

T.C.
MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TÜNELLERİN HAVALANDIRMA SİSTEMLERİ VE
BOLU TÜNELİ UYGULAMASI

TURGAY KARAKAŞ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE EĞİTİMİ ANABİLİM DALI
MAKİNE EĞİTİMİ PROGRAMI

DANIŞMAN
Prof. Dr. A. KORHAN BİNARK

İSTANBUL 2011

T.C.
MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TÜNELLERİN HAVALANDIRMA SİSTEMLERİ VE
BOLU TÜNELİ UYGULAMASI

TURGAY KARAKAŞ
(141101720060274)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE EĞİTİMİ ANABİLİM DALI
MAKİNE EĞİTİMİ PROGRAMI

DANIŞMAN
Prof. Dr. A. KORHAN BİNARK

İSTANBUL 2011

T.C.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KABUL ve ONAY BELGESİ

Turgay KARAKAŞ 'ın “**TÜNELLERİN HAVALANDIRMA SİSTEMLERİ VE BOLU TÜNELİ UYGULAMASI**” başlıklı Lisansüstü tez çalışması, M.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun tarih ve sayılı kararı ile oluşturulan jüri tarafından Makine Eğitimi Anabilim Dalı Makine Eğitimi Programında YÜKSEK LİSANS Tezi olarak Kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. A. Korhan BİNARK (Marmara Üniversitesi)
Üye : Prof. Dr. Osman ISIKAN (Marmara Üniversitesi)
Üye : Prof. Dr. İsmail EKMEKÇİ (Marmara Üniversitesi)

Tezin Savunulduğu Tarih: 17.03.2011

ONAY

M.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nuntarih ve sayılı kararı ile Turgay KARAKAŞ 'ın Makine Eğitimi Anabilim Dalı Makine Eğitimi Programında Y.Lisans (MSc.) derecesi alması onanmıştır.

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü
Prof. Dr. Meral ÜNAL

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam boyunca gerekli bütün yardım, tavsiye ve yönlendirmeleri yapan, karşılaştığım problemlerin çözümünde deneyimlerinden yararlandığım sayın hocam Prof. Dr. A. Korhan BİNARK'a ve bu süreçte desteğini benden esirgemeyen aileme katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Şubat, 2011

Turgay KARAKAŞ

İÇİNDEKİLER

SAYFA

TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
ÖZET.....	vi
ABSTRACT	vii
ŞEKİLLER.....	xi
TABLolar	xi
BÖLÜM I.....	1
GİRİŞ VE AMAÇ	1
I.1 GİRİŞ.....	1
I.2 AMAÇ.....	2
BÖLÜM II	3
GENEL BİLGİLER.....	3
II.1.SAĞLIK STANDARTLARI	3
II.2 YASAL SEBEPLER	4
II.3 TÜNEL GÜVENLİĞİ	5
II.3.1 TÜNEL GÜVENLİĞİ PROJE KRİTERLERİ.....	6
II.4 ALTYAPI ÖNLEMLERİ.....	9
II.4.1 Tüp ve Şerit Sayısı	9
II.4.2 Tünel Geometrisi	9
II.4.3 Kaçış Yolları Acil Çıkışlar	9
II.4.4 Acil Servisler İçin Erişim	10

II.4.5 Cepler	10
II.4.6 Drenaj	11
II.4.7 Yapıların Yangına Karşı Dayanıklılığı.....	11
II.4.8 Aydınlatma	11
II.4.9 Havalandırma	11
II.4.10 Acil İstasyonlar.....	12
II.4.11 Su Temini	12
II.4.12 Yol İşaretleri.....	13
II.4.13 Kontrol Ünitesi	13
II.4.14 İzleme Sistemleri.....	13
II.4.15 Tünel Kapatma Ekipmanı.....	13
II.4.16 Haberleşme Sistemleri.....	14
II.4.17 Güç Kaynakları ve Elektrik Devreleri	14
II.4.18 Ekipmanların Yangına Dayanıklılığı.....	14
II.5 HAVALANDIRMA SİSTEMİ.....	14
II.5.1 Boyuna Havalandırma:.....	15
II.5.2 Çapraz Havalandırma	15
II.6 HAVALANDIRMA SİSTEMİ.....	15
II.7 HAVALANDIRMA SİSTEMİ İÇİNDEKİ ALGILAMA	
CİHAZLARI	15
II.7.1 Havalandırma Sistemi İçindeki Algılama Cihazları.....	16
II.7.1.1 Havalandırma Sistemi İçindeki Algılama Cihazları.....	16
II.8 BOLU DAĞI TÜNELİ	16
BÖLÜM III	19
TEZ ÇALIŞMASI.....	19
III.10 MODELLEME	39
III.10.1 Tünel Verileri.....	39

III.10.2 Trafik Verileri	39
III.10.3 Meteorolojik Veriler	41
III.11 HAVA İHTİYACININ HESAPLANMASI	41
III.11.1 Araç Emisyonları	41
III.11.2 Tünellerde Müsaade Edilebilir CO Yoğunluğu	42
III.11.3 Tünellerde Müsaade Edilebilir Hava Bulanıklığı	42
III.11.4 Temiz Hava İhtiyacı (Benzinli Motor),	43
III.11.4.1 Temiz Hava İhtiyacı, Benzinli Motorlar,	44
III.11.5 Temiz Hava İhtiyacı (Dizel Motorlar)	50
III.11.6 Temiz Hava Hesaplanması	52
III.11.7 Temiz Hava Hesapları	53
III.12 HAVALANDIRMA SİSTEMİ	54
III.12.1 Genel	54
III.12.2 Boyuna Havalandırma	55
III.12.3 Yarı Enine Havalandırma	56
III.12.4 Enine Havalandırma	56
III.13 HAVALANDIRMA SİSTEMİNİN SEÇİLMESİ	56
III.13.1 Jet Fanlarda Güç Tüketimi	57
III.13.2 Yangın Durumunda Havalandırma	58
BÖLÜM IV	60
SONUÇLAR ve TARTIŞMA	60
BÖLÜM V	67
SON DEĞERLENDİRMELER ve ÖNERİLER	67
KAYNAKLAR	69
EKLER	71
EK 1- TEMİZ HAVA TALEBİNİN HESAPLANMASI	72

AKIŞ DİYAGRAMI 1.....	74
EK 2 - TEMİZ HAVA TALEBİNİN HESAPLANMASI 1	75
EK-3 HAVA TALEBİNİN HESAPLANMASI	82
EK 4 - HAVA TALEBİNİN HESAPLANMASI 3	84
EK 5 - HAVA TALEBİNİN HESAPLANMASI	96
AKIŞ DİYAGRAMI 2.....	101
EK 7- BOLU TÜNELİ FAN HESABI.....	102
EK 8- JET FAN HESAPLARI	117
EK 9- JET FAN HESAPLARI	119
EK 10- JET FAN HESAPLARI	121
EK 11- JET FAN HESAPLARI	123
EK 12- JET FAN HESAPLARI	125
EK 13- JET FAN HESAPLARI	127
EK 14- JET FAN HESAPLARI	129
EK 15- JET FAN HESAPLARI	131
ÖZGEÇMİŞ.....	133

ÖZET

TÜNELLERİN HAVALANDIRMA SİSTEMLERİ VE BOLU TÜNELİ UYGULAMASI

Taşıt tünellerinin, ulaşım sistemlerinde önemli bir yeri vardır. Tüneller, karayollarının bütünleyici bir parçasını oluşturmakla birlikte aşılması güç coğrafi engeller aşılarak yaşamımızın bir parçası olan ulaşımı mesafeleri kısaltmak suretiyle kolaylaştırmaktadır. Suyun altındaki karayollarından dünyadaki farklı ülkelerin dağlarına kadar geniş bir uygulama alanına sahiptir.

Türkiye engebeli coğrafi yapısı nedeniyle çok sayıda karayolu tüneline sahiptir. Tünel içindeki taşıt motorlarında kullanılan yakıtlardan ortaya çıkan yoğun kirli hava, insan sağlığını önemli ölçüde tehdit etmekte ve bu kirli havanın dışarıya atılabilmesi için havalandırma sisteminin yapılması gereklidir. Ayrıca karayolları tünellerinde olabilecek kazalarda veya herhangi bir nedenle meydana gelebilecek yangınlarda havalandırma sistemlerinin havayı yönlendirmek ve tahliye etmek gibi önemli rolü vardır. Burada esas olan tünel havalandırma prensibinin, kirli hava yoğunluğunun temiz hava ile seyreltilerek kabul edilebilir düzeylere indirilmesi esasına dayanmasıdır.

Bilindiği üzere Bolu Dağı Tüneli yapım aşaması coğrafi engeller ve doğal afetlerden dolayı uzun yıllar sürmüş ve tünelin yapımında Türkiye'deki güvenlik kriterleri, Avrupa Parlemontosu ve Konseyinin tüneller için hazırladığı, Trans-Avrupa karayolu ağı tünelleri için minimum güvenlik gereksinimleri referans alınıp diğer kaynaklardan da faydalanılarak tünel güvenliği proje kriterleri esas alınmıştır. Bu çalışmanın amacı, Bolu Dağı Tünelinde araçların herhangi bir nedenle (trafik kazası, araç arızası vb.) zorunlu beklemesi durumunda biriken kirliliği hesaplama modeli geliştirmek ve bundan yola çıkarak Bolu Dağı Tünelinde kullanılan havalandırma sisteminin etkinliğini araştırmaktır.

ABSTRACT

VENTILATION SYSTEMS OF TUNNELS AND IMPLEMENTATION OF BOLU TUNNEL

Vehicle tunnels have an important place in the transportation systems. Tunnels are not only a complete part of highways but also, at the same time, make our lives easier going beyond the geographic barriers, which is hard to be overcome, by shortening distances. They have a wide applying space from the highways under water to the mountains in different countries of the world.

Turkey has many highway tunnels due to its roughness geography. Dense pollution coming from the engines of vehicles in the tunnels can be threatening human health. Ventilation systems must be constructed to be booted this polluted weather out. In addition, these systems have great roles in the accidents, which will be able to happen in highway tunnels or in the fires, which will be able to become with any reason, to direct and to release weather. Here, basic thing is that the tunnel ventilation principle depends on the basis that the level of pollutants concentration is lowered with clear weather by being attenuated and thus is landed on the acceptable ranks.

The constructive process of the tunnel of Bolu Mountain took a long time due to geographic obstacles and natural catastrophes as being known. In the construction of the tunnel, Turkish security criteria, the minimal security requisites for the tunnels of the Trans-European highway networks prepared by the European Parliament and Consul are taken as references. The project criteria of tunnel security are taken bases by profiting from other resources. The goal of this work is to improve a model to calculate dirtiness accumulated in the Bolu Mountain Tunnel if vehicles wait in the tunnel because of any compulsive reason such as traffic accident, vehicle breakdown etc and, from the mentioned point, to increase the effectiveness of the ventilation system used in the Bolu Mountain Tunnel.

February, 2011

Turgay KARAKAŞ

SEMBOLLER

a_L	: HGV'lerin yüzdesi [%araç]
a_{Pe}	: Egzoz katalizörsüz binek araçların yüzdesi [% pc]
a_{Pd}	: Dizel motorlu binek araçların yüzdesi [% pc]
a_{Pk}	: Egzoz katalizörlü binek araçların yüzdesi [% pc]
CO_{lim}	: Müsaade edilebilir maksimum CO yoğunluğu [ppm CO]
C_{zul}	: CO sınır değeri [ppm]
D	: Trafik yoğunluğu [pcu/km]
D_o	: Trafik akmıyorken Trafik yoğunluğu [pcu/km]
D_s	: Dur – kalk durumunda Trafik yoğunluğu, [pcu/km]
D_{VL}	: Km ve yol şeridindeki yolcu aracı sayısı [VL/km, yol şeridi] = M/V
e	: Belirli araç kategorilerinin emisyonları [g/h/veh; m^2 /h/veh]
e_{HGV}	: Temel emisyon değeri HGV [g/h/HGV]
e_{pc}	: CO emisyonu [g/h/pc] ve kurum [m^2 /h/pc], (özel durumlarda ayrıca NOx)
e_{pc}	: Temel emisyon değeri pc [g/h/pc]
e_{pccod}	: Dizel motorlu binek araçların (pc) CO emisyonları [g/h/pc]
e_{pccoe}	: Egzoz katalizör olmayan, benzinli binek araçların (pc) CO emisyonları [g/h/pc]
e_{pccok}	: Egzoz katalizör olan, benzinli binek araçların (pc) CO emisyonları [g/h/pc]
e_{pcpard}	: Dizel motorlu binek araçların (pc) kurum emisyonları (pc) [m^2 /h/pc]
f_a	: Azaltma faktörü
f_h	: İrtifa faktörü
f_i	: İyileştirme faktörü
f_m	: Ağırlık faktörü
f_v	: Hız faktörü
g_L	: HGV konsantrasyon oranı [pcu/HGV]
k_{zul}	: Duman/is sınır değeri (ışık kaybolma katsayısı [1/m])
L	: Tünel uzunluğu (havalandırma) kesimi [km]
M_{dim}	: Proje trafik hacmi [pcu/h]
M_{max}	: Maksimum trafik hacmi [veh/h]
M_{SV}	: Q_{30} olarak ifade edilen, ilgili saatlik trafik hacmi [veh/h]
M_{VL}	: Yolcu araçlarının saatteki trafik hacmi [VL/h, yol şeridi]
N	: Belirli bir kategorideki araç sayısı

n	: Trafik şeridi sayısı
N_d	: Dizel motorlu araçların sayısı (pc)
N_e	: Benzinli taşıt aracı sayısı (pc) egzoz katalizörü olmayan
N_{HGV}	: HGV'lerin sayısı
N_k	: Benzinli taşıt aracı sayısı (pc) egzoz katalizör olan
pcu	: Binek araç sayısı
Q_F	: Saniyedeki, km yol şeridindeki gerekli temiz hava miktarı[m ³ /s, km, yol şeridi]
q'	: Özgül hava ihtiyacı [m ³ /sec/km]
q_{co}	: Her trafik şeridinde ve km'de CO kriterine göre hava ihtiyacı [m ³ /sec]
q_{co}	: CO yoğunluğu [g/m ³]
q^o_{co}	: CO emisyonunun temel değeri [m ³ /h, araç]
q_{ges}	: Her tünel veya havalandırma kesiminde toplam hava ihtiyacı [m ³ /sec]
q_{Tr}	: Her trafik şeridinde ve km'de duman/is kriterine göre hava ihtiyacı [m ³ /sec]
V	: Ortalama sürüş hızı [km/h]
v	: Hız [km/h]
v_o	: Optimum hız [km/h]
s	: Eğim [%]

KISALTMALAR

CIE	: Uluslararası Aydınlatma Komisyonu
EFD	: Hong Kong Çevresel Koruma Bölümü Pratik Hesap Pusulası
EGM	: Emniyet Genel Müdürlüğü
HGV	: Ağır Yük Aracı
KGM	: Karayolları Genel Müdürlüğü
MSV	: Maksimum Trafik Hacmi
NFPA	: Amerikan Ulusal Yangın Koruma Birliği
NIOSH	: Mesleki Güvenlik ve Ulusal Sağlık Enstitüsü
PIARC	: Uluslararası Daimi Yol Konseyi
RVS	: Karayolu Tasarımı Ve Yapımı Kılavuzu Ve Yönetmeliği
TWA	: Hong Kong Hava Kalite Hedefleri
UNECE	: Karayolları Tünelleri Uzmanlar Grubu
WHO	: Dünya Sağlık Örgütü

ŞEKİLLER

SAYFA NO

Şekil II.1 Anadolu Otoyolu Gümüşova – Gerede Kesimi.....	20
Şekil III.1 Yok Olma Katsayısı	45
Şekil III.2 Jet Fanlı Boyuna Havalandırma Sistemi.....	59
Şekil IV.1 Bolu Tünelinde Toplam Trafik Hacmindeki Araçların Yıllara Göre Dağılımı.....	66
Şekil IV.2 Bolu Tüneli Aşağı Doğru Yol Hıza Göre Temiz Hava Gereksinimi.....	66
Şekil IV.3 Bolu Tüneli Yukarı Doğru Yol Hıza Göre Temiz Hava Gereksinimi.....	67
Şekil IV.4 Bolu Tüneli Aşağı Doğru Yol Hıza Göre Temiz Hava Gereksinimi.....	68
Şekil IV.5 Bolu Tüneli Aşağı Doğru Yol Hıza Göre Temiz Hava Gereksinimi.....	68
Şekil IV.6 Bolu Tünelindeki Saatte Geçen Araç Sayısı.....	69
Şekil IV.7 Bolu Tünelindeki Saatte Geçen Araç Sayısı.....	70

TABLÖLAR

SAYFA NO

Tablo II.1 Farklı Standartların Karşılaştırılması	4
Tablo II.2 Tünel Güvenliği Proje Kriterleri	6
Tablo II.3 Tünel Güvenliği Proje Kriterleri	7
Tablo II.4 Tünel Güvenliği Proje Kriterleri	8
Tablo III.1 Gerekli Güvenlik Katsayısı.....	26
Tablo III.2 Fan Regülasyonu Karakteristik Değerleri.....	29
Tablo III.3 Avusturya'daki Toplam Trafikte Bulunan Pc Yüzdesi.....	37
Tablo III.4 2010 ve 2025 yıllarının trafik verileri (her iki yönde).....	41
Tablo III.5 2010 ve 2025 yıllarının hesaplamalarının verileri.....	42
Tablo III.6 Muhtemel Durum İçin Gereken Hava Miktarı (2010 yılı)	57
Tablo III.7 Muhtemel Üç Durum İçin Gerekli Hava Miktarı	58
Tablo III.8 Güç Tüketimi Hesaplamalarında Kullanılan Değişkenler Ve Değerler .	62
Tablo III.9 İtme Kuvveti, Jet Vantilatörlerin Sayısı Ve Güç Tüketimi	63

BÖLÜM I

GİRİŞ VE AMAÇ

1.1 GİRİŞ

Bir ulaşım ya da taşıt yolunun bir kısmının yeryüzünden geçirilmesinin teknik bakımdan mümkün olmadığı ya da bunun ekonomik açıdan uygun bulunmadığı durumlarda bu yolların bir kısmının yeraltından geçirilmesine imkân tanıyan yer altı yapılarına tünel adı verildiği bilinmektedir.

Dağlık bölgelerde yeni güzergâhlar açarak ulaşımı kolaylaştırmak veya özellikle kentsel bölgelerdeki trafik yoğunluğundan ve coğrafik güçlüklerden kaçınmak için inşa edilen tünellerin sayısı giderek artmaktadır. Bu tünellerdeki en önemli konu güvenlidir. Tünellerdeki riskli materyallerden çıkabilecek tehlikeler çok önemlidir. Çünkü bir tünel yoldaki süreksizliği yansıtır ve sürüş koşulları (aydınlatma) çoğunlukla elverişsizdir. Yolu kullananlar için sadece kapalı bir alan ve sınırlı sayıda çıkış yolu mevcuttur. Yangın, karayolu tüneli içinde meydana gelebilecek en şiddetli kaza şekilleri arasındadır. Diğer olası tehlikeler arasında, aracın ateş alması ve kaza yapıp tüneli trafiğe kapatması, bu nedenle araçların rölanti konumunda çalışarak tünel içinde beklemeleri ve hava kirlilik seviyesinin hiçbir önlem alınmaması halinde sonuçları açık alandakinden çok daha büyük tehlikeler oluşturmaları bulunmaktadır. Acil durumlarda tünellerin çıkış koşulları sınırlı olduğu için, zaman kavramı sürücüler ve yolcular için önemli bir faktördür. Yangınlı kazalarda ölümlerin ve yaralanmaların çoğu duman teneffüs edilmesinden kaynaklanmaktadır. 1949 – 1999 yılları arasında güvenli olarak bilinen 23 tünelde meydana gelen yangınlı kazada 306 kişi ölmüş ve 262 kişi yaralanmıştır.[1]

Bir kilometreden uzun karayolu tünellerinde, hareket halindeki araçlardan çıkan egzoz gazları tünel içinde yoğun kirli hava oluşturur. Uzun karayolu tünellerinde ve kurp şeklinde olan tünellerde hava sirkülasyonu gayet azdır. Bu tünellerin kendiliğinden doğal olarak havalandırılması mümkün değildir. Karayolları proje kriterlerinde trafik yoğunluğu 2000 araç/şerit ve uzunluğu 1000 m’ den büyük tünellerde mekanik havalandırma zorunludur. Araştırma çalışmalarında ayrıca hava

kirliliği seviyeleri (açık yol kirliliği, portaldan tünelin havasını boşaltma, tünel hava bacası) ile ilgili normal araç emisyonları (binek otomobillerinin, kamyonların ve otobüslerin gazlı ve partikül emisyonları) ve tünelin hava temizleme sistemi göz önünde bulundurulmaktadır. Havalandırma sisteminin dizaynı ve seçiminde bazı ana unsurlara dikkat edilmesi gerekir. Bunlar;

- Tünel uzunluğu, tüp sayısı ve tünelin şehir veya kırsal kesimde olması,
- Normal ve özel trafik durumlarında taze hava gereksinimi
- Tünel portallarında izin verilen hava kirliliği
- Yangın güvenliği faktörleridir.[2,3]

Tünel havalandırma bacaları tüneldeki emisyonlardan kaynaklanan kirliliği dağıtabilir ama tamamen ortadan kaldıramaz. Bir karayolu tüneli içindeki kirliliğin; yapı yoğunluğu, trafik akış hacmi, araçların hızı, meteorolojik koşullar (atmosfer basıncı, sıcaklığı, buhar basıncının ve rüzgar hızının zamana göre değişimi), eğimli yol, tünel içinde taşıtlardan çıkan egzoz gazlarıyla oluşan CO₂ miktarı ve en önemlisi havalandırma düzenlemesi ile ilgisi vardır. Tünellerin havalandırma sistemleri araç emisyonlarından kaynaklanan egzoz gazlarını seyreltmelerinden dolayı önemli bir öğedir.

1.2 AMAÇ

Çağdaş havalandırma sistemlerinin çoğunluğu tünelin yoğunluğuna bağlı olarak farklı akım seviyelerinde tünelin içerisine temiz hava üfler. Doğal havalandırma yaklaşık 200 m gibi kısa bir uzunluğa sahip olan tüneller için yeterli kabul edilir. Fakat bu kısa uzunluk olan 200 m ise evrensel olarak anlaşılmış bir değer değildir. Tünel kısa kabul edilse bile karayolları tünelleri için mekanik havalandırma sistemleri kullanılır. Bu çalışmanın amacı Bolu Tüneli'ndeki trafiğin en yoğun olduğu saatteki tahmini trafik hacmini belirlemektir. Buna göre taşıt motorlarından çıkan egzoz gazlarından kaynaklanan kirli havanın seyreltilmesi için gerekli olan temiz hava miktarı normal ve kritik denge koşullarına göre modellenerek bir hesap yöntemi geliştirmektir.

BÖLÜM II

GENEL BİLGİLER

II.1.SAĞLIK STANDARTLARI

CO için uygulanabilir standartlar çeşitli kurumlardan çıkabilir. Dünya Sağlık Örgütü (WHO)[4] ve Mesleki Güvenlik ve Ulusal Sağlık Enstitüsü (NIOSH) bu kurumlara örnek verilebilir.[5] Hong Kong Hava Kalite Hedefleri CO'nun zaman-ağırlıklı ortalaması üzerindeki 1 saat (h) için 27 ppm'e izin verir (TWA). Araç tünellerindeki hava kirliliğinin kontrolü için Hong Kong Çevresel Koruma Bölümü Pratik Hesap Pusulası'nda 5 dakika için 100 ppm CO seviyesi olarak önerilir.[6] Bu seviye normal nüfus için güvenilir olacaktır. Tünel şirketlerinin bazıları ise sağlık için kendi standartlarını ortaya koyarlar. WHO'nun yönergesinde 87,25 ve 9 ppm için sırasıyla 15 min, 1 h ve 8h TWA'da (zaman- ağırlıklı ortalaması) açığa çıkan CO seviyeleri yer alır. Çünkü tünellerdeki CO için ortaya çıkış zamanı normal olarak 5 dakikadan daha azdır, kısa dönemli ortaya çıkış limiti ilgi noktasıdır. NO₂ ve SO₂ 'nin ortaya çıkışı kısa periyotta olsa bile sağlığa etki nedeni olabilir. Petrollü arabalardan çıkan SO₂ genellikle önemsiz kabul edilir. Çünkü sülfür bileşenleri ham petrolün daha ağır kısımlarında toplanır. Sadece dizeldaki sülfür problem olarak kabul edilir. Gelecek kanunlardan da sülfürün içeriğini tamamen ortadan kaldırmaları beklenmektedir. Farklı sağlık standartları Tablo II.1'de özetlenmiştir.

Tablo II.1 Farklı Standartların Karşılaştırılması[7]

Standart	ppm de CO'nun yoğunluğu (açığa çıkma zamanı)	ppm de NO2'nin yoğunluğu (açığa çıkma zamanı)	ppm de SO2'nin yoğunluğu (açığa çıkma zamanı)
ACGIH	25ppm (8h)	3ppm (8h) 5ppm (15min)	2ppm (8h) 5ppm (15min)
EPD	100ppm (5min)	1ppm (5min)	0.4ppm (5min)
HKAQ	27ppm (1h)	0.15ppm (1h)	0.25ppm (1h)
HKLB	9ppm (8h)	3ppm (8h) 5ppm (15 min)	2ppm (8h) 5ppm (15min)
NAASQS	9ppm (8h) 35ppm (1h)	0.0053ppm (Annual)	0.03ppm (Annual) 0.14ppm (24h) 0.5ppm (3h)
WHO	9ppm (8h) 25ppm (1h) 87ppm (15min)	0.1ppm (1h)	0.2ppm (10min)

II.2 YASAL SEBEPLER

2 Kasım 1986 tarihli 19269 sayılı Resmi gazetede yayınlanan Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliğinin (www.cevre.org) 2. maddesinde “ Bu yönetmeliğin amacı, her türlü faaliyet sonucu atmosfere yayılan is, duman, toz, gaz, buhar ve aerosol halindeki emisyonları kontrol altına almak; insan ve çevresini hava alıcı ortamdaki kirlenmelerden doğacak tehlikelerden korumak, hava kirlenmeleri sebebiyle çevrede ortaya çıkan umuma ve komşuluk münasebetlerine önemli zararlar veren olumsuz etkileri gidermek ve bu etkilerin ortaya çıkmamasını sağlamaktır” şeklinde ifade edilmiştir. Burada emisyon; yakıt ve benzerlerinin yanmasıyla; sentez, ayrışma, buharlaşma ve benzeri işlemler sonucu bir tesisten atmosfere yayılan kirleticilerdir. Görüldüğü üzere yasa hükmü, bir karayolu tüneli içinde ortaya çıkan hava kirlenmesini önlemek için de geçerlidir.

Belirtilen yönetmeliğin 48. maddesinde “ Hava kalitesinin belirli kritik değerlere ulaşması halinde veya hava akımlarının sınırlı olduğu bölgelerde valilikler geçici veya sürekli olarak trafiği sınırlandırabilir veya yasaklayabilir” hükmü de yer almaktadır.[8]

II.3 TÜNEL GÜVENLİĞİ

Tünellerin asgari güvenlik gereksinimlerine ilişkin proje kriterlerinin belirlenmesi ile ilgili komisyon raporu;

Kapalı yapılar olmaları nedeniyle tünellerde trafik güvenliğinin sağlanması için, açık alan olan yollara göre, çok daha fazla önlem alınması gerekmektedir. Bu konuda değişik ülkelerde çalışmalar yapılmıştır. Tüneller için dünya genelinde geçerli güvenlik kriterleri uygulaması bulunmakta olup, güvenlik kriterleri ülkelere göre farklılıklar arz edebilmektedir. 07.09.2004 tarihinde Karayolları Genel Müdürlüğü'nde toplanan komisyon, dünyada bu uygulamalarda rehber olarak kullanılan;

- Avrupa Parlamentosu ve Konseyi'nin 29.04.2004 tarih ve 2004/54/EC sayılı Trans-Avrupa Karayolu Ağı Tünelleri İçin Minimum Güvenlik Gereksinimleri,
- Tüneller İçin Acil Durum Tesisleri Şartnamesi (Japonya, 1997)
- UNECE-Karayolu Tünelleri Uzmanlar Grubu'nun Tavsiyeleri Nihai Rapor (TRANS/AC.7/9, 2001)
- PIARC Tünellerde Yol Güvenliği (1995)
- Avusturya Planlama Kılavuzu (RVS.9.281, RVS.9.282, RVS.9.261, RVS.9.262)
- CIE (Uluslararası Aydınlatma Komisyonu)

Kaynakları incelenmiş, 'Trans-Avrupa Karayolu Ağı Tünelleri için Minimum Güvenlik Gereksinimleri'nin altyapı önlemleri bakımından esas alınmasına karar verilmiştir. Bu direktifte yer almayan hususlar için yukarıdaki belgelerin ilgili hükümlerinin uygulanacağı belirtilmiştir.[9]

Avrupa da yakın zamanda meydana gelen büyük tünel yangınları, güvenliğin sağlanabilmesi ve trafiğin güvenilir kılınabilmesi için tünel inşaatında uygun malzeme seçiminin önemini göstermiştir. Bu yangınlar büyük oranda yapıya hasar veren ve insanların ölümüne neden olan yangınlardır. Yangın sırasında tüneldeki ısı 1000 °C'nin üzerine çıkmaktadır. Yangın çok çabuk gelişmekte ve uzun süre devam edebilmektedir.[10,11]

Yangınla mücadele eden otoriteler: “yol kaplaması yanmaz olmalı, toksik gaz yaymamalı ve görünürlüğü sağlayabilmek için berrak renkte olmalı” demektedirler. Bu nedenle beton, önceden beri kullanıla gelen ve toksik gazlar yayan asfaltın yerine tercih dilmelidir.[12,13]

II.3.1 TÜNEL GÜVENLİĞİ PROJE KRETERLERİ

Tablo II.1 Tünel Güvenliği Proje Kriterleri[14]

ASGARİ GEREKSİNİMLER ÖZETİ		2004 EC\54 Şartlar	Trafik≤2000 araç/şerit		Trafik>2000 araç/şerit			Açıklamalar	Bolu tüneli
			500m- 1000m	>1000m	500m- 1000m	1000m- 3000m	>3000m		
Yapısal Önlemler	Tüp Sayısı≥2	4.1						15 yıllık trafik tahmini 1000 araç/şerit aşıldığını öngörürse zorunludur.	2 tüp
	Eğim≤%5	4.2	*	*	*	*	*	Coğrafi koşullar uygunsa zorunludur.	✓
	Yaya Yolları	4.3.1 4.3.2	*	*	*	*	*	Acil şeritler yoksa, 2.3.1 maddesinde açıklanan koşul sağlanmadıkça zorunludur.	✓
	En fazla her 500m’de acil çıkışlar	4.3.3 4.3.9	○	○	*	*	*	Mevcut tünellerde yapılması her bir duruma göre değerlendirilecektir.	✓
	En fazla her 1500m’de acil servisler için enine geçişler	4.4.1	○	○/●	○	○/●	●	Tünel 1500m’den uzun ve ikiz tüplü ise zorunludur.	✓
	Her bir portal çıkışında Orta Refüj Geçışı	4.4.2	●	●	●	●	●	Coğrafi imkanın olduğu ikiz veya çok tüplü tünel çıkışlarında zorunludur.	✓
	En fazla her 1000m’de cepler	4.5	○	○	○	○/●	○/●	1500m’den uzun, acil şeritleri olmayan, yeni iki yönlü tüneller için zorunludur. 1500m den uzun mevcut tünellerde analize bağlıdır. Yeni ve mevcut tünellerde kullanılabilir ekstra tünel genişliğine bağlıdır.	-
	Yanıcı ve Toksik Madde Drenajı	4.6	*	*	*	*	*	Tehlikeli madde taşınmasına izin verilen tünellerde zorunludur.	-
	Yapının Yangına Dayanıklılığı	4.7	●	●	●	●	●	Lokal bir çökmenin afetle sonuçlanabileceği yerlerde zorunludur.	✓

● : Zorunlu

○ : Zorunlu değil

* : İstisnalar ile birlikte zorunlu

◇ : Tavsiye edilir

Tablo II.3 Tünel Güvenliği Proje Kriterleri[14]

ASGARİ GEREKSİNİMLER ÖZETİ		2004 EC\54 Şartlar	Trafik≤2000 araç/şerit		Trafik>2000 araç/şerit			Açıklamalar	Bolu tüneli
			500m- 1000m	>1000m	500m- 1000m	1000m- 3000m	>3000m		
Aydınlatma	Normal aydınlatma	4.8.1	•	•	•	•	•		√
	Güvenlik Aydınlatması	4.8.2	•	•	•	•	•		√
	Tahliye Aydınlatması	4.8.3	•	•	•	•	•		√
Havalandırma	Mekanik havalandırma	4.9	○	○	○	•	•		√
	Yarı enine havalandırma	4.9.5	○	○	○	○	•	İki yönlü ve kontrol merkezi olan tünellerde zorunludur.	-
Acil durum istasyonları	En fazla her 150m de	4.10	○	○	○	○	○	İçerisinde telefon ve iki söndürücü bulunur. Yeni tünellerde en fazla 150 m de bir, mevcut tünellerde en fazla 250 m aralıklarda bulunur.	√
Su temini	En fazla her 250m de	4.11	•	•	•	•	•	Yoksa, başka bir şekilde yeterli su kaynağı sağlanması zorunludur.	√
İşaretlemeler		4.12	•	•	•	•	•	Acil haberleşme telefonu, yangın tüpü, cep, acil çıkışlar gibi kullanıcılara sunulan tüm tesisler dahil olmak üzere gerekli yatay ve düşey işaretlemeler yapılacaktır.	√
Kontrol merkezi		4.13	○	○	○	○	•	Birkaç tünelin izlenmesi tek bir kontrol ünitesinde merkezileştirilebilir.	√

Tablo II.4 Tünel Güvenliği Proje Kriterleri[14]

ASGARİ GEREKSİNİMLER ÖZETİ		2004 EC\54 Şartlar	Trafik≤2000 araç/şerit		Trafik>2000 araç/şerit			Açıklamalar	Bolu tüneli
			500m- 1000m	>1000m	500m- 1000m	1000m- 3000m	>3000m		
İzleme sistemi	Görüntü	4.14	○	○	○	○	●	Kontrol merkezi varsa sorunludur.	√
	Otomatik Olay Algılama Ve/Veya Yangın Algılama	4.14	●	●	●	●	●	Bu iki sistemden en az biri kontrol merkezi olan tünellerde zorunludur.	-
Tünel Kapatma Ekipmanı	Girişlerden önce trafik sinyalleri	4.15.1	○	●	○	●	●		√
	Tünel içerisinde en fazla her 1000 m de trafik sinyalleri	4.15.2	○	○	○	○	○	Kontrol merkezi varsa ve uzunluk 3000 m'yi aşıyorsa önerilir.	√
Haberleşme sistemleri	Acil servisler için Tekrarlı Radyo Yayını	4.16.1	○	○	○	●	●		√
	Tünel kullanıcıları için Acil radyo mesajları	4.16.2	●	●	●	●	●	Tünel kullanıcıları için tekrarlı radyo yayını ve kontrol merkezinin olduğu yerlerde zorunludur.	√
	Sığınaklar ve çıkışlarda anons sistemi (hoparlörler)	4.16.3	●	●	●	●	●	Tahliye durumundaki tünel kullanıcılarının dışarıya çıkmadan önce beklemeleri gereken yerlerde örneğin sığınaklarda zorunludur. Ayrıca tünel boyunca girişim oluşturmayacak ve işitilebilir bir ses seviyesi sağlayacak şekilde gerekli aralıklarla tesis edilmelidir.	√
Acil Güç Kaynağı		4.17	●	●	●	●	●	En azından tünel kullanıcılarının tahliyesi süresince, kaçınılmaz olan güvenlik ekipmanlarını işlevsel tutacaktır.	√
Yangına Dayanıklı Malzeme		4.18	●	●	●	●	●	Gerekli güvenlik fonksiyonlarını sürdürmeyi amaçlayacaktır.	√

II.4 ALTYAPI ÖNLEMLERİ

II.4.1 Tüp ve Şerit Sayısı

II.4.1.1- Tek veya ikiz tüp inşa edilmesine karar verilmesinde temel ölçütler ağır araçların yüzdesi, eğim ve uzunluk gibi hususlar dikkate alınarak projeksiyonu yapılacak trafik hacmi ve güvenlidir.

