

**T.C.
BAHÇEŞEHİR ÜNİVERSİTESİ**

**KARAYOLU TÜNELLERİNDE
ARAÇ EMİSYONLARI, HAVALANDIRMA VE
YANGIN ÖNLEME ESASLARI**

Yüksek Lisans Tezi

FATİH BİLGİN

İSTANBUL, 2014

T.C.
BAHÇEŞEHİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
KENTSEL SİSTEMLER VE ULAŞTIRMA YÖNETİMİ

KARAYOLU TÜNELLERİNDE
ARAÇ EMİSYONLARI, HAVALANDIRMA VE
YANGIN ÖNLEME ESASLARI

Yüksek Lisans Tezi

FATİH BİLGİN

Tez Danışmanı: DR. RAMAZAN YÜKSEL

İSTANBUL, 2014

T.C.
BAHÇEŞEHİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
KENTSEL SİSTEMLER VE ULAŞTIRMA YÖNETİMİ

Tezin Adı: Karayolu Tünellerinde Araç Emisyonları, Havalandırma ve Yangın Önleme Esasları

Öğrencinin Adı Soyadı: Fatih BİLGİN

Tez Savunma Tarihi: 15.01.2014

Bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak gerekli şartları yerine getirmiş olduğu Enstitümüz tarafından onaylanmıştır.

Yrd. Doç. Dr. Tunç BOZBURA
Enstitü Müdürü

Bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak gerekli şartları yerine getirmiş olduğunu onaylarım.

Prof.Dr. Mustafa ILICALI
Program Koordinatörü

Bu Tez tarafımızca okunmuş, nitelik ve içerik açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak yeterli görülmüş ve kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmzalar

Tez Danışmanı

Dr. Ramazan YÜKSEL

Üye

Prof. Dr. Mustafa ILICALI

Üye

Yrd. Doç. Dr. Nilgün CAMKESEN

TEŐEKKÖR

Tez çalıŐmalarım boyunca gerekli ve değerli bÖtÖn yardım, katkı, tavsiye ve yÖnlendirmelerini esirgemeyen, karŐılaŐtıęım problemlerin özÖmÖnde deneyimlerinden yararlandığım danıŐmanım Dr. Ramazan YÖKSEL'e, çalışmada kullanılan verilerin temini ve tÖnel yangınları konusundaki katkılarından dolayı İBB İstanbul İtfaiyesi Fatih Grup Amiri Sayın Mehmet DEMİR' e, Japonya' dan teknik bilgi ve dökÖmanları temin etmemde büyük emeği olan Sayın Kei KATSUKİ' ye, Japonya' da tÖnel içerisinde kullanılan malzeme eŐitleri ve standartlara ulaŐmamı sağlayan Sayın Yuichi HONJO' ya, dÖnya Özerinde gerçekleŐen tÖnel yangınlarının analizlerini, toplanan bilgileri, yapılan incelemeler ile ilgili makaleleri tarafıma ulaŐtıran Sayın Elisabeth KRAUSMANN' a ve birçok konuda katkılarından dolayı isimlerini anamadığım tÖm hocalarıma ve arkadaŐlarıma, Özellikle annem ve babama teŐekkÖrÖ bir borç bilirim.

ÖZET

KARAYOLU TÜNELLERİNDE ARAÇ EMİSYONLARI, HAVALANDIRMA VE YANGIN ÖNLEME ESASLARI

Fatih Bilgin

Kentsel Sistemler ve Ulaştırma Yönetimi

Tez Danışmanı: Dr. Ramazan Yüksel

Ocak 2014, 161 Sayfa

Tüneller, ulaşım sisteminde önemli bir yere sahiptir. Karayollarının bütünleyici bir parçasını oluşturmakla birlikte aşılması güç coğrafi engeller aşılarak mesafelerin kısaltılması suretiyle hayatımızı kolaylaştırmaktadır. Türkiye coğrafi açıdan engebeli bir yapıda olduğundan 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. Karayolu tünellerinde meydana gelen yangınların temel sebebi araçlarda meydana gelen yangınlardır. Yangın meydana geldikten sonra ise, ana problem yangın sırasında oluşan duman ve araç emisyonlarının tahliyesinin zamanında yapılamaması ve müdahalenin gecikmesidir. Burada esas olan tünel havalandırma prensibinin, kirli hava yoğunluğunun temiz hava ile seyreltilerek kabul edilebilir düzeylere indirilmesi esasına dayanmasıdır. Bu sebeple tahliye işlemleri karayolu tünellerinin yangın güvenliği açısından büyük önem taşımaktadır.

