^3/s$ , km, şerit )  
 $q_T$  : Birim duman emisyon miktarı (  $m^2/h$ , t )  
 $m$  : Ortalama araç ağırlığı ( t )  
 $f_{IV}$  : Tünel eğim/hız faktörü (-)  
 $f_H$  : Tünelin inşa edileceği yerin deniz seviyesinden yükseklik faktörü (-)  
 $D_{HV}$  : Kilometre-şerit başına ağır vasıta sayısı ( araç/km, şerit )  
 $K_{lim}$  : İzin verilen maksimum duman yoğunluğu (  $m^{-1}$  )

Formülden de anlaşılacağı üzere;

- \* Dizel motorlu araçların birim duman emisyon miktarı ( eski model ve motoru ayarsız araçlarda daha çok ),
- \* Ortalama araç ağırlığı,
- \* Araç hızı ile rampa çıkışlarda tünel eğimi,
- \* Deniz seviyesinden yükseklik,
- \* Trafik yoğunluğu,

arttıkça,

- \* İzin verilen maksimum duman yoğunluğu düzeyi ise azaldıkça,

Duman seyreltilmesi için gerekli taze hava miktarı artacaktır.

## BASINÇ GEREKSİNİMİNİN BELİRLENMESİ

Yarı kanallı veya tam kanallı cebri havalandırma sistemlerinin kullanıldığı tünellerde fan seçimine yönelik basınç gereksinmesi geleneksel yöntemle hesaplanır. Kanallardaki sürtünme ile özel direnç toplamı basınç gereksinmesini belirler.

Boylamasına cebri havalandırma sistemlerinin kullanıldığı tünellerde ise basınç gereksinmesi daha farklı şekilde bulunur. Bu tür bir tünelde oluşan hava direnci, giriş ve çıkış kayıpları, sürtünme, araç direnci ve rüzgar basıncı olmak üzere 4 ayrı basıncın toplamına eşittir.

Giriş ve çıkış kayıpları toplamı; dinamik yüksekliğin 1.5 katı olarak belirlenir.

Sürtünme direnci; dinamik yükseklik, tünel uzunluğu ve sürtünme katsayısı ile doğru, tünel hidrolik çapı ile ters orantılıdır.

Araç direnci; araç sayısı, araç alanı, hava yoğunluğu ile havalandırma hızı ve araç hızı farkı ile doğru orantılıdır.

Rüzgar basıncı, hava yoğunluğu ve rüzgar hızının karesi ile doğru orantılıdır.

Gerekli girdi değerlerinin verilmesi ile bulunacak toplam basınç gereksinmesi, tünel alanı ile çarpılarak "tünelde gerekli itme kuvveti" hesaplanır. Yapılan açıklamalardan da anlaşılacağı gibi gerekli itme kuvvetinin, tünelde oluşacak hava direnci toplamını yenebilmesi gerekir.

Eğer tünelde boylamasına havalandırma jet fan kullanılarak yapılacak ise o takdirde, hesaplanan tünelde gerekli itme kuvveti, tünelde monte edilecek jet fanın itme kuvvetine bölünerek, tünele monte edilecek jet fan adedi bulunur.

## HAVALANDIRMA TESİSATININ YANGIN DURUMUNDA YETERLİLİĞİNİN KONTROLU

Tünelde çıkacak bir yangında, tesis edilecek havalandırma tesisatının yeterli olup olmayacağı 2 kriterle kontrol edilebilir.

### 1. Kriter : Hava Debisi

Tecrübeler yaklaşık 0.15 m<sup>3</sup>/s, m, şerit'lik bir hava akımının yangın havalandırması için yeterli olduğunu göstermiştir. (1)

### 2. Kriter : Hava Hızı

Genel kaide olarak, otomobil ve hafif araç yangınlarında 2-3 m/s lik hava hızları duman akışını kontrol edebilmektedir. Petrol tankeri vb. 50 MW'a kadarki büyük yangınlarda 5-7 m/s'lik hava hızları yeterli olabilmektedir. (4)

## ULUS TÜNELİ ( ALT ) PROJE VERİLERİ VE SONUÇLARI

Daha önceki bölümlerde açıklanan hesap tarzı, teknik özellikleri kısaca belirtilen Ulus Tüneli, Alt Tünel için uygulanmıştır.