II.4.1.2- Tünellerin proje aşamasında, herhangi bir durumda 15 yıllık trafik tahmini tünelde şerit başına günlük 10.000 araç sayısının aşılabacağını gösterdiği zamanda tek yön trafikli ikiz tünele yer verilmelidir.

II.4.1.3- Acil şerit hariç tutulursa tünel içinde ve dışında aynı sayıda şerit olmalıdır. Herhangi bir şerit sayısı değişikliği tünel portalı önünde yeterli mesafe olmasına imkân vermelidir. Bu mesafe en az, hız sınırında seyreden aracın 10 sn' de kat edeceği uzunlukta olmalıdır. Coğrafi koşullar bunu önlerse güvenliği artırmak için ilave ve/veya destekleyici önlemler alınmalıdır.

II.4.2 Tünel Geometrisi

II.4.2.1- Kaza olasılığı ve şiddeti üzerindeki önemli etkileri nedeniyle tünelin enkesit geometrisi, düşey ve yatay alınyanı ve erişme yolları gibi parametrelerin projelendirilmesinde güvenliğe özel önem verilmelidir.

II.4.2.2- Coğrafi olarak mümkün olduğu müddetçe yeni tünellerde % 5' in üzerindeki boyuna eğimlere izin verilmemelidir.

II.4.2.3- Eğimi % 3' ün üzerinde olan tünellerde, bir risk analizine dayalı olarak, güvenliği artırmak için ilave ve/veya destekleyici önlemler alınmalıdır.

II.4.2.4- Yavaşlama şeridi genişliğinin 3.5 m' den az olduğu ve ağır yüklü vasıtalarla izin verilen yerlerde, bir risk analizine dayalı olarak, ilave ve/veya destekleyici önlemler alınmalıdır.

II.4.3 Kaçış Yolları Acil Çıkışlar

II.4.3.1- Acil şeridi olmayan yeni tünellerde yükseltilmiş veya yükseltilmemiş acil yaya yolları, bir arıza durumunda tünel kullanıcılarının kullanması için teşkil edilmelidir. Eğer bu şart, tünelin yapım karakteristikleri acil çıkışlara izin vermiyor veya aşırı bir maliyetle izin veriyorsa, trafik tek yönlü, daimi izleme ve şerit kapama sistemi ile teçhiz edilmiş ise uygulanmaz.

II.4.3.2- Ne acil şeridi ne de acil yaya yolu olan hâlihazır tünellerde güvenliği sağlamak için ilave ve/veya destekleyici önlemler alınmalıdır.

II.4.3.3- Acil çıkışlar, tünel kullanıcılarına, herhangi bir kaza veya yangın durumunda tüneli araçsız terk etmeleri ve güvenli bir yere erişmeleri imkânını verir

ve acil servisler için de tünele yaya olarak erişim sağlar. Acil çıkış örnekleri şunlardır;

- Tünelden dışarıya doğrudan çıkışlar,
- Tünel tüpleri arası enine geçişler,
- Acil galeriye çıkış,
- Tünel tüpünden ayrı olarak kaçış yollu sığınaklar.

II.4.3.4- Açık alana çıkış sağlayan kaçış yollarına yönlendirici çıkışı olmayan sığınaklar inşa edilmemelidir.

II.4.3.5- Eğer lokal şartlar altında dumanın ne kadar uzağa ve ne kadar hızlı yayılacağını kapsayan ilgili risklerin bir analizi kullanıcıların güvenliğini sağlamada havalandırma ve diğer güvenlik şartlarının yetersiz olduğunu gösteriyorsa acil geçişler teşkil edilmelidir.

II.4.3.6- Herhangi bir durumda, yeni tünellerde trafik hacmi şerit başına 2000 araçtan yüksek olduğunda acil çıkışlar teşkil edilmelidir.

II.4.3.7- Şerit başına araç sayısı 2000' den büyük trafik hacmine sahip 1000 m' den uzun mevcut tünellerde acil çıkışlar yapılmasının fizibilitesi ve etkisi değerlendirilmelidir.

II.4.3.8- Acil çıkışların olduğu yerde iki acil çıkış arasındaki mesafe 500 m' yi aşmamalıdır.

II.4.3.9- Uygun araçlar, örneğin kapılar, dumanın ve sıcaklığın acil çıkıştan kaçış yollarına geçişini önlemek için kullanılmalıdır.

II.4.4 Acil Servisler İçin Erişim

II.4.4.1- Tüpleri aynı veya yaklaşık olarak aynı seviyede olan ikiz tüp tünellerde acil servislerin kullanımı için uygun enine geçişler en fazla her 1500 m' de bir olmalıdır.

II.4.4.2- Orta refüj geçişleri, coğrafi olarak imkan olan her yerde, ikiz veya çok tüplü tünelin her portal çıkışında mevcut olmalıdır. Bu tedbir acil servislere diğer tüpe hızlı erişim imkanı vermelidir.

II.4.5 Cepler

II.4.5.1- Şerit başına 2000 aracın üzerinde trafik hacmine sahip 1500 m' den uzun çift yönlü yeni tünellerde, acil şeritler oluşturulmamış ise, 1000 m' yi aşmayacak mesafelerde cepler oluşturulmalıdır.

II.4.5.2- Acil şeriti olmayan şerit başına 2000 aracın üzerinde trafik hacmine sahip 1500 m' den uzun halihazır çift yönlü tünellerde cepler oluşturulmasının fizibilitesi ve etkisi değerlendirilmelidir.

II.4.5.3- Eğer tünelin yapım karakteristikleri izin vermiyorsa veya aşırı bir maliyetle izin veriyorsa ve araçların girebileceği toplam tünel genişliği, yükseltilmiş kısımlar ve normal trafik şeritleri dışında, en az bir normal trafik şeriti genişliğinde ise cepler oluşturulmamalıdır.

II.4.5.4- Cepler acil istasyonu ihtiva etmelidir.

II.4.6 Drenaj

II.4.6.1- Tehlikeli maddelerin taşınmasına izin verilen yerlerde, yanıcı ve toksik sıvıların drenajı tünel enkesiti içerisinde bulunan iyi tasarlanmış hendekler ve diğer önlemler vasıtasıyla sağlanmalıdır. İlave olarak drenaj sisteminin; yangın, yanıcı ve toksik sıvıların tünel içerisinde ve tüpler arasında yayılmasını önleyecek şekilde tasarımı yapılmalı ve idamesi sağlanmalıdır.

II.4.6.2- Eğer mevcut tünellerde bu gereksinim karşılanamaz veya aşırı bir maliyetle karşılanırsa bu durum, ilgili risklerin analizi temelinde, tehlikeli maddelerin taşınmasına izin verilip verilmeyeceğine karar verilirken dikkate alınmalıdır.

II.4.7 Yapıların Yangına Karşı Dayanıklılığı

II.4.7.1 Tüm tünellerin ana yapılarında yangına dayanıklılıkları sağlanmalıdır.

II.4.8 Aydınlatma

II.4.8.1- Normal aydınlatma, tünel içerisinde olduğu gibi giriş bölgesinde de, sürücülere yeterli gündüz ve gece görünürlüğü sağlayacak özellikte olmalıdır.

II.4.8.2- Güvenlik aydınlatması, bir güç kaynağı arızası durumunda araçlarıyla tüneli tahliye etmeleri için, tünel kullanıcılarına asgari görünürlük sağlamalıdır.

II.4.8.3- Tahliye aydınlatması, örneğin 1.5 m' den yüksek olmayacak şekilde tahliye işaret ışıkları, acil durumda tüneli yürüyerek terk etmeleri için tünel kullanıcılarına kılavuzluk yapmalıdır.

II.4.9 Havalandırma

II.4.9.1-Havalandırma sisteminin tasarımı, yapımı ve işletmesi aşağıdaki hususları dikkate alınmalıdır:

-Normal ve zirve trafik akışlarında araçlardan yayılan kirleticilerin kontrolü,

-Bir olay veya kaza nedeniyle duran trafikteki araçlardan yayılan kirleticilerin kontrolü,

-Yangın durumunda sıcaklık ve duman kontrolü.

II.4.9.2- Şerit başına 2000 araçtan yüksek trafik hacmine sahip 1000 m' den uzun tüm tünellerde mekanik havalandırma sistemi tesis edilmelidir.

II.4.9.3- Çift yönlü ve/veya yoğun tek yön trafikli tüm tünellerde, boyuna havalandırma kullanılmamalıdır. Ancak yapılacak risk analizi kabul edilebilir ve/veya özel önlemler alınması -örneğin trafik yönetimi, daha kısa acil çıkış mesafeleri, fasılalarla duman deşarjı- öngörüsüne sahipse boyuna havalandırmaya izin verilmelidir.

II.4.9.4- Mekanik havalandırma sisteminin gerekli olduğu ve madde 9.3' e göre boyuna havalandırmaya izin verilmediği tünellerde enine veya yan-enine havalandırma sistemleri kullanılır. Bu sistemler bir yangın durumunda dumanı tahliye etme yeteneğine sahip olmalıdır.

II.4.9.5- Trafik hacmi şerit başına 2000 yüksek, 3000 m' den uzun ve bir kontrol merkezi olan enine ve/veya yan-enine havalandırmalı tüm çift trafik yönlü tünellerde havalandırma ile ilgili olarak aşağıdaki asgari önlemler alınmalıdır:

-Hava ve duman deşarj kapakları ayrı ayrı veya gruplar halinde çalıştırılabilecek şekilde tesis edilmelidir,

-Boyuna hava hızı sürekli izlenmeli ve havalandırma sisteminin (kapaklar, fanlar, vb.) yönlendirme süreci uyumlu olarak ayarlanmalıdır.

II.4.10 Acil İstasyonlar

II.4.10.1- Acil istasyonlarla özellikle acil telefonlar ve yangın söndürücüler gibi çeşitli güvenlik ekipmanlarının sağlanması amaçlanmıştır, fakat yol kullanıcılarının yangının etkilerinden korunması amaçlı değildir.

II.4.10.2- Acil istasyonlar yan duvarda bir kutudan veya tercihen bir oyuktan oluşur. En az bir acil telefon ve iki yangın söndürücü ile teçhiz edilmelidir.

II.4.10.3- Acil istasyonlar portalların yakınında ve iç kısımda ise yeni tünellerde 150m 'yi mevcut tünellerde 250m 'yi aşmayacak aralıklarla oluşturulmalıdır.

II.4.11 Su Temini

Tüm tüneller için su temini yapılmalıdır. Hidrantlar portalların yakınında ve iç kısımda 250m' yi aşmayacak aralıklarla olmalıdır. Şayet su temini yapılamazsa yeterli miktarda suyun başka türlü sağlanması zorunludur.

II.4.12 Yol İşaretleri

Tüm güvenlik tesisleri tünel kullanıcılarının kolaylıkla algılayabileceği şekilde özel işaretlerle belirtilmelidir.

II.4.13 Kontrol Ünitesi

II.4.13.1- Kontrol Merkezi

İşletme idaresinin ve tünel tesislerinin kontrolünün personel tarafından tam gün gerçekleştirildiği istasyondur. 3000m' den uzun ve şerit başına 2000 araçtan yüksek trafik hacmine sahip tüm tüneller için bir kontrol merkezi oluşturulmalıdır.

II.4.13.2 İşletme Merkezi

İşletme ve güvenlik tesislerinin, İşletme idaresinin, kontrolünün ve bakımının (kontrol etme ve izleme, servis ve tamirat vb.) tam gün personel bulundurma zorunluluğu olmadan gerçekleştirildiği istasyondur. Kullanıcının veya sistemin vereceği acil uyarı mesajları olduğu takdirde bu sinyallerin sürekli eleman bulundurulmuş bir birime iletilmesi sağlanmalıdır.

II.4.13.3-Farklı tünellerin izlenmesi tek kontrol ünitesinde merkezileştirilebilir.

II.4.14 İzleme Sistemleri

Görüntü izleme sistemleri ve trafik olaylarını (örneğin duran araçlar) ve/veya yangınları otomatik algılayabilecek bir sistem kontrol merkezi olan tüm tünellere tesis edilmelidir.

Otomatik yangın algılama sistemleri kontrol merkezi olmayan, duman kontrolü için mekanik havalandırmanın işletiminin kirleticilerin kontrolü için havalandırmanın otomatik işletiminden farklı olduğu, tüm tünellere tesis edilmelidir.

II.4.15 Tünel Kapatma Ekipmanı

II.4.15.1- 1000m' den uzun tüm tünellerde trafik sinyalleri girişlerden önce tesis edilmelidir, böylece tünel acil durumlarda kapatılabilecektir. İlave araçlar -örneğin değişken mesaj işaretleri ve bariyerler- mesajlara uyulmasının temini için sağlanabilir.

II.4.15.2- 3000m' den uzun, kontrol merkezi olan ve trafik hacmi şerit başına 2000 araçtan yüksek olan tüm tünellerin içerisinde, bir acil durumda araçları durduracak ekipmanın, 1000m' yi aşmayacak aralıklarla olması önerilir. Bu ekipman, trafik sinyallerini ve olası ilave araçları –örneğin; hoparlörler, değişken mesaj işaretleri ve bariyerler- kapsamalıdır.

II.4.16 Haberleşme Sistemleri

II.4.16.1- Telsiz ekipmanı, acil servislerin (bakım, itfaiye, ambulans vb.), kullanımı için, 1000m' den uzun ve trafik hacmi şerit başına 2000 araçtan yüksek tüm tünellere teçhiz edilmelidir.

II.4.16.2- Kontrol merkezinin olduğu yerde, olduğu takdirde acil durum mesajlarını iletmek için, tünel kullanıcılarına hitap eden kanalların radyo yayınına giriş yapma imkanı olmalıdır.

II.4.16.3- Tahliye tünel kullanıcılarının dışarıya erişmeden önce bekleyeceği sığınaklar ve diğer tesisler, kullanıcılara bilgi aktarılması amacıyla, hoparlörler ile teçhiz edilmelidir.

II.4.17 Güç Kaynakları ve Elektrik Devreleri

II.4.17.1- Tüm tüneller tahliye için kaçınılmaz olan güvenlik ekipmanlarının, tüm kullanıcılar tüneli tahliye edinceye kadar, işletimini sağlayacak bir acil güç kaynağına sahip olmalıdır.

II.4.17.2- Elektrik, ölçü ve kontrol devreleri, lokal bir arıza, örneğin bir yangın nedeniyle oluşan, bozulmayan devreleri etkilemeyecek şekilde tasarlanmalıdır.

II.4.18 Ekipmanların Yangına Dayanıklılığı

Tüm tünel ekipmanının yangına dayanıklılık düzeyi, teknolojik imkanları ve bir yangın durumunda gerekli güvenlik fonksiyonlarının sürdürülmesi amacıyla, dikkate alınmalıdır.

Avrupa Parlamentosu ve Konseyi' nin 29 Nisan 2004 gün ve 2004/54/EC sayılı direktif eki referans alınarak hazırlanmıştır. [15]

II.5 HAVALANDIRMA SİSTEMİ

Tünel içindeki kirli havayı dışarı atarak gerekli temiz havayı temin etmek, yangın anında havayı yönlendirmek ve tahliye etmek amacıyla kurulur. Karayolları proje kriterlerinde trafik yoğunluğu 2000 araç/şerit ve uzunluğu 1000 m 'den büyük tünellerde mekanik havalandırma zorunludur.

Konu ile ilgili uluslararası kabul gören standartlar:

PIARC : Uluslararası Daimi Yol Konseyi

NFPA : Amerikan Ulusal Yangın Koruma Birliği

PIARC 05.02.B / 1995; PIARC / 2004: Karayolu Tünelleri Konseyi Uluslararası Daimi Birliği taşıt emisyonları, hava talebi, çevre, boylamsal havalandırma esasları.

NFPA 502 / 2008: Karayolu Tünelleri, köprüler ve diğer Erişim kontrollü otoyollar için standart.

II.5.1 Boyuna Havalandırma: Boyuna bir havalandırma sistemi tünel içerisindeki yola bir portal ya da şaft gibi sınırlı sayıdaki noktalardan hava almakta ve vermekte olup, yol içerisinde boyuna bir hava akışı oluşturup çıkış portalında deşarj olmaktadır.

II.5.2 Çapraz Havalandırma: çapraz havalandırma sistemleri tünel uzunluğu boyunca havanın üniform olarak birikmesi ve dağılmasını kapsar ve tam çapraz ya da yarı çapraz tipte olabilir.

Tünel havalandırma sistemine karar verilirken;

- Tünel içerisindeki hava hızı 10 – 12 m/sn’ den büyük ise boyuna havalandırma yapılamaz.
- Tünel içindeki hava hızı, tünel içerisinde gerekli olan temiz hava miktarının tünel kesit alanına oranıdır. ($V \text{ m/sn} = Q/A$)

II.6 HAVALANDIRMA SİSTEMİ

Araç trafiği kapalı mekan olan tünel içerisinde gaz yoğunlaşmasına neden olmaktadır. Tünel içinde taşıtlar nedeniyle CO, NO ve NO₂ gibi zehirli gazlar ortaya çıkmakta ve is kurum gibi parçacıklar havalanarak görüş mesafesini düşürmektedir. Bunlar belirli sınırlara yaklaştığında tünel dışına atmak için de havalandırma sistemleri devreye girmektedir.

Sistemin verimliliğini artırmak için tünel içindeki ve giriş – çıkışlarındaki rüzgârın yönü ve hızı da ölçülmekte ve buna uygun yönde itme temin edilmektedir. Tüm bu işlemler için ileri düzey algılayıcı cihazlar ve tespit cihazları tünel içinde kullanılmaktadır.

II.7 HAVALANDIRMA SİSTEMİ İÇİNDEKİ ALGILAMA CİHAZLARI

- Algılama cihazlarının tünel içerisindeki yerleşimi portal başlarından içeri doğru minimum 150 m’ den başlar.
- Tünelin uzunluğuna ve kritik yerlerin durumuna göre sayıları 2 veya daha fazla olabilir.
- CO detektörü 1 – 1,5 m yükseklikte,
- Toz partikül detektörü 1 – 3,5 m yükseklikte,
- Yön hız detektörü 3 m yüksekliktedir.

II.7.1 Havalandırma Sistemi İçindeki Algılama Cihazları

- Algılama cihazlarının limit değerleri uluslararası standartlarda verilmektedir. (PIARC 2004 v.s.)
- Cihazlar limit değerleri üzerinde bir değer algıladığında tünel trafiğe kapatılır.

II.7.1.1 Havalandırma Sistemi İçindeki Algılama Cihazları

- CO detektörü
- NOX detektörü
- Toz partikülü detektörü
- Yön ve hız detektörü
- Sis detektörü

II.8 BOLU DAĞI TÜNELİ

TEM (Kuzey-Güney Avrupa Otoyolu) Projesi, Türkiye sınırları içinde Kapıkule'den başlayıp İstanbul-Ankara üzerinden devam etmektedir. Anadolu Otoyolu, Gümüşova-Gerede kesimi de bu güzergâh üzerinde TEM projesinin bir parçasını oluşturmaktadır.

Edirne-İstanbul-Ankara eksenindeki ulusal ve uluslararası taşıma talebini karşılamayı amaçlayan otoyol projesi içinde yer alan Bolu Dağı Geçişi ise projenin yapımı tamamlanan 2. kısmını oluşturuyor (2007' de tamamlanmıştır). Yapımı tamamlanan 25,5 kilometre uzunluğundaki Bolu Dağı Geçişi, Gümüşova-Gerede otoyolunun 30. kilometresindeki Kaynaşlı'dan başlayarak, Doğu yönünde Asarsu Vadisi boyunca ilerleyip Bolu Dağı'nı bir tünelle geçmekte ve Yumrukaya mevkinde sona ermektedir.

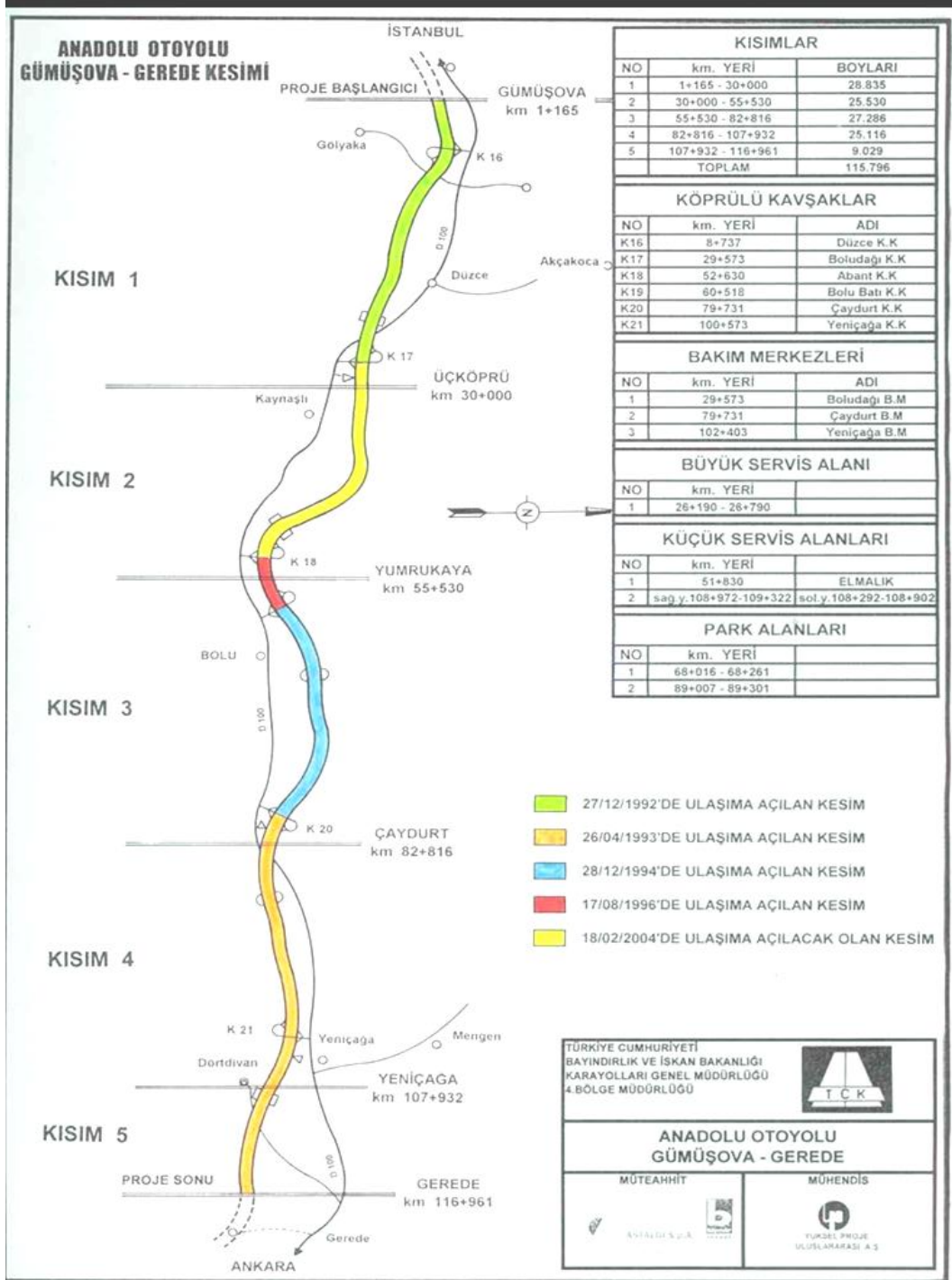
Bolu Dağı Geçişi Projesi 1990 yılında ihaleye çıkarılmış, ihaleyi İtalyan Astaldi firması yüklenmiştir. Bolu Dağı Geçişi Projesi içinde yer alan Bolu Dağı Tünelinde ilk kazı işlemi ise 1993 yılında başlamıştır.

Toplam 25,5 kilometre uzunluğundaki Bolu Dağı geçişinde, 4,6 kilometre uzunluğunda 4 adet viyadük, yaklaşık 900 metre uzunluğunda 3 adet köprü, yaklaşık 2 bin 900 metre uzunluğunda Bolu Tüneli yer almaktadır. Bugüne kadar 2 kez sel, 2 kez de depreme maruz kalması nedeniyle projede bazı gecikmeler meydana gelmiştir. Bolu Dağı Tüneli 3 geliş, 3 gidiş şerit olmak üzere, çift tüp olarak inşaa edilmiştir. Ankara yönüne doğru olan sağ tüp 2 bin 780 metre, İstanbul yönündeki sol tüp ise 2 bin 954 metre uzunluğundadır. Bolu Dağı Geçişi Projesi, genellikle Bolu Tüneli Projesi olarak anılmakta ancak tünel projenin 2 bin 867 kilometrelik bölümünü oluşturmaktadır.

Bolu Dağı Tüneli Gümüşova - Gerede otoyolunun km. 45+300 – 48+600 arasında (2. kısımda km. 15+300-18+600) portal yapıları (aç-kapa tüneller) ile birlikte ortalama 3100 m uzunluğundadır. %2 eğimli, 2 tüplü, 3 şeritli, acil park şeritsiz, 98.65 m² net enkesit alanına sahip olarak inşa edilmiştir. Kazı kesiti klâslarına göre; A2: 134 m² ile OP4’de 283 m² arasında değişiklik göstermiştir. Püskürtme beton ve beton kesitlerde klâslara göre oldukça farklılıklar göstermiştir. İki tüp arasında 5 tanesi araç geçişi ve 1 tanesi yaya için olmak üzere 6 adet acil geçiş bağlantıları vardır. Net genişliği 12 m, yüksekliği 8.60 m olup trafik için faydalı yükseklik 5 m’ dir. Her iki yanda 2*0.75 m yaya kaldırımı vardır. Her tüpte (Sol: 28 ve sağ: 27) adet yangın söndürme, (28+27) adet drenaj bakım, (14+13) adet acil haberleşme ve (3+3) adet de elektrik dağıtım nişi olmak üzere toplam (143) adet niş yerleştirilmiştir. İşletme sırasında her iki tünel içinde fanlı uzunlamasına havalandırma sistemi seçilmiş olup havalandırma için sağ tüpte 42 (3*14) adet, sol tüpte 8 (2*4) adet 45’ er KWatt gücünde Ø 1.80m çapında fanlar kullanılmaktadır. Yapımını Astaldi S.P.A, projesini Geoconsult, müşavirliğini Yüksel – Rendel ortak girişimi üstlenmiştir. İşin sözleşme tarihi 19.01.1990 bitiş tarihi Mayıs 2007 dir. Mayıs ayında sol ve sağ yol olarak trafiğe açılan tüneller de aynı zamanda elektrik, elektronik ve yangın söndürmeyle ilgili eksiklikler giderilmeye çalışılmaktadır.[15]

Bolu Tüneli dünyadaki en büyük kesitli tüneller arasında bulunmaktadır. Bu Tünel dünyadaki en zor ve karmaşık jeolojik şartlarının bulunduğu yerlerden birisinde yapılmıştır.

Tünel aktif Kuzey Anadolu fay hattına yakın geçtiğinden, karşılaşılan kaya formasyonları çok değişik ve son derece zayıftır.



ŞEKİL II.1 Anadolu Otoyolu Gümüşova – Gerede Kesimi[15]

BÖLÜM III

TEZ ÇALIŞMASI

III.1 TÜNEL HAVALANDIRMA TASARIM KILAVUZU

Tünel içerisinden geçen yollar, karayollarının en pahalıya mal olan kısımlarını oluşturur. Sadece havalandırma sistemi için gerekli olan yapım ve tesisat, toplam bedelin %20'sine ulaşmaktadır. İşletme masraflarındaki bir ana faktör, seçilen havalandırma türüdür. Yalnızca havalandırma sistemi için gerekli olan güç sarfiyatı masrafı, tünelin güç sarfiyatının toplam masrafının %50'sinden çok daha fazla olabilmektedir. Bolu dağı tünelinin havalandırma sisteminin tasarlanmasında **RVS 9.262 ve RVS 9.261 (Karayolu Tasarımı Ve Yapımı Kılavuzu Ve Yönetmeliği)** tasarım kılavuzlarından yararlanılmıştır. Araçlar, egzoz katalizörlü binek otoları, egzoz katalizörsüz binek otoları, dizel binek otoları ve ağır vasıta şeklinde kategorilere ayrılarak bu araçların emisyonları tanımlanmış ve 2010 yılı için bu değerler tahmin edilmiştir.[16]

III.2 TASARIM KILAVUZU, TÜNEL HAVALANDIRMASI ESASLARI (RVS 9.261)[16]

III.2.1 Havalandırma Tesisatlarının Performans Gereksinimleri

- Normal çalışma sırasında: tüm trafik durumlarında kirleticiler tarafından kirletilen atmosfere maruz kalınma süresi hesaba katılarak tünel kullanıcıları ve bakım personeline hiçbir zarar gelmemelidir.

- Yangın çıkması durumunda: kaçış yollarının güvenliği, insanların tünelden kurtarılması (kaçış yollarının dumansız tutulması, kaçış girişlerinin havalandırılması), kurtarma personeli için lehte koşullar üretmesi, meydana gelebilecek hasarları en asgariye indirmesinin sağlanması gereklidir.

III.3 TEMİZ HAVA TALEBİNİN HESAPLANMASI

III.3.1 Trafik Verileri

III.3.1.1 Trafik Hacmi

Yılda 30 saatte ulaşılan veya aşılacak değer olan Q_{30} olarak gösterilen ortalama yıllık günlük trafik hacmi (MSV), karayollarındaki yol ağının tünelli kısmı için bir trafik tahminiyle belirlenir.

III.3.1.2 Trafik İçerik Karışımı

Emisyon hesaplaması için, aşağıdaki trafik ayırım sınıflaması dikkate alınır.

- Benzinli ve egzoz katalizörsüz binek otoları
- Dizel binek otoları
- HGV'ler

III.3.1.3 Trafik Şeritlerine Trafik Hacimleri Tayin Edilmesi

Daha doğru bir istatistik olmadığı sürece tasarım, tüm trafik şeritlerine trafik hacminin eşit dağılımından başlayıp hesaplamalarda kullanılacaktır.

III.3.1.4 Trafik Koşulları

Seyir halindeki trafik “ ≥ 30 km/s” trafik koşulu dikkate alınır. Dur- kalk trafik “ ≤ 30 km/s” böyle bir trafik koşulu düzenli şekilde beklenmesi gerekiyorsa dikkate alınır.

III.3.2 Trafik Sınır Değerleri

- CO konsantrasyonu sınır değeri 100 ppm'dir.
- NO_x konsantrasyonu sınır değeri 25 ppm'dir. NO_x kriterleri için genellikle, CO ve kurum sınır değerleri aşılmadığı takdirde, bu limit değeri aşılmayacağından dolayı, temiz hava talep hesaplaması gerekli değildir.
- Bulanıklık/is, kurum sınır değeri olarak, ışık yitirme katsayısı $7 \cdot 10^{-3}/m^{-1}$ alınır.
- Meteoroloji koşulları dikkate alınmadan ve trafiksiz tünelde sadece mekanik havalandırma tarafından oluşturulan uzunlamasına hava hızı, 10 m/s'yi aşmamalıdır.

III.4 HAVALANDIRMA SİSTEMİNİN SEÇİLMESİ

Tüm havalandırma sistemlerinde karar için hayati önemi olan hususlar, ekonomik performans ile normal çalışma ve tünelde yangın çıkması halleri için olan güvenlik analizleridir.

Ekonomik performansın araştırılması amacıyla yönelik olarak, elektromekanik tesisatların tasarım ömürleri 20 yıl olarak alınacaktır. Tünelin yapısal elemanlarının tasarım ömürleri ise genellikle 80 yıl olarak alınacaktır.

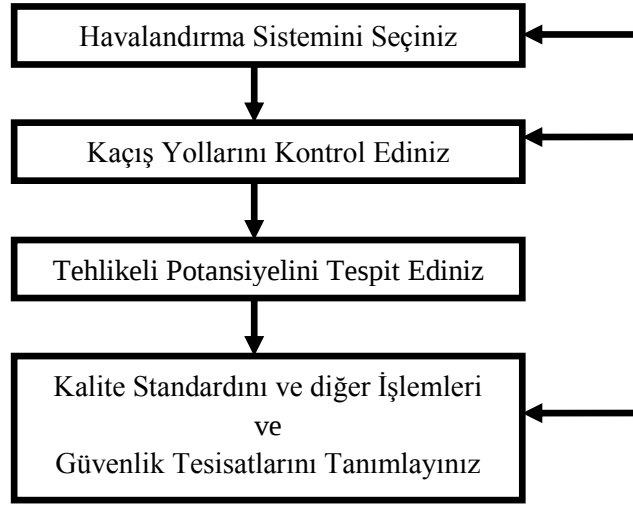
III.4.1 Karar Kriterleri

Normal çalışma tasarım hali için aşağıdaki kriterler dikkate alınmalıdır:

- Trafiğin yönü (tek yönlü, çift yönlü, azami trafik hacmi, dur-kalk trafiği vb.)
- Tünelin durumu (uzunluk, rampa, kesit, kaçış güzergahları vb.)

Tünelde yangın tasarım hali için aşağıdaki kriterler dikkate alınmalıdır:

- Kaçış yollarının durumu
- Tehlike potansiyeli
- Havalandırma sisteminin seçimi için, aşağıdaki süreç gerçekleştirilmelidir:



III.4.2 Güvenlik Analizi

Güvenlik analizi, her bir tünel tüpü için ayrı yapılmalıdır. Kombine havalandırma sistemleri için her bir sistem, ayrı ayrı analiz edilir ve en düşük güvenlik katsayısı, tünelin emniyetini belirler.

III.4.2.1 Kaçış Yollarının Uzunluklarının İncelenmesi

Bir kaçış yolunun uzunluğu, sırasıyla yaya geçiş girişleri, kaçış girişleri ile portallar arasındaki azami mesafe olarak tanımlanmıştır. Boyuna havalandırma sistemi (LL) durumunda, III.4.3.1'e göre olan kaçış yolu uzunluğu, emniyete alınacaktır. Daha uzun kaçış yollarına ancak, duman çıkış yerleri veya duman tahliyesi sağlanmışsa izin verilir. Ne istenilen kaçış yolu uzunluğu ne de ek duman çıkış yerleri olanağı yoksa, başka bir havalandırma sistemi seçilmelidir.