Bu çalışmanın amacı, Avrupa Birliği üyelik sürecinde olan Türkiye’de bulunan karayolu tünellerinin Avrupa Birliği standartları çerçevesinde karşılaştırılması, tünellerde normal zamanlarda araçlardan yayılan emisyonların incelenmesi ve karayolu tünellerinde uygulanacak yangın güvenliği ile ilgili genel tedbirlerin sunulmasıdır.

Anahtar Kelimeler: Araç Emisyonu, Yangın, Havalandırma, Karayolu Tünelleri

ABSTRACT

PRINCIPLES OF VEHICLE EMISSIONS, VENTILATION SYSTEMS AND FIRE PREVENTION IN ROAD TUNNELS

Fatih Bilgin

URBAN SYSTEMS AND TRANSPORTATION MANAGEMENT

Thesis Supervisor: Dr. Ramazan Yüksel

January 2014, 161 Pages

Tunnels have an important place in the transportation systems. They 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. 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 boot 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 air. Road tunnel fires are mainly caused by the vehicle fires. After the fire takes place, the main problem here is not correct and prompt discharge of vehicle emissions from the tunnel is required and delaying the intervention. 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. Therefore, the discharge of fire smoke and vehicle emissions in a tunnel during a fire is of great importance point of fire safety in road tunnels.

The aim of this study, to compare the road tunnels in Türkiye which is the European Union accession process with the standards of the European Union about road tunnels, to analyze vehicle emissions during normal time in tunnels and general precautions for road tunnels about fire safety are presented.

Key Words: Vehicle Emissions, Fire, Ventilation, Road Tunnels

İÇİNDEKİLER

| | |
|---|-------------|
| TABLolar | xii |
| ŞEKİLLER | xiv |
| KISALTMALAR | xvi |
| SEMBOLLER | xvii |
| 1. GİRİŞ | 1 |
| 2. TAŞIT SALINIMLARI ve TANIMLAR | 3 |
| 2.1 HAVA KİRLENMESİ ve TARİHSEL GELİŞİM | 3 |
| 2.2 HAVA KİRLİLİĞİNİN DÜNYADAKİ ÖNEMLİ SONUÇLARI | 6 |
| 2.2.1 Hava Kirliliği Nedir? | 9 |
| 2.2.2 Emisyon Nedir? | 10 |
| 2.2.3 İmisyon Nedir? | 10 |
| 2.2.4 İnversiyon Nedir? | 10 |
| 2.2.5 Hava Kalitesi İndeksi Nedir? | 10 |
| 2.2.5.1 Hava kalitesi verilerini elde etme..... | 11 |
| 2.2.5.2 Emisyon envanteri hazırlanması | 12 |
| 2.2.5.3 Trafik..... | 12 |
| 2.3 ULAŞTIRMA KAYNAKLI KİRLİTİCİLERİN İNCELENMESİ, İNSAN SAĞLIĞINA ve ÇEVREYE ETKİLERİ | 14 |
| 2.3.1 Yanma ve Yanma Denklemleri..... | 14 |
| 2.3.2 Motorlarda Yanma | 15 |
| 2.4 MOTORLU TAŞITLARDAN KAYNAKLANAN HAVA KİRLİLİĞİ | 17 |
| 2.5 ÖNEMLİ HAVA KİRLİTİCİLERİ | 18 |
| 2.5.1 Karbon ve Karbon Emisyonları | 18 |
| 2.5.2 Azot Emisyonları..... | 24 |
| 2.5.3 Hidrokarbonlar | 30 |
| 2.5.4 Kükürt Oksitler..... | 35 |
| 2.5.5 Partikül Maddeler (PM10)..... | 41 |
| 2.5.6 Ağır Metaller | 42 |
| 2.5.6.1 Kurşun (Pb) | 42 |
| 2.5.6.2 Kadmiyum (Cd)..... | 42 |