Tünel mimari projesi ile PIARC yayınları ışığında belirlenen hesap verileri şöyle sıralanabilir:

Tünel karakteri	:	tek yön, çift tüp
l (tünelin uzunluğu)	:	1 km
A <sub>t</sub> (tünel enkesit alanı)	:	48 m <sup>2</sup>
D <sub>h</sub> (tünel hidrolik çapı)	:	6.9 m
D <sub>pc1</sub> (km-şerit başına otomobil)	:	95 oto/km,şerit
D <sub>pc2</sub> (km-şerit başına büyük araç)	:	5 araç/km,şerit
n <sub>ş</sub> (şerit sayısı)	:	2
g (tünel eğimi)	:	Roma Hamamı yönüne : + % 1,5 Gençlik Parkı yönüne : - % 1,5
H (denizden yükseklik)	:	850 m
V <sub>1</sub> (otomobillerin hızı)	:	10 km/h
V <sub>2</sub> (büyük araçların hızı)	:	10 km/h
W <sub>1</sub> (otomobillerin ağırlığı)	:	1 t
W <sub>2</sub> (büyük araçların ağırlığı)	:	15 t
a <sub>1</sub> (otomobillerin alanı)	:	2 m <sup>2</sup>
a <sub>2</sub> (büyük araçların alanı)	:	6 m <sup>2</sup>
tünel tipi	:	Şehir içi, hergün sıkışık trafik
CO <sub>ijim</sub> (izin verilen maksimum CO yoğunluğu)	:	150 ppm (PIARC - 1987 Kongresi)
K <sub>ijim</sub> (izin verilen maksimum duman yoğunluğu)	:	0.9 m <sup>-1</sup> (PIARC - 1987 Kongresi)
NO <sub>ijim</sub> (izin verilen maksimum NO yoğunluğu)	:	25 ppm (PIARC - 1987 Kongresi)
q <sub>co</sub> (birim otomobil CO emisyon miktarı)	:	0.7 m <sup>3</sup> /h, oto
q <sub>co - otomobil</sub> = q <sub>co - büyük araç</sub>		
q <sub>T</sub> (birim duman emisyon miktarı)	:	16 m <sup>2</sup> /h,t
q <sub>NO -1</sub> (birim otomobil NO emisyon miktarı)	:	0.05 m <sup>3</sup> /h, oto
q <sub>NO -2</sub> (birim büyük araç NO emisyon miktarı)	:	0.037 m <sup>3</sup> /h, araç

Bu veriler, tünel havalandırması için özel olarak hazırlanmış bir bilgisayar programında çalıştırılmış ve hesap sonucu ortaya çıkan hava gereksinimleri aşağıda gösterilmiştir. (5)

Hava gereksinmesi ( m<sup>3</sup>/s )

Kirlilik / Yön	Roma Hamamı yönü	Gençlik Parkı yönü
CO	323.85	286.19
Duman	42.37	71.70
NO	47.08	27.15

Tablonun incelenmesinden de görüleceği üzere kritik kirlilik unsuru CO'dur. Başka bir deyişle, CO seyreltilmesi için gerekli hava sağlandığında Alt Tünel duman ve NO açısından da yeterli düzeyde havalandırılabilir.

Öte yandan " Basınç Gereksinmesinin Belirlenmesi " bölümünde açıklanan ilişkiler formülüne edilmiş ve yukarıda tanımlanan veriler bu amaçla özel olarak hazırlanmış bilgisayar programında çalıştırılarak elde edilen " basınç gereksinimleri " aşağıda gösterilmiştir.

## Basınç gereksinmesi ( Pa )

Basınç / Yön	Roma Hamamı yönü	Gençlik Parkı yönü
Giriş+çıkış kayıpları	41.16	32.15
Sürtünme direnci	103.42	80.77
Araç direnci	86.39	55.61
Rüzgar basıncı	20.00	20.00
<b>TOPLAM</b>	<b>250.97</b>	<b>188.53</b>

Üçüncü işlem olarak tünelde kullanılacak jet fan bir firma kataloğundan seçilmiştir.