III.4.2.2 Tehlike Potansiyelin Belirlenmesi

Tehlike potansiyeli aşağıdaki faktörlere bağlıdır:

- MSV
- Trafiğin yönü (g_R)

- Ek çelişki noktaları (g_K) (birleşen şeritler, tünelde ve ana alanda kesişmeler)
- Tehlikeli maddelerin nakli için izin verilmesi ve bunların sıklığı(g_G)

Tehlike potansiyelinin hesaplanması:

$$G = MSV * g_R * g_K * g_G$$

Aşağıdaki ağırlık çarpanları alınır:

g_{RR}	=	1.0 tek yönlü trafik için
g_K	=	1.0 tünelde birleşen şeritsiz
g_{KV}	=	1.5 tünelde birleşen şeritli
g_{KVN}	=	1.2 tam tünelden önce ve sonra birleşen şeritler için
g_{KK}	=	2.5 tünelde kesişmeler için
g_{G-10}	=	1.0 günde azami 10 adet tehlikeli madde nakli için
g_{G-50}	=	1.5 günde azami 50 adet tehlikeli madde nakli için
$g_{g>50}$	=	2.0 günde 50 adetten fazla tehlikeli madde nakli için

III.4.2.3 Ölçümler Listesi

Tünel kullanıcıları ve işletim – kurtarma personeli için güvenlik tesisatlarının kalite standartları, güvenlik katsayısı tarafından karakterize edilir. Aşağıda gösterilen ölçümler, bu değeri belirler:

Duman havalandırmasını geliştirmek üzere önlemler (S_R)

- Tünelin arakesitinin genişletilmesi (R_Q)
- Duman çıkış ağızları (R_A)

Kaçış – kurtarma çıkış yolları uzunluklarının azaltılması için önlemler (S_W)

- Kaçış yolunun uzunluğu (W_F)
- İlgili tünel tüpünde kurtarma araçlarının seyir mesafesi (tehlike bölgesi) (W_E)

İşletme yönetimi önlemleri (S_B)

- Bilginin iyileştirilmesi
 - Tüm bilgilere ve kontrol tesisatına sahip kalıcı olarak kurulmuş kontrol merkezi (B_W)
 - İlk koordinasyon için azaltılmış kontrol donanımlı, kalıcı olarak kurulmuş kontrol merkezi (B_A)
 - Olayın yeri ve boyutunun tayini için acil durum makamlarına onay kontrollü resim iletimi ($B_{\bar{U}}$)
 - Trafik tıkanıklığının otomatik olarak belirlenmesi (B_{St})
 - Tehlikeli maddelerin otomatik olarak belirlenmesi (B_G)

İtfaiye ve ambulans işletiminin hızlandırılması

- 5 km'den daha az erişim yolu olan, kentsel alanlarda portallara 1.5 km'den daha az, kalıcı itfaiye birliği(B_0)
- Otomatik yangın alarmı (B_B)
- İçten içe yangını algılayacak tesisatlar (B_S)
- Tünelde telsiz iletişimi (B_T)

Güvenlik katsayısının hesabı:

$$S = S_R * S_W * S_B$$

Tünel faktörlerinin aşağıdaki unsurları hesaba katılacaktır:

- Duman havalandırma faktörü:

$$S_R = R_Q + R_A$$

Semboller ve anlamları:

- Arakesit faktörü
 $R_Q = H/5$ H: tünel uzunluğu
- Duman tahliye faktörü R_A

$R_{AP} = 800/a$ a: boyuna havalandırma sisteminde duman menfezlerinin mesafesi, duman çekme olması halinde, tünelin uzunluğuna eşittir.

- Mesafe faktörü

$$S_W = W_F + W_E$$

- Kaçış faktörü
 $W_F = 2.0 - F$ F: kaçış çıkışı yolunun uzunluğu (km)
- Erişim mesafesi faktörü

$W_E = 1.5 - 0.1 * L$ L: tünel içinde kurtarma birimi araçları mesafesi (tünel uzunluğu, araçların girişlere uzaklığı, giriş uzunluğu hesaba katılmıştır) (km)

- İşletim faktörü $S_B = 1 + \Sigma B_1$

B_1 : sembol ve anlamları

- | | |
|---------------------------------------|-------------|
| - Sürekli kalıcı kontrol merkezi | $B_W = 2.0$ |
| - İlk koordinasyon için kalıcı merkez | $B_A = 0.5$ |
| - Video iletim | $B_U = 0.5$ |

- Trafik tıkanıklığının otomatik tanımlanması $B_{St} = 0.5$
- Tehlikeli maddelerin otomatik tanımlanması $B_G = 1.0$
- Tehlikeli madde nakliyatının organize geçişi $B_D = 0.5$
- Portalda yerel itfaiye birliği $B_O = 1.0$
- Otomatik yangın alarmı $B_B = 1.0$
- İçten içe yangının algılanması $B_S = 0.5$
- Tünelin içinde telsiz iletişimi $B_T = 0.5$

İstenilen güvenlik katsayısı, tünelin dahil olduğu tehlike kategorisi tarafından belirlenir.

Sınıf I:

1000'den düşük tehlike potansiyeli, seyrek trafikli tüneller.

Sınıf II:

Tehlike potansiyeli 1000 – 2500 arasında, orta sıklıkta iki yönlü trafikli tüneller, tek yönlü ancak yoğun trafikli tüneller de bu sınıfa girer.

Sınıf III:

Tehlike potansiyeli 2501 – 10.000 arasında olan yoğun trafikli ve ek riskleri olan tüneller.

Sınıf IV:

Tehlike potansiyeli 10.000'in üzerinde olan çok yoğun trafikli ve ek riskleri olan tüneller. Bu tüneller genellikle yoğun nüfuslu yerlerde bulunurlar.

Tablo III.1 Gerekli Güvenlik Katsayısı[16]

Sınıf	Tehlike Potansiyeli G	Asgari güvenlik katsayısı
I	1.000'e kadar	1
II	1.001 ile 2.500 arasında	5
III	2.501 ile 10.000 arasında	10
IV	10.000'in üzerinde	25

III.4.3 Havalandırma Sistemi

III.4.3.1 Boyuna (Uzunlamasına) Havalandırma Sistemi

Boyuna havalandırma sisteminin ilkesi, tünelin içinde doğal yoldan veya fanlarla oluşturulan uzunlamasına bir hava akımıdır. Bu iş için aşağıdaki gereksinimler sağlanacaktır:

- Araçların ve meteorolojik koşulların etkileri dikkate alınmak suretiyle havanın uzunlamasına azami hızı, 10 m/sn olacaktır.

- Tünelin iç yüksekliği H'nin bir fonksiyonu olarak ifade edilen, tehlike bölgesinden kaçış azami mesafesi:

$$x = 800 * H/5$$

- Fanlar tersinir olacak ve yangın olması halinde 1.5 m/sn'lik bir hava hızı elde edebilecek kapasitede ve asgari 80 m³/sn'lik hava hacmini çıkartabilir olmalıdır.
- Jet fanları, güvenliklerini arttırmak ve yangın olması durumunda türbülansın asgariye düşürülmesi için tüm tünel boyunca dağıtılacaktır.
- Yangın olması halinde tek nokta çekiş için çekme performansı asgari 200 m³/sn olacaktır.

III.5 TEKNİK ÖZELLİKLER

III.5.1 Genel

Fanlar ve fanların tamamlayıcı ekipmanı ve tüm havalandırma kanallarına ait ekipmanlar için aşağıdaki teknik özelliklere uyulmalıdır.

Fanlar ve bunların yardımcı donanımı, yangın durumunda kullanılmaları amacı varsa (örneğin sıcaklık kontrollü harici bir soğutma sistemi vasıtasıyla), 250 °C derecede 60 dakika çalışabilmelidir. Bunların kablağı yangına karşı dayanıklı olmalıdır. Diğer fanların işlevleri, herhangi bir fanın arızasından etkilenmemelidir.

III.5.2 Fanlar

III.5.2.1 Jet Fanlar

Jet fanların kutuları, süspansiyon, susturucu ve motor muhafazaları dahil, paslanmaya karşı dayanıklı malzemeden yapılacaktır. Motor ve kablo kutusu ÖVE talimatlarına göre asgari “ IP 65 Tipi” koruma seviyesi sağlanacaktır.

Bir jet fanın süspansiyon sistemi, titreşim yutucu olacaktır. Fanın yere düşmesine karşı ek bir emniyet elemanı daha takılacaktır (örneğin; çelik bir halat).

III.5.2.2 Yardımcı Tesisatlar

Yardımcı tesisatların paslanmaya karşı dirençli olmasına da dikkat edilmelidir.

Yardımcı tesisatlara örnekler şunlardır:

- Yangın ve duman kapakları
- Susturucular
- Saptırıcılar
- Kapaklar ve menfezler

III.6 AERODİNAMİK TASARIM

III.6.1 Genel

Gerekli hava talep hesapları esasına göre aerodinamik bir tasarım gerçekleştirilecektir. Bu tasarım süreci sırasında belirlenen parametreler, havalandırma sisteminin boyutlandırılmasına ve yapısal yerleşim ile havalandırma kavramının optimum şekilde düzenlenmesine yarayacaktır.

Aerodinamik tasarım esasları:

- Barometrik basınç farkı ve rüzgar gibi meteorolojik parametreler:

Mümkün olduğu takdirde, planlanan portal yerinde ve planlanan tünel bölgesinde hava yoğunluğu, hava basıncı farkları ve rüzgar hızlarının yıllara dayalı gözlemlerinin sonuçları hesaba katılmalıdır. Yılda asgari 30 gün ve en az 30 dakika gerçekleşmiş olan rüzgar hızları, tasarım için esas alınmalıdır.

Bu gibi izleme sonuçları mevcut değilse, aşağıdaki hususlar dikkate alınmalıdır:

- DIN-ISO 2533'ten hava yoğunluğu
- Bir meteoroloji uzmanından rüzgarın etkisi
- Sıcaklık farklarından ileri gelen ısı etkisi.

Portallar, tüneller ve tünel havası arasındaki tekbiçim rakıma dönüştürülen sıcaklık farkları, hesaba katılmalıdır.

Aerodinamik tasarım, aynı zamanda tünelde yangın hali tasarım koşulunu da içermelidir.

III.6.2 Boyuna Havalandırma Sistemi

Boyuna havalandırma sisteminde gerekli fan sayısı ile bunların özellikleri, aşağıdaki hususlar dikkate alınmak suretiyle tespit edilir:

- Meteorolojik etkiler
- Gereken temiz hava hacmi
- Havalandırma tasarımıyla ilgili olan yapısal yerleşim ve tesisler
- Trafik verileri
- Araçların piston etkisi
- Ekonomik hususlar

Yukarıdaki verilen kriterlerin yanında boyuna havalandırma sisteminin aerodinamik hesapları, özellikleri ve tesisler hesaba katılarak tüneldeki basınç kayıplarının hesaplanmasını içerir (trafik işaretleri, nişler, portal tasarım, yüzeylerin pürüzlülüğü vb).

III.7 HAVALANDIRMA SİSTEMİNİN DÜZENLEMESİ İŞLETİMİ

III.7.1 Düzenlemenin Özellikleri

Havalandırma sistemi ekonomik olmalı, normal çalışma ve yangın hallerinde güvenlik etkili tutularak düzenlenmelidir.

İşletim genellikle otomatiktir. Ancak el yardımıyla çalıştırma konumuna geçiş, işletimin her safhasında mümkün olmalıdır. Operatörün, parametreleri ve otomatik işletim programını o andaki işletim koşullarına ayarlayabilme olanağı her zaman mevcut bulunmalıdır.

III.7.1.1 İzleme Verileri

Kural olarak aşağıdaki veriler izlenecek ve dikkate alınacaktır:

- CO konsantrasyonu (her bir havalandırma bölümü için asgari iki kez)
- Bulanıklık, is ve kurum (her bir havalandırma bölümü için asgari iki kez)
- Tüneldeki hava akımının hava hızı ve yönü (her bir havalandırma bölümü için bir kez)
- Yangın alarmı
- Trafik verileri (her bir havalandırma bölümü, her bir şerit ve her bir trafik yönü için: HGV'ler, binek otolar, araç hızı, trafik tıkanıklığı, tüneldeki araç sayısı)

Fiili durumun optimize edilmesine olanak sağlanması için ilave olarak aşağıdaki hususlar dikkate alınır:

- Portallar arasındaki hava basıncındaki etkin durağan fark (dinamik hava basıncının söz konusu olan tekbiçim rakıma dönüştürülmüş olarak)
- Tünel tüplerindeki doğal kaldırma kuvveti
- Hava sıcaklığı ve hava basıncı (tünel dışındaki)
- Tünel kirlenme derecesi
- VGE, özgül veriler (sıcaklık, frekans vb.)
- Azami elektrik performansının izlenmesi

III.7.1.2 İzlenen Verilerin İşlenmesi

Fan düzenlemesi için aşağıda yer alan karakteristik değerler, izlenen verilerden belirlenmelidir:

Tablo III.2: Fan Regülasyonu Karakteristik Değerleri [16]

İzleme Verileri	Karakteristik Değer
CO	Azami 1 dakikanın üzerindeki ortalama değer
Bulanıklık/is, kurum	Azami 1 dakikanın üzerindeki ortalama değer
Hava hızı	Azami 0.5 dakikanın üzerindeki ortalama değer ve istikamet
Trafik verileri	Her 0.5 dakika için trafik sayımı toplamı, hızların ortalama değeri
Hava basıncı farkı	6 dakikanın üzerindeki ortalama değer
Hava sıcaklığı	6 dakikanın üzerindeki ortalama değer
Hava basıncı	6 dakikanın üzerindeki ortalama değer

III.7.1.3 Girdi Verileri

Belirlenen karakteristik değerlerden bağımsız olarak aşağıdaki giriş değerleri, mekanik havalandırmanın başlatılması için tanımlanmalıdır.:

- Trafik içeriğinin karışımı

Trafik aşağıdaki gibi sınıflara ayrılır:

- Egzoz katalizörlü binek otoları
- Egzoz katalizörsüz binek otoları
- Dizel motorlu binek otoları
- Ağır vasıtalar

- Kontrol eğrisi CO

İlgili CO seviyesi, trafik hacminin bir fonksiyonu şeklinde ifade edilir ve tanımlanır.

- Kontrol eğrisi bulanıklık (is, kurum)

İlgili bulanıklık, is ve kurum seviyesi, trafik hacminin bir fonksiyonu şeklinde ifade edilir ve tanımlanır.

- İzin verilebilir azami işletim değerlerinin sınır çizgisi

Trafiğin fonksiyonu olarak ifade edilen CO ve bulanıklık, is ve kurum için sınır çizgisi, kontrol çizgisi ile tasarım limit değerleri arasında kalan bir hat şeklinde tanımlanmalıdır.

Boyuna havalandırma sistemi ve basit bir durum için (örneğin; tek yönlü trafik, kısa bir tünel), izin verilebilir azami işletim değerlerinin sınır çizgisini tanımlamak yeterlidir.

III.7.2 Diferansiyel Hava Gereksinim Talebinin Belirlenmesi (q_{diff})

Otomatik havalandırma kontrolü için diferansiyel (fark) hava gereksinim talebi, q_{diff} 'in belirlenmesi gereklidir. Bununla ilgili olarak aşağıdaki kriterler vardır. Bunlar, her bir havalandırma bölümü için ayrı ayrı tespit edilmelidir.

- Hava gereksinim talebi – CO (q_{CO})

Araçların CO emisyonunun fonksiyonu olarak hesaplanan hava gereksinim talebi.

CO'den sonra hava gereksinim talebi oluşturulmuş trafik verileri ile tanımlanmış karakteristik eğriye göre her bir trafik şeridi ve her bir trafik yönü için tespit edilmelidir. Hava gereksinim talebi (q_{CO}), tüm trafik şeritlerinin ayrı ayrı hava gereksinim taleplerinin toplamıdır.

- Hava gereksinim talebi – bulanıklık, is, kurum ve pus (q_{Tr})

Araçların parçacık emisyonlarına bağlı olarak hesaplanan hava gereksinim talebi

Hava gereksinim talebi (q_{Tr}), hava gereksinim talebi (q_{CO}), nasıl belirlendiyse bu da aynı şekilde tespit edilir.

- Hava gereksinim talebi (q_{Soll})

Hesaplanan q_{CO} ve q_{Tr} değerlerinden sırasıyla hangisi büyükse, o değer q_{Soll} 'dur ve bu toplam hava gereksinim talebi için kesin karar değildir.

- Toplam hava gereksinim talebi (q_{ges})

Gerekli hava gereksinim talebi

Toplam hava gereksinim talebi q_{Soll} 'un bölüm 6.3'e göre yapılan mukayese ile belirlenen karakteristik eğriye çakıştıran düzeltme faktörüyle çarpımına eşittir.

- Temiz hava gereksinim kaynağının hacmi (q_{vorh})

Tüneldeki fiili temiz hava kaynağının hacmi

Boyuna havalandırma sistemleri için ise q_{vorh} 'un yaklaşık değeri, ortalama boyuna hız ile arakesit vasıtasıyla yapılabilir.

q_{vorh} 'un değeri, toplam hava gereksinim talebi q_{ges} , ile mekanik veya doğal havalandırma sonucu belirli bir zamanda zaten mevcut olan o andaki hacim q_{vorh} , arasındaki fark şeklinde tanımlanmaktadır. İlgili değer, aşağıdaki kısaltmalar dikkate alınmak suretiyle 6 dakikalık aralar içerisinde 1 dakikalık adımlarla hesaplanarak bulunmaktadır:

- Artan bir q_{diff} için son hesaplanan değer geçerlidir.
- Tekbiçim veya azalma eğilimli bir q_{diff} için, hesaplanan ortalama değer geçerlidir.

Düzenleme (regülasyon); izlenen CO ve bulanıklık, is, kurum, pus verileri bölüm 7.1.3' deki tanımlanmış izin verilebilir azami işletim değerlerinin sınır çizgilerini aşıyorsa, önceden ayarlanmış hava hacimleri (nominal değerler) kullanılmalıdır (örneğin regülasyonun arıza yapması halinde).

III.7.3 Gerekli Hava Hacimlerinin Gereken ve Fiili Değerinin Mukayese Edilmesi [16]

Karakteristik eğrilerin ayarlanabilmesi için, ihtiyaç duyulan hava hacimlerinin gereken ve fiili değerlerinin mukayese edilmesi istenmektedir.

CO ve bulanıklık, is, kurum bu mukayese için her bir havalandırma bölümü için iki kez izlenmektedir. Hava gereksinim talebinin hesaplanması için CO ve bulanıklık, is, kurum, pus miktarının yüksek olan değeri alınacaktır. Daha yüksek olan hava gereksinim talebi, ilgili toplam hava gereksinim talebiyle, q_{soll} ile mukayese edilecektir. Bu mukayese aşağıdaki kısıtlamalar dikkate alınarak ifa edilmelidir:

- Havalandırma sistemi asgari 6 dakika çalışmış olursa değerler mukayese edilebilir.

CO'nun bulanıklık, is, kurum, pusun ve hava hacminin izlenen ve hesaplanan değerleri, mukayese edilebilir periyotlara atfen (sistemin ataleti dikkate alınarak) 24 saatlik bir süreye entegre edilmelidir. Karakteristik eğrinin düzeltme faktörü, bu ikisinin farkından belirlenmelidir. Bu düzeltme faktörü aynı zamanda, istatistiksel bağıntının izlenebilir tüm parametrelerini de (örneğin hafta sonu veya tatil dönemleri trafiği) dikkate almalıdır. Ayarlama her seferinde, otomatik olarak ve en erken 24 saat sonra yapılmalıdır.

Ayarlamanın oranı otomatik olarak, önceden tanımlanmış ilgili karakteristik eğrinin azami $\pm \%10$ aralığı içerisinde yer almalıdır. Daha uzun bir zaman periyodunda daha yüksek bir ayarlama ($\pm \%10$) gerekli ise, bir sinyal verilmelidir. Havalandırma sistemin karakteristikleri bunu gerekli kılıyorsa mevsime bağlı olarak birçok karakteristik eğri ön tanımı yapılmalıdır.

III.7.4 İŞLETİMLE İLGİLİ ÖZEL ŞARTNAME

III.7.4.1 Normal İşletim Konumu

Normal işletimde bölüm 6.1'de verilen kontrol gereksinimleri ilke olarak geçerlidir. Makineler için olan tüm koruma sistemleri aktif hale getirilmelidir.

III.7.4.2 Yangın İşletim Konumu

Mekanik havalandırma sistemli tünellerin bölge itfaiye müdürlüğüyle işbirliği yapılarak tünele özgü yangın yöntemleri geliştirilmelidir. Yangın olması durumunda itfaiye gelinceye kadar, bu yöntemler otomatik olarak harekete geçmelidir. Sorumlu itfaiye birliği olay yerine geldiğinde, havalandırma sisteminin çalışmaya devam edip etmemesine ve ne şekilde devam etmesi gerektiğine karar vermelidir. Otomatik kontrolün durdurulup manüel olarak kontrol olanağı sağlamalıdır.

Yangın çıkması halinde, makinelerin koruma sistemleri (sıcaklık izleme) kısmen durdurulur. Revizyon konumu hariç, yangın yönetmeliği, diğer tüm işletim hallerine göre öncelik taşır.

Kaçış girişlerine monte edilmiş jet fanlar, yangın olması durumunda düzgün bir görüşün sağlanması için ve sadece ana tünelin istikametinde çalıştırılmalıdır.

Otomatik yangın dedektörleri, tüm elektrik odalarına ve tünel tüpü boyunca yerleştirilmiştir.

III.7.4.3 Manüel İşletim Konumu

Manüel işletim, işletimin tüm hallerinde mümkün olmalı ancak, yeni bir yangın alarmı durumunda manüel işletim üzerinden sistem çalışmalıdır.

III.7.4.4 Revizyon Konumu

Revizyon konumu genel olarak, tüm otomatik işletim konumlarını kapatır. Özel revizyonlar için özel yöntemler geliştirilebilir (tünel temizleme). Revizyon dönemleri sırasında bakım personeli için, özel güvenlik önlemleri gereklidir.

III.7.4.5 Tünelin Kapanması

Tünel, aşağıdaki koşullarda otomatik olarak kapanacaktır:

- 150 ppm CO aşılırsa,
- 10 dakikadan daha fazla bir süre boyunca 100 ppm CO ölçülürse,
- Işık yitirme katsayısı, $14 \cdot 10^{-3} \text{m}^{-1}$ değerinin aşarsa.

Kapalı tünel, aşağıdaki şartlar sağlandığında otomatik olarak açılacaktır:

- CO, 90 ppm'nin altına düşerse,
- Işık yitirme katsayısı $7 \cdot 10^{-3} \text{m}^{-1}$ 'in altına düşerse.

III.7.5 SİSTEMLE İLGİLİ ÖZEL ŞARTNAME

Mekanik olarak hareketli parçaların (duman kapakları, fanlar) işlevlerinin sağlanmasını teminen, otomatik fonksiyon kontrolü için özel kontrol mekanizmaları temin edilmelidir.

III.7.5.1 Tek Yönlü Trafik İçin Boyuna Havalandırma Sistemi

Fanların normal çalışma konumu, trafiğin istikametindedir. Amaç yangın olması halinde, hava hızının trafiğin yönünde 1.0 ile 1.5 m/sn aralığına düşürülmesidir.

III.7.5.2 Çift Yönlü Trafik İçin Boyuna Havalandırma Sistemi

Normal işletim konumu için, aşağıdaki kriterler hesaba katılmalıdır.

- Çevresel kısıtlamalar (yapım geliştirme, diğer resmi emirler)
- Trafiğin ana istikameti (belirgin)
- Üstün gelen belirgin doğal hava akımı
- Fan çalışmasının (verim) tercih edilen istikameti

Ana seyir istikameti ile doğal hava akımının hafif değişimleri, fan çalışmasının yönünde değişikliğe neden olmamalıdır.

Yangın çıkması halinde aşağıdaki kriterler dikkate alınmalıdır:

- Yangın yeri,
- Araç sayısı, seyir hızı ve seyir istikameti,
- Fanların konumu ve standart çalışma yönü.

Tüneldeki hava hızını, kaçış yollarının dumandan arınmış olarak mümkün olduğu kadar uzun süreliğine tutulabilmesi için, 1.0 ve 1.5 m/sn'ye düşürmek mümkün olabilmelidir.

III.8 DUMAN TESTLERİ VE YANGIN TESTLERİ

III.8.1 Genel

Duman ve yangın testleri, uzunlukları 3.3.1'de tanımlanan azami kaçış yolu uzunluğundan fazla veya ona eşit olan tüneller için uygulanmalıdır. Daha kısa tüneller için bu testlerin gerekliliği, itfaiye birliğiyle mutabakat halinde kontrol edilmelidir.

III.8.2 Trafiğe Açılması

Duman ve yangın testleri, sorumlu itfaiye birliğiyle işbirliği yapılarak tünelin trafiğe açılmasından önce yerel durum dikkate alınmak sureti ile ifa edilmelidir.

Bu testler, aşağıdaki amaçlara hizmet eder:

- Yangın çıkması halinde güvenlik tesisatlarının işlevlerinin test edilmesi,
- Otomatik yangın talimatnamesinin işlevlerinin kontrol edilmesi ve gerekiyorsa ayarlanması,
- İtfaiye ekibini ve işletim personelinin tünelde yangın çıkması halinde ne yapacakları konusunda bilgili duruma getirilmesi ve alıştırılmasıdır.

Çift yönlü trafikte havalandırma sistemi için termik daldırmayı simüle etmek üzere hafif ısı üretimi ile yangın testleri yapılmalıdır.

Duman tahliyesi (HQL ve QL) ve sırasıyla gaz dağılımı (LL) ile ilgili temsili bir ifade, aşağıdaki hususlarla elde edilebilir:

Bir yangın testiyle; her birisi aşağıdakilerle dolu, her biri 1 m² alanlı 2 adet çelik tekne:

20	1 dizel
5	1 benzin
10	1 su

Bir duman testiyle; yukarıda verilen yangın testinin veya 40 m²/sn'lik soğuk alan dumanının yaklaşık 15 dakika süresince uygulanmasından oluşan duman hacmi.

Yangının konumu veya duman üretimi, yerel itfaiye ekibi ve havalandırma sisteminden sorumlu tasarımcıyla birlikte tanımlanmalıdır. Yerel çevrenin (tavan, yol zemini) korunması için gerekli olan tesisatlar sağlanmalıdır.

Yangınla mücadelenin ve yangın halinde havalandırma sisteminin çalıştırılması olanaklarının daha iyi anlaşılabilmesini teminen düzenli olarak bir yangın eğitimi verilmesi tavsiye edilmelidir. Bu yangın eğitimleri ve tüneldaki tüm fiili yangınlardan elde edilen deneyimler belgelenmelidir.

III.8.3 Üç Boyutlu Bilgisayar Programlarıyla Parametre Çalışmaları

Yüksek ısı üreten yoğun yangınlarda duman ve gazın etrafa nasıl dağılacığının kanıtı çok önemlidir ve bu üç boyutlu bilgisayar programlarından elde edilebilir. Bu programların kalibrasyonu, ifa edilen yangın ve duman testleri vasıtasıyla yapılır.[16]

III.9 TEMİZ HAVA GEREKSİNİM HESAPLAMASI (RVS 9.262)

III.9.1 Kapsam

Bir kılavuz, RVS 9.261' de verilen tüm tünellerin temiz hava gereksinim taleplerinin hesaplaması için kullanılır.

III.9.2 Hesaplama Yöntemi

Bu kılavuzda özetlenen hesaplama yöntemi için grafiklerde gösterilen veya tablolarda listelenen faktörler kullanılmıştır. Hesaplama için kullanılan değerler sadece tablolardan alınmıştır. Grafikler modeli geliştirmek içindir. Aradaki değerler, doğrusal enterpolasyon ile belirlenmiştir.

Genel olarak tüm hesaplamalar, her trafik şeridi için ayrı ayrı ve en azından tünelin açılış yılı ve açılıştan sonraki 10 yıl için yapılmalıdır.

III.9.2.1 Karakteristik Trafik Verilerinin Hesaplanması

III.9.2.1.1 Araç Sayısı

Hesaplamaların temelini oluşturan trafik tahmini; RVS 9.261, bölüm III.3.1'e göre trafik planlayıcısı tarafından sağlanır ve her bir trafik şeridi için ayrı ayrı olarak trafik hacmi MSV, azami trafik hacmi M_{max} ve tüm araçların (a_L) % si olarak HGV'lerin yüzdesini içerir.

Araçlar (veh), trafik hacmi tahmini verilen rakamlara dayanan, geçen binek oto birimine (pcu) dönüştürülmelidir. Bu dönüştürme işi için aşağıdaki formül kullanılır.

$$1 \text{ pc} = 1 \text{ pcu}$$

$$1 \text{ HGV} = 2.5 \text{ pcu}$$

Trafik beklemesinde her bir km ve her bir şerit için $D_0 = 150 \text{ pcu}$ olarak alınır. Bu değer psikolojik nedenlerden dolayı açık yol kısımlarına ait olan değerden daha düşüktür.

Trafik hacmi, optimum hız olan azami $v_0 = 60 \text{ km/s'}$ dir. Trafik hacmi, dinamik ve psikolojik sebeplerden dolayı daha yüksek ve daha düşük hızlarda bu değerlerden daha düşüktür.

Trafik tahmin değerleri, veh/s' in, pcu/H' ye dönüştürülmesinde, aşağıdaki denklemler geçerlidir:

$$(MSV_{PWE}) = MSV \left[1 + \frac{a_L}{100} * (g_L - 1) \right]$$

$$M_{max,PWE} = M_{max} \left[1 + \frac{a_L}{100} * (g_L - 1) \right]$$

Hesaplamanın esasını teşkil eden ve pcu/s cinsinden ifade edilen trafik hacmi, M_{dim} aşağıdaki gibidir:

$$M_{dim} = \min\{MSV_{pcu}, M_{max}, pcu\}$$

Trafik yoğunluğu (pcu/km), aşağıdaki gibi hesaplanır ve bunun yanında hesaplama, 10 km/s' lik hızdan hız sınırı olan değere kadar (RVS 9.262 bölüm 2.1.3'e göre) olan hızlar için yapılır. Hız kademeleri, 30 km/s'in altındaki hızlar için 5 km/s, 30 km/s'nin üzerindeki hızlar için ise 10 km/s alınır. Buna göre, $v = 0$ km/s için;

$D = D_0 = 150$ pcu/s geçerlidir.

$V = 5$ km/s için; duran trafiğin özel karakteristiklerini veren emisyon ağırlıklı trafik yoğunluğu, D_s girilir.

$$D = D_s = \frac{68.5}{1 + 1.5 * a_L / 100}$$

$$D = \frac{D_0 * M_{dim}}{D_0 * v + M_{dim} * \left(1 - \frac{v}{v_0}\right)^2}$$

Buradan pc ve HGV sayısı sırasıyla her bir tünel tüpü için, her bir havalandırma bölümü (L) ve her bir trafik şeridi için aşağıdaki formülleri kullanmak suretiyle belirlenir:

$$N_{PKW} = \frac{D * L}{1 + \frac{a_L}{100} (g_L - 1)} * \left(1 - \frac{a_L}{100}\right)$$

$$N_{LKW} = \frac{D * L}{1 + \frac{a_L}{100} (g_L - 1)} * \left(1 - \frac{a_L}{100}\right)$$

III.9.2.1.2 Trafiğin İçerik Karışımı

Trafiğin içerik karışımı, trafik hacmindeki pc ve HGV' lerin ayrı araç kategorilerinin yüzdesi olarak veh cinsinden ifade edilir.

Araçlar aşağıdaki şekilde sınıflandırılacaktır:

Binek otolar (pc):

- Egzoz katalizörsüz ve benzinli
- Egzoz katalizörlü ve benzinli
- Dizel

Ağır vasıtalar (HGV):

Bunlar ağır kamyonlar, mafsallı ağır kamyonlar, otobüsler ve diğer tüm ağır vasıtalar. Toplam trafikteki ayrı pc kategorilerinin yüzdeleri, aşağıdaki tabloda sıralanmıştır.

Tablo III.3 Avusturya'daki Toplam Trafikte Bulunan Pc Yüzdesi

Yıl	Katalizörlü ve Benzinli	Katalizörsüz ve Benzinli	Dizel yakıtlı
1990	%31	%52	%17
1991	%36	%46	%18
1992	%43	%37	%20
1993	%48	%30	%22
1994	%52	%23	%25
1995	%54	%19	%28
1996	%55	%15	%30
1997	%56	%11	%33
1998	%56	%9	%35
1999	%56	%7	%37
2000	%55	%6	%39
2005	%52	%2	%46
2010	%49	%1	%50
2015	%47	%1	%52

HGV'lerin farklı kategorileri, emisyon faktörlerinin kronolojik değişimleriyle dikkate alınmıştır.

III.9.2.1.3 Hızın Sınır Değeri

Hızın her bir trafik şeridi için sınır değeri, tüneldeki otomobillerin ortalama azami hızlarıdır. Trafiğin içerik karışımına ve ilgili trafik şeridinin eğimine bağlıdır.

Hesaplama, hızın sınır değerlerine kadar ve aşağıdaki gibi yapılır.

Sadece pc trafiği:

Hızın sınır değeri, trafik yalnızca pc trafiğinden ibaret olduğu zamanki hız sınırına eşit olduğu varsayılır.

Karışım trafiği pc – HGV:

Hızın sınır değeri, trafik pc – HGV karışımından meydana geldiği zaman, aşağıdaki formüle göre alınır:

$$v_{max} = \min\{95 - (15.4 * s) + (0.59 * s^2), v_{zul}\}$$

Hızın sınır değeri, seyir istikameti çok şeritli olduğunda, karışım trafiği bulunan şeritler için kullanılır. Hız sınırı ise, diğer tüm şeritler için kullanılır.

III.9.2.2 Emisyonların Hesaplanması

Emisyonlar, temel emisyon değerlerinin ilgili faktörlerle çarpılması suretiyle hesaplanır. Temel emisyon değerleri bölüm 6.1'de eğrilerin ordinatları şeklinde verilmiştir. Aradaki değerler doğrusal enterpolasyon yapılarak bulunur. Eğim aralığı $\pm\%6$ kadar önemsiz derecede aşıldığı takdirde değerler, ekstrapolasyonla bulunabilir.

Ancak değerler, daha önemli miktarlarda aşılrısa o zaman ayrı incelemeler yapılmasını gerektirir.

III.9.2.2.1 Tasarım Sınır Değerleri

RVS 9.261'e göre tasarım için aşığıdaki sınır değerleri kullanılır:

Tasarım sınır değeri (CO) : c_{zul} : 100 ppm

Tasarım sınır değeri (bulanıklık, is, kurum) : k_{zul} : 0,007 m⁻¹

III.9.2.2.2 Pc Emisyonları

Emisyonlar, aşığıdaki formül kullanılmak suretiyle her kategori için hesaplanır ve hava gereksinim talebi hesabına girilir:

$$e_{pc} = e_o * f_a * f_h$$

III.9.2.2.2.1 Karbon monoksit

III.9.2.2.2.2 İs, kurum, pus ve toz emisyonları

III.9.2.2.2.3 Rakım

III.9.2.2.3 HGV'lerin emisyonları

Emisyonlar, aşığıdaki formül kullanmak suretiyle hesaplanır ve temiz hava gereksinim talebi hesabına girilir:

$$e_{HGV} = e_o * f_a * f_h * f_m$$

III.9.2.2.3.1 Aracın Ağırlığının Etkisi

Araç ağırlıklarının ayırt edilmesinin etkisi, aşığıdaki hıza bağlı faktörlerin yardımıyla dikkate alınır. Aradaki değerler, doğrusal (lineer) olarak enterpole edilir.

HGV'lerin ortalama ağırlıkları hakkında herhangi bir veri yoksa 30 tonluk bir ağırlık değeri varsayılır.

III.9.3 Temiz Hava Gereksinim Talebinin Hesaplanması

CO ve bulanıklık, is, kurum, pusun sınır değerlerinin muhafaza edilebilmesi için gerekli olan hava talebi, trafik koşullarına bağlı olarak aşığıdaki denklemler kullanılmak suretiyle tespit edilir.

CO'nun yoğunluğu için 15 C derece ve 1.013*10⁵ pascal basıncındaki yoğunluk kullanılacaktır ($q_{CO} = 1184 \text{ g/m}^3$).

III.9.3.1 Her Bir Şerit İçin Gerekli Olan Hava Talebi (Co'ya Göre)

$$q_{CO} = \frac{e_{pccok} * N_k + e_{pccoe} * N_e + e_{pccod} * N_d + e_{HGVcod} * N_{HGV}}{c_{zul} * p_{CO} * 3600}$$

III.9.3.2 Her Bir Şerit İçin Gerekli Olan Hava Talebi (Bulanıklık, İs, Kurum, Pusa Göre)

$$q_{CO} = \frac{e_{pcpard} * N_d + e_{HGVpard} * N_{HGV}}{k_{zul} * 3600}$$

$$N_k = N_{pc} * \frac{a_{pk}}{100}$$

$$N_e = N_{pc} * \frac{a_{pe}}{100}$$

$$N_d = N_{pc} * \frac{a_{pd}}{100}$$

III.9.3.3 Özgül hava gereksinim talebi

Özgül hava gereksinim talebi, her bir trafik şeridi ve her bir km için aşağıdaki formülle tanımlanmıştır. Hesaplamalar, trafik hızının tüm aralığı için yapılmıştır.