Tünelin, hava ve basınç gereksinmesini karşılamak üzere seçilen jet fanın özellikleri ;

Fan çapı : Ø 1000 mm.

Hava akışı : 27.7 m<sup>3</sup>/s,

İtme kuvveti : 960 N,

Çıkış hızı : 35.3 m/s

Tipi : tümüyle ters çevrilebilir.

Tünele monte edilmiş bir jet fanın itme kuvveti aşağıdaki şekilde hesaplanabilir:

$$N_2 = N_1 \times \left(1 - \frac{V_t}{V_f}\right) \times K$$

Burada;

N<sub>2</sub> : Tünelde monte edilen jet fanın itme kuvveti ( N )

N<sub>1</sub> : Jet fanın laboratuarda ölçülen itme kuvveti ( N )

V<sub>t</sub> : Tüneldeki hava hızı ( m/s )

V<sub>f</sub> : Jet fandan çıkan hava hızı ( m/s )

K : Jet fan ekseninin tavana olan mesafesine bağlı olarak belirlenen montaj faktörü ( - )

Hesap sonucu bulunan değerler ve seçilen fan özellikleri formülde kullanılarak bir jet fanın gerçek itme kuvveti;

Roma Hamamı yönünde;

$$N_2 = 960 \times \left(1 - \frac{323.85/48}{35.3}\right) \times 0.85 = 660 \text{ N}$$

Gençlik Parkı yönünde;

$$N_2 = 960 \times \left(1 - \frac{286.19/48}{35.3}\right) \times 0.85 = 678 \text{ N}$$



Tünelde gerekli itme kuvveti = Basınç gereksinmesi x tünel alanı olduğundan,

Roma Hamamı yönünde;

$$N_T = 250.97 \times 48 = 12\ 046.56\ \text{N}$$

Gençlik Parkı yönünde;

$$N_T = 188.53 \times 48 = 9\ 049.44\ \text{N}$$

Tünelde gerekli jet fan adedi;

$$n_f = \frac{N_T}{N_2} \text{ olduğundan}$$

Roma Hamamı yönünde;

$$n_f = \frac{12\ 046.56}{660} = 18.25 \text{ adet}$$

Gençlik Parkı yönünde;

$$n_f = \frac{9\ 049.44}{678} = 13.35 \text{ adet}$$

Bu sonuçlar ışığında, Alt Tünelde seçilen jet fanlardan, Roma Hamamı yönünde 9 çift ( 18 adet ) ve Gençlik Parkı yönünde 7 çift ( 14 adet ) olmak üzere toplam 32 adet kullanılması uygun görülmüştür.

Şimdide seçilen jet fanların yangın durumunda yeterli olup olmayacağını daha önceki bölümlerde açıklanan 2 kriter açısından kontrol edelim:

1. Kriter ( Hava Debisi ) açısından :

Roma Hamamı yönünde;

$$q = \frac{323.85}{1000 \times 2} = 0.16\ \text{m}^3/\text{s}, \text{ m, şerit}$$

Gençlik Parkı yönünde;

$$q = \frac{286.19}{1000 \times 2} = 0.14\ \text{m}^3/\text{s}, \text{ m, şerit}$$

Görüldüğü gibi, hava debisi kabul edilebilir sınır olan  $0.15\ \text{m}^3/\text{s}$ , m, şerite oldukça yakın olup sistem yeterlidir.

2. Kriter ( Hava Hızı ) açısından :

Roma Hamamı yönünde;

$$V_t = \frac{323.85}{48} = 6.75\ \text{m/s}$$

Gençlik Parkı yönünde;

$$V_1 = \frac{286.19}{48} = 5.96 \text{ m/s}$$

50 MW'a kadarki büyük yangınlarda 5-7 m/s'lik hava hızları yeterli olduğundan, hava hızı yönünden sistem yeterlidir.

#### Havalandırma tesisatının kontrol ve ihbar sistemi :

Alt tünelin trafik kompozisyonu nedeni ile yalnızca CO açısından kritik olduğu hesaplar sonucu kesinlik kazandığından, havalandırma tesisatı kontrol ve ihbar sistemi CO algılayıcılarına göre dizayn edilmiştir. Her tüpe 3'er adet olmak üzere toplam 6 adet CO algılayıcısı kullanılmıştır.

Seçilen cihazların teknik özellikleri, kademeleri ve sistemin çalışma prensipleri Özel Teknik Şartnamenin "Havalandırma Tesisatının Kontrol ve İhbar Sistemi" bölümünde ayrıntıları ile açıklanmıştır. (6)

## SONUÇ

Ülkemizde yeni yeni gündeme gelen taşıt tünellerinin, yurt dışında pek çok örnekleri ve projelendirme-yapım,işletme kuralları mevcuttur.

Taşıt tünellerinde oluşacak egzost gazlarının, özellikle CO, ve dumanın uzaklaştırılması, ayrıca yangın durumunda duman ve ısının atılması için çeşitli cebri havalandırma sistem seçenekleri bulunmaktadır.

Ankara, Ulus Alt Tünelinde " jet fan " kullanan " boylamasına havalandırma sistemi " seçilmiş, açıklanan hesap yöntemi çerçevesinde, proje verileri kullanılarak, cihaz seçimi ve kontrolü yapılmıştır.

## KAYNAKLAR

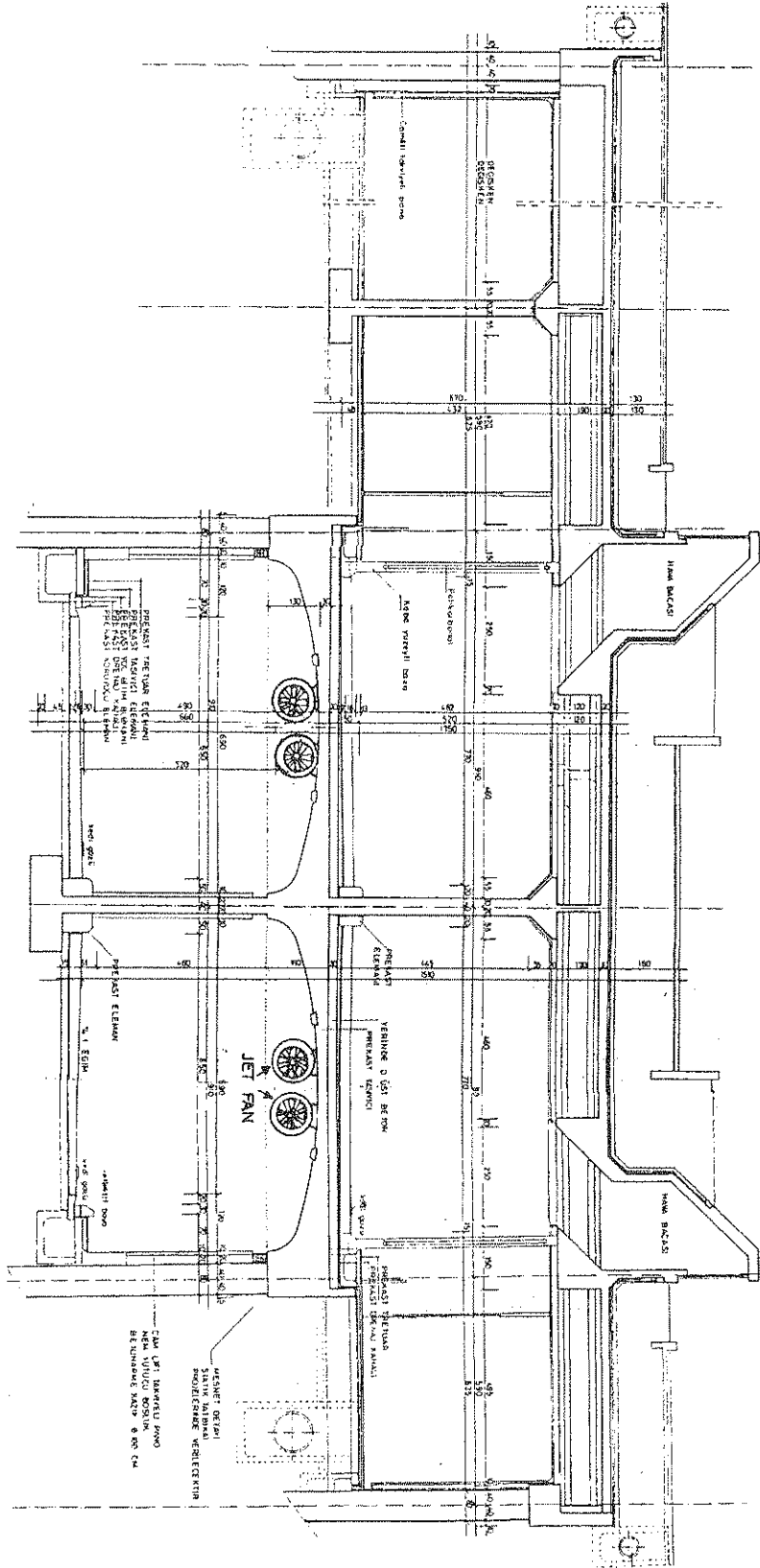
1. ASHRAE, HVAC Applications Handbook, Atlanta, 1991
2. PIARC Technical Committee on Road Tunnels; Report, XVIII World Road Congress, Brussels, 1987
3. PIARC Technical Committee on Road Tunnels; Report, XIX World Road Congress, Marrakesh, 1991
4. Design Guidelines for Planning, Equipping and Operating Tunnels on Motorways and Other Trunk Roads; Departmental Advice Note BA-89, Department of Transport, London, 1990
5. Ulus Tüneli ve Çevre Düzenleme Projesi Makina Mühendisliği Hizmetleri Raporu - Uygulama Projesi Etabı, Ankara Büyükşehir Belediyesi - BİLGE A.Ş., Ankara, 1994
6. Ulus Tüneli ve Çevre Düzenleme Projesi, Elektro - Mekanik Teçhizat Yapım Teknik Şartnamesi, Ankara Büyükşehir Belediyesi - BİLGE A.Ş., Ankara, 1994