CO için:

$$q_{CO}^1 = \frac{q_{CO}}{L}$$

$$q_{CO}^1 = \frac{q_{Tr}}{L}$$

III.9.3.4 Toplam Hava Gereksinim Talebi

Toplam hava gereksinim talebi, hava gereksinimi q_{CO} (CO'ya göre) ile hava gereksinimi q_{Tr} 'nin (is, kuruma göre) tüm trafik şeritlerinin üzerinden toplamıdır.

$$q_{COges} = \sum_{i=1}^n q_{CO}$$

$$q_{Trges} = \sum_{i=1}^n q_{Tr,i}$$

Toplam hava gereksinim talebi için daha yüksek olan değer ilgili olan değerdir.

$$q_{ges} = \text{Max}\{q_{COges}, q_{Trges}\}$$

III.9.3.5 Özgül Hava Gereksinimi

Tüm trafik şeridindeki özgül hava gereksinim talebi, aşağıdaki gibidir:

$$q_{ges}^1 = \frac{q_{ges}}{L}$$

III.10 MODELLEME

Tasarım parametreleri

III.10.1 Tünel Verileri

Havalandırma sisteminin etüdünde aşağıdaki veriler kullanılmıştır.

Yukarı doğru tüp (sağ araç yolu):

Asarsuyu portalı:	km 51 + 143,160
Elmalık portalı:	km 54 + 063,05
Uzunluk:	2919,89 m
Eğim:	+2.04 % asarsuyu portalından km 52+900'ye +2,12 % km 52+900'den elmalık portalına
İrtifa:	788 m (Asarsuyu potalı) 849 m (Elmalık portalı)

Sürüş alanının enine kesiti: $A_v = 98,65 m^2$

Hidrolik yarıçap: 10.15 m

Aşağı doğru tüp (sol araç yolu):

Asarsuyu portalı:	km 61 + 155,59
Elmalık portalı:	km 64 + 207,05
Uzunluk:	3051,46 m
Eğim:	-1.89 % elmalık portalından km 63 + 000'ye -1,96 % km 63 + 000'ten asarsuyu portalına
İrtifa:	788 m (asarsuyu portalı) 848 m (elmalık portalı)

Sürüş alanına enine kesiti: $A_v = 98,65 m^2$

Hidrolik yarıçapı: 10.15 m

Yeni Elmalık portalında 7 m yükseklik 14 m genişlikte sürüş alanına sahip dikdörtgen kutu kesitli aç&kapa yapısı gerçekleştirilmiştir.

III.10.2 TRAFİK VERİLERİ

Bolu tünellerinin trafik hacmi 2025 yılına kadar olan süre için tahmin edilmiştir. Veriler, otomobiller, otobüsler, kamyonlar, treyler gibi münferit araç grupları için sınıflandırılmış ve en altta da toplam araç sayısı verilmiştir. Her iki tüpün tasarım hesaplamaları, 2010 yılı için yapılmıştır.

Tablo III.4 2010 ve 2025 yıllarının trafik verileri (her iki yönde)

	2010	2025
Otomobiller	22804	55950
Otobüsler	2136	3543
Kamyonlar	7807	11602
Treyler	1629	2946
Toplam	34376	74041

Aşağıdaki hesaplamalarda tüm otobüslerin, kamyonların ve treylerin dizel – motorlu olduğu varsayılmıştır. Trafik en yoğun olduğu belirleyici saat (doruk saat) olarak günlük trafiğin % 10’ u alınmıştır. Trafik verileri her iki tüpe ait olduğundan, yol şeritleri için yapılması gereken hesaplamalarda, araç adedi 2*3 şerit’e kadar bölünmelidir.

Tablo III.5 2010 ve 2025 yıllarının hesaplamalarının verileri

	2010	2025
Araç / gün	22804	55950
HGV / gün (dizel motorlar)	11572	18091
HGV yüzdesi	34 %	24 %
En yoğun saatteki araçlar / h	3437.6	7404
En yoğun saatteki araçlar / h /şerit	573	1234,1

Alan gereksinimi hesaplamasına olanak vermek amacıyla, araçlar, araç eşdeğerine (PCU) dönüştürülmelidirler. Şöyle ki;

$$1 \text{ araç} = 1 \text{ PCU}$$

$$1 \text{ HGV} = 2.5 \text{ PCU.}$$

Yıl 2010:

$$573 \cdot 0.66 + 2.5 \cdot 573 \cdot 0.34 = 865.23 \text{ PCU/h/lane} \approx 866 \text{ PCU/h/lane}$$

Yıl 2025:

$$1234.1 \cdot 0.76 + 2.5 \cdot 1234.1 \cdot 0.24 = 1678.37 \text{ PCU/h/şerit} \approx 1680 \text{ PCU/h/şerit}$$

Karayolları Genel Müdürlüğü idaresi referanslarından HGV’ler (ağır yük aracı) için ortalama araç ağırlığı olarak 2010 yılında yaklaşık 21 t ve 2025 yılında 25 t’luk bir ağırlık varsayılmıştır.

III.10.3 Meteorolojik Veriler

Meteorolojik parametreler burada, yüksek trafik hacmi nedeniyle az etkili olur. Ancak tünel portallarında 6 m/sn lik bir rüzgar hızı dikkate alınmıştır.

III.11 HAVA İHTİYACININ HESAPLANMASI

III.11.1 Araç Emisyonları

Araç emisyonları sadece araç yapısıyla etkili olmayıp sürücünün araç sürme alışkanlığına da bağlıdır. Belirli bir yol sektöründe seyir halindeki araç sayısı, toplam emisyonu belirler. Azot (N₂), karbondioksit (CO₂), buhar (H₂O) gibi çeşitli gazlar ve belirli seviyedeki oksijen (O₂) yanmalı motorlarca egzoz dumanı çıkartırlar. Bu gazlar bir bütün olarak zehirli değildir.

Bunun yanı sıra egzoz gazında üç farklı kategoriye ayrılarak sınıflandırılan bir miktar zararlı madde bulunur: tamamlanmamış yanma artıkları, aşırı yanma artıkları, katkı maddesi ve yabancı maddelerden artıklar.

III.11.1.1 Tamamlanmamış Yanma Artıkları

Bu gruptaki maddeler bilhassa yavaş akan ve hareket etmeyen trafikte, motorun yanma odasında hava yokluğuna (oldukça düşük çalışma sıcaklığı gibi) neden olur.

Aşağıdaki gazlar bu grupta sınıflandırılır:

- Karbonmonoksit (CO)
- Hidrokarbonlar (HC): egzoz gazında oluşabilecek 1000' den çok farklı bileşime sahip hidrokarbon bulunur.
- Bünyesinde hidrokarbonların çökebileceği sert karbon partiküllerden oluşan kurum.

III.11.1.2 Aşırı Yanma Artıkları:

Bu gazlar, motorun aşırı gerilim altında olması gibi (yüksek devirli sürüş) oldukça yüksek sıcaklık durumlarında oluşur.

Aşağıdaki gazlar bu gruba girer:

- Azot monoksit (NO)
- Azot dioksit (NO₂)

Hem NO hem de NO₂ (ve azot – oksijen bileşiklerinde) nitrik oksitler (NO_x) şeklinde sınıflanırlar.

III.11.1.3 Katkı Maddesi ve Yabancı Madde Artıkları:

- Kurşun

- Kükürt dioksit (SO_2) : yakıttaki kükürt miktarına bağlıdır. Bilhassa karbonmonoksit ve is (kurum), tüneller içindeki otoyolda tehlike oluşturur.
- Karbonmonoksit, insanlarca uzun süreli ve yüksek yoğunlukla solunduğu taktirde, zehirli bir etkide bulunabilir. CO, bilhassa Otto – çevrimli motorlarca üretilir.
- Yüksek yoğunluktaki kurum görüşü bozarak otoyoldaki herhangi bir engelin fark edilmesini zorlaştırabilir, hatta imkansız hale getirebilir. Bu durum tünellerde kaza tehlikesine yol açar. Kurum, bilhassa dizel motorlar tarafından üretilir.

Bu nedenlerle uzun tünellerde görüşü iyileştirmenin yanı sıra, CO yoğunluğunu azaltmak amacıyla temiz hava sağlanması zorunludur.

III.11.2 Tünellerde Müsaade Edilebilir CO Yoğunluğu

Kanın bir bileşeni olan hemoglobin (Hb), insan vücudunda hayati nitelikteki oksijenin dolaşımını sağlar. Kandaki hemoglobinin sadece bir kısmı oksijenle birleşir (O_2Hb), diğer bir kısmı ise (küçük bir yüzdesi) doymamış durumda olup (Hbu) oksijeni dolaştırmaz.

Hava CO içerdiğinde, hemoglobin O_2Hb üretecek yerde karbonmonoksit ile hemoglobin arasındaki yüksek kimyasal ilgi nedeniyle, CO ile birleşerek karboksihemoglobini (COHb) oluşturur. Bunun sonucunda oksijenin dolaşımını sağlayan hemoglobin (O_2Hb) miktarı azalır.

Kandaki CO hemoglobinin doyması, gözlem altındaki kişinin meşguliyet durumuna göre değişik gösterir. Normal trafik akışında, tünellerde müsaade edilebilir. CO değeri, 150 ppm (milyonda kısım) ile sabitlenmiştir. Bu değer ayrıca, PIARC (Permanent International Association of Road Congresses) şartnamelerine de uygundur. Yoğun, yavaş hareket eden trafik durumunda müsaade edilebilir CO – yoğunluğu 250 ppm’ dir.

Normal trafik: $\text{CO lim} \leq 150 \text{ ppm}$

Ağır trafik: $\text{CO lim} \leq 250 \text{ ppm}$

III.11.3 Tünellerde müsade edilebilir hava bulanıklığı

Dizel motorlarının çıkardığı is, otoyol üzerindeki cisimlerin zamanında görülmesini güçleştirecek veya imkansız duruma getirerek tünel içindeki görüşü azaltacaktır. Bunun sonucu olarak da tünel içinde büyük kazalara neden olabilir. Yanmalı motorlar enstitüsü ve Graze Teknik Üniversitesi’ndeki termodinamik bölümü, dizel motorların çıkardığı isin (kurumun) görüş üzerindeki etkisi ile ilgili

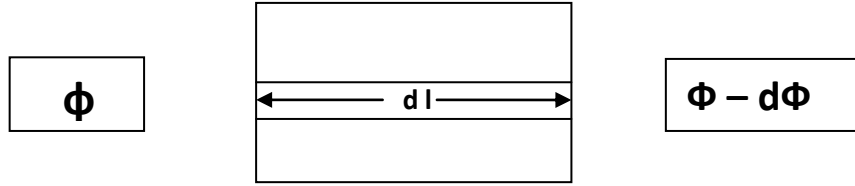
araştırmalar yapmıştır. Bu araştırmalar iinde sadece işin yok olma katsayısı (temiz hava ihtiyaının hesaplanmasındaki ana faktörlerden biri olarak) incelenmiştir.

Bir ışık huzmesi, ıslı bir ortamdan getiğinde yoğunluk ışık tarafından

$$d\Phi = K * \Phi * dl \text{ kadar azaltılarak} \quad (\text{III.1})$$

$$\Phi_{(1)} = \Phi_0 * e^{-K*1} \text{ denklemine göre } \Phi' \text{ ye azaltılır.} \quad (\text{III.2})$$

$K[1/m]$... yok olma katsayısı ile.



şekil III.1 Yok Olma Katsayısı

Yapılan ok sayıdaki test, temiz hava ihtiyaı hesaplamalarında müsaade edilebilir yok olma katsayısı $0,007 - 0,008 [1/m]$ olduğunu göstermektedir. Bazı durumlarda K değeri; az bir miktar yüksek olabilmektedir. Burada K değeri, $0,009$ olarak belirlenmiştir.

Normal trafik: $K_{lim} \leq 0,009 (1/m)$

Hijyenik nedenle: $K_{lim} \leq 0,014 (1/m)$

III.11.4 Temiz Hava İhtiyaı (Benzinli Motor), PIARC Tavsiyeleri, Brüksel 1987

Türkiye’ de bulunan araba ve kamyonlar EURO1, EURO2, EURO3 ve EURO4 (katalitik dönüştürücü, düşük dizel duman emisyonu ve diğerleri) EU-kanunlarının zorunluluklarını karşılamadıkları iin, temiz hava ihtiyaı hesabı PIARC 1987’ye göre yapılmıştır. Ancak, her yıl iin %4 CO ve %1,5 duman emisyonu azaltması göz önüne alınmıştır. CO iin toplam $0,96^{10} = 0,6648$ ve duman emisyonu iin toplam $0,985^{10} = 0,858973$ kadar azaltma vermektedir.

Benzinli motora sahip otomobiller ve küçük kamyonlar karbon monoksit ıkarırlar. Bu gazı seyreltmek amacıyla temiz hava gereklidir. Gerekli temiz hava, aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanabilir. F_a faktörü benzinli motorların daha sonraki teknik gelişmelerini dikkate alır.

$$Q_F = \frac{q_{CO}^0 * f_v * f_i * f_H}{3600} D_{VL} \frac{10^6}{CO_{lim}} f_a \quad (\text{III.3})$$

Burada:

Q_F = Saniyedeki, km yol şeridindeki gerekli temiz hava miktarı [m^3/s , km, yol şeridi]

q_{CO}^0 = CO emisyonunun temel değeri [m^3/h , araç]

f_v = Hız faktörü

f_i = İyileştirme faktörü

f_H = İrtifa faktörü

D_{VL} = Km, yol şeridindeki yolcu aracı sayısı [VL/km, yol şeridi] = M/V

M_{VL} = Yolcu araçlarının saatteki trafik hacmi [VL/h, yol şeridi]

V = Ortalama sürüş hızı [km/h]

CO_{lim} = Müsaade edilebilir maksimum CO yoğunluğu [ppm CO]

f_a = Azaltma faktörü

Bu denklem hem otomobiller hem de kamyonlar için geçerlidir. Kamyonlar için, ağırlığı daha çok ebadı daha geniş olan kamyon dikkate alınmalıdır.

Hava ihtiyacı, her tünel ve her sürüş şeridi için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Bir tüp içindeki şeritlerden her üçünde de aynı adette araç olduğu varsayılmıştır.

PIARC [Brüksel, 1987]'e göre, hesaplamalarda aşağıdaki değerler kullanılmıştır.

q_{CO}^0 = $1.0 m^3/h$ PCU

f_v = PIARC dan

f_i = PIARC dan

f_H = PIARC dan

D_{VL} = hesaplardan

CO_{lim} = 150 ppm

f_a = 0.96 (%4)

Gelecekteki araç emisyonlarının azaltılması ile ilgili doğru tahminlerde bulunmak oldukça güçtür. Hesaplamalar burada bir azaltma faktörü dikkate alınmaksızın yapılmıştır. 2010 ile 2025 yılları arasında araç adedinin arttığı ancak toplam emisyonun 2010 yılındaki seviyeyi muhafaza ettiği varsayılırsa, 2010 yılı için yapılan hesaplamaların doğru olduğu kabul edilir.

III.11.4.1 Temiz Hava İhtiyacı, Benzinli Motorlar, Avusturya Tasarım Kılavuzları

III.11.4.1.1 Genel

Araç emisyonlarında ve temiz hava ihtiyacında 5 ya da 10 yıldan fazlası kesin bir öngörüde bulunmak PIARC tavsiyelerine göre mümkün değildir. 2015 yılı için

temiz hava ihtiyacını gerçekçi bir şekilde hesaplamak, yalnızca Avusturya Tasarım Kılavuzları ile yapılabilir. Fakat bu temiz hava ihtiyacı hesapları Avusturya araç emisyonları standartlarını esas almaktadır ve bu standartlar çok yüksektir. Türk araç emisyonu standartlarının bu seviyeye 5 ya da 10 yıl sonra ulaşacağı varsayılmıştır.

RVS 9.261 tünel tasarım kılavuzu tüm tünellerin temiz hava ihtiyaçlarının hesaplanmasında kullanılmıştır.

Yüksek performanslı dizel motorlarda (yüksek yanma dereceli yeni kamyonlarda) temel olarak NO ve küçük miktarda NO₂ üretilmektedir. İnsanlar için NO₂, NO'dan daha tehlikelidir. Ancak, NO'yu NO₂'ye dönüştürebilmek için güneş ışığı gerektiğinden tünelin içerisinde NO NO₂'ye dönüştürmemektedir. Bazı özel hesaplarda bütün NO, NO₂'ye dönüştürülmüştür (sadece insanların güvenliğini kontrol etmek amacı ile) ve bu değere NO_x denilmiştir. Lakin her hesap, NO_x seyreltmesi için gereken hava ihtiyacının duman için hava ihtiyacından daha düşük olduğunu göstermiştir. Bu sebeple temiz hava ihtiyacı hesaplarında NO_x emisyonu normal olarak ihmal edilebilmektedir.

III.11.4.1.2 Semboller, Birimler ve Tanımlar

Trafik verileri:

a _L	HGV'lerin yüzdesi [%araç]
a _{pk}	Egzoz katalizörlü binek araçların yüzdesi [% pc]
a _{pe}	Egzoz katalizörsüz binek araçların yüzdesi [% pc]
a _{pd}	Dizel motorlu binek araçların yüzdesi [% pc]
D	Trafik yoğunluğu [pcu/km]
D _o	Trafik akmıyorken Trafik yoğunluğu [pcu/km]
D _s	Dur – kalk durumunda Trafik yoğunluğu, emisyonlara göre oranlanmıştır. [pcu/km]
g _L	HGV konsantrasyon oranı [pcu/HGV]
L	Tünel uzunluğu (havalandırma) kesimi [km]
M _{dim}	Proje trafik hacmi [pcu/h]
M _{max}	Maksimum trafik hacmi [veh/h]
M _{SV} Q ₃₀	Olarak ifade edilen, ilgili saatlik trafik hacmi [veh/h]
pcu	Binek araç sayısı
s	Eğim [%]
v	Hız [km/h]

v_o Optimum hız [km/h]

Emisyonların Hesaplanması:

e_o Temel emisyon değeri [g/h/veh]
 e_{pc} Temel emisyon değeri pc [g/h/pc]
 e_{HGV} Temel emisyon değeri HGV [g/h/HGV]
 f_a Zaman faktörü (ilgili yıl)
 f_h Yükseklik faktörü
 f_m Ağırlık faktörü

Hava İhtiyacının Hesaplanması:

C_{zul} CO sınır değeri [ppm]
 e Belirli araç kategorilerinin emisyonları [g/h/veh; m²/h/veh]
 k_{zul} Duman/is sınır değeri (ışık kaybolma katsayısı [1/m])
 N Belirli bir kategorideki araç sayısı
 n Trafik şeridi sayısı
 q' Özgül hava ihtiyacı [m³/sec/km]
 q_{CO} Her trafik şeridinde ve km'de CO kriterine göre hava ihtiyacı [m³/sec]
 q_{ges} Her tünel veya havalandırma kesiminde toplam hava ihtiyacı [m³/sec]
 q_{Tr} Her trafik şeridinde ve km'de duman/is kriterine göre hava ihtiyacı [m³/sec]
 q_{CO} CO yoğunluğu [g/m³]

III.11.4.1.3 Hesap Yöntemi

Bu kılavuzda hatları verilen hesap yöntemi için grafiklerde gösterilen veya tablolarda listelenen faktörler kullanılmıştır. Hesaplarda kullanılan faktörler sadece tablolardan alınmıştır, grafikler sadece görsel amaçlı olarak kullanılmıştır. Ara değerler doğrusal enterpolasyon ile belirlenmiştir.

Genel olarak tüm hesaplar her trafik şeridi için ayrı olarak en azından açılış yılı ve tünelin açılışının 10.yılı için gerçekleştirilmiştir.

Trafik verilerinin karakteristiklerinin hesaplanması:

Araç sayısı

Hesaplara esas teşkil edecek olan trafik öngörülleri, trafik planlayıcısı tarafından sağlanmış ve ilgili trafik hacmi MSV, maksimum trafik hacmi ve araçlardaki (a_L), HGV'lerin yüzdesi her trafik şeridi için ayrı olarak verilmiştir.

Verilen trafik öngörülerine göre araçlar (veh) binek araç birimine (pcu) çevrilmiştir. Bu çevirme için aşağıdaki eşitlik kullanılır.

$$1 \text{ pc} = 1 \text{ pcu} \quad (\text{III.4})$$

$$1 \text{ HGV} = 2.5 \text{ pcu} \quad (\text{III.5})$$

Trafiğin tam duruş hali için her kilometre ve her şeritte $D_o = 150$ pcu varsayılmıştır. Bu değer psikolojik sebeplerden dolayı, açık yol kesimleri için olan değerden daha azdır.

Trafik hacmi $v_o = 60$ km/h optimum hızda maksimumdur. Trafik hacmi psikolojik ve dinamik sebeplerle, daha yüksek ve daha düşük trafik hızlarında bu değerden daha azdır.

Trafik öngörü değerlerinin veh/h den pcu/h' ye çevrilemesinde aşağıdaki eşitlikler geçerlidir:

$$MSV_{max,PWE} = M_{max} \left[1 + \frac{a_L}{100} (g_L - 1) \right] MSV_{PWE} = MSV \left[1 + \frac{a_L}{100} (g_L - 1) \right] \quad (\text{III.6})$$

Trafik hacmi M_{dim} , pcu/h cinsinden ifade edilen hesaplara esas teşkil eder:

$$M_{dim} = \text{Min} \{ MSV_{pcu}, M_{max,pcu} \} \quad (\text{III.7})$$

Trafik yoğunluğu (pcu/km) aşağıdaki formüllere göre hesaplanmıştır, burada hesaplar 10 km/s' den sınır değerine kadar değişen aralıkta hızlar için gerçekleştirilmiştir. Hız adımları, 30 km/s' nin üstünde 10 km/s olacaktır.

Buna göre, $v = 0$ km/s için geçerli olan:

$$D = D_o = 150 \text{ pcu/h}$$

$v = 5$ km için durmuş trafiğin belirli karakteristiklerine izin veren, emisyon – orantılanmış trafik yoğunluğu girilmelidir.

$$D = D_s = \frac{68.5}{1 + 1.5 * a_L / 100} \quad (\text{III.8})$$

Diğer hızlar için:

$$D = \frac{D_o * M_{dim}}{D_o * v + M_{dim} * \left(1 - \frac{v}{v_o} \right)^2} \quad (\text{III.9})$$

Bununla her tünelde pc ve HGV sayısı ile sırası ile havalandırma kesiti L ve her trafik şeridi aşağıdaki formüller kullanılarak bulunur:

$$N_{PKW} = \frac{D * L}{1 + \frac{a_L}{100} (g_L - 1)} * \left(1 - \frac{a_L}{100} \right) \quad (\text{III.10})$$

$$N_{PKW} = \frac{D * L}{1 + \frac{a_L}{100} (g_L - 1)} * \left(\frac{a_L}{100} \right) \quad (\text{III.11})$$

Trafik karışımı:

Trafik karışımı trafik hacminin pc'ler ve HGV' lerin farklı araç kategorilerinin yüzdeleri ile veh (araç) olarak ifade edilmiştir.

Araçlar aşağıdakiler değerlendirilerek kategorize edilmiştir:

Binek araçlar (pc):

- Egzoz katalizörü olmayan benzinli
- Egzoz katalizörlü benzinli
- Dizel motorlu

Ağır hizmet araçları (HGV):

Bunlar kamyonlar, römorklu kamyonlar, otobüsler ve tüm diğer ağır hizmet araçları. HGV' lerin farklı kategorileri, emisyon faktörlerinin kronolojik değişimine göre değerlendirilmiştir.

Trafik karışımı 1994 yılında Avusturya'daki araç filosu ortalama değerleri esas alınmıştır. Gerçek tasarım yılına çevrilmesi zaman faktörü kullanılarak yapılmıştır.

Hız için sınır değeri :

Her şeritteki hız için sınır değeri, tüneldeki araçların ortalama maksimum hızlarıdır. Bu trafik karışımına ve değerlendirilen trafik şeridinin eğimine bağlıdır. Hesaplar hız limit değerlerine kadar ve aşağıdaki şekilde yapılmıştır.

Sadece pc trafiği:

Hız limit değeri trafiğin sadece pc trafiğinden oluşmasındaki hız değerine eşit olarak varsayılmıştır.

Karışık trafik pc – HGV:

Hız limit değeri, trafik pc – HGV karışımı olduğunda aşağıdaki formüle göre alınmıştır.

$$v_{\max} = \min \{95 - 15.4 * s + 0.59 * s^2, v_{\text{zul}}\}$$

Bu hız limit değeri, her yönde birçok sürüş şeridi bulunduğu karışık trafik olan şeritler için kullanılmıştır. Diğer tüm şeritler için hız limiti kullanılmıştır.

Emisyonun hesaplanması:

Emisyon, temel emisyon değerlerinin ilgili katsayılar ile çarpılması ile hesaplanmıştır. Temel emisyon değerleri aşağıda verilen tablolardaki eğrilerin ordinatı olarak gösterilmiştir. Ara değerler doğrusal enterpolasyon ile belirlenmiştir.

Eğim aralığı +/- %6'yı önemsiz oranda geçmesi durumunda değerler ekstrapole edilir, daha ciddi aşma durumlarında ayrı araştırmaların yapılması gerekecektir.

Tasarım limit değerleri:

Tasarım sınır değeri (CO) : $c_{zul} = 100 \text{ ppm}$

Tasarım sınır değeri (bulanıklık/kurum): $k_{zul} = 0.007 \text{ m}^{-1}$

III.11.4.1.4 PC Emisyonları

Her kategori için emisyonlar aşağıda verilen formül kullanılarak hesaplanmış ve hava ihtiyacı hesaplarına girdi olarak kullanılmıştır:

$$e_{pc} = e_o * f_a * f_h$$

Burada:

e_{pc} CO emisyonu [g/h/pc] ve kurum [m²/h/pc], (özel durumlarda ayrıca NOx)

e_o Araç hızı ve yol eğiminin bir fonksiyonu olarak temel emisyon değeri

f_a Zaman değişim faktörü

f_h Yükseklik faktörü

Temiz hava ihtiyacının hesaplanması:

CO ve bulanıklık/kurum sınır değerlerini koruyabilmek için ihtiyaç duyulan temiz hava ihtiyacı trafik şartlarına bağlı olarak aşağıda verilen eşitlikler kullanılarak belirlenir. CO yoğunluğu değeri için, 15 C sıcaklıkta ve $1.013 \cdot 10^5$ Paskal basınç altındaki yoğunluk kullanılmıştır. ($q_{CO} = 1184 \text{ g/m}^3$)

Her şeritte hava ihtiyacı (CO için):

$$q_{CO} = \frac{(e_{pccok} * N_k + e_{pccoe} * N_e + e_{pccod} * N_d + e_{HGVar} * N_{HGV}) * 10^6}{c_{zul} * P_{CO} * 3600} \quad (III.12)$$

N_d Dizel motorlu araçların sayısı (pc)

N_e Benzinli taşıt aracı sayısı (pc) egzoz katalizörü olmayan

N_k Benzinli taşıt aracı sayısı (pc) egzoz katalizör olan

N_{HGV} HGV'lerin sayısı

e_{pccok} Egzoz katalizör olan, benzinli binek araçların (pc) CO emisyonları [g/h/pc]

e_{pccoe} Egzoz katalizör olmayan, benzinli binek araçların (pc) CO emisyonları [g/h/pc]

e_{pccod} Dizel motorlu binek araçların (pc) CO emisyonları [g/h/pc]

e_{pcpard} Dizel motorlu binek araçların (pc) kurum emisyonları (pc) [m²/h/pc]

III.11.5 Temiz Hava İhtiyacı (Dizel Motorlar) Piarc Tavsiyeleri, Brüksel

Dizel motorunun çıkardığı egzoz dumanını seyreltmek ve gerekli temiz hava ihtiyacını belirlemek için, aşağıdaki denklem kullanılır. f_a faktörü de aynı şekilde gelecekte dizel motorlarında uygulanacak teknik geliştirmeleri yansıtmaktadır ve kurum emisyonundaki azalma faktörüdür.

$$Q_F = \frac{q_T^0 f_{iv} f_H}{3600} D_{LW} \frac{1}{K_{lim}} f_a \quad (III.13)$$

Burada:

- Q_F Saniyedeki km yol şeridindeki gerekli temiz hava miktarı [m^3/s , km, yol şeridi]
- q_T^0 CO emisyonunun temel değeri [m^2/h , t]
- m Ortalama araç ağırlığı [t]
- f_{iv} İyileştirme hız faktörü
- f_H Yükseklik faktörü
- D_{LW} Km ve yol şeridindeki ağır hizmet tipi araç sayısı [LW/km, yol şeridi] = M/V
- M_{PL} Ağır hizmet tipi araçların saatteki trafik hacmi [VL/h]
- V Ortalama sürüş hızı [km/h]
- K_{lim} Müsaade edilebilir duman yoğunluğu
- f_a Azaltma faktörü

Bu hesaplama yöntemi, otto çevrimli motorlar için yapılan hesaplamanın benzeridir. Yukarıdaki denklemde araç ağırlığı açık şekilde denkleme konulmuştur. Bütün kamyonların 21 t (2010 yılı) ağırlığa sahip olduğu kabul edilmiştir.

Araçların, bir tüp içindeki üç yol şeridine eşit şekilde dağıldığı varsayılır. Aşağıdaki değerler, PIARC'e göre dizel motorları için yapılmış hesaplamalarda kullanılmıştır.

- $f_a = 0.985$ (%1.5)
- $f_{iv} = \text{PIARC'den}$
- $f_H = \text{PIARC'den}$
- $D_{LW} = \text{Hesaplamalardan}$
- $K_{lim} = 0.009$ (1/m)
- $q_T^0 = 20$ $m^2/h \cdot t$

Dizel motorlu araçlardaki emisyonların azaltımı tahminleri, benzin motorlular için yapılan tahminler kadar güçlük arz eder. Buradaki hesaplamalarda da azaltma

faktörü dikkate alınmamıştır. 2010 ile 2020 yılları arasında araç adedinin arttığı ancak toplam emisyonunun 2010 yılındaki seviyeyi muhafaza ettiği varsayılırsa, 2010 yılı için yapılan hesaplamaların doğru olduğu kabul edilir.

Hesap örneği:

Dizel duman seyreltmesi için temiz hava ihtiyacı hesabı

Yukarı doğru tüp: $V = 20 \text{ km/sa}$, $q_T^0 = 20 \text{ m}^2/\text{h} \cdot \text{t}$, $m = 21 \text{ t}$, $f_{iv} = 0,6015$, $f_H = 1.65$, $f_a = 0.985^{10} = 0.85973$

$D_{LW} = 9.758 \text{ (20 km/sa sürüş hızında kamyonlar/km)}$, $K_{lim} = 0.009 \text{ (1/m)}$

$Q_{F-T} = (20 \cdot 21 \cdot 0.6015 \cdot 1.65 \cdot 9.758 \cdot 0.85973) / (3600 \cdot 0.009) \approx 107.9 \text{ (m}^3/\text{s)}$

III.11.5.1 Temiz Hava İhtiyacı, Dizel Motorlar, Avusturya Tasarım

Klavuzu, 1997

HGV'lerin emisyonu:

Emisyonlar aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmış ve temiz hava ihtiyacı hesaplarına girilmiştir.

$$e_{HGV} = e_0 \cdot f_a \cdot f_h \cdot f_m \quad (\text{III.14})$$

Burada:

e_{HGV} CO emisyonu [g/h/HGV] ve is [m²/h/HGV], (özel durumlarda NO_x'de)

e_0 Emisyon temel değeri, bu değer, araç hızı ve 10 ton birim ağırlığında HGV ile ilgili yol eğiminin ve Avusturya da 1994'te karışık araç filosunun emisyon standardının bir fonksiyonudur.

f_a Çevirme faktör zamanı

f_h Yükseklik faktörü

f_m Ağırlık faktörü

Her trafik şeridinde hava ihtiyacı (duman/is'e göre):

$$q_{Tr} = \frac{e_{pcpard} \cdot N_d + e_{HGVpard} \cdot N_{HGV}}{k_{zul} \cdot 3600} \quad (\text{III.15})$$

Burada:

$$N_k = N_{pc} \cdot \frac{a_{pk}}{100} \quad (\text{III.16})$$

$$N_e = N_{pc} \cdot \frac{a_{pe}}{100} \quad (\text{III.17})$$

$$N_d = N_{pc} \cdot \frac{a_{pd}}{100} \quad (\text{III.18})$$

e_{HGVcod} : Dizel motorlu HGV'lerin CO emisyonu [g/h/pc]

$e_{HGVpard}$: Dizel motorlu HGV'lerin is emisyonu [m²/h/HGV]

III.11.6 Temiz Hava Hesaplanması

Aşağıdaki denklem, tünel uzunluğunun tamamı için gerekli temiz hava ihtiyacını hesaplamada kullanılmıştır.

$$V = V_{\max} * L * N \quad (III.19)$$

Burada:

$$V = \text{Tünel içindeki temiz hava miktarı [m}^3/\text{s]}$$

$$V_{\max} = \text{Maksimum temiz hava miktarı [m}^3/\text{s]}$$

$$L = \text{Tünel uzunluğu km}$$

$$N = \text{Şerit adedi}$$

Minimum sürüş hızı, yamaç aşağı tüpte 30 km/h ve yamaç yukarı tüpte ise 20 km/h olacaktır. Aşağıdaki hesaplamalara göre en yüksek hız varsayılabilir:

$$V_{\max} = \frac{80-5s}{1+0.25s} \quad s(\%) \text{ eğim} \quad (III.20)$$

III.11.6.1 Normal Şartlarda

Hava ihtiyacı:

$$\text{Yukarı doğru: } V_u = 107.9 * 3 * 2.91989 = 945.17 \text{ m}^3/\text{s} \quad (III.21)$$

$$\text{Aşağı doğru: } V_D = 52.7 * 3 * 3.05146 = 482.43 \text{ m}^3/\text{s} \quad (III.22)$$

Hava akımı hızları:

$$U_{VU} = V_u / AV = 9.581 \text{ m/s yukarı doğru tüpte boyuna hava hızı} \quad (III.23)$$

$$U_{VD} = V_D / AV = 4.89 \text{ m/s aşağı doğru tüpte boyuna hava hızı} \quad (III.24)$$

III.11.6.2 Tamirat Durumunda

$$\text{Yukarı doğru: } V_u = 107.9 * 2.91989 + 52.7 * 2.91989 = 468.93 \text{ m}^3/\text{s} \quad (III.25)$$

$$\text{Aşağı doğru: } V_D = 107.9 * 3.05146 + 52.7 * 3.05146 = 490.06 \text{ m}^3/\text{s} \quad (III.26)$$

III.11.6.3 Yangın Durumunda

$$V_u = V_D = 4.5 * 98.648 = 443.9 \text{ m}^3/\text{s} \quad (III.27)$$

Yangının meydana geldiği tüpte dumanın dışarı çıkartılabilmesini sağlamak için yangın tüpünde jet fanlar ile belirli bir hava hızına erişilmesi gerekmektedir. PIARC önerisi 3m/s'dir. TAG Otoyolu havalandırma hesabında 4.5 m/s'lik bir hız kullanılmıştır. Bu sebeple, bu değer Bolu Tüneli için de dikkate alınmıştır.

III.11.6.4 Özet

Aşağıda verilen tablo temiz hava ihtiyacının, daha önce bahsedilen 3 durum için (normal, tamirat, yangın) maksimum değerini göstermektedir.