## EKLER LİSTESİ

- Şekil.1 : Ulus Tüneli Tipik En Kesiti  
Şekil.2 : Boylamasına Havalandırma  
Şekil.3 : Yarı Kanallı Havalandırma,  
Şekil.4 : Tam Kanallı Havalandırma  
Şekil.5 : Bazı Cebri Havalandırma Yöntemlerinin Tünel Enkesiti İçindeki Şematik Görünümleri

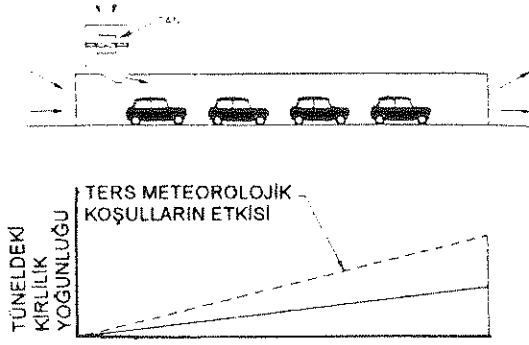
## ÖZGEÇMİŞ

1949 Kemaliye doğumlu Ethem ÖZBAKIR 1970 yılı Orta Doğu Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Bölümü mezunudur. Yüksek Lisansını 1974 yılında aynı Üniversite'den almıştır. İngiltere'nin Bradford Üniversitesinde 9 ay süre ile Proje Hazırlama ve Teknoloji Seçimi üzerine ihtisas yapmıştır. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı ile Ankara Belediyesinde çeşitli görevlerde bulunmuştur. 1977-1980 yılları arasında EGO Genel Müdürlüğü yapmıştır. Makina Mühendisleri Odası Ankara Şubesi Başkanlığı ve merkez denetim kurulu üyeliğinde bulunmuştur. 1980 yılından bu yana çalıştığı, makina ve elektrik tesisat projeciliği ve müşavirliği ile uğraşan BİLGE Mühendislik ve Müşavirlik A.Ş.'nin ortak yönetici ve kurucusudur. BİLKENT Üniversitesi İç Mimarlık Bölümünde tesisat dersi vermektedir. Evli, 2 çocuk babasıdır.