Tablo III.6 Muhtemel Durum İçin Gereken Hava Miktarı (2010 yılı)

	Yukarı doğru m ³ /s	Aşağı doğru m ³ /s
Normal şartlar	945.17	482.43
Tamirat durumu	468.93	490.06
Yangın durumu	443.9	443.9

Dizel parçacıkların emisyonunun önümüzdeki 15 ile 20 yıl içerisinde, bugünkü seviyelere kıyasla düşeceği göz önünde bulundurulmalıdır.

III.11.7 Temiz Hava Hesapları

III.11.7.1 Normal Şartlarda

Hava ihtiyacı:

$$\text{Yukarı doğru: } V_U = 360.9/3 + 161.4/3 = 174.2 \text{ m}^3/\text{s} \quad (\text{III.28})$$

$$\text{Aşağı doğru: } V_D = 377.16/3 + 168.7/3 = 181.95 \text{ m}^3/\text{s} \quad (\text{III.29})$$

Hava akım hızları:

$$u_{VU} = V_U/AV = 3.66 \text{ m/s} \quad (\text{III.30})$$

$$u_{VD} = V_D/AV = 1.71 \text{ m/s} \quad (\text{III.31})$$

III.11.7.2 Tamirat Durumunda

$$\text{Yukarı doğru: } V_U = 360.9/3 + 161.4/3 = 174.2 \text{ m}^3/\text{s} \quad (\text{III.32})$$

$$\text{Aşağı doğru: } V_D = 377.16/3 + 168.7/3 = 181.95 \text{ m}^3/\text{s} \quad (\text{III.33})$$

III.11.7.3 Yangın Durumunda

$$V_U = V_D = 4.5 \cdot 98.648 = 443.9 \text{ m}^3/\text{s} \quad (\text{III.34})$$

III.11.7.4 Özet

Aşağıdaki tablo bahsi geçen daha önceki 3 koşulun (normal, tamirat, yangın) durumunda temiz hava ihtiyacının maksimum değerini göstermektedir.

Tablo III.7 Muhtemel Üç Durum İçin Gerekli Hava Miktarı

	Yukarı doğru m ³ /s	Aşağı doğru m ³ /s
Normal şartlarda	360.9	168.7
Onarım durumu	174.2	181.9
Yangın durumu	443.9	443.9

Jet fan hesaplarında 2010 yılı değeri kullanılmalıdır.

III.12 HAVALANDIRMA SİSTEMİ

III.12.1 Genel

Havalandırmanın amacı temiz hava vererek tünel içindeki sağlığa zararlı dumanları azaltmak ve görüşü artırmaktır. İki çeşit havalandırma sisteminin uygulanması mümkündür: doğal (tabi) ve mekanik (cebri) havalandırma.

Her tünel belirli oranda doğal havalandırmaya maruzdur. Bu havalandırma iki tünel portalı arasındaki küçük çaplı meteorolojik basınç farkından ve ayrıca araç itme kuvveti ve baca tesirinden kaynaklanır. Doğal havalandırmanın uygun olacağı hakkındaki karar, trafik yoğunluğuna ve tünel boyuna ve meteoroloji koşullarına bağlıdır.

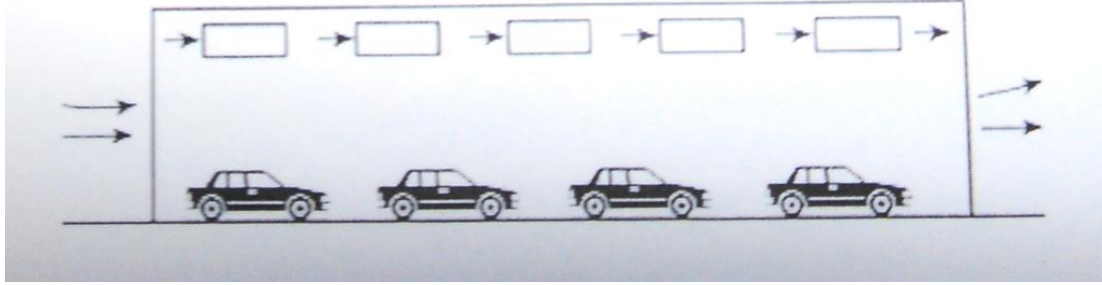
Tünel, 5 km veya daha fazla boya sahip çok uzun bir tünel olsa dahi, trafik hacmi günde en çok 100 – 200 araç arasında ise, tünel mekanik havalandırma olmaksızın çalıştırılabilir. Bu durumda tünel içinde aynı anda sadece bir veya iki araç bulunacaktır. Ancak tünelden daha çok araç geçerse, mekanik havalandırma gerekecektir.

Sembol tanımları:

- P_v Tünel içindeki hava basıncı
- u_v Tünel içindeki hava hızı
- c Çevreyi kirletici madde yoğunluğu
- V Tüneldeki araç hızı
- ΔP_F Araçlar boyunca basınç yükselmesi
- ΔP_G Tünel portalları arasındaki basınç farkı

III.12.2 Boyuna Havalandırma

Boyuna havalandırma sisteminde temiz hava ve egzoz havası tünel eksenini istikametinde hareket eder. Sistem, basit yapısı nedeniyle mümkün olan en ucuz mekanik havalandırma yöntemidir.



Şekil III.2 Jet Fanlı Boyuna Havalandırma Sistemi

III.12.2.1 Fanlı Boyuna Havalandırma

Gerekli hava hızına sahip boyuna akımı oluşturmak amacıyla vantilatörler tünel içinde tavana veya yan duvarlara monte edilir. Vantilatörler yüksek devirde tünel havasını emerek tünel eksenini boyunca dışarı doğru üflerler. Bu jet tip vantilatörlerin oluşturduğu itici kuvvet, tünel içindeki havaya iletilir. Vantilatörler genellikle çift yönlüdür, böylece her iki istikamete de bir hava akımının oluşturulmasını mümkün kılacak şekilde üflenilen hava yönü değiştirilebilir. Kirletici madde yoğunluğundaki artış doğrusaldır.

Boyuna hava hızı 10 – 12 m/s'yi aştığı takdirde bu tip havalandırma kullanılamaz. Daha yüksek hız değerleri araçlarından dışarı çıkan insanlar için oldukça yüksek tehlike oluşturur.

III.12.2.2 Fanlı Bölünmüş Boyuna Havalandırma

Bu sistem için, egzoz havasının atıldığı ve temiz havanın verildiği ilave havalandırma girişi gereklidir. Bu ek tünel girişi hava hızı 12 m/s'yi aştığında belirlenip uyarlanır. Hem egzoz havası hem de temiz hava bir şaft veya tünelde paralel bir tüp yoluyla nakledilebilir. Bu sistem fanlı boyuna havalandırma sisteminin tüm avantajlarına sahiptir. Bu sistem, havalandırma için kullanılabilir.

Çevreyi kirletici maddelerin dağılımı testere dişine benzer karaktere sahiptir. Bu maddelerin yoğunluğu temiz hava üflenilen yerlerde belirgin şekilde düşer.

III.12.3 Yarı Enine Havalandırma

Kirletici madde yoğunluğunun, tünel boyunca aynı olması gerekiyorsa temiz hava belirli aralıklar ile verilmelidir. Bu havalandırma sadece, ana tünele paralel bir kanal sağlandığı taktirde mümkündür. Vantilatörler temiz havayı kanal yoluyla tünel eksenine göre enine şekilde üflerler. Egzoz havası ise tünel eksenine istikametinde dışarı doğru atılır.

Bu vantilatörler çift yönlü olmalı ve ayrıca yangın durumunda havayı dışarı atabilecek şekilde düzenlenmeleri ile yangın dumanlarının devamlı olarak tünelden dışarı atılabilmesi mümkün olabilmelidir.

Yarı enine tip havalandırmanın avantajları sistemin imalat maliyetinin yüksek oluşuyla dengelenir. İkinci bir tüp (geciken kazı = daha yüksek maliyet) veya ikinci bir tavan (daha yüksek maliyet) gereklidir. Ayrıca işletme giderleri de boyuna havalandırmaya nazaran daha yüksektir. Bu nedenlerden dolayı yarı enine havalandırma sistemi sadece diğer sistemlerin uygulanamayacağı, uzun iki yönlü tünellere monte edilir.

Yarı enine havalandırma sisteminin sınırı tünel içindeki boyuna hızın 10 – 12 m/s'ye ulaşması durumunda söz konusu olur. Bu durumda egzoz havası dışarı atılmalıdır.

III.12.4 Enine Havalandırma

Bu tip havalandırma da, hem temiz hem de egzoz havası kanallarına gereksinim vardır. Bu kanalların konumu (kanallardan her ikisi de sürüş alanının üzerinde veya biri altında diğeri üzerinde) mevcut yer durumuna bağlıdır. Hem temiz hava hem de egzoz havası nakledilir; içeri üfleme ve dışarı atma işlemleri tünel eksenine göre enine şekilde olur. Enine havalandırma, yangın durumunda tünel içinde duran insanlar için, duman gazlarının dışarı atılabilmesi ve temiz havanın tünel içine verilebilmesi nedeniyle yüksek seviye de emniyet sağlar. Ancak bu sistem, imalat ve işletme maliyeti açısından pahalıdır. İki kanal ve buna bağlı geniş kazı alanı gerekir. Her iki kanalın da sürüş alanı üzerinde olması durumunda ikinci bir kanala ve bunun yanı sıra temiz hava ve egzoz havası kanalları arasında yerleştirilecek bir bölme duvarına gerek vardır.

III.13 HAVALANDIRMA SİSTEMİNİN SEÇİLMESİ

Bolu tünelleri tüpleri için, idare kararı doğrultusunda ve bu rapordaki hesaplar doğrultusunda jet fanları ile boyuna havalandırma uygulanmıştır.

III.13.1 Jet Fanlarda Güç Tüketimi

Bir tünel içindeki gerekli itme kuvveti aşağıdaki denklem yardımıyla hesaplanabilir:

$$\left(\frac{\lambda_V}{D_V} L_V + 1 + \zeta_E\right) * A_V * \frac{\rho}{2} * u_V^2 * \text{sign}(u_V) + (P_{P1} - P_{P2}) * A_V - c_W A_F N \frac{\rho}{2} (v_1 - u_V)^2 + s_{max} = 0 \quad (\text{III.35})$$

$$S = \frac{K * s_{max}}{\left(1 - \frac{u_V}{u_1}\right)} \quad \text{gerekli itme kuvveti} \quad (\text{III.36})$$

$$n = \frac{S}{1720} \quad \text{jet fan sayısı (1720 = önerilen jet fan itme kuvveti)} \quad (\text{III.37})$$

Tablo III.8 Güç Tüketimi Hesaplamalarında Kullanılan Değişkenler Ve Değerler

	Birim	Açıklama	Hesaplamadaki değer
λ_V	(-)	Sürtünme direnci katsayısı	0.015-0.016
D_V	(m)	Hidrolik çap	10.15
L_V	(m)	Tünel uzunluğu	Bkz. Bölüm 3.1
ζ_E	(-)	Tünel portalında hava giriş katsayısı	0.2
A_V	(m ²)	Tünel enine kesit alanı	98.65
ρ	(kg/m ³)	Hava özgül ağırlığı	1.2
U_V	(m/s)	Tünel içindeki hava hızı	Değişken
$P_{P1} - P_{P2}$	(N)	Portallar arasındaki basınç farkı	21.6 (u _w =6m/s)
$C_W A_F$	(m ²)	Araç direnci	3.24,3,2,1
V_1	(km/hour)	Trafik hızı	Bkz Ek
N	(-)	Tüneldeki araç sayısı	Bkz Ek
$K^{(3)}$	(-)	Vantilatör konumuna bağlı katsayı	1.2
U_1	(m/s)	Buster ventilatörlerdeki egzoz hızı	34.2

K tünelin içerisinde jet fanların konumları ile ilgili bir katsayıdır. Biz en yüksek değeri seçtik ($K=1.2$). Bu jet fan tünelin içerisinde her yere yerleştirilebilir anlamına gelmektedir.

Hesap örneği:

Jet fanların sayısının hesabı:

Yukarı doğru tüp $V=20$ km/sa (5.56 m/s): $\lambda=0.016$, $L_V=2919,89$ m, $u_V=9.58$ m/s, $c_w A_F=3.24$ m², $N=251.4$ Fz/tünel, $v_1=5.56$ m/s diğer bütün değerler tablo 6.1.1. den alınabilir.

$$K_1=A_V(1+x_i+\lambda)(L_V/D_V)*\rho/2=343.46 \quad (\text{III.38})$$

$$K_2=(p_1 - p_2)*A_V=2130.84 \quad (\text{III.39})$$

$$K_3=N* c_w A_F*\rho/2=488.73 \quad (\text{III.40})$$

$$S_{\max}=K_1*u_V u + K_2 - K_3(v_1 - u_V)^2*\text{sign}(v_1 - u_V)=343.46*(5.56-9.58)^2=40016.22 (\text{III.41})$$

$S=K*S_{\max}*(1-u_V/u_i)=66707$, $n=S/1720 \approx 41$ (üç bölümlü jet fan olduğundan 42 olarak alınmıştır.)

Aşağıdaki tablo havalandırma sistemi için gerekleri göstermektedir.

Tablo III.9 İtme Kuvveti, Jet Vantilatörlerin Sayısı Ve Güç Tüketimi

Jet Fanlar		Yamaç Yukarı Tüp	Yamaç Aşağı Tüp
Gerekli İtme Kuvveti S	N	66707	12559
Vantilatör adedi	-	42	8
Gerekli Güç	kW	1800	360

III.13.2 Yangın Durumunda Havalandırma

Yangın durumunda tek yönlü trafiğe sahip bir tünel iki yönlü trafiğe sahip bir tünelden çok daha emniyetlidir. Piston etkisi veya vantilatörler nedeniyle daima araç gidiş istikametinde boyuna hava akışı oluşur. Havalandırmanın nasıl çalışacağı daima yerel koşullara bağlıdır. Aşağıdaki paragraflar bazı önemli noktalar içermektedir.

Serbestçe akan tek yönlü trafiğe sahip bir tünel içinde yangın çıktığında, yangının (alevlerin) önündeki araçlar (trafik akış yönünde görülür) genellikle tünelden dışarı doğru hareket edebilirler. Bu suretle tünelin bu kısmı süratle

boşaltılır. Bu esnada Yangının ardındaki araçlar durmalıdır. Araç itme kuvvetinin, duran araçlardan tünelin boşalan kısmına dışarı doğru devamlı tatbikiyle tünelde maruz kalan araçlar yangının oluşturduğu zehirli dumanlardan dolayı herhangi bir tehlikeye maruz kalmazlar. Araç itme kuvveti tatbikinin durması veya yavaşlaması halinde bu hava hareketinin devam etmesini sağlamak amacıyla buster vantilatörleri çalıştırılmalıdır. Yangının önünde kalan araçlar tüneli terk edemezlerse, yangının oluşturduğu zehirli dumanlardan dolayı tehlikeye maruz kalacaktır. Bu durumda zehirli duman akışını durdurarak bu termal tabakayı (sıcak dumanlar üstte – dumansız bölge altta) oluşturabilmek amacıyla, buster vantilatörleri kullanılmalıdır.

Tünelde boyuna hava akımı olmadığı sırada yoğun, yavaş hareket eden hatta duran bir trafik olması durumunda da yine zehirli yangın dumanlarının hareketini durdurmak ve termal tabakayı oluşturmak önerilir.

En önemli husus her durumda tünel kullananların tehlikeli bölgelerden çıkmasına imkan sağlanmasıdır. Bu nedenle iki tünel tüpü arasında belirli ile geçişi imkan verecek enine geçişler sağlanmıştır.

BÖLÜM IV

SONUÇLAR ve TARTIŞMA

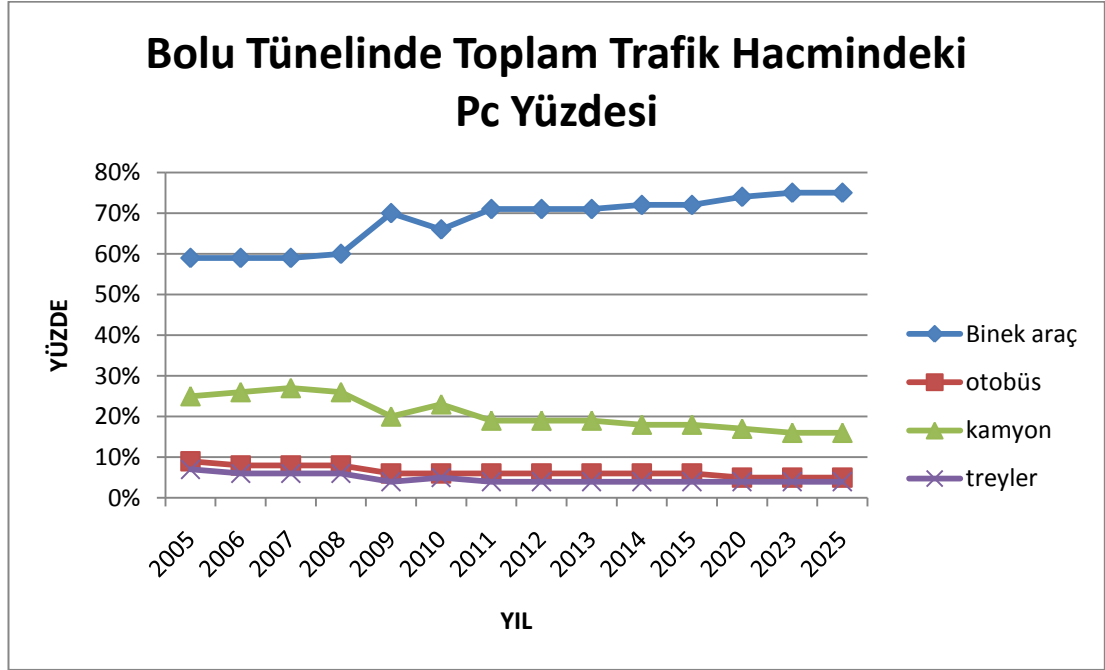
Karayolları proje kriterlerinde trafik yoğunluğu 2000 araç/şerit ve uzunluğu 1000 m'den büyük tünellerde mekanik havalandırma zorunludur. Bolu dağı tünelinin uzunluğu 3050 m ve araç yoğunluğu 34376 araç/şerit olması bolu dağı tüneline mekanik havalandırmayı zorunlu kılar.

Bolu dağı geçişinin bir bölümü olan bolu tüneline havalandırma tasarımı için uygun olan havalandırma sistemi jet fanlarla boyuna havalandırma sistemi uygulanmıştır. Bu sistem maliyet ve hava akımı hızı açısından tercih edilmiştir.

Tasarım parametreleri dikkate alındığında yukarı doğru olan tüpte 42 adet jet fan, aşağı doğru tüpte 8 adet jet fan kullanılmıştır. Her jet fan 1720 N itme kuvveti ve 45 kW güç tüketimi kapasitesine sahiptir. Yaptığımız hesaplamalarda yukarı doğru tüpte minimum sürüş hızı 20 km/h olup gerekli jet fan adedi 40 bulunmuştur. Ancak jet fanlar yukarı doğru olan tüpte üçerli grup olarak takıldığı için 42 adet jet fan kullanılmıştır. Aşağı doğru tüpte ise minimum sürüş hızı 30 km/h olup gerekli jet fan adedi 8 olarak hesaplanmıştır. Aşağı doğru olan tüpte jet fanlar ikili grup olarak takılmış ve kullanılmaktadır.

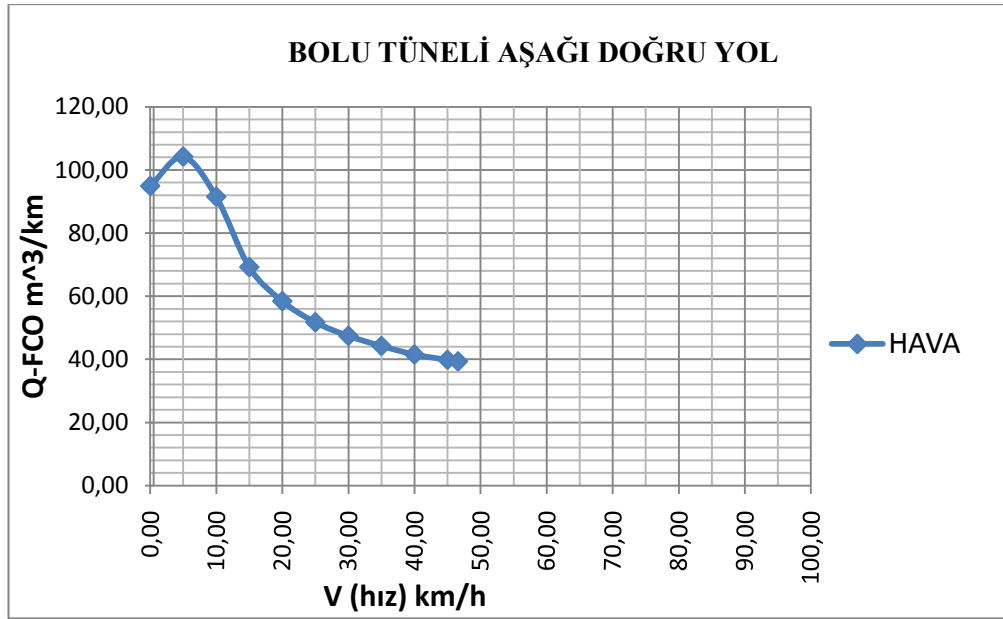
Tünelde ortaya çıkan bir yangının en kısa zamanda kontrol altına alınması ve söndürülmesi can ve mal kaybının önlenmesi açısından hayati bir önem taşımaktadır. Karayolu tünelleri proje kriterlerinde 500 m'den uzun tünellerde su temini zorunludur. Bolu Dağı Tüneline yangın söndürme sistemi mevcuttur. Ayrıca tünel içerisindeki olası yangın durumları içinde tünelin Elmalık Portalı tarafındaki kontrol merkezinin içinde itfaiye araçları beklemektedir. Tünelde 5 adet araç ve 1 adet yaya için olmak üzere iki tüp arasında geçişi mümkün kılan yangın kapıları bulunmaktadır. Yangın kapıları her bir tüpte havalandırmanın sağlıklı yapılmasını sağlamakla yangın durumunda diğer tüpün güvenliğini sağlamaktadır. EGM verilerinden ve basın organlarından takip edildiği üzere Bolu Dağı Tüneli'nin içinde yangına sebebiyet verebilecek büyük bir trafik kazası meydana gelmemiştir. Bolu Dağı Geçiş'i ni oluşturan viyadüklerde ve özellikle tünelin giriş ve çıkış portallarında

ölümlü, yaralanmalı ve maddi hasarlı trafik kazalarının sayısı fazla olmakla beraber kazalar genellikle yollardaki buzlanmadan ve aşırı hızdan kaynaklanmaktadır. Bu trafik kazalarını minimum seviyeye getirebilmek için; KGM kurumu viyadüklerdeki asfaltlara buzlanmayı engelleyici kimyasal sıvılar serpen cihazlar yerleştirmiştir. Bolu Dağı Tünelinde hız limitlerini aşanları engelleyebilmek için içerisine, giriş ve çıkışlarına radar cihazları yerleştirilmiştir. Tünel içinde azami hız 70 km/h olarak belirlenmiştir.

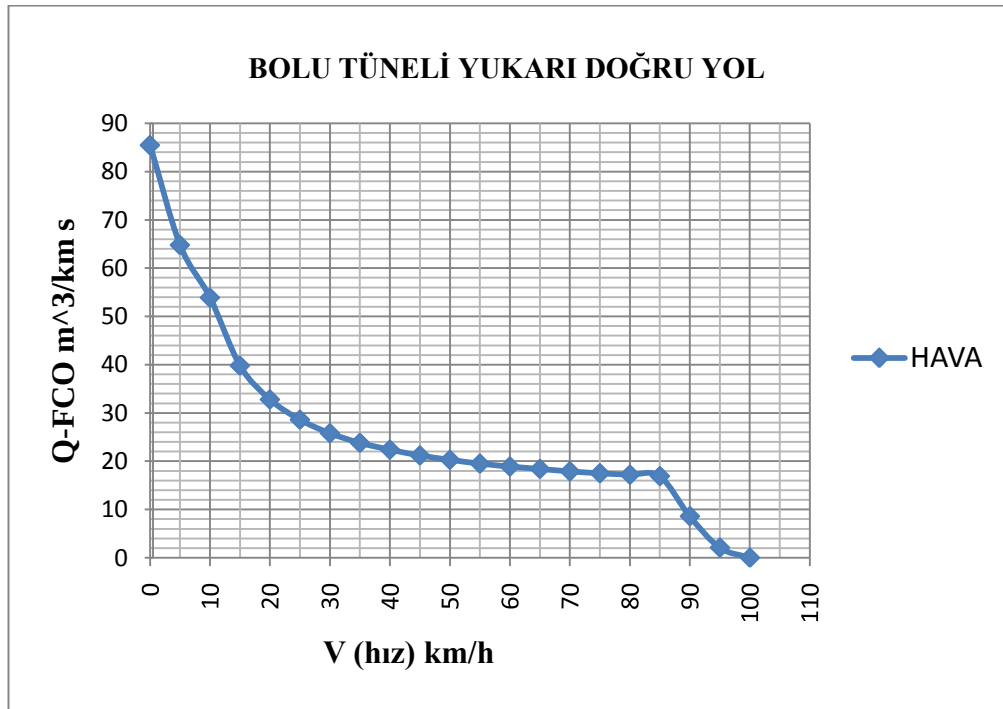


Şekil IV.1 Bolu Tünelinde Toplam Trafik Hacmindeki Araçların Yıllara Göre Dağılımı

Bolu Dağı Tünelindeki toplam trafik yoğunluğu 34376 araç/şerit dir. 2010 yılı için bu sayının %66 oranını binek araçlar %34 ise HGV (ağır yük araçları) oluşturmaktadır. Şekil IV.1’ de tüm otobüslerin, kamyonların ve terylerin dizel motorlu olduğu kabul edilmiştir. Trafığın en yoğun olduğu belirleyici saat olarak günlük trafiğin %10’ u alınmıştır.



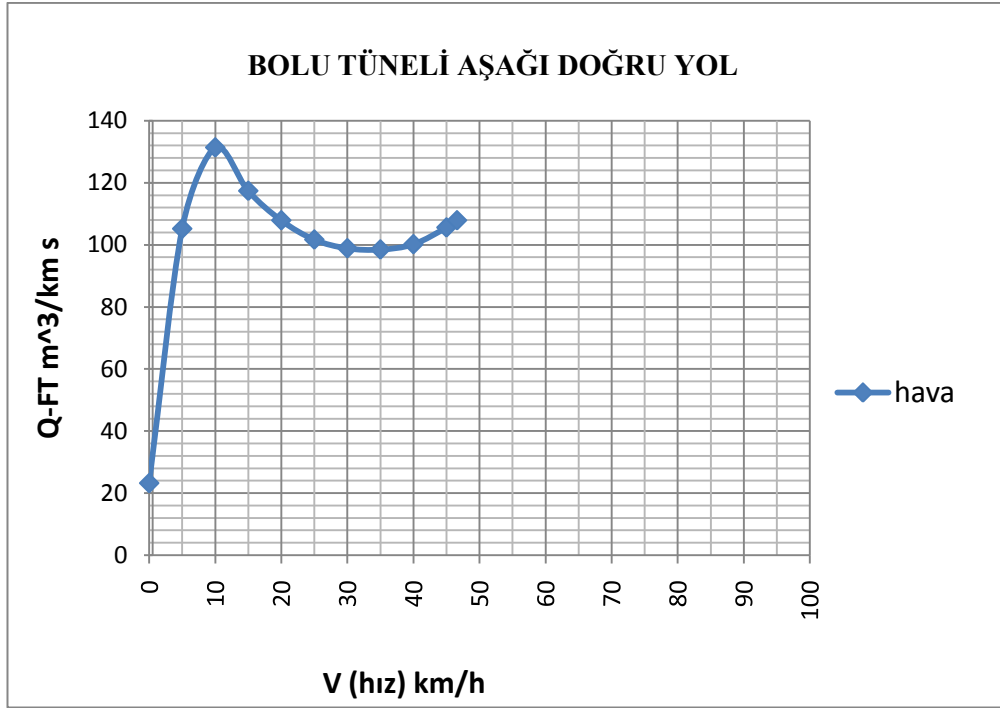
Şekil IV.2 Bolu Tüneli Aşağı Doğru Yol Hıza Göre Temiz Hava Gereksinimi (CO Emisyonu)



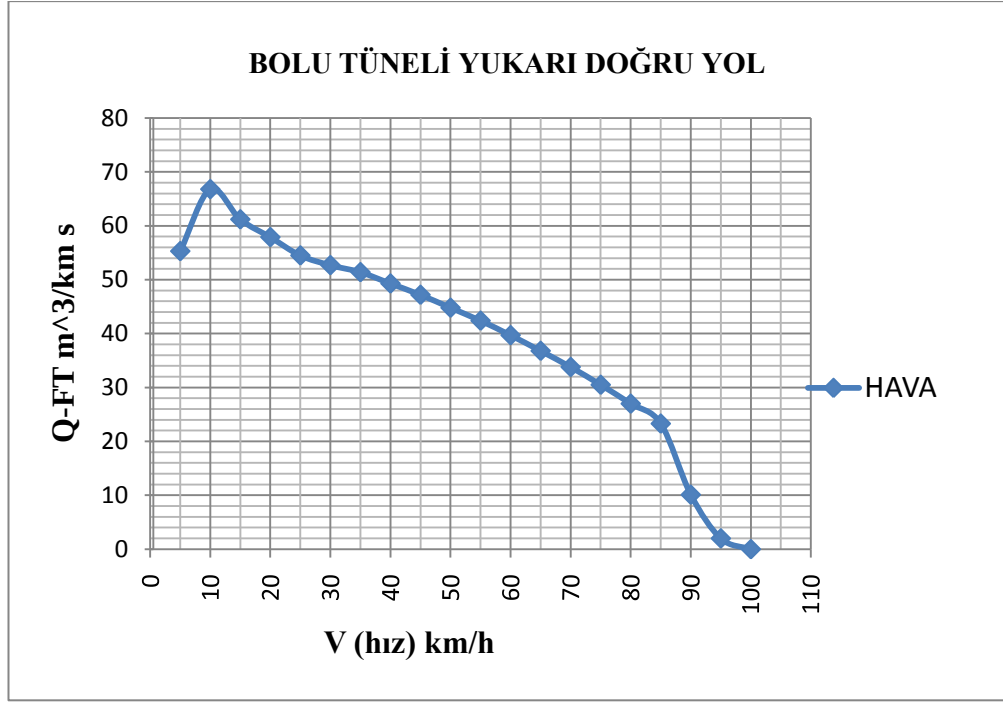
Şekil IV.3 Bolu Tüneli Yukarı Doğru Yol Hıza Göre Temiz Hava Gereksinimi (CO Emisyonu)

Araç trafiği, kapalı mekan olan tünel içerisinde gaz yoğunlaşmasına neden olmaktadır. Tünel içinde taşıtlar nedeniyle CO, NO ve NO₂ gibi zehirli gazlar ortaya çıkmakta ve is kurum gibi parçacıklar havalanarak görüş mesafesini düşürmektedir. Bunlar belirli sınırlara yaklaştığında tünel dışına atmak için de havalandırma

sistemleri devreye girmektedir. Sistemin verimliliğini artırmak için tünel içindeki ve giriş çıkışlarındaki rüzgarın yönü ve hızı ölçülmekte ve buna uygun yönde jet fanlar tarafından itme temin edilmektedir. Bolu Dağı Tüneli'nde tüm bu işlemler için ileri düzey algılayıcı ve tespit cihazları kullanılmıştır. Cihazlar limit değerleri üzerinde bir değer algıladığında tünel trafiğe kapatılır. Bolu dağı tünelinin aşağı ve yukarı doğru yolları için araçların egzozlarından dış ortama çıkan CO emisyonundan kaynaklanan kirli hava araçların hızına bağlıdır. Hız arttıkça şekil IV.2 ve şekil IV.3' de görüldüğü gibi tünel içinde sağlanması gereken temiz hava miktarı azalmaktadır.

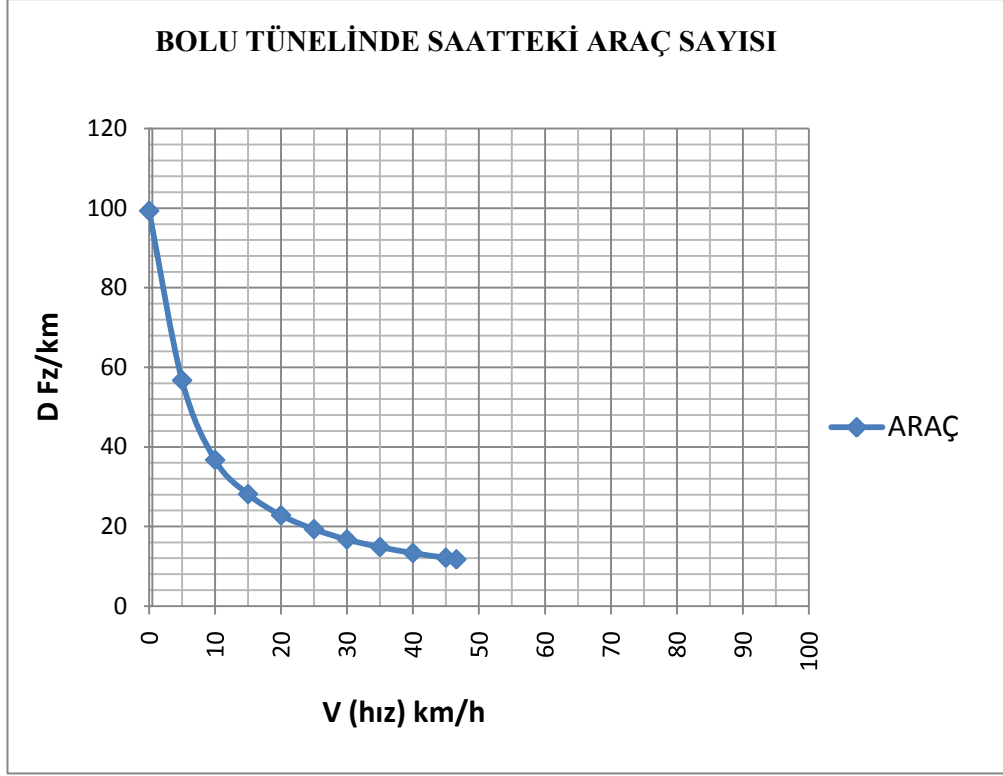


Şekil IV.4 Bolu Tüneli Aşağı Doğru Yol Hıza Göre Temiz Hava Gereksinimi (is/kurum, duman Emisyonu)

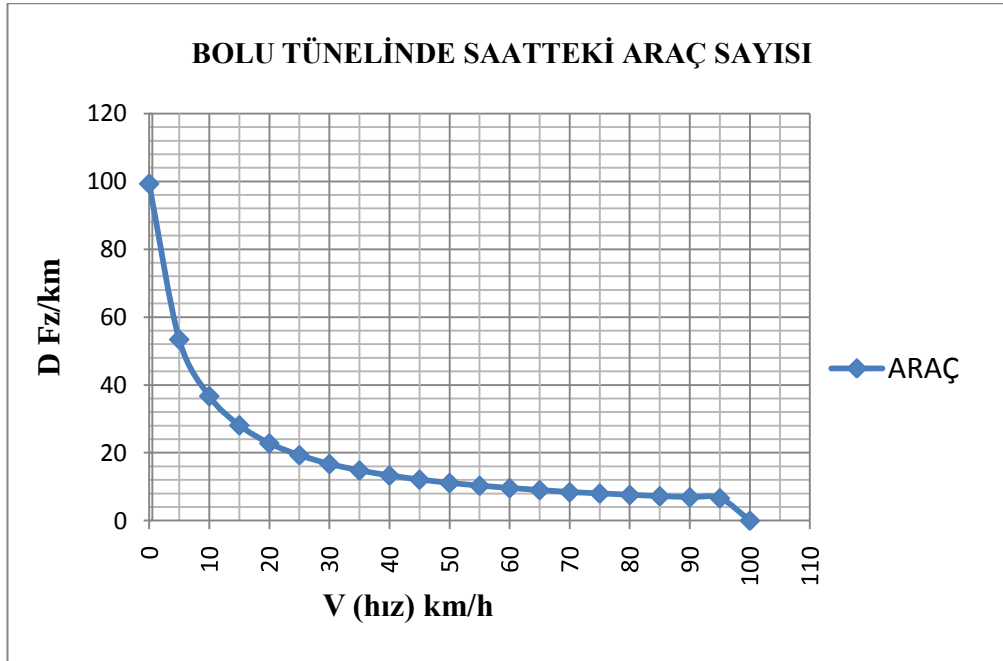


Şekil IV.5 Bolu Tüneli Aşağı Doğru Yol Hıza Göre Temiz Hava Gereksinimi (is/kurum, duman Emisyonu)

Dizel parçacıkların emisyonunun önümüzdeki 15 ile 20 yıl içerisinde, bugünkü seviyelere kıyasla düşeceği göz önünde bulundurulmalıdır. Dolayısı ile her bir araçtaki emisyon azalması, artan araç kullanımı sebebi ile yükselecek olan emisyonu dengeleyecektir. Buna bağlı olarak, tahmin edilen maksimum hava ihtiyacı 2010 yılında olacaktır. Takip eden yıllarda bunun sabit kalması ve hatta azalması beklenmektedir. Gazlı kirleticilerde azaltma muhtemelen daha erken olacaktır. Fakat, CO emisyonlarında olacak bir azalma, gereken hava akımı hacminin dizel parçacık emisyonuna bağlı olması sebebi ile temiz hava miktarını etkilemeyecektir. Dolayısı ile 2010 yılı kritik tasarım durumu olarak değerlendirilebilir. Özellikle dizel araçlardan çıkan is/kurum ve egzoz dumanı tünel içinde görüşü azaltacak ve bulanık bir görüntü oluşturacaktır. Şekil IV.4 ve şekil IV.5’ de hız arttıkça tünel içindeki is/kurum, bulanıklığı azaltıp görüşü iyileştirmek için gerekli temiz hava gereksiniminin hıza göre dağılımı gösterilmiştir. Hız arttıkça gerekli olan temiz hava miktarı da azalmaktadır.