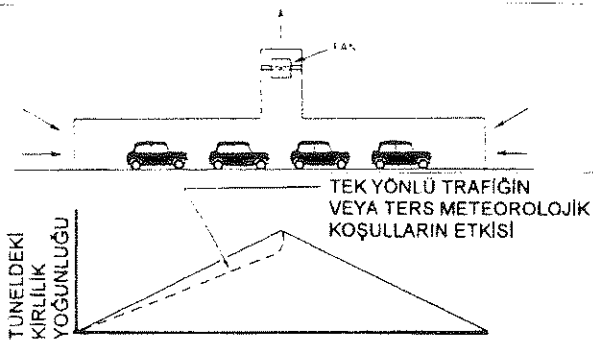


ŞEKİL-1 ULUS TÜNELİ TİPİK EN KESİTİ

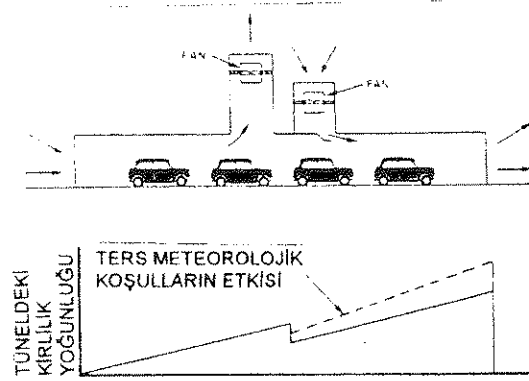
ŞEKİL-1 ULUS TÜNELİ TİPİK EN KESİTİ



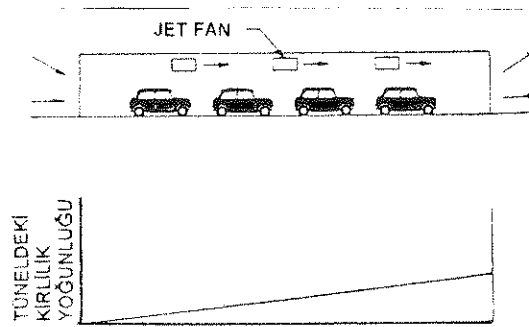
A- JET ENJEKSİYONLU



B- TEK ŞAFTLI

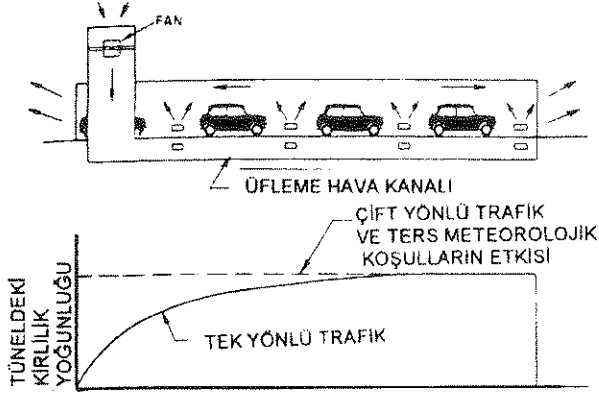


C- İKİ ŞAFTLI VE JET ENJEKSİYONLU

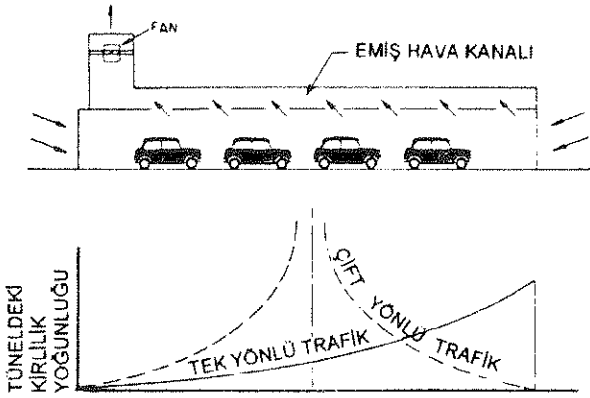


D- JET FANLI

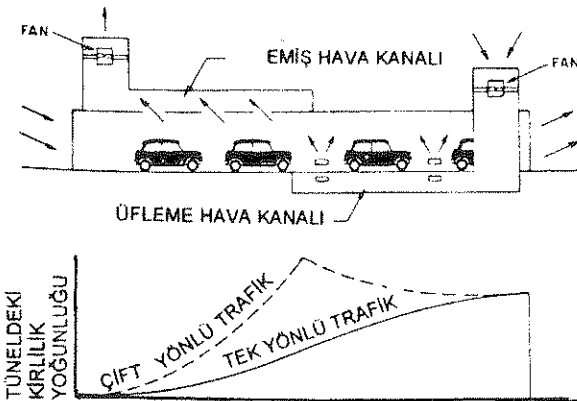
Şekil-2 BOYLAMASINA HAVALANDIRMA



A- ÜFLEME KANALLI

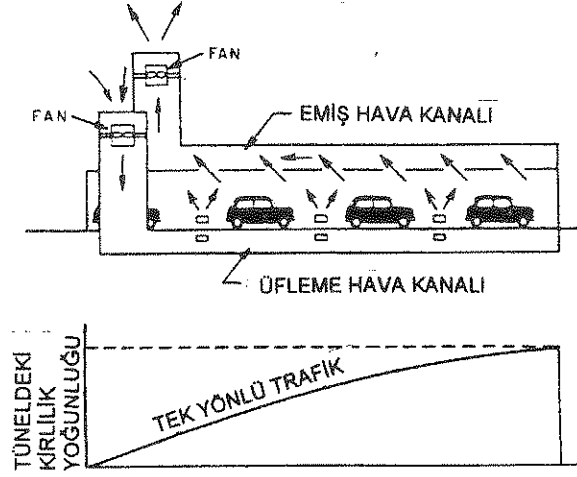