Şekil IV.6 Bolu Tünelinde Saatte Geçen Araç Sayısı



Şekil IV.7 Bolu Tünelinde Saatte Geçen Araç Sayısı

Araçlardan açığa çıkan kirletici maddeler kapalı bir yapı olmasından dolayı tünelin içerisinde çok hızlı bir şekilde birikebilmektedir. Havalandırma sistemi olan

otobüsler ve araçlardaki yolcuların termal konforları üzerinde dahi tünel havalandırma sisteminin etkisi vardır. Tünel havalandırma sisteminin esas amaçlarından birisi de tünel boyunca, içerisindeki hava kalitesinin aynı seviyede sürdürmektir. Tünel içerisindeki temiz havanın değerleri yüksek olsa bile araç yoğunluğu seviyesi kısa sürede tünel içerisindeki kirliliğin zararlı seviyelere ulaşmasına neden olabilmektedir. Bolu tüneline km başına saatte geçen araç sayısı şekil IV.6 ve şekil IV.7’ da görüldüğü gibi hız arttıkça araç sayısı da azalmaktadır. Bolu tüneline araçların yukarı doğru tüpteki maksimum hızı (% 2.01 eğim) 46.6 km/h’dir.

Tünel içerisindeki hava hızı 10 – 12 m/sn’den büyük ise boyuna havalandırma sistemi yapılamaz. Tünel içindeki hava hızı, tünel içerisinde gerekli temiz hava miktarının tünel kesit alanına oranıdır. Bolu dağı tüneline hava akımı hızı 9.58 m/s civarında olacaktır, bu teknik olarak neredeyse sınır değerdedir. Hava akımı hızının 12 m/s den fazla olması kesinlikle kabul edilemez ve 7 m/s genel olarak uygun bir hedef değer olarak değerlendirilir.

BÖLÜM V

SON DEĞERLENDİRMELER ve ÖNERİLER

Bu çalışmada Bolu Tüneli havalandırma sisteminin etkinliği araştırıldı ve tünelden geçebilecek tahmini trafik hacminin, 2010 yılı için, bir modelini kurmak amacıyla, tünelin tüpleri boyunca kirlilik yoğunlaşmasının artışı kritik koşullarda (motorların rölanti modu) incelendi. Bunun yanında tünel güvenliği proje kriterleri ve alt yapı önlemleri, insanların tünellerde belirli süre egzoz gazlarına maruz kalması durumunda meydana gelebilecek sağlık sorunları hakkında bilgi verildi.

Tünellerdeki kirlilik yoğunlaşmaları kritik sabit denge seviyelerine çok hızlı ulaşır ve ana kirlilik bileşenlerinin yoğunlaşma seviyeleri denge koşullarında tünel uzunluğu boyunca hesaplanır. Araçlardan çıkan kirletici maddeler iç içe olan yapıdan dolayı tünelin içerisinde çok hızlı bir şekilde birikebilecektir. Havalandırma sistemi olmayan otobüsler ve araçlardaki yolcuların termal konforları üzerinde dahi tünel havalandırmasının etkisi vardır. Tünel havalandırmasının esas amaçlarından birisi tünelin bütün uzunluğu boyunca, içerisindeki hava kalitesini bir seviyede sürdürmektir. Yol tünelinin içerisine giren taze havanın yüksek değişim değerlerine rağmen araçların zorunlu durmaları halinde rölanti konumunda beklemeleri kısa bir sürede kirliliğin zararlı seviyelere ulaşmasına sebep olduğu yapılan ölçümlerden anlaşılmaktadır.

Bir karayolu tünelinin çalışması, sorunsuz zamanlarda herhangi bir hatalı çalışmayı belirlemek ve kaza ya da yangın durumlarında bunlara karşı kısa sürede harekete geçebilmek için gözlemlemeyi gerektirir. Bolu Dağı Tüneli'nde mevcut olan gözlem - kontrol binası ile tünel 24 saat izlenmektedir. Bakım; servisi, denetimi ve havalandırma sistem elemanlarının onarımını içerir. Tünelde kurulan ekipmanlar, sistemler ve cihazlar belirli hizmet ömürlerine ve garanti sürelerine sahip olduklarından, garanti süreleri bittikten sonra bütün kurulum ve tesisatlarda genel ve detaylı bir bakım yapılması önerilir.

Bolu Tünelinde olan trafik kazaları incelendiğinde genellikle tünelin ana portallarında trafik kazalarının olduğu görülmektedir. Dış ortama insanların çıkma süreleri bütün zaman boyunca 1 saatten azdır. Fakat araçların zorunlu durmaları halinde bu süre 5 dakika civarındadır. Bolu Tünelinin kırsalda olması tünel içerisindeki istenilen gerekli hava kalitesine daha çabuk ulaşılmasına katkı sağlamaktadır. Ayrıca kullanılan havalandırma sisteminin de yapılan hesaplamalar sonucunda yeterli olduğunu söylemek mümkündür.

KAYNAKLAR

- [1] <http://egm1teabib02/> “Trafik Eğitim ve Araştırma Dairesi Başkanlığı”(2010).
- [2] Alhazmy, M.; Borat, O.: “A Mathematical Model For Monitoring Pollutants Levels Inside Road Tunnels”, 3. Uluslar arası İleri Teknolojiler Sempozyumu, Ankara, Türkiye, Ağustos, (2003) 17-29.
- [3] Alhazmy, M.; Borat, O.: “Design and Analysis of a Tunnel Ventilation System”7th International Combustion Symposium, Ankara, Türkiye, Temmuz, (2002) 468-476.
- [4] World Health Organisation, Geneva. Guidelines for air quality. <http://www.who.org> (1999).
- [5] The National Institute for Occupational Safety and Health. Preventing carbon monoxide poisoning from small gasoline-powered engines and tools. <http://www.cdc.gov/niosh/carbon2.html>, (1999).
- [6] Air Service Group, Environmental Protection Department, Hong Kong Government. Practice note on control of air pollution in vehicle tunnels, (1995).
- [7] Chow, W. K. And M. Y. Chan, Field Measurement On Transient Carbon Monoxide Levels İn Vehicular Tunnels. Building And Environment Volume 38, Issue 2, February, (2003) Pp.227 – 236
- [8] <http://www.cevre.org/TCM/Yonetmelikler/Hava%20Kalitesi.htm> (2008).
- [9] Tünellerin Asgari Güvenlik Gereksinimlerine İlişkin Proje Kriterlerinin Belirlenmesi ile İlgili Komisyon Raporu
- [10] Akkaplan, S.; Boran, K.; Şeker, U.:”Karayolu Tünelinde Yangın Reaksiyonu, Yangın Direnci ve Yangın Yalıtımı” 7th International Combustion Symposium, Ankara, Türkiye, Temmuz, (2002) 477-489.
- [11] Akkaplan, S.; Boran, K.; Şeker, U.: “Karayolu Tünellerinde Yangın Güvenliği İçin Alınacak Tedbirler” 7th International Combustion Symposium, Ankara, Türkiye, Temmuz, (2002) 490-502.
- [12] CTIF (International Committee of Fire Prevention & Extinction) Kongresi: “Tüneller Yeterince Güvenlimi” Regensdorf, İsviçre, Kasım,(2002).

- [13] Lin, C.; Chuah, Y. K.: “A Study on Long Tunnel Smoke Extraction Strategies Numerical Simulation” Tunnelling and Underground Space Technology, ScienceDirect, 23, **(2008)** 522-530.
- [14] Directive 2004/54/Ec Of The European Parliament and Of The Council Of 29 April 2004
- [15] <http://kgm.gov.tr> “Karayolları Genel Müdürlüğü”, **(2010)**.
- [16] Tünel Havalandırma Tasarım Kılavuzu; Ulaşım Ve Karayolları Araştırma Derneği Yayını, Şubat, **(1997)**.

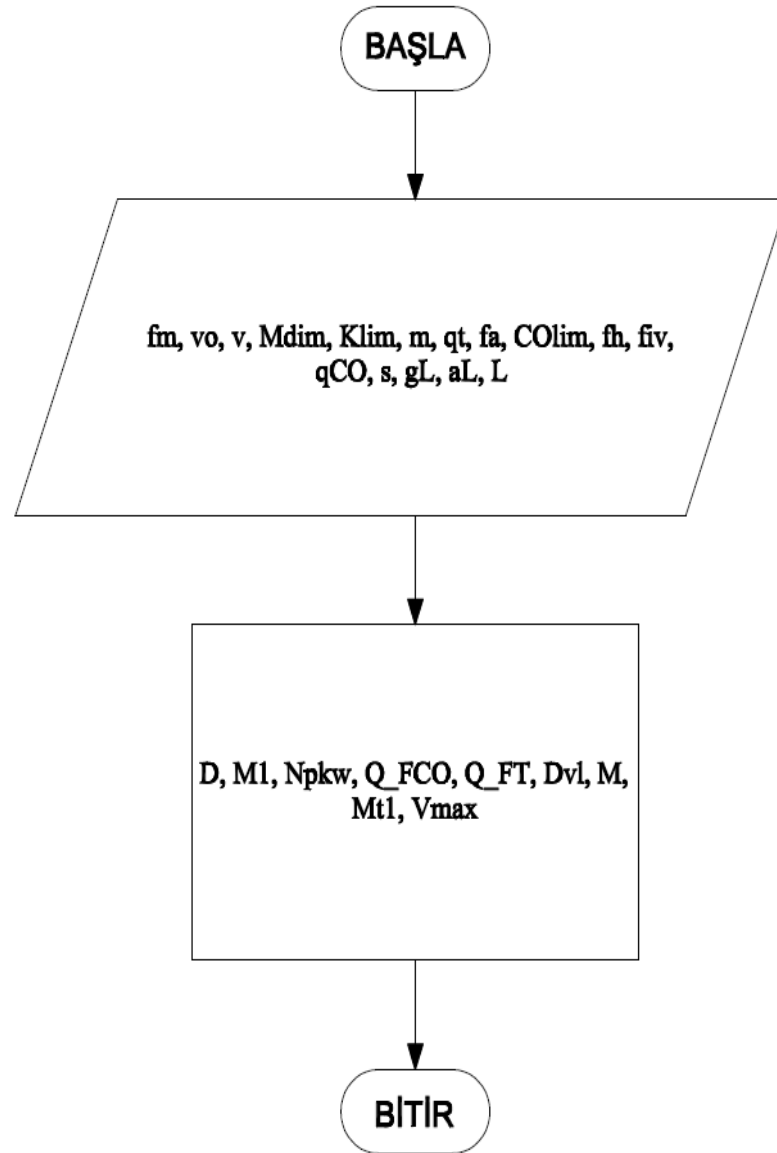
EKLER

EK 1- TEMİZ HAVA TALEBİNİN HESAPLANMASI

Semboller	Birim	Matlab program karşılıkları
D (trafik yoğunluğu)	Pcu/km	D
L (tünel uzunluğu)	Km	L
aL (HGV'lerin yüzdesi)	%araç	aL
gL (HGV konsantrasyon oranı)	Pcu/km	gL
s (eğim)	%	s
V _{max} (mümkün olan maksimum hız)	m/s	V _{max}
q _{CO} (km'de CO kriterine göre hava ihtiyacı)	m ³ /h	qCO
f _{iv} (iyileştirme hız faktörü)	-	fiv
f _h (yükseklik faktörü)	-	fh
CO _{lim} (müsaade edilebilir maksimum CO yoğunluğu)	ppm	COlim
f _a (azaltma faktörü)	-	fa
q ⁰ _T (CO emisyonunun temel değeri)	m ² /ht	qt
m(ortalama araç ağırlığı)	t	m
K _{lim} (müsade edilebilir duman yoğunluğu)	1/m	Klim
N _{pkw} (araç yoğunluğu)	Fz/km	Npkw
Q _{FCO} (gerekli temiz hava miktarı)	m ³ /kms	Q_FCO
Q _{FT} (gerekli temiz hava miktarı)	m ³ /kms	Q_FT
M _{dim} (proje trafik hacmi)	pcu/h	Mdim
V (hız)	Km/h	v
V ₀ (optimum hız)	Km/h	vo
f _m (ağırlık faktörü)	-	fm
M-P (saatteki toplam araç sayısı)	Fz/h	M1

M-L (saatteki toplam otomobil sayısı)	Fz/h	Mt1
M-F(saatteki toplam kamyon sayısı)	Fz/h	M
D _{VL} (yolcu aracı sayısı)	-	Dvl

AKIŞ DİYAGRAMI



EK 2 - TEMİZ HAVA TALEBİNİN HESAPLANMASI 1

Program: matlab 7.4.0

disp='hava talebi hesaplaması';

disp='bolu tüneli yukarı doğru tek yön trafik';

disp='2010 yılı için';

disp='tünel verileri';

disp='tünel uzunluğu..... 2.92 m';

disp='eğim..... 2.010 %';

disp='yükseklik..... 820.0 m';

disp='müsade edilebilir max CO yoğunluğu..... 150.00 ppm';

disp='hava bulanıklığı..... 0.007 1/m';

disp='trafik verileri';

disp='optimal sürüş hızı..... 80.0 km/h';

disp='(otomobil)en üst hız..... 100.0 km/h';

disp='(kamyon)mümkün olan üst hız..... 46.6 km/h';

disp='saatteki max trafik hacmi..... 1800.0 PWE/h';

disp='saatteki tahmini trafik hacmi..... 866.0 PWE/h';

disp='kamyonların oranı..... 34.0 %';

disp='kamyonların eşitlik değeri..... 2.50 PWE/LKW';

disp='araç verileri';

disp='otomobil emisyon değeri..... 1.00 m³/km.Fz';

disp='ortalama kamyon emisyonu..... 20.00 m²/h.to';

disp='ortalama kamyon ağırlığı..... 21.00 to';

s=2.01;

Vmax=(80-(5*s))/(1+(0.25*s));

fprintf('Vmax= %6.2f m³/s\n',Vmax);

%' v = 0 km/h için;

D=150;

L=2.94;

aL=0.34;

gL=2.5;

```

Npkw=(D*L*aL)/(1+(aL*(gL-1)));
fprintf('Npkw= %6.1f Fz/km\n',Npkw);
M_F=0.0;
fprintf('M_F= %6.1f Fz/h\n',M_F);
M_P=0.0;
fprintf('M_P= %6.1f Fz/h\n',M_P);
M_L=0.0;
fprintf('M_L= %6.1f Fz/h\n',M_L);
qCO = 1.0;
fiv = 0.4707;
fh = 1.65;
COlim= 150;
fa=0.6648;
fa0=0.85973;
qt=20;
m=21;
Klim=0.009;
fivt=1.26;
disp=' gerekli temiz hava miktarı';
Q_FCO = (qCO*fh*fiv*10^6*Npkw*fa)/(3600*COlim);
fprintf('Q_FCO= %6.1f m^3/kms\n',Q_FCO);
Q_FT=(qt*m*fh*fivt*fa0)/(3600*Klim);
fprintf('Q_FT= %6.1fm^3/kms \n',Q_FT);

%'v=5 km/h için
v1=5;
fprintf('v1= %6.0f km/h\n',v1);
v0=60;
Mdim=866;
D1=(D*Mdim)/((D*v1)+(Mdim*(1-(v1/v0)^2)));
Npkw1=(D1*L)*(1-aL)/(1+(aL*(gL-1)));
fprintf('Npkw1= %6.1f \n',Npkw1);
M_F=383.4;
fprintf('M_F= %6.1f Fz/h\n',M_F);

```

```

fiv1 = 1.014;
fivt1=0.284;
M1=253.0;
fprintf('M1= %6.0f \n',M1);
Mt1=130.3;
fprintf('Mt1= %6.1f \n',Mt1);
Dvlt1=Mt1/v1;
Dvl1=M1/v1;
disp=' gerekli temiz hava miktarı';
Q_FCO1 = (qCO * fh * fiv1 * 10^6 * Dvl1 * fa)/(3600 * COlim);
fprintf('Q_FCO1= %6.1f\n',Q_FCO1);
Q_FT1=(qt*m*fh*Dvlt1*fivt1*fa)/(3600*Klim);
fprintf('Q_FT1= %6.1f \n',Q_FT1);

%'v=10 km/h için;
v2=10;
fprintf('v2= %6.0f \n',v2);
Mdim=866;
D2=(D*Mdim)/((D*v2)+(Mdim*(1-(v2/v0)^2)));
fprintf('D2= %6.1f \n',D2);
Npkw2=(D2*L*aL)/(1+(aL*(gL-1)));
fprintf('Npkw2= %6.1f \n',Npkw2);
fiv2=1.188;
fivt2=0.475;
M_F=573.5;
fprintf('M_F= %6.1f Fz/h\n',M_F);
M=378.5;
fprintf('M= %6.1f \n',M);
Mt=195.0;
fprintf('Mt= %6.1f \n',Mt);
Dvlt2=Mt/v2;
Dvl2=M/v2;
disp=' gerekli temiz hava miktarı';
Q_FCO2 = (qCO * fh * fiv2 * 10^6 * Dvl2 * fa)/(3600 * COlim);

```

```

fprintf('Q_FCO2= %6.1f\n',Q_FCO2);
Q_FT2=(qt*m*fh*Dvlt2*fivt2*fa)/(3600*Klim);
fprintf('Q_FT2= %6.1f \n',Q_FT2);

%'v=15 km/h için;
v3=15;
fprintf('v3= %6.0f \n',v3);
D3=(D*Mdim)/((D*v3)+(Mdim*(1-(v3/v0)^2)));
fprintf('D3= %6.1f \n',D3);
Npkw3=(D3*L*aL)/(1+(aL*(gL-1)));
fprintf('Npkw3= %6.1f \n',Npkw3);
fiv3=1.356;
fivt3=0.635;
Dvlt3=Mt/v3;
Dvl3=M/v3;
disp=' gerekli temiz hava miktarı';
Q_FCO3 = (qCO * fh * fiv3 * 10^6 * Dvl3 * fa)/(3600 * COlim);
fprintf('Q_FCO3= %6.1f\n',Q_FCO3);
Q_FT3=(qt*m*fh*fivt3*Dvlt3*fa)/(3600*Klim);
fprintf('Q_FT3= %6.1f \n',Q_FT3);

%'v=20 km/h için;
v4=20;
fprintf('v4= %6.0f \n',v4);
D4=(D*Mdim)/((D*v4)+(Mdim*(1-(v4/v0)^2)));
Npkw4=(D4*L*aL)/(1+(aL*(gL-1)));
fprintf('Npkw4= %6.1f \n',Npkw4);
fiv4=1.52;
fivt4=0.778;
Dvlt4=Mt/v4;
Dvl4=M/v4;
disp=' gerekli temiz hava miktarı';
Q_FCO4 = (qCO * fh * fiv4 * 10^6 * Dvl4 * fa)/(3600 * COlim);
fprintf('Q_FCO4= %6.1f\n',Q_FCO4);

```

```

Q_FT4=(qt*m*fh*Dvlt4*fivt4*fa)/(3600*Klim);
fprintf('Q_FT4= %6.1f \n',Q_FT4);

%'v = 25 km/h için;
v5=25;
fprintf('v5= %6.0f \n',v5);
D5=(D*Mdim)/((D*v5)+(Mdim*(1-(v5/v0)^2)));
Npkw5=(D5*L*aL)/(1+(aL*(gL-1)));
fprintf('Npkw5= %6.1f \n',Npkw5);
fiv5=1.683;
fivt5=0.918;
Dvlt5=Mt/v5;
Dvl5=M/v5;
disp=' gerekli temiz hava miktarı';
Q_FCO5 = (qCO * fh * fiv5 * 10^6 * Dvl5 * fa)/(3600 * COlim);
fprintf('Q_FCO5= %6.1f\n',Q_FCO5);
Q_FT5=(qt*m*fh*fivt5*Dvlt5*fa)/(3600*Klim);
fprintf('Q_FT5= %6.1f \n',Q_FT5);

%'v = 30 km/h için
v6=30;
fprintf('v6= %6.0f \n',v6);
D6=(D*Mdim)/((D*v6)+(Mdim*(1-(v6/v0)^2)));
Npkw6=(D6*L*aL)/(1+(aL*(gL-1)));
fprintf('Npkw6= %6.1f \n',Npkw6);
fiv6=1.844;
fivt6=1.068;
Dvlt6=Mt/v6;
Dvl6=M/v6;
disp=' gerekli temiz hava miktarı';
Q_FCO6 = (qCO*fh*fiv6*10^6*Dvl6*fa)/(3600*COlim);
fprintf('Q_FCO6= %6.1f\n',Q_FCO6);
Q_FT6=(qt*m*fh*fivt6*Dvlt6*fa)/(3600*Klim);
fprintf('Q_FT6= %6.1f \n',Q_FT6);

```

```

%'v = 35 km/h için;
v7=35;
fprintf('v7= %6.0f \n',v7);
D7=(D*Mdim)/((D*v7)+(Mdim*(1-(v7/v0)^2)));
Npkw7=(D7*L*aL)/(1+(aL*(gL-1)));
fprintf('Npkw7= %6.1f \n',Npkw7);
fiv7=2.01;
fivt7=1.242;
Dvlt7=Mt/v7;
Dvl7=M/v7;
disp=' gerekli temiz hava miktarı';
Q_FCO7 = (qCO*fh*fiv7*10^6*Dvl7*fa)/(3600*COlim);
fprintf('Q_FCO7= %6.1f\n',Q_FCO7);
Q_FT7=(qt*m*fh*fivt7*Dvlt7*fa)/(3600*Klim);
fprintf('Q_FT7= %6.1f \n',Q_FT7);

```

```

%'v = 40 km/h için
v8=40;
fprintf('v8= %6.0f \n',v8);
D8=(D*Mdim)/((D*v8)+(Mdim*(1-(v8/v0)^2)));
Npkw8=(D8*L*aL)/(1+(aL*(gL-1)));
fprintf('Npkw8= %6.1f \n',Npkw8);
fiv8=2.173;
fivt8=1.454;
Dvlt8=Mt/v8;
Dvl8=M/v8;
disp=' gerekli temiz hava miktarı';
Q_FCO8 = (qCO*fh*fiv8*10^6*Dvl8*fa)/(3600*COlim);
fprintf('Q_FCO8= %6.1f\n',Q_FCO8);
Q_FT8=(qt*m*fh*fivt8*Dvlt8*fa)/(3600*Klim);
fprintf('Q_FT8= %6.1f \n',Q_FT8);

```

%v = 45 km/h için

v9=45;

fprintf('v9= %6.0f \n',v9);

$D9=(D*Mdim)/((D*v9)+(Mdim*(1-(v9/v0)^2)))$;

$Npkw9=(D9*L*aL)/(1+(aL*(gL-1)))$;

fprintf('Npkw9= %6.1f \n',Npkw9);

fiv9=2.335;

fivt9=1.717;

Dvlt9=Mt/v9;

Dvl9=M/v9;

disp=' gerekli temiz hava miktarı';

$Q_FCO9 = (qCO*fh*fiv9*10^6*Dvl9*fa)/(3600*COlim)$;

fprintf('Q_FCO9= %6.1f\n',Q_FCO9);

$Q_FT9=(qt*m*fh*fivt9*Dvlt9*fa)/(3600*Klim)$;

fprintf('Q_FT9= %6.1f \n',Q_FT9);

%v10 = 46.6 km/h için

v10=46.6;

fprintf('v10= %6.1f \n',v10);

$D10=(D*Mdim)/((D*v10)+(Mdim*(1-(v10/v0)^2)))$;

$Npkw10=(D10*L*aL)/(1+(aL*(gL-1)))$;

fprintf('Npkw10= %6.1f \n',Npkw10);

fiv10=2.39;

fivt10=1.813;

Dvlt10=Mt/v10;

Dvl10=M/v10;

disp=' gerekli temiz hava miktarı';

$Q_FCO10 = (qCO*fh*fiv10*10^6*Dvl10*fa)/(3600*COlim)$;

fprintf('Q_FCO10= %6.1f\n',Q_FCO10);

$Q_FT=(qt*m*fh*Dvlt10*fivt10*fa)/(3600*Klim)$;

fprintf('Q_FT= %6.1f \n',Q_FT);

EK-3 HAVA TALEBİNİN HESAPLANMASI

Program : matlab7.4.0

Tek şerit için geçerli veriler

Bolu tüneli kuzeye doğru tek yön trafik

2010 yılı için:

Tünel verileri:

Tünel uzunluğu	2.92 m
Eğim	2.010 %
Yükseklik	820.0 m
Müsaade edilebilir max CO yoğunluğu	150.0 ppm
Hava bulanıklığı	0.007 1/m

Trafik verileri:

Optimal sürüş hızı	80.0 km/h
En üst hız(otomobil)	100.0 km/h
Mümkün olan üst hız(kamyon)	46.6 km/h
Saatteki max trafik hacmi	1800.0 PWE/h
Saatteki tahmini trafik hacmi	866.0 PWE/h
Kamyonların oranı	34.0 %
Kamyonların eşitlik değeri	2.50 PWE/LKW

Araç verileri:

Otomobil emisyon değeri	1.00 m ³ /km.Fz
Ortalama kamyon emisyonu	20.00 m ² /h.to
Ortalama kamyon ağırlığı	21.00 to

V (km/h)	D (Fz/km)	M – F (Fz/h)	M – P (Fz/h)	M – L (Fz/h)	Q – FCO (m ³ /km.s)	Q – FT (m ³ /km.s)
0.0	99.3	0.0	0.0	0.0	94.9	23.2
5.0	56.7	383.4	253.0	130.3	104.2	105.2
10.0	36.7	573.5	378.5	195.0	91.5	131.4
15.0	28.1	573.5	378.5	195.0	69.2	117.4
20.0	22.8	573.5	378.5	195.0	58.4	107.9
25.0	19.3	573.5	378.5	195.0	51.7	101.7
30.0	16.7	573.5	378.5	195.0	47.4	98.9
35.0	14.8	573.5	378.5	195.0	44.2	98.5
40.0	13.3	573.5	378.5	195.0	41.5	100.2
45.0	12.1	573.5	378.5	195.0	39.8	105.6
46.6	11.7	573.5	378.5	195.0	39.3	107.9

V : Hız

D : Araçların miktarı (km başına)

M – F : Saatteki toplam trafik hacmi

M – P : Otomobillerin saatteki trafik hacmi

M – L : Kamyonların saatteki trafik hacmi

Q – FCO : CO seyreltmek için gerekli taze hava miktarı

Q – FT : Görüşü iyileştirmek için gerekli taze hava miktarı

EK 4 - HAVA TALEBİNİN HESAPLANMASI 3

Program : matlab7.4.0

disp='hava talebi hesaplaması';

disp='bolu tüneli yukarı doğru tek yön trafik';

disp='2010 yılı için';

disp='tünel verileri';

disp='tünel uzunluğu..... 3.05 m';

disp='eğim..... 2.010 %';

disp='yükseklik..... 820.0 m';

disp='müsade edilebilir max CO yoğunluğu..... 150.00 ppm';

disp='hava bulanıklığı..... 0.007 1/m';

disp='trafik verileri';

disp='optimal sürüş hızı..... 80.0 km/h';

disp='(otomobil)en üst hız..... 100.0 km/h';

disp='(kamyon)mümkün olan üst hız..... 100.0 km/h';

disp='saatteki max trafik hacmi..... 1800.0 PWE/h';

disp='saatteki tahmini trafik hacmi..... 866.0 PWE/h';

disp='kamyonların oranı..... 34.0 %';

disp='kamyonların eşitlik değeri..... 2.50 PWE/LKW';

disp='araç verileri';

disp='otomobil emisyon değeri..... 1.00 m³/km.Fz';

disp='ortalama kamyon emisyonu..... 20.00 m²/h.to';

disp='ortalama kamyon ağırlığı..... 21.00 to';

s=-2.01;

fprintf('s= %6.2f %\n',s);

Vmax=(80-(5*s))/(1+(0.25*s));

fprintf('Vmax= %6.2f m³/s\n',Vmax);

%' v = 0 km/h için;

D=150;

L=3.05;

aL=0.34;

gL=2.5;

```

Npkw=(D*L*aL)/(1+(aL*(gL-1)));
fprintf('Npkw= %6.1f Fz/km\n',Npkw);
qCO = 1.0;
fiv = 0.4708;
fh = 1.485;
COLim= 150;
fa=0.6648;
fa0=0.85973;
qt=20;
m=21;
Klim=0.009;
fivt=1.66;
disp=' gerekli temiz hava miktarı';
Q_FCO = (qCO*fh*fiv*10^6*Npkw*fa)/(3600*COLim);
fprintf('Q_FCO= %6.1f m^3/kms\n',Q_FCO);
Q_FT=(qt*m*fh*fivt*fa0)/(3600*Klim);
fprintf('Q_FT= %6.1fm^3/kms \n',Q_FT);

%'v=5 km/h için
v1=5;
fprintf('v1= %6.0f km/h\n',v1);
v0=60;
Mdim=866;
D1=(D*Mdim)/((D*v1)+(Mdim*(1-(v1/v0)^2)));
Npkw1=(D1*L)*(1-aL)/(1+(aL*(gL-1)));
fprintf('Npkw1= %6.1f \n',Npkw1);
fiv1 = 0.70;
fivt1=0.166;
M1=253.0;
fprintf('M1= %6.0f \n',M1);
Mt1=130.3;
fprintf('Mt1= %6.1f \n',Mt1);
Dvlt1=Mt1/v1;
Dvl1=M1/v1;

```

```

disp=' gerekli temiz hava miktarı';
Q_FCO1 = (qCO * fh * fiv1 * 10^6 * Dvl1 * fa)/(3600 * COlim);
fprintf('Q_FCO1= %6.1f\n',Q_FCO1);
Q_FT1=(qt*m*fh*Dvlt1*fivt1*fa)/(3600*Klim);
fprintf('Q_FT1= %6.1f \n',Q_FT1);

%'v=10 km/h için;
v2=10;
fprintf('v2= %6.0f \n',v2);
Mdim=866;
D2=(D*Mdim)/((D*v2)+(Mdim*(1-(v2/v0)^2)));
Npkw2=(D2*L*aL)/(1+(aL*(gL-1)));
fprintf('Npkw2= %6.1f \n',Npkw2);
fiv2=0.78;
fivt2=0.268;
M=378.5;
fprintf('M= %6.1f \n',M);
Mt=195.0;
fprintf('Mt= %6.1f \n',Mt);
Dvlt2=Mt/v2;
Dvl2=M/v2;
disp=' gerekli temiz hava miktarı';
Q_FCO2 = (qCO * fh * fiv2 * 10^6 * Dvl2 * fa)/(3600 * COlim);
fprintf('Q_FCO2= %6.1f\n',Q_FCO2);
Q_FT2=(qt*m*fh*Dvlt2*fivt2*fa)/(3600*Klim);
fprintf('Q_FT2= %6.1f \n',Q_FT2);

%'v=15 km/h için;
v3=15;
fprintf('v3= %6.0f \n',v3);
D3=(D*Mdim)/((D*v3)+(Mdim*(1-(v3/v0)^2)));
Npkw3=(D3*L*aL)/(1+(aL*(gL-1)));
fprintf('Npkw3= %6.1f \n',Npkw3);
fiv3=0.86;

```

```

fivt3=0.368;
Dvlt3=Mt/v3;
Dvl3=M/v3;
disp=' gerekli temiz hava miktarı';
Q_FCO3 = (qCO * fh * fiv3 * 10^6 * Dvl3 * fa)/(3600 * COlim);
fprintf('Q_FCO3= %6.1f\n',Q_FCO3);
Q_FT3=(qt*m*fh*fivt3*Dvlt3*fa)/(3600*Klim);
fprintf('Q_FT3= %6.1f \n',Q_FT3);

```

```

%'v=20 km/h için;
v4=20;
fprintf('v4= %6.0f \n',v4);
D4=(D*Mdim)/((D*v4)+(Mdim*(1-(v4/v0)^2)));
Npkw4=(D4*L*aL)/(1+(aL*(gL-1)));
fprintf('Npkw4= %6.1f \n',Npkw4);
fiv4=0.95;
fivt4=0.464;
Dvlt4=Mt/v4;
Dvl4=M/v4;
fprintf('Dvl4= %6.1f \n',Dvl4);
disp=' gerekli temiz hava miktarı';
Q_FCO4 = (qCO * fh * fiv4 * 10^6 * Dvl4 * fa)/(3600 * COlim);
fprintf('Q_FCO4= %6.1f\n',Q_FCO4);
Q_FT4=(qt*m*fh*Dvlt4*fivt4*fa)/(3600*Klim);
fprintf('Q_FT4= %6.1f \n',Q_FT4);

```

```

%'v = 25 km/h için;
v5=25;
fprintf('v5= %6.0f \n',v5);
D5=(D*Mdim)/((D*v5)+(Mdim*(1-(v5/v0)^2)));
Npkw5=(D5*L*aL)/(1+(aL*(gL-1)));
fprintf('Npkw5= %6.1f \n',Npkw5);
fiv5=1.035;
fivt5=0.546;

```

```

Dvlt5=Mt/v5;
Dvl5=M/v5;
disp=' gerekli temiz hava miktarı';
Q_FCO5 = (qCO * fh * fiv5 * 10^6 * Dvl5 * fa)/(3600 * COlim);
fprintf('Q_FCO5= %6.1f\n',Q_FCO5);
Q_FT5=(qt*m*fh*fivt5*Dvlt5*fa)/(3600*Klim);
fprintf('Q_FT5= %6.1f \n',Q_FT5);