B- EMİŞ KANALLI

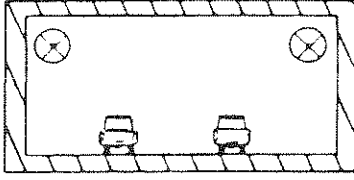


C- ÜFLEME VE EMİŞ KANALLI

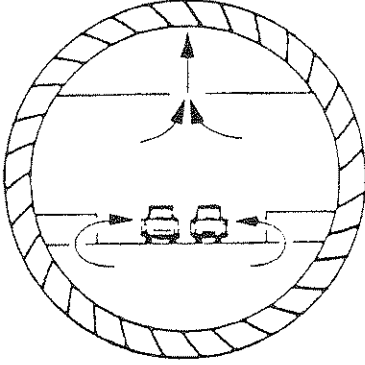
Şekil-3 YARI KANALLI HAVALANDIRMA



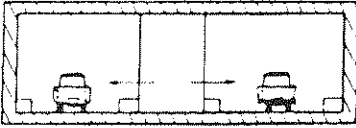
Şekil-4 TAM KANALLI HAVALANDIRMA



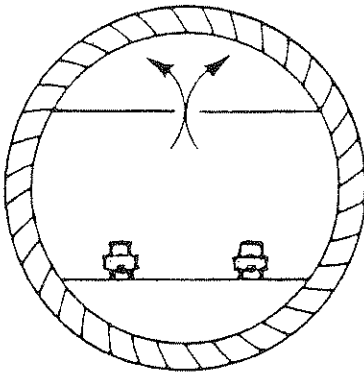
BOYLAMASINA HAVALANDIRMA



TAM KANALLI HAVALANDIRMA



YARI KANALLI HAVALANDIRMA (ÜFLEME)



YARI KANALLI HAVALANDIRMA (EMİŞ)

Şekil-5 BAZI CEBRİ HAVALANDIRMA YÖNTEMLERİNİN TÜNEL ENKESİTİ İÇİNDEKİ ŞEMATİK GÖRÜNÜMLERİ