```

```

%'v = 30 km/h için;
v6=30;
fprintf('v6= %6.0f \n',v6);
D6=(D*Mdim)/((D*v6)+(Mdim*(1-(v6/v0)^2)));
Npkw6=(D6*L*aL)/(1+(aL*(gL-1)));
fprintf('Npkw6= %6.1f \n',Npkw6);
fiv6=1.12;
fivt6=0.612;
Dvlt6=Mt/v6;
Dvl6=M/v6;
disp=' gerekli temiz hava miktarı';
Q_FCO6 = (qCO*fh*fiv6*10^6*Dvl6*fa)/(3600*COlim);
fprintf('Q_FCO6= %6.1f\n',Q_FCO6);
Q_FT6=(qt*m*fh*fivt6*Dvlt6*fa)/(3600*Klim);
fprintf('Q_FT6= %6.1f \n',Q_FT6);

```

```

%'v = 35 km/h için;
v7=35;
fprintf('v7= %6.0f \n',v7);
D7=(D*Mdim)/((D*v7)+(Mdim*(1-(v7/v0)^2)));
Npkw7=(D7*L*aL)/(1+(aL*(gL-1)));
fprintf('Npkw7= %6.1f \n',Npkw7);
fiv7=1.202;
fivt7=0.697;
Dvlt7=Mt/v7;
Dvl7=M/v7;

```

```

disp=' gerekli temiz hava miktarı';
Q_FCO7 = (qCO*fh*fiv7*10^6*Dvl7*fa)/(3600*COlim);
fprintf('Q_FCO7= %6.1f\n',Q_FCO7);
Q_FT7=(qt*m*fh*fiv7*Dvlt7*fa)/(3600*Klim);
fprintf('Q_FT7= %6.1f \n',Q_FT7);

```

%'v = 40 km/h için

```

v8=40;
fprintf('v8= %6.0f \n',v8);
D8=(D*Mdim)/((D*v8)+(Mdim*(1-(v8/v0)^2)));
Npkw8=(D8*L*aL)/(1+(aL*(gL-1)));
fprintf('Npkw8= %6.1f \n',Npkw8);
fiv8=1.295;
fivt8=0.764;
Dvlt8=Mt/v8;
Dvl8=M/v8;
disp=' gerekli temiz hava miktarı';
Q_FCO8 = (qCO*fh*fiv8*10^6*Dvl8*fa)/(3600*COlim);
fprintf('Q_FCO8= %6.1f\n',Q_FCO8);
Q_FT8=(qt*m*fh*fivt8*Dvlt8*fa)/(3600*Klim);
fprintf('Q_FT8= %6.1f \n',Q_FT8);

```

%'v = 45 km/h için

```

v9=45;
fprintf('v9= %6.0f \n',v9);
D9=(D*Mdim)/((D*v9)+(Mdim*(1-(v9/v0)^2)));
Npkw9=(D9*L*aL)/(1+(aL*(gL-1)));
fprintf('Npkw9= %6.1f \n',Npkw9);
fiv9=1.38;
fivt9=0.84;
Dvlt9=Mt/v9;
fprintf('Dvlt9= %6.1f \n',Dvlt9);
Dvl9=M/v9;
disp=' gerekli temiz hava miktarı';

```

$Q_FCO9 = (qCO * fh * fiv9 * 10^6 * Dvl9 * fa) / (3600 * COlim);$

$fprintf('Q_FCO9= %6.1f \backslash n', Q_FCO9);$

$Q_FT9 = (qt * m * fh * fivt9 * Dvlt9 * fa) / (3600 * Klim);$

$fprintf('Q_FT9= %6.1f \backslash n', Q_FT9);$

%v10 = 50 km/h için

$v10 = 50;$

$fprintf('v10= %6.1f \backslash n', v10);$

$D10 = (D * Mdim) / ((D * v10) + (Mdim * (1 - (v10/v0)^2)));$

$Npkw10 = (D10 * L * aL) / (1 + (aL * (gL - 1)));$

$fprintf('Npkw10= %6.1f \backslash n', Npkw10);$

$fiv10 = 1.47;$

$fivt10 = 0.897;$

$Dvlt10 = Mt / v10;$

$Dvl10 = M / v10;$

disp=' gerekli temiz hava miktarı';

$Q_FCO10 = (qCO * fh * fiv10 * 10^6 * Dvl10 * fa) / (3600 * COlim);$

$fprintf('Q_FCO10= %6.1f \backslash n', Q_FCO10);$

$Q_FT10 = (qt * m * fh * Dvlt10 * fivt10 * fa) / (3600 * Klim);$

$fprintf('Q_FT10= %6.1f \backslash n', Q_FT10);$

%v11 = 55 km/h için

$v11 = 55;$

$fprintf('v11= %6.1f \backslash n', v11);$

$D11 = (D * Mdim) / ((D * v11) + (Mdim * (1 - (v11/v0)^2)));$

$Npkw11 = (D11 * L * aL) / (1 + (aL * (gL - 1)));$

$fprintf('Npkw11= %6.1f \backslash n', Npkw11);$

$fiv11 = 1.553;$

$fivt11 = 0.935;$

$Dvlt11 = Mt / v11;$

$Dvl11 = M / v11;$

disp=' gerekli temiz hava miktarı';

$Q_FCO11 = (qCO * fh * fiv11 * 10^6 * Dvl11 * fa) / (3600 * COlim);$

$fprintf('Q_FCO11= %6.1f \backslash n', Q_FCO11);$

```

Q_FT11=(qt*m*fh*Dvlt11*fivt11*fa)/(3600*Klim);
fprintf('Q_FT11= %6.1f \n',Q_FT11);

%'v12 = 60 km/h için
v12=60;
fprintf('v12= %6.1f \n',v12);
D12=(D*Mdim)/((D*v12)+(Mdim*(1-(v12/v0)^2)));
Npkw12=(D12*L*aL)/(1+(aL*(gL-1)));
fprintf('Npkw12= %6.1f \n',Npkw12);
fiv12=1.64;
fivt12=0.954;
Dvlt12=Mt/v12;
Dvl12=M/v12;
disp=' gerekli temiz hava miktarı';
Q_FCO12 = (qCO*fh*fiv12*10^6*Dvl12*fa)/(3600*COlim);
fprintf('Q_FCO12= %6.1f\n',Q_FCO12);
Q_FT12=(qt*m*fh*Dvlt12*fivt12*fa)/(3600*Klim);
fprintf('Q_FT12= %6.1f \n',Q_FT12);

%'v13 = 65 km/h için
v13=65;
fprintf('v13= %6.1f \n',v13);
D13=(D*Mdim)/((D*v13)+(Mdim*(1-(v13/v0)^2)));
Npkw13=(D13*L*aL)/(1+(aL*(gL-1)));
fprintf('Npkw13= %6.1f \n',Npkw13);
fiv13=1.73;
fivt13=0.958;
Dvlt13=Mt/v13;
Dvl13=M/v13;
disp=' gerekli temiz hava miktarı';
Q_FCO13 = (qCO*fh*fiv13*10^6*Dvl13*fa)/(3600*COlim);
fprintf('Q_FCO13= %6.1f\n',Q_FCO13);
Q_FT13=(qt*m*fh*Dvlt13*fivt13*fa)/(3600*Klim);
fprintf('Q_FT13= %6.1f \n',Q_FT13);

```

%v14 = 70 km/h için

v14=70;

fprintf('v14= %6.1f \n',v14);

$D14 = (D * Mdim) / ((D * v14) + (Mdim * (1 - (v14/v0)^2)))$;

$Npkw14 = (D14 * L * aL) / (1 + (aL * (gL - 1)))$;

fprintf('Npkw14= %6.1f \n',Npkw14);

fiv14=1.815;

fivt14=0.949;

$Dvlt14 = Mt / v14$;

$Dvl14 = M / v14$;

disp=' gerekli temiz hava miktarı';

$Q_FCO14 = (qCO * fh * fiv14 * 10^6 * Dvl14 * fa) / (3600 * COlim)$;

fprintf('Q_FCO14= %6.1f\n',Q_FCO14);

$Q_FT14 = (qt * m * fh * Dvlt14 * fivt14 * fa) / (3600 * Klim)$;

fprintf('Q_FT14= %6.1f \n',Q_FT14);

%v15 = 75 km/h için

v15=75;

fprintf('v15= %6.1f \n',v15);

$D15 = (D * Mdim) / ((D * v15) + (Mdim * (1 - (v15/v0)^2)))$;

$Npkw15 = (D15 * L * aL) / (1 + (aL * (gL - 1)))$;

fprintf('Npkw15= %6.1f \n',Npkw15);

fiv15=1.902;

fivt15=0.918;

$Dvlt15 = Mt / v15$;

$Dvl15 = M / v15$;

disp=' gerekli temiz hava miktarı';

$Q_FCO15 = (qCO * fh * fiv15 * 10^6 * Dvl15 * fa) / (3600 * COlim)$;

fprintf('Q_FCO15= %6.1f\n',Q_FCO15);

$Q_FT15 = (qt * m * fh * Dvlt15 * fivt15 * fa) / (3600 * Klim)$;

fprintf('Q_FT15= %6.1f \n',Q_FT15);

%v16 = 80 km/h için

```

v16=80;
fprintf('v16= %6.1f \n',v16);
D16=(D*Mdim)/((D*v16)+(Mdim*(1-(v16/v0)^2)));
Npkw16=(D16*L*aL)/(1+(aL*(gL-1)));
fprintf('Npkw16= %6.1f \n',Npkw16);
fiv16=1.985;
fivt16=0.865;
Dvlt16=Mt/v16;
Dvl16=M/v16;
disp=' gerekli temiz hava miktarı';
Q_FCO16 = (qCO*fh*fiv16*10^6*Dvl16*fa)/(3600*COlim);
fprintf('Q_FCO16= %6.1f\n',Q_FCO16);
Q_FT16=(qt*m*fh*Dvlt16*fivt16*fa)/(3600*Klim);
fprintf('Q_FT16= %6.1f \n',Q_FT16);

```

%v17 = 85 km/h için

```

v17=85;
fprintf('v17= %6.1f \n',v17);
D17=(D*Mdim)/((D*v17)+(Mdim*(1-(v17/v0)^2)));
Npkw17=(D17*L*aL)/(1+(aL*(gL-1)));
fprintf('Npkw17= %6.1f \n',Npkw17);
fiv17=2.08;
fivt17=0.795;
Dvlt17=Mt/v17;
Dvl17=M/v17;
disp=' gerekli temiz hava miktarı';
Q_FCO17 = (qCO*fh*fiv17*10^6*Dvl17*fa)/(3600*COlim);
fprintf('Q_FCO17= %6.1f\n',Q_FCO17);
Q_FT17=(qt*m*fh*Dvlt17*fivt17*fa)/(3600*Klim);
fprintf('Q_FT17= %6.1f \n',Q_FT17);

```

%v18 = 90 km/h için

```

v18=90;
fprintf('v18= %6.1f \n',v18);

```

```

D18=(D*Mdim)/((D*v18)+(Mdim*(1-(v18/v0)^2)));
Npkw18=(D18*L*aL)/(1+(aL*(gL-1)));
fprintf('Npkw18= %6.1f \n',Npkw18);
fiv18=2.16;
fivt18=0.7;
Mt3=101.3;
fprintf('Mt3= %6.1f \n',Mt3);
Dvlt18=Mt3/v18;
M3=196.7;
Dvl18=M3/v18;
disp=' gerekli temiz hava miktarı';
Q_FCO18 = (qCO*fh*fiv18*10^6*Dvl18*fa)/(3600*COlim);
fprintf('Q_FCO18= %6.1f\n',Q_FCO18);
Q_FT18=(qt*m*fh*Dvlt18*fivt18*fa)/(3600*Klim);
fprintf('Q_FT18= %6.1f \n',Q_FT18);

```

%v19 = 95 km/h için

```

v19=95;
fprintf('v19= %6.1f \n',v19);
D19=(D*Mdim)/((D*v19)+(Mdim*(1-(v19/v0)^2)));
Npkw19=(D19*L*aL)/(1+(aL*(gL-1)));
fprintf('Npkw19= %6.1f \n',Npkw19);
fiv19=2.201;
fivt19=0.601;
Mt3=25.3;
fprintf('Mt3= %6.1f \n',Mt3);
Dvlt19=Mt1/v19;
M3=49.2;
fprintf('M3= %6.1f \n',M3);
Dvl19=M3/v19;
disp=' gerekli temiz hava miktarı';
Q_FCO19 = (qCO*fh*fiv19*10^6*Dvl19*fa)/(3600*COlim);
fprintf('Q_FCO19= %6.1f\n',Q_FCO19);
Q_FT19=(qt*m*fh*Dvlt19*fivt19*fa)/(3600*Klim);

```

```

fprintf('Q_FT19= %6.1f \n',Q_FT19);

%'v20 = 100 km/h için
v20=100;
fprintf('v20= %6.1f \n',v20);
D1=0;
D20=(D1*Mdim)/((D1*v20)+(Mdim*(1-(v20/v0)^2)));
Npkw20=(D20*L*aL)/(1+(aL*(gL-1)));
fprintf('Npkw20= %6.1f \n',Npkw20);
fiv20=1.548;
fivt20=0.935;
Mt4=0;
fprintf('Mt4= %6.1f \n',Mt4);
Dvlt20=Mt2/v20;
M4=0;
fprintf('M4= %6.1f \n',M4);
Dvl20=M4/v20;
disp=' gerekli temiz hava miktarı';
Q_FCO20 = (qCO*fh*fiv20*10^6*Dvl20*fa)/(3600*COlim);
fprintf('Q_FCO20= %6.1f\n',Q_FCO20);
Q_FT20=(qt*m*fh*Dvlt20*fivt20*fa)/(3600*Klim);
fprintf('Q_FT20= %6.1f \n',Q_FT20);

```

EK 5 - HAVA TALEBİNİN HESAPLANMASI

Program : matlab7.4.0

Tek şerit için geçerli veriler

Bolu tüneli güneye doğru tek yön trafik

2010 yılı için:

Tünel verileri:

Tünel uzunluğu	3.05 m
Eğim	- 2.010 %
Yükseklik	820.0 m
Müsaade edilebilir max CO yoğunluğu	150.0 ppm
Hava bulanıklığı	0.007 1/m

Trafik verileri:

Optimal sürüş hızı	80.0 km/h
En üst hız(otomobil)	100.0 km/h
Mümkün olan üst hız(kamyon)	100.0 km/h
Saatteki max trafik hacmi	1800.0 PWE/h
Saatteki tahmini trafik hacmi	866.0 PWE/h
Kamyonların oranı	34.0 %
Kamyonların eşitlik değeri	2.50 PWE/LKW

Araç verileri:

Otomobil emisyon değeri	1.00 m ³ /km.Fz
Ortalama kamyon emisyonu	20.00 m ² /h.to
Ortalama kamyon ağırlığı	21.00 to

V (km/h)	D (Fz/km)	M – F (Fz/h)	M – P (Fz/h)	M – L (Fz/h)	Q – FCO (m ³ /km.s)	Q – FT (m ³ /km.s)
0.0	99.3	0.0	0.0	0.0	85.5	27.5
5.0	53.4	383.4	253.0	130.3	64.8	55.3
10.0	36.7	573.5	378.5	195.0	53.9	66.8
15.0	28.1	573.5	378.5	195.0	39.8	61.2
20.0	22.8	573.5	378.5	195.0	32.8	57.9
25.0	19.3	573.5	378.5	195.0	28.6	54.5
30.0	16.7	573.5	378.5	195.0	25.8	52.7
35.0	14.8	573.5	378.5	195.0	23.8	51.4
40.0	13.3	573.5	378.5	195.0	22.4	49.3
45.0	12.1	573.5	378.5	195.0	21.2	47.2
50.0	11.1	573.5	378.5	195.0	20.3	44.8
55.0	10.3	573.5	378.5	195.0	19.5	42.4
60.0	9.6	573.5	378.5	195.0	18.9	39.7
65.0	9.0	573.5	378.5	195.0	18.4	36.8
70.0	8.4	573.5	378.5	195.0	17.9	33.8
75.0	8.0	573.5	378.5	195.0	17.5	30.5
80.0	7.6	573.5	378.5	195.0	17.2	27.0
85.0	7.2	573.5	378.5	195.0	16.9	23.3
90.0	6.9	298.0	196.7	101.3	8.6	10.1
95.0	6.6	74.5	49.2	25.3	2.1	2.0
100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

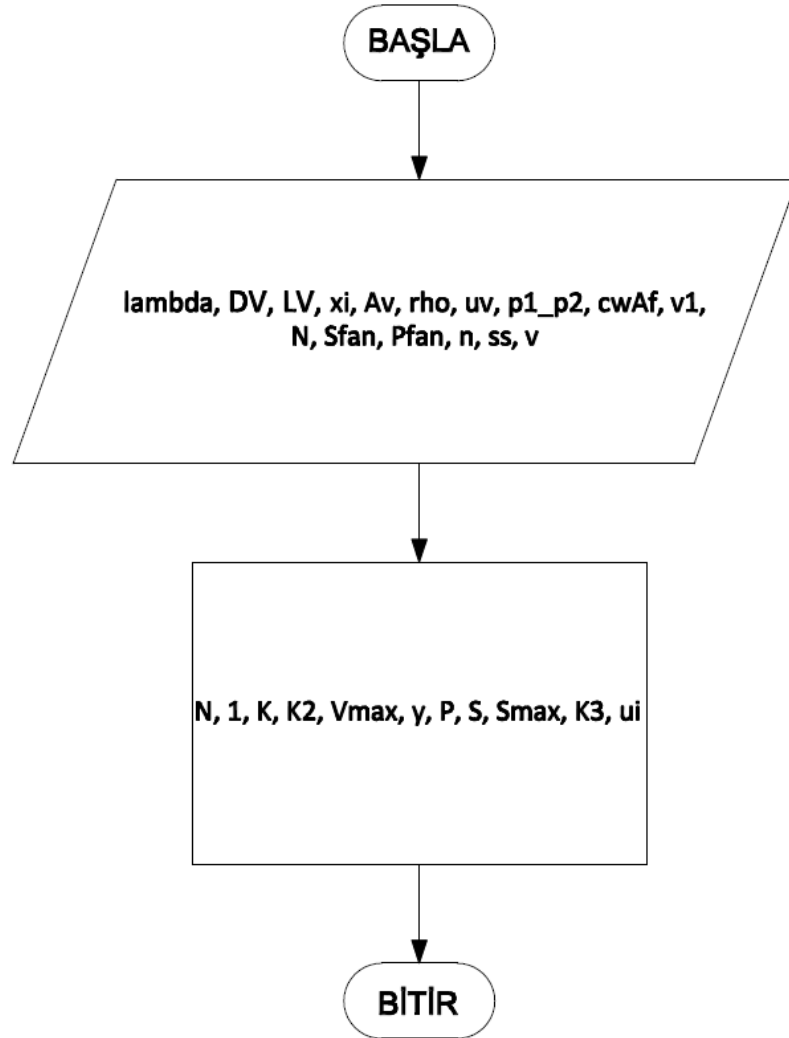
V	: Hız
D	: Araçların miktarı (km başına)
M – F	: Saatteki toplam trafik hacmi
M – P	: Otomobillerin saatteki trafik hacmi
M – L	: Kamyonların saatteki trafik hacmi
Q – FCO	: CO seyreltmek için gerekli taze hava miktarı
Q – FT	: Görüşü iyileştirmek için gerekli taze hava miktarı

EK 6- JET FANLARIN SAYISININ HESABI

Semboller	Birim	Matlab Program Karşılıkları
λ_v (sürtünme direnci katsayısı)		lambda
D_v (hidrolik çap)	(m)	D_v
L_v (tünel uzunluğu)	(m)	L_v
ζ_ϵ (tünel portalında hava giriş katsayısı)		xi
A_v (tünel enine kesit alanı)	m^2	A_v
p (hava özgül ağırlığı)	Kg/m^3	rho
U_v (tüneldeki hava hızı)	m/s	uv
$P_{P1} - P_{P2}$ (portallar arasındaki basınç farkı)	N	p1_p2
$C_w A_F$ (araç direnci)	m^2	cwAf
V_1 (trafik hızı)	Km/h	v1
N (tüneldeki araç sayısı)	Fz/tunel	N
$K^{(3)}$ (vantilatör konumuna bağlı katsayı)	-	K
K_1 (denklem)	-	K_1
K_2 (denklem)	-	K_2
V_{max} (maksimum temiz hava miktarı)	m^3/s	V_{max}
S_{fan} (jet fan itme kuvveti)	N	S_{fan}
P_{fan} (jet fan kuvveti)	KW	P_{fan}
$(1 - u_v/u_i)$	-	y
n (jet fan sayısı)	-	n
P (gerekli güç)	KW	P
S (gerekli itme kuvveti)	N	S
S_{max} (max itme kuvveti)	N	S_{max}

K3 (denklem)	-	K3
U1	m/s	ui
Şerit sayısı		ss
V(tüneldeki araç hızı)		v

AKIŞ DİYAGRAMI



EK 7- BOLU TÜNELİ FAN HESABI

Program: matlab 7.4.0

Bolu Tüneli Yukarı Doğru Tüp $C_{wAf} = 1.00$

disp='Bolu aşağı doğru tüp $c_{wAf}=1.00$;

disp='fanların sayısı';

disp='şerit sayısı.. 3.00';

ss=3;

fprintf('ss= %6.0f m\n',ss);

Lv=2919.89;

fprintf('Lv= %6.2f m\n',Lv);

Av=98.65;

fprintf('Av= %6.2f m^2\n',Av);

Dv=10.15;

fprintf('Dv= %6.2f m\n',Dv);

rho=1.20;

fprintf('rho= %6.2f kg/m^3\n',rho);

xi=0.20;

fprintf('xi= %6.2f \n',xi);

lambda=0.015;

fprintf('lambda= %6.3f m\n',lambda);

p1_p2=21.60;

fprintf('p1_p2= %6.2f N/m^2\n',p1_p2);

ui=34.20;

fprintf('ui= %6.2f m/s\n',ui);

Pfan=45.00;

fprintf('Pfan= %6.2f kW\n',Pfan);

Sfan=1720.00;

fprintf('Sfan= %6.2f N\n',Sfan);

K=1.20;

fprintf('K= %6.2f \n',K);

$c_{wAf}=1.00$;

fprintf('cwAf= %6.2f \n',cwAf);

$K1=(Av*rho)*((1+xi)+(lambda*Lv/Dv))/2$;

```

fprintf('K1= %6.2f \n',K1);
K2=(p1_p2)*Av;
fprintf('K2= %6.2f \n',K2);

%v= 0 km/h için;
v0=0;
fprintf('v0= %6.2f km/h\n',v0);
v1_0=(v0*1000)/3600;
fprintf('v1_0= %6.2f m/s\n',v1_0);
Q_FCO=94.9;
Npkw=99.3;
fprintf('Npkw= %6.1f Fz/tunel\n',Npkw);
N0=Npkw*ss*(Lv/1000);
fprintf('N0= %6.1f Fz/tunel\n',N0);
Vmax0=Q_FCO*ss*(Lv/1000);
fprintf('Vmax0= %6.2f m^3/s\n',Vmax0);
uv0=Vmax0/Av;
fprintf('uv0= %6.2f m/s\n',uv0);
K3_0=(N0*cwAf*rho)/2;
fprintf('K3_0= %6.2f \n',K3_0);
Smax0=(K1*uv0^2)+(K2)-((K3_0)*(v1_0-uv0)^2*(sign(v1_0-uv0)));
fprintf('Smax0= %6.2f N\n',Smax0);
S0=(K*Smax0)/(1-(uv0/ui));
fprintf('S0= %6.2f N\n',S0);
n0=S0/Sfan;
fprintf('n0= %6.0f \n',n0);
P0=Pfan*n0;
fprintf('P0= %6.0f \n',P0);
y0=1-(uv0/ui);
fprintf('y0= %6.2f \n',y0);

%' v=5 km/h için;
v1=5;
fprintf('v1= %6.2f km/h\n',v1);

```

```

v1_1=(v1*1000)/3600;
fprintf('v1_1= %6.2f m/s\n',v1_1);
Q_FCO1=105.3;
Npkw1=76.7;
fprintf('Npkw1= %6.1f Fz/tunel\n',Npkw1);
N1=Npkw1*ss*(Lv/1000);
fprintf('N1= %6.1f Fz/tunel\n',N1);
Vmax1=Q_FCO1*ss*(Lv/1000);
fprintf('Vmax1= %6.2f m^3/s\n',Vmax1);
uv1=Vmax1/Av;
fprintf('uv1= %6.2f m/s\n',uv1);
K3_1=(N1*cwAf*rho)/2;
fprintf('K3_1= %6.2f \n',K3_1);
Smax1=(K1*uv1^2)+(K2)-((K3_1)*(v1_1-uv1)^2*(sign(v1_1-uv1)));
fprintf('Smax1= %6.2f N\n',Smax1);
S1=(K*Smax1)/(1-(uv1/ui));
fprintf('S1= %6.2f N\n',S1);
n1=S1/Sfan;
fprintf('n1= %6.0f \n',n1);
P1=Pfan*n1;
fprintf('P1= %6.0f \n',P1);
y1=1-(uv1/ui);
fprintf('y1= %6.2f \n',y1);

%' v=10 km/h için;
v2=10;
fprintf('v2= %6.2f km/h\n',v2);
v1_2=(v2*1000)/3600;
fprintf('v1_2= %6.2f m/s\n',v1_2);
Q_FT2=131.8;
Npkw2=57.4;
fprintf('Npkw2= %6.1f Fz/tunel\n',Npkw2);
N2=Npkw2*ss*(Lv/1000);
fprintf('N2= %6.1f Fz/tunel\n',N2);

```

```

Vmax2=Q_FT2*ss*(Lv/1000);
fprintf('Vmax2= %6.2f m^3/s\n',Vmax2);
uv2=Vmax2/Av;
fprintf('uv2= %6.2f m/s\n',uv2);
K3_2=(N2*cwAf*rho)/2;
fprintf('K3_2= %6.2f \n',K3_2);
Smax2=(K1*uv2^2)+(K2)-((K3_2)*(v1_2-uv2)^2*(sign(v1_2-uv2)));
fprintf('Smax2= %6.2f N\n',Smax2);
S2=(K*Smax2)/(1-(uv2/ui));
fprintf('S2= %6.2f N\n',S2);
n2=S2/Sfan;
fprintf('n2= %6.0f \n',n2);
P2=Pfan*n2;
fprintf('P2= %6.0f \n',P2);
y2=1-(uv2/ui);
fprintf('y2= %6.2f \n',y2);

```

```

%'v=15 km/h için;
v3=15;
fprintf('v3= %6.2f km/h\n',v3);
v1_3=(v3*1000)/3600;
fprintf('v1_3= %6.2f m/s\n',v1_3);
Q_FT3=117.5;
Npkw3=38.2;
fprintf('Npkw3= %6.1f Fz/tunel\n',Npkw3);
N3=Npkw3*ss*(Lv/1000);
fprintf('N3= %6.1f Fz/tunel\n',N3);
Vmax3=Q_FT3*ss*(Lv/1000);
fprintf('Vmax3= %6.2f m^3/s\n',Vmax3);
uv3=Vmax3/Av;
fprintf('uv3= %6.2f m/s\n',uv3);
K3_3=(N3*cwAf*rho)/2;
fprintf('K3_3= %6.2f \n',K3_3);
Smax3=(K1*uv3^2)+(K2)-((K3_3)*(v1_3-uv3)^2*(sign(v1_3-uv3)));

```

```

fprintf('Smax3= %6.2f N\n',Smax3);
S3=(K*Smax3)/(1-(uv3/ui));
fprintf('S3= %6.2f N\n',S3);
n3=S3/Sfan;
fprintf('n3= %6.0f \n',n3);
P3=Pfan*n3;
fprintf('P3= %6.0f \n',P3);
y3=1-(uv3/ui);
fprintf('y3= %6.2f \n',y3);

%'v=20 km/h için;
v4=20;
fprintf('v4= %6.2f km/h\n',v4);
v1_4=(v4*1000)/3600;
fprintf('v1_4= %6.2f m/s\n',v1_4);
Q_FT4=107.9;
Npkw4=28.7;
fprintf('Npkw4= %6.1f Fz/tunel\n',Npkw4);
N4=Npkw4*ss*(Lv/1000);
fprintf('N4= %6.1f Fz/tunel\n',N4);
Vmax4=Q_FT4*ss*(Lv/1000);
fprintf('Vmax4= %6.2f m^3/s\n',Vmax4);
uv4=Vmax4/Av;
fprintf('uv4= %6.2f m/s\n',uv4);
K3_4=(N4*cwAf*rho)/2;
fprintf('K3_4= %6.2f \n',K3_4);
Smax4=(K1*uv4^2)+(K2)-((K3_4)*(v1_4-uv4)^2*(sign(v1_4-uv4)));
fprintf('Smax4= %6.2f N\n',Smax4);
S4=(K*Smax4)/(1-(uv4/ui));
fprintf('S4= %6.2f N\n',S4);
n4=S4/Sfan;
fprintf('n4= %6.0f \n',n4);
P4=Pfan*n4;
fprintf('P4= %6.0f \n',P4);

```

```

y4=1-(uv4/ui);
fprintf('y4= %6.2f \n',y4);

%'v=25 km/h için;
v5=25;
fprintf('v5= %6.2f km/h\n',v5);
v1_5=(v5*1000)/3600;
fprintf('v1_5= %6.2f m/s\n',v1_5);
Q_FT5=101.8;
Npkw5=22.9;
fprintf('Npkw5= %6.1f Fz/tunel\n',Npkw5);
N5=Npkw5*ss*(Lv/1000);
fprintf('N5= %6.1f Fz/tunel\n',N5);
Vmax5=Q_FT5*ss*(Lv/1000);
fprintf('Vmax5= %6.2f m^3/s\n',Vmax5);
uv5=Vmax5/Av;
fprintf('uv5= %6.2f m/s\n',uv5);
K3_5=(N5*cwAf*rho)/2;
fprintf('K3_5= %6.2f \n',K3_5);
Smax5=(K1*uv5^2)+(K2)-((K3_5)*(v1_5-uv5)^2*(sign(v1_5-uv5)));
fprintf('Smax5= %6.2f N\n',Smax5);
S5=(K*Smax5)/(1-(uv5/ui));
fprintf('S5= %6.2f N\n',S5);
n5=S5/Sfan;
fprintf('n5= %6.0f \n',n5);
P5=Pfan*n5;
fprintf('P5= %6.0f \n',P5);
y5=1-(uv5/ui);
fprintf('y5= %6.2f \n',y5);

%'v=30 km/h için;
v6=30;
fprintf('v6= %6.2f km/h\n',v6);
v1_6=(v6*1000)/3600;

```

```

fprintf('v1_6= %6.2f m/s\n',v1_6);
Q_FT6=98.7;
Npkw6=19.1;
fprintf('Npkw6= %6.1f Fz/tunel\n',Npkw6);
N6=Npkw6*ss*(Lv/1000);
fprintf('N6= %6.1f Fz/tunel\n',N6);
Vmax6=Q_FT6*ss*(Lv/1000);
fprintf('Vmax6= %6.2f m^3/s\n',Vmax6);
uv6=Vmax6/Av;
fprintf('uv6= %6.2f m/s\n',uv6);
K3_6=(N6*cwAf*rho)/2;
fprintf('K3_6= %6.2f \n',K3_6);
Smax6=(K1*uv6^2)+(K2)-((K3_6)*(v1_6-uv6)^2*(sign(v1_6-uv6)));
fprintf('Smax6= %6.2f N\n',Smax6);
S6=(K*Smax6)/(1-(uv6/ui));
fprintf('S6= %6.2f N\n',S6);
n6=S6/Sfan;
fprintf('n6= %6.0f \n',n6);
P6=Pfan*n6;
fprintf('P6= %6.0f \n',P6);
y6=1-(uv6/ui);
fprintf('y6= %6.2f \n',y6);

%'v=35 km/h için;
v7=35;
fprintf('v7= %6.2f km/h\n',v7);
v1_7=(v7*1000)/3600;
fprintf('v1_7= %6.2f m/s\n',v1_7);
Q_FT7=98.4;
Npkw7=16.4;
fprintf('Npkw7= %6.1f Fz/tunel\n',Npkw7);
N7=Npkw7*ss*(Lv/1000);
fprintf('N7= %6.1f Fz/tunel\n',N7);
Vmax7=Q_FT7*ss*(Lv/1000);

```

```

fprintf('Vmax7= %6.2f m^3/s\n',Vmax7);
uv7=Vmax7/Av;
fprintf('uv7= %6.2f m/s\n',uv7);
K3_7=(N7*cwAf*rho)/2;
fprintf('K3_7= %6.2f \n',K3_7);
Smax7=(K1*uv7^2)+(K2)-((K3_7)*(v1_7-uv7)^2*(sign(v1_7-uv7)));
fprintf('Smax7= %6.2f N\n',Smax7);
S7=(K*Smax7)/(1-(uv7/ui));
fprintf('S7= %6.2f N\n',S7);
n7=S7/Sfan;
fprintf('n7= %6.0f \n',n7);
P7=Pfan*n7;
fprintf('P7= %6.0f \n',P7);
y7=1-(uv7/ui);
fprintf('y7= %6.2f \n',y7);

%'v=40 km/h için;
v8=40;
fprintf('v8= %6.2f km/h\n',v8);
v1_8=(v8*1000)/3600;
fprintf('v1_8= %6.2f m/s\n',v1_8);
Q_FT8=100.8;
Npkw8=14.3;
fprintf('Npkw8= %6.1f Fz/tunel\n',Npkw8);
N8=Npkw8*ss*(Lv/1000);
fprintf('N8= %6.1f Fz/tunel\n',N8);
Vmax8=Q_FT8*ss*(Lv/1000);
fprintf('Vmax8= %6.2f m^3/s\n',Vmax8);
uv8=Vmax8/Av;
fprintf('uv8= %6.2f m/s\n',uv8);
K3_8=(N8*cwAf*rho)/2;
fprintf('K3_8= %6.2f \n',K3_8);
Smax8=(K1*uv8^2)+(K2)-((K3_8)*(v1_8-uv8)^2*(sign(v1_8-uv8)));
fprintf('Smax8= %6.2f N\n',Smax8);

```

```

S8=(K*Smax8)/(1-(uv8/ui));
fprintf('S8= %6.2f N\n',S8);
n8=S8/Sfan;
fprintf('n8= %6.0f \n',n8);
P8=Pfan*n8;
fprintf('P8= %6.0f \n',P8);
y8=1-(uv8/ui);
fprintf('y8= %6.2f \n',y8);

%'v=45 km/h için;
v9=45;
fprintf('v9= %6.2f km/h\n',v9);
v1_9=(v9*1000)/3600;
fprintf('v1_9= %6.2f m/s\n',v1_9);
Q_FT9=105.8;
Npkw9=12.7;
fprintf('Npkw9= %6.1f Fz/tunel\n',Npkw9);
N9=Npkw9*ss*(Lv/1000);
fprintf('N9= %6.1f Fz/tunel\n',N9);
Vmax9=Q_FT9*ss*(Lv/1000);
fprintf('Vmax9= %6.2f m^3/s\n',Vmax9);
uv9=Vmax9/Av;
fprintf('uv9= %6.2f m/s\n',uv9);
K3_9=(N9*cwAf*rho)/2;
fprintf('K3_9= %6.2f \n',K3_9);
Smax9=(K1*uv9^2)+(K2)-((K3_9)*(v1_9-uv9)^2*(sign(v1_9-uv9)));
fprintf('Smax9= %6.2f N\n',Smax9);
S9=(K*Smax9)/(1-(uv9/ui));
fprintf('S9= %6.2f N\n',S9);
n9=S9/Sfan;
fprintf('n9= %6.0f \n',n9);
P9=Pfan*n9;
fprintf('P9= %6.0f \n',P9);
y9=1-(uv9/ui);

```

```

fprintf('y9= %6.2f \n',y9);

%'v=50 km/h için;
v10=50;
fprintf('v10= %6.2f km/h\n',v10);
v1_10=(v10*1000)/3600;
fprintf('v1_10= %6.2f m/s\n',v1_10);
Q_FT10=107.9;
Npkw10=11.5;
fprintf('Npkw10= %6.1f Fz/tunel\n',Npkw10);
N10=Npkw10*ss*(Lv/1000);
fprintf('N10= %6.1f Fz/tunel\n',N10);
Vmax10=Q_FT10*ss*(Lv/1000);
fprintf('Vmax10= %6.2f m^3/s\n',Vmax10);
uv10=Vmax10/Av;
fprintf('uv10= %6.2f m/s\n',uv10);
K3_10=(N10*cwAf*rho)/2;
fprintf('K3_10= %6.2f \n',K3_10);
Smax10=(K1*uv10^2)+(K2)-((K3_10)*(v1_10-uv10)^2*(sign(v1_10-uv10)));
fprintf('Smax10= %6.2f N\n',Smax10);
S10=(K*Smax10)/(1-(uv10/ui));
fprintf('S10= %6.2f N\n',S10);
n10=S10/Sfan;
fprintf('n10= %6.0f \n',n10);
P10=Pfan*n10;
fprintf('P10= %6.0f \n',P10);
y10=1-(uv10/ui);
fprintf('y10= %6.2f \n',y10);

%'v=55 km/h için;
v11=55;
fprintf('v11= %6.2f km/h\n',v11);
v1_11=(v11*1000)/3600;
fprintf('v1_11= %6.2f m/s\n',v1_11);

```

```

Q_FT11=0;
Npkw11=10.4;
fprintf('Npkw11= %6.1f Fz/tunel\n',Npkw11);
N11=Npkw11*ss*(Lv/1000);
fprintf('N11= %6.1f Fz/tunel\n',N11);
Vmax11=Q_FT11*ss*(Lv/1000);
fprintf('Vmax11= %6.2f m^3/s\n',Vmax11);
uv11=Vmax11/Av;
fprintf('uv11= %6.2f m/s\n',uv11);
K3_11=(N11*cwAf*rho)/2;
fprintf('K3_11= %6.2f \n',K3_11);
Smax11=(K1*uv11^2)+(K2)-((K3_11)*(v1_11-uv11)^2*(sign(v1_11-uv11)));
fprintf('Smax11= %6.2f N\n',Smax11);
S11=(K*Smax11)/(1-(uv11/ui));
fprintf('S11= %6.2f N\n',S11);
n11=S11/Sfan;
fprintf('n11= %6.0f \n',n11);
P11=Pfan*n11;
fprintf('P11= %6.0f \n',P11);
y11=1-(uv11/ui);
fprintf('y11= %6.2f \n',y11);

%'v=60 km/h için;
v12=60;
fprintf('v12= %6.2f km/h\n',v12);
v1_12=(v12*1000)/3600;
fprintf('v1_12= %6.2f m/s\n',v1_12);
Q_FT12=0;
Npkw12=9.6;
fprintf('Npkw12= %6.1f Fz/tunel\n',Npkw12);
N12=Npkw12*ss*(Lv/1000);
fprintf('N12= %6.1f Fz/tunel\n',N12);
Vmax12=Q_FT12*ss*(Lv/1000);
fprintf('Vmax12= %6.2f m^3/s\n',Vmax12);

```

```

uv12=Vmax12/Av;
fprintf('uv12= %6.2f m/s\n',uv12);
K3_12=(N12*cwAf*rho)/2;
fprintf('K3_12= %6.2f \n',K3_12);
Smax12=(K1*uv12^2)+(K2)-((K3_12)*(v1_12-uv12)^2*(sign(v1_12-uv12)));
fprintf('Smax12= %6.2f N\n',Smax12);
S12=(K*Smax12)/(1-(uv12/ui));
fprintf('S12= %6.2f N\n',S12);
n12=S12/Sfan;
fprintf('n12= %6.0f \n',n12);
P12=Pfan*n12;
fprintf('P12= %6.0f \n',P12);
y12=1-(uv12/ui);
fprintf('y12= %6.2f \n',y12);

%'v=65 km/h için;
v13=65;
fprintf('v13= %6.2f km/h\n',v13);
v1_13=(v13*1000)/3600;
fprintf('v1_13= %6.2f m/s\n',v1_13);
Q_FT13=0;
Npkw13=8.8;
fprintf('Npkw13= %6.1f Fz/tunel\n',Npkw13);
N13=Npkw13*ss*(Lv/1000);
fprintf('N13= %6.1f Fz/tunel\n',N13);
Vmax13=Q_FT13*ss*(Lv/1000);
fprintf('Vmax13= %6.2f m^3/s\n',Vmax13);
uv13=Vmax13/Av;
fprintf('uv13= %6.2f m/s\n',uv13);
K3_13=(N13*cwAf*rho)/2;
fprintf('K3_13= %6.2f \n',K3_13);
Smax13=(K1*uv13^2)+(K2)-((K3_13)*(v1_13-uv13)^2*(sign(v1_13-uv13)));
fprintf('Smax13= %6.2f N\n',Smax13);
S13=(K*Smax13)/(1-(uv13/ui));

```

```

fprintf('S13= %6.2f N\n',S13);
n13=S13/Sfan;
fprintf('n13= %6.0f \n',n13);
P13=Pfan*n13;
fprintf('P13= %6.0f \n',P13);
y13=1-(uv13/ui);
fprintf('y13= %6.2f \n',y13);

%'v=70 km/h için;
v14=70;
fprintf('v14= %6.2f km/h\n',v14);
v1_14=(v14*1000)/3600;
fprintf('v1_14= %6.2f m/s\n',v1_14);
Q_FT14=0;
Npkw14=8.2;
fprintf('Npkw14= %6.1f Fz/tunel\n',Npkw14);
N14=Npkw14*ss*(Lv/1000);
fprintf('N14= %6.1f Fz/tunel\n',N14);
Vmax14=Q_FT14*ss*(Lv/1000);
fprintf('Vmax14= %6.2f m^3/s\n',Vmax14);
uv14=Vmax14/Av;
fprintf('uv14= %6.2f m/s\n',uv14);
K3_14=(N14*cwAf*rho)/2;
fprintf('K3_14= %6.2f \n',K3_14);
Smax14=(K1*uv14^2)+(K2)-((K3_14)*(v1_14-uv14)^2*(sign(v1_14-uv14)));
fprintf('Smax14= %6.2f N\n',Smax14);
S14=(K*Smax14)/(1-(uv14/ui));
fprintf('S14= %6.2f N\n',S14);
n14=S14/Sfan;
fprintf('n14= %6.0f \n',n14);
P14=Pfan*n14;
fprintf('P14= %6.0f \n',P14);
y14=1-(uv14/ui);
fprintf('y14= %6.2f \n',y14);

```

```

%'v=75 km/h için;
v15=75;
fprintf('v15= %6.2f km/h\n',v15);
v1_15=(v15*1000)/3600;
fprintf('v1_15= %6.2f m/s\n',v1_15);
Q_FT15=0;
Npkw15=7.6;
fprintf('Npkw15= %6.1f Fz/tunel\n',Npkw15);
N15=Npkw15*ss*(Lv/1000);
fprintf('N15= %6.1f Fz/tunel\n',N15);
Vmax15=Q_FT15*ss*(Lv/1000);
fprintf('Vmax15= %6.2f m^3/s\n',Vmax15);
uv15=Vmax15/Av;
fprintf('uv15= %6.2f m/s\n',uv15);
K3_15=(N15*cwAf*rho)/2;
fprintf('K3_15= %6.2f \n',K3_15);
Smax15=(K1*uv15^2)+(K2)-((K3_15)*(v1_15-uv15)^2*(sign(v1_15-uv15)));
fprintf('Smax15= %6.2f N\n',Smax15);
S15=(K*Smax15)/(1-(uv15/ui));
fprintf('S15= %6.2f N\n',S15);
n15=S15/Sfan;
fprintf('n15= %6.0f \n',n15);
P15=Pfan*n15;
fprintf('P15= %6.0f \n',P15);
y15=1-(uv15/ui);
fprintf('y15= %6.2f \n',y15);

```

```

%'v=80 km/h için;
v16=80;
fprintf('v16= %6.2f km/h\n',v16);
v1_16=(v16*1000)/3600;
fprintf('v1_16= %6.2f m/s\n',v1_16);
Q_FT16=0;
Npkw16=7.2;

```

```

fprintf('Npkw16= %6.1f Fz/tunel\n',Npkw16);
N16=Npkw16*ss*(Lv/1000);
fprintf('N16= %6.1f Fz/tunel\n',N16);
Vmax16=Q_FT16*ss*(Lv/1000);
fprintf('Vmax16= %6.2f m^3/s\n',Vmax16);
uv16=Vmax16/Av;
fprintf('uv16= %6.2f m/s\n',uv16);
K3_16=(N16*cwAf*rho)/2;
fprintf('K3_16= %6.2f \n',K3_16);
Smax16=(K1*uv16^2)+(K2)-((K3_16)*(v1_16-uv16)^2*(sign(v1_16-uv16)));
fprintf('Smax16= %6.2f N\n',Smax16);
S16=(K*Smax16)/(1-(uv16/ui));
fprintf('S16= %6.2f N\n',S16);
n16=S16/Sfan;
fprintf('n16= %6.0f \n',n16);
P16=Pfan*n16;
fprintf('P16= %6.0f \n',P16);
y16=1-(uv16/ui);
fprintf('y16= %6.2f \n',y16);

```

EK 8- JET FAN HESAPLARI

Program: matlab 7.4.0

Bolu yukarı doğru tüp $c_w A_f = 1.00$

Numbers of Fans				
Bolu up				
Lanes				3,00
Lv		[m]		2919,89
Av		[m ²]		98,65
Dv		[m]		10,15
rho		[kg/m ³]		1,20
xi		[-]		0,20
lambda		[-]		0,016
p1-p2		[N/m ²]		21,60
ui		[m/s]		34,20
pfan		[kw]		45,00
sfan		[N]		1720,00
K				1,20
cwAf				1,00
K1 $A_v(1+xi+lambda*L_v/D_v)*rho/2$				343,47
K2 $ p1-p2 *A_v$				2130,84

$$S_{max} = A_v(1+xi+lambda*L_v/D_v)*rho/2*uv + |(p1-p2)|*A_v - N*c_w A_f*rho/2*(v1-uv)*(v1-uv)*sign(v1-uv)$$

$$S_{max} = K1*uv*uv + K2 - K3*(v1-uv)*(v1-uv)*sign(v1-uv)$$

$$S = K*S_{max} / (1 - uv/ui)$$

v	V	D	N	Vmax	uv	K3	Smax	(1- uv/ui)	S	n	P
Km/h	m/s	Fz/km/lane	Fz/tunel	m³/s	m/s		N		N		kW
0,0	0,00	99,3	869,8	831,3	8,43	521,90	62370.69	0,75	99316	58	2610
5,0	1,39	76,7	671,9	922,4	9,35	403,12	56220.44	0,73	92849	54	2430
10,0	2,78	57,4	502,8	1154,5	11,70	301,68	70875.09	0,66	129295	75	3375
15,0	4,17	38,2	334,6	1029,3	10,43	200,77	45550.95	0,69	78657	46	2070
20,0	5,56	28,7	251,4	945,2	9,58	150,84	34540.99	0,72	57580	33	1485
25,0	6,94	22,9	200,6	891,7	9,04	120,36	29332.51	0,74	47845	28	1260
30,0	8,33	19,1	167,3	864,6	8,76	100,39	27223.14	0,74	43924	26	1170
35,0	9,72	16,4	143,7	862,0	8,74	86,20	26968.74	0,74	43468	25	1125
40,0	11,11	14,3	125,3	883,0	8,95	75,16	27932.00	0,74	45400	26	1170
45,0	12,50	12,7	111,2	926,8	9,39	66,75	30297.91	0,73	50127	29	1305
50,0	13,89	11,5	100,7	945,2	9,58	60,44	30975.03	0,72	51636	30	1350
55,0	15,28	10,4	91,1	0,0	0,00	54,66	-10627.46	1,00	-12753	-7	-315
60,0	16,67	9,6	84,1	0,0	0,00	50,46	-11884,63	1,00	-14262	-8	-360
65,0	18,06	8,8	77,1	0,0	0,00	46,25	-12947	1,00	-15537	-9	-405
70,0	19,44	8,2	71,8	0,0	0,00	43,10	-14163,77	1,00	-16997	-10	-450
75,0	20,83	7,6	66,6	0,0	0,00	39,94	-15206,01	1,00	-18247	-11	-495
80,0	22,22	7,2	63,1	0,0	0,00	37,84	-16556,46	1,00	-19868	-12	-540

EK 9- JET FAN HESAPLARI

Program: Matlab 7.4.0

Bolu yukarı doğru tüp $cwAf = 2.00$

Numbers of Fans				
Bolu up				
Lanes				3,00
Lv		[m]		2919,89
Av		[m ²]		98,65
Dv		[m]		10,15
rho		[kg/m ³]		1,20
xi		[-]		0,20
lambda		[-]		0,016
p1-p2		[N/m ²]		21,60
ui		[m/s]		34,20
pfan		[kw]		45,00
sfan		[N]		1720,00
K				1,20
cwAf				2,00
K1				343,47
$Av(1+xi+lambda*Lv/Dv)*rho/2$				
K2				2130,84
$ p1-p2 *Av$				

$$S_{max} = Av(1+xi+lambda*Lv/Dv)*rho/2*uv + |(p1-p2)|*Av - N*cwAf*rho/2*(v1-uv)*(v1-uv)*sign(v1-uv)$$

$$S_{max} = K1*uv*uv + K2 - K3*(v1-uv)*(v1-uv)*sign(v1-uv)$$

$$S = K*S_{max} / (1 - uv/ui)$$

v	v	D	N	Vmax	uv	K3	Smax	(1- uv/ui)	S	n	P
[km/h]	[m/s]	Fz/km/lane	Fz/tunnel	[m ³ /s]	[m/s]		[N]		[N]		[kw]
0,0	0,00	99,3	869,8	831,3	8,43	1043,80	100639,50	0,75	160253	94	4230
5,0	1,39	76,7	671,9	922,4	9,35	806,24	83259,55	0,73	137505	80	3600
10,0	2,78	57,4	502,8	1154,5	11,70	603,37	97240,49	0,66	177392	104	4680
15,0	4,17	38,2	334,6	1029,3	10,43	401,54	55289,36	0,69	95474	56	2520
20,0	5,56	28,7	251,4	945,2	9,58	301,68	38548,34	0,72	64260	38	1710
25,0	6,94	22,9	200,6	891,7	9,04	240,72	31252,05	0,74	50976	30	1350
30,0	8,33	19,1	167,3	864,6	8,76	200,77	28549,64	0,74	46064	27	1215
35,0	9,72	16,4	143,7	862,0	8,74	172,39	28185,08	0,74	45428	27	1215
40,0	11,11	14,3	125,3	883,0	8,95	150,32	28945,29	0,74	47047	28	1260
45,0	12,50	12,7	111,2	926,8	9,39	133,50	31157,00	0,73	51549	30	1350
50,0	13,89	11,5	100,7	945,2	9,58	120,88	31416,43	0,72	52371	31	1395
55,0	15,28	10,4	91,1	0,0	0,00	109,32	-23385,75	1,00	-28063	-17	-765
60,0	16,67	9,6	84,1	0,0	0,00	100,91	-25900,10	1,00	-31080	-19	-855
65,0	18,06	8,8	77,1	0,0	0,00	92,50	-28025,14	1,00	-33630	-20	-900
70,0	19,44	8,2	71,8	0,0	0,00	86,20	-30458,38	1,00	-36550	-22	-990
75,0	20,83	7,6	66,6	0,0	0,00	79,89	-32542,85	1,00	-39051	-23	-1035
80,0	22,22	7,2	63,1	0,0	0,00	75,68	-35243,75	1,00	-42293	-25	-1125

EK 10- JET FAN HESAPLARI

Program: Matlab 7.4.0

Bolu tüneli yukarı tüp $cwAf = 3.00$

Numbers of Fans				
Bolu up				
Lanes				3,00
Lv		[m]		2919,89
Av		[m ²]		98,65
Dv		[m]		10,15
rho		[kg/m ³]		1,20
xi		[-]		0,20
lambda		[-]		0,016
p1-p2		[N/m ²]		21,60
ui		[m/s]		34,20
pfan		[kw]		45,00
sfan		[N]		1720,00
K				1,20
cwAf				2,00
K1 $Av(1+xi+lambda*Lv/Dv)*rho/2$				343,47
K2 $ p1-p2 *Av$				2130,84

$$S_{max} = Av(1+xi+lambda*Lv/Dv)*rho/2*uv + |(p1-p2)|*Av - N*cwAf*rho/2*(v1-uv)*(v1-uv)*sign(v1-uv)$$

$$S_{max} = K1*uv*uv + K2 - K3*(v1-uv)*(v1-uv)*sign(v1-uv)$$

$$S = K*S_{max} / (1 - uv/ui)$$

V	v	D	N	Vmax	uv	K3	Smax	(1- uv/ui)	S	n	P
[km/h]	[m/s]	Fz/km/lane	Fz/tunnel	[m³/s]	[m/s]		[N]		[N]		[kw]
0,0	0,00	99,3	869,8	831,3	8,43	1565,70	137699,21	0,75	219265	128	5760
5,0	1,39	76,7	671,9	922,4	9,35	1209,36	108810,04	0,73	179702	105	4725
10,0	2,78	57,4	502,8	1154,5	11,70	905,05	121273,73	0,66	221235	129	5805
15,0	4,17	38,2	334,6	1029,3	10,43	602,31	63174,21	0,69	109089	64	2880
20,0	5,56	28,7	251,4	945,2	9,58	452,52	40992,64	0,72	68335	40	1800
25,0	6,94	22,9	200,6	891,7	9,04	361,07	31780,27	0,74	51837	31	1395
30,0	8,33	19,1	167,3	864,6	8,76	301,16	27260,40	0,74	43984	26	1170
35,0	9,72	16,4	143,7	862,0	8,74	258,59	28101,50	0,74	45293	27	1215
40,0	11,11	14,3	125,3	883,0	8,95	225,47	28594,46	0,74	46477	28	1260
45,0	12,50	12,7	111,2	926,8	9,39	200,25	30513,29	0,73	50484	30	1350
50,0	13,89	11,5	100,7	945,2	9,58	181,33	30294,77	0,72	50502	30	1350
55,0	15,28	10,4	91,1	0,0	0,00	163,98	-36144,05	1,00	-43373	-26	-1170
60,0	16,67	9,6	84,1	0,0	0,00	151,37	-39915,58	1,00	-47899	-28	-1260
65,0	18,06	8,8	77,1	0,0	0,00	138,75	-43103,12	1,00	-51724	-31	-1395
70,0	19,44	8,2	71,8	0,0	0,00	129,29	-46752,99	1,00	-56104	-33	-1485
75,0	20,83	7,6	66,6	0,0	0,00	119,83	-49879,70	1,00	-59856	-35	-1575
80,0	22,22	7,2	63,1	0,0	0,00	113,53	-53931,05	1,00	-64717	-38	-1710

EK 11- JET FAN HESAPLARI

Program: Matlab 7.4.0

Bolu tüneli yukarı tüp $cwAf = 3.24$

Numbers of Fans				
Bolu up				
Lanes				3,00
Lv		[m]		2919,89
Av		[m ²]		98,65
Dv		[m]		10,15
rho		[kg/m ³]		1,20
xi		[-]		0,20
lambda		[-]		0,016
p1-p2		[N/m ²]		21,60
ui		[m/s]		34,20
pfan		[kw]		45,00
sfan		[N]		1720,00
K				1,20
cwAf				2,00
K1 $Av(1+xi+lambda*Lv/Dv)*rho/2$				343,47
K2 $ p1-p2 *Av$				2130,84

$$S_{max} = Av(1+xi+lambda*Lv/Dv)*rho/2*uv + |(p1-p2)|*Av - N*cwAf*rho/2*(v1-uv)*(v1-uv)*sign(v1-uv)$$

$$S_{max} = K1*uv*uv + K2 - K3*(v1-uv)*(v1-uv)*sign(v1-uv)$$

$$S = K*S_{max} / (1 - uv/ui)$$

v	vi	D	N	Vmax	uv	K3	Smax	(1- uv/ui)	S	n	P
[km/h]	[m/s]	Fz/km/lane	Fz/tunnel	[m³/s]	[m/s]		[N]		[N]		[kw]
0,0	0,00	99,3	869,8	831,3	8,43	1690,96	145384,43	0,75	231502	135	6075
5,0	1,39	76,7	671,9	922,4	9,35	1306,11	114942,15	0,73	189829	111	4995
10,0	2,78	57,4	502,8	1154,5	11,70	977,45	127041,70	0,66	231757	135	6075
15,0	4,17	38,2	334,6	1029,3	10,43	650,50	65066,58	0,69	112357	66	2970
20,0	5,56	28,7	251,4	945,2	9,58	488,73	40016,22	0,72	66707	41	1800
25,0	6,94	22,9	200,6	891,7	9,04	389,96	31907,04	0,74	52044	31	1395
30,0	8,33	19,1	167,3	864,6	8,76	325,25	27264,87	0,74	43991	26	1170
35,0	9,72	16,4	143,7	862,0	8,74	279,27	28081,43	0,74	45261	27	1215
40,0	11,11	14,3	125,3	883,0	8,95	243,51	28510,26	0,74	46340	27	1215
45,0	12,50	12,7	111,2	926,8	9,39	216,27	30358,80	0,73	50228	30	1350
50,0	13,89	11,5	100,7	945,2	9,58	195,83	30025,57	0,72	50053	30	1350
55,0	15,28	10,4	91,1	0,0	0,00	177,10	-39206,04	1,00	-47047	-28	-1260
60,0	16,67	9,6	84,1	0,0	0,00	163,48	-43279,29	1,00	-51935	-31	-1395
65,0	18,06	8,8	77,1	0,0	0,00	149,85	-46721,84	1,00	-56066	-33	-1485
70,0	19,44	8,2	71,8	0,0	0,00	139,64	-50663,69	1,00	-60796	-36	-1620
75,0	20,83	7,6	66,6	0,0	0,00	129,42	-54040,54	1,00	-64849	-38	-1710
80,0	22,22	7,2	63,1	0,0	0,00	122,61	-58416,00	1,00	-70099	-41	-1845

EK 12- JET FAN HESAPLARI

Program: Matlab 7.4.0

Bolu tüneli aşağı doğru tüp $cwAf = 1.00$

Numbers of Fans				
Bolu up				
Lanes				3,00
Lv		[m]		3051,46
Av		[m ²]		98,65
Dv		[m]		10,15
rho		[kg/m ³]		1,20
xi		[-]		0,20
lambda		[-]		0,016
p1-p2		[N/m ²]		21,60
ui		[m/s]		34,20
pfan		[kw]		45,00
sfan		[N]		1720,00
K				1,20
cwAf				1,00
K1 $Av(1+xi+lambda*Lv/Dv)*rho/2$				343,47
K2 $ p1-p2 *Av$				2130,84

$$S_{max} = Av(1+xi+lambda*Lv/Dv)*rho/2*uv + |(p1-p2)|*Av - N*cwAf*rho/2*(v1-uv)*(v1-uv)*sign(v1-uv)$$

$$S_{max} = K1*uv*uv + K2 - K3*(v1-uv)*(v1-uv)*sign(v1-uv)$$

$$S = K*S_{max} / (1 - uv/ui)$$

v	v	D	N	Vmax	uv	K3	Smax	(1- uv/ui)	S	n	P
[km/h]	[m/s]	Fz/km/lane	Fz/tunnel	[m³/s]	[m/s]		[N]		[N]		[kw]
0,0	0,00	99,3	909,0	781,8	7,92	545,42	57738,76	0,77	90215	52	2340
5,0	1,39	76,7	702,1	588,6	5,97	421,28	22991,82	0,83	33241	20	900
10,0	2,78	57,4	525,5	606,9	6,15	315,28	18513,33	0,82	27089	16	720
15,0	4,17	38,2	349,7	554,8	5,62	209,84	13263,21	0,84	19048	12	540
20,0	5,56	28,7	262,7	524,5	5,32	157,64	11676,72	0,84	16592	10	450
25,0	6,94	22,9	209,6	502,6	5,09	125,78	10471,58	0,85	14765	9	405
30,0	8,33	19,1	174,8	482,4	4,89	104,91	8969,55	0,86	12559	7	315
35,0	9,72	16,4	150,1	464,1	4,70	90,08	7343,61	0,86	10218	6	270
40,0	11,11	14,3	130,9	444,9	4,51	78,54	5581,83	0,87	7716	5	225
45,0	12,50	12,7	116,3	424,8	4,31	69,76	3712,42	0,87	5097	3	135
50,0	13,89	11,5	105,3	403,7	4,09	63,17	1728,38	0,88	2356	2	90
55,0	15,28	10,4	95,2	380,8	3,86	57,12	-279,47	0,89	-378	-1	-45
60,0	16,67	9,6	87,9	357,0	3,62	52,73	-2419,46	0,89	-3247	-2	-90
65,0	18,06	8,8	80,6	331,4	3,36	48,34	-4495,11	0,90	-5982	-4	-180
70,0	19,44	8,2	75,1	303,9	3,08	45,04	-6721,61	0,91	-8864	-6	-270
75,0	20,83	7,6	69,6	274,6	2,78	41,74	-8849,48	0,92	-11560	-7	-315
80,0	22,22	7,2	65,9	243,5	2,47	39,55	-11121,49	0,93	-14400	-8	-360

EK 13- JET FAN HESAPLARI

Program: Matlab 7.4.0

Bolu tüneli aşağı doğru tüp $cwAf = 2.00$

Numbers of Fans				
Bolu up				
Lanes				3,00
Lv		[m]		3051,46
Av		[m²]		98,65
Dv		[m]		10,15
rho		[kg/m³]		1,20
xi		[-]		0,20
lambda		[-]		0,016
p1-p2		[N/m²]		21,60
ui		[m/s]		34,20
pfan		[kw]		45,00
sfan		[N]		1720,00
K				1,20
cwAf				1,00
K1 $Av(1+xi+lambda*Lv/Dv)*rho/2$				343,47
K2 $ p1-p2 *Av$				2130,84

$$S_{max} = Av(1+xi+lambda*Lv/Dv)*rho/2*uv + |(p1-p2)|*Av - N*cwAf*rho/2*(v1-uv)*(v1-uv)*sign(v1-uv)$$

$$S_{max} = K1*uv*uv + K2 - K3*(v1-uv)*(v1-uv)*sign(v1-uv)$$

$$S = K*S_{max} / (1 - uv/ui)$$

v	v	D	N	Vmax	uv	K3	Smax	(1- uv/ui)	S	n	P
[km/h]	[m/s]	Fz/km/lane	Fz/tunnel	[m ³ /s]	[m/s]		[N]		[N]		[kw]
0,0	0,00	99,3	909,0	781,8	7,92	1090,84	92072,83	0,77	143862	84	3780
5,0	1,39	76,7	702,1	588,6	5,97	842,57	31820,87	0,83	46255	27	1215
10,0	2,78	57,4	525,5	606,9	6,15	630,55	22103,75	0,82	32343	19	855
15,0	4,17	38,2	349,7	554,8	5,62	419,64	13708,50	0,84	19687	12	540
20,0	5,56	28,7	262,7	524,5	5,32	315,28	11667,76	0,84	16579	10	450
25,0	6,94	22,9	209,6	502,6	5,09	251,56	10041,13	0,85	14158	8	460
30,0	8,33	19,1	174,8	482,4	4,89	209,82	7725,96	0,86	10818	6	270
35,0	9,72	16,4	150,1	464,1	4,70	180,16	5075,90	0,86	7063	5	225
40,0	11,11	14,3	130,9	444,9	4,51	157,09	2159,18	0,87	2985	2	90
45,0	12,50	12,7	116,3	424,8	4,31	139,51	-971,41	0,87	-1334	-1	-45
50,0	13,89	11,5	105,3	403,7	4,09	126,33	-4333,76	0,88	-5907	-4	-180
55,0	15,28	10,4	95,2	380,8	3,86	114,25	-7725,95	0,89	-10451	-7	-315
60,0	16,67	9,6	87,9	357,0	3,62	105,46	-11396,08	0,89	-15294	-9	-405
65,0	18,06	8,8	80,6	331,4	3,36	96,67	-14934,62	0,90	-19874	-12	-540
70,0	19,44	8,2	75,1	303,9	3,08	90,08	-18781,73	0,91	-24769	-15	-675
75,0	20,83	7,6	69,6	274,6	2,78	83,49	-22221,23	0,92	-29071	-17	-765
80,0	22,22	7,2	65,9	243,5	2,47	79,09	-26495,31	0,93	-34307	-20	-900

EK 14- JET FAN HESAPLARI

Program: Matlab 7.4.0

Bolu tüneli aşağı doğru tüp $cwAf = 3.00$

Numbers of Fans				
Bolu up				
Lanes				3,00
Lv		[m]		3051,46
Av		[m ²]		98,65
Dv		[m]		10,15
rho		[kg/m ³]		1,20
xi		[-]		0,20
lambda		[-]		0,016
p1-p2		[N/m ²]		21,60
ui		[m/s]		34,20
pfan		[kw]		45,00
sfan		[N]		1720,00
K				1,20
cwAf				3,00
K1				343,47
$Av(1+xi+lambda*Lv/Dv)*rho/2$				
K2				2130,84
$ p1-p2 *Av$				

$$S_{max} = Av(1+xi+lambda*Lv/Dv)*rho/2*uv + |(p1-p2)|*Av - N*cwAf*rho/2*(v1-uv)*(v1-uv)*sign(v1-uv)$$

$$S_{max} = K1*uv*uv + K2 - K3*(v1-uv)*(v1-uv)*sign(v1-uv)$$

$$S = K*S_{max} / (1 - uv/ui)$$

v	v	D	N	Vmax	uv	K3	Smax	(1- uv/ui)	S	n	P
[km/h]	[m/s]	Fz/km/lane	Fz/tunnel	[m³/s]	[m/s]		[N]		[N]		[kw]
0,0	0,00	99,3	909,0	781,8	7,92	11636,25	126116,37	0,77	196985	115	5175
5,0	1,39	76,7	702,1	588,6	5,97	1263,85	40649,92	0,83	59089	35	1575
10,0	2,78	57,4	525,5	606,9	6,15	945,83	25694,17	0,82	37596	22	990
15,0	4,17	38,2	349,7	554,8	5,62	629,46	14153,80	0,84	20327	12	540
20,0	5,56	28,7	262,7	524,5	5,32	472,92	11658,81	0,84	16566	10	450
25,0	6,94	22,9	209,6	502,6	5,09	377,34	9610,69	0,85	13551	8	360
30,0	8,33	19,1	174,8	482,4	4,89	314,73	6482,38	0,86	9077	5	225
35,0	9,72	16,4	150,1	464,1	4,70	270,24	3191,19	0,86	4450	3	135
40,0	11,11	14,3	130,9	444,9	4,51	235,63	-862,95	0,87	-1195	-1	-45
45,0	12,50	12,7	116,3	424,8	4,31	209,27	-5183,88	0,87	-7134	-4	-180
50,0	13,89	11,5	105,3	403,7	4,09	189,50	-9974,41	0,88	-13626	-8	-360
55,0	15,28	10,4	95,2	380,8	3,86	171,37	-14687,31	0,89	-19916	-12	-540
60,0	16,67	9,6	87,9	357,0	3,62	158,19	-19944,90	0,89	-26823	-16	-720
65,0	18,06	8,8	80,6	331,4	3,36	145,01	-25009,81	0,90	-33341	-19	-855
70,0	19,44	8,2	75,1	303,9	3,08	135,12	-30479,07	0,91	-40268	-23	-1035
75,0	20,83	7,6	69,6	274,6	2,78	125,23	-35750,84	0,92	-46772	-27	-1215
80,0	22,22	7,2	65,9	243,5	2,47	118,64	-41869,13	0,93	-54215	-32	-1440

EK 15- JET FAN HESAPLARI

Program: Matlab 7.4.0

Bolu tüneli aşağı doğru tüp $cwAf = 3.24$

Numbers of Fans				
Bolu up				
Lanes				3,00
Lv		[m]		3051,46
Av		[m ²]		98,65
Dv		[m]		10,15
rho		[kg/m ³]		1,20
xi		[-]		0,20
lambda		[-]		0,016
p1-p2		[N/m ²]		21,60
ui		[m/s]		34,20
pfan		[kw]		45,00
sfan		[N]		1720,00
K				1,20
cwAf				3,00
K1 $Av(1+xi+lambda*Lv/Dv)*rho/2$				343,47
K2 $ p1-p2 *Av$				2130,84

$$S_{max} = Av(1+xi+lambda*Lv/Dv)*rho/2*uv + |(p1-p2)|*Av - N*cwAf*rho/2*(v1-uv)*(v1-uv)*sign(v1-uv)$$

$$S_{max} = K1*uv*uv + K2 - K3*(v1-uv)*(v1-uv)*sign(v1-uv)$$

$$S = K*S_{max} / (1 - uv/ui)$$

v	v	D	N	Vmax	uv	K3	Smax	(1- uv/ui)	S	n	P
[km/h]	[m/s]	Fz/km/lane	Fz/tunel	[m³/s]	[m/s]		[N]		[N]		[kw]
0,0	0,00	99,3	909,0	781,8	7,92	1767,15	134647.09	0,77	210384	122	5490
5,0	1,39	76,7	702,1	588,6	5,97	1364,96	42922.43	0,83	62413	36	1620
10,0	2,78	57,4	525,5	606,9	6,15	1021,50	27071.63	0,82	39678	23	1035
15,0	4,17	38,2	349,7	554,8	5,62	679,81	14585.73	0,84	20988	12	540
20,0	5,56	28,7	262,7	524,5	5,32	510,75	11869.78	0,84	16899	10	450
25,0	6,94	22,9	209,6	502,6	5,09	407,53	9323.51	0,85	13130	8	360
30,0	8,33	19,1	174,8	482,4	4,89	339,91	6183,92	0,86	8659	5	225
35,0	9,72	16,4	150,1	464,1	4,70	291,86	2660.94	0,86	3710	2	90
40,0	11,11	14,3	130,9	444,9	4,51	254,48	-1668.30	0,87	-2311	-1	-45
45,0	12,50	12,7	116,3	424,8	4,31	226,01	-6287.72	0,87	-8654	-5	-225
50,0	13,89	11,5	105,3	403,7	4,09	204,66	-11410.09	0,88	-15587	-9	-405
55,0	15,28	10,4	95,2	380,8	3,86	185,08	-16451.30	0,89	-22308	-13	-585
60,0	16,67	9,6	87,9	357,0	3,62	170,84	-22077.89	0,89	-29692	-17	-765
65,0	18,06	8,8	80,6	331,4	3,36	156,61	-27496.34	0,90	-36656	-21	-965
70,0	19,44	8,2	75,1	303,9	3,08	145,93	-33353.84	0,91	-44066	-26	-1170
75,0	20,83	7,6	69,6	274,6	2,78	135,25	-38997.95	0,92	-51020	-30	-1350
80,0	22,22	7,2	65,9	243,5	2,47	128,13	-45558.85	0,93	-58992	-34	-1530

ÖZGEÇMİŞ

1983 yılında Ankara’da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Ankara’da tamamladı. İlköğrenimini Celayir İlköğretim Okulu ve Yeşilevler İlköğretim Okulu’nda tamamladı. Orta öğrenimini 1997 – 2000 yılları arasında Ankara Yapı Meslek ve İnşaat Teknik Lisesi, Tesisat Teknolojisi (Isıtma ve Doğalgaz) bölümünde tamamladı. 1999 - 2000 yılları arasında Aselsan kurumunda stajını tamamladı. 2001 yılında Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Enerji Öğretmenliği bölümünü kazandı. 2005 yılında lisans öğrenimini tamamladı. Bir yıl sonra Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Anabilim Dalı’nda yüksek lisans eğitime başladı. 2007 yılında İstanbul Emniyet Müdürlüğü’nde polis memuru olarak göreve başladı. Halen bu kurumda görevine devam etmekte ve aynı üniversitede yüksek lisans eğitime devam etmektedir.