| | |
|--|-----------|
| 2.5.6.3 Çinko (Zn)..... | 43 |
| 2.5.6.4 NİKEL (Ni) | 43 |
| 2.6 AB’ DEKİ SALINIMLAR ve İNCELENMESİ..... | 43 |
| 2.6.1 Emisyon Standartlarının Gelişimi..... | 44 |
| 2.6.2 Emisyonlar | 45 |
| 2.6.3 Emisyon Standartları | 46 |
| 2.6.4 Filo Segmentasyonu | 47 |
| 2.6.5 Binek Araçlar | 48 |
| 2.6.5.1 Temel emisyon faktörü | 49 |
| 2.6.5.2 Belirli bir araba nüfusunun ortalama emisyonu..... | 50 |
| 2.6.5.3 Yükseklik faktörü fh | 50 |
| 2.6.5.4 Yaşlanma etkisi fa | 51 |
| 3. TÜNELLERİN KISA TANIMLAMASI..... | 52 |
| 3.1 GENEL ANLAMDA TÜNEL TANIMI..... | 52 |
| 3.2 TÜNELLERİN TARİHÇESİ | 53 |
| 3.3 TÜNEL İNŞASINI GEREKTİREN NEDENLER KISACA ŞU ŞEKİLDE SIRALANABİLİR..... | 57 |
| 3.4 TÜNEL İNŞASINDAN ÖNCE YAPILAN ARAŞTIRMALAR | 58 |
| 3.4.1 Ön İnceleme Safhası | 58 |
| 3.4.2 Fizibilite Safhası..... | 59 |
| 3.4.3 Proje Safhası..... | 60 |
| 3.5 TÜNEL AÇMA YÖNTEMLERİ | 61 |
| 3.6 TÜNEL ÇEŞİTLERİ | 61 |
| 3.6.1 Yapım Şekline Göre Tüneller | 62 |
| 3.6.1.1 Kayaç zeminlerde açılan tüneller | 62 |
| 3.6.1.2 Yumuşak zeminlerde açılan tüneller | 64 |
| 3.6.1.3 Su altında yapılan tüneller | 67 |
| 3.6.2 İşlevlerine Göre Tüneller | 68 |
| 3.6.2.1 Demiryolu tünelleri | 68 |
| 3.6.2.2 Karayolu tünelleri | 69 |
| 3.6.2.3 Yaya tünelleri | 70 |
| 3.6.2.4 Kanal (akarsu) tünelleri | 70 |

| | |
|--|-----------|
| 3.6.2.5 Hidrolik güç ve su tünelleri | 71 |
| 3.6.2.6 Metro tünelleri..... | 72 |
| 4. TÜNELLERDE AB STANDARTLARI..... | 74 |
| 4.1 AB STANDARTLARININ GELİŞTİRİLMESİNİN AMACI..... | 74 |
| 4.2 AB DİREKTİFİNİN HEDEFLERİ | 74 |
| 4.3 DİREKTİF KAPSAMINA DAHİL EDİLEN AB TÜNELLERİ..... | 79 |
| 4.4 AB' DE TÜNEL GÜVENLİĞİ KONUSUNDAKİ ÇALIŞMALAR..... | 81 |
| 4.5 AB ORTAK ULAŞTIRMA POLİTİKASININ GELİŞİMİ | 82 |
| 4.6 AB ULAŞTIRMA POLİTİKASI BEYAZ KİTABI | 83 |
| 4.7 TRANS AVRUPA KARAYOLU TÜNELLERİ..... | 86 |
| 4.8 AB TARAFINDAN ÖNERİLEN TÜNEL GÜVENLİK GEREKSİNİMLERİ | 90 |
| 4.8.1 Yapısal Gereksinimler | 90 |
| 4.8.1.1 Tüp sayısı | 90 |
| 4.8.1.2 Tünel eğimi | 91 |
| 4.8.1.3 Kaçış yolları ve acil çıkışlar..... | 91 |
| 4.8.1.4 Acil servisler için erişim..... | 92 |
| 4.8.1.5 Cepler | 93 |
| 4.8.1.6 Drenaj..... | 93 |
| 4.8.1.7 Yapıların yangına karşı dayanıklılığı..... | 93 |
| 4.8.1.8 Aydınlatma | 94 |
| 4.8.1.9 Havalandırma..... | 94 |
| 4.8.1.10 Acil istasyonlar | 95 |
| 4.8.1.11 Su ekipmanı | 95 |
| 4.8.1.12 Yol işaretleri | 95 |
| 4.8.1.12.1 <i>Radyo</i> | 96 |
| 4.8.1.12.2 <i>Cepler</i> | 96 |
| 4.8.1.12.3 <i>Tünel işareti</i> | 97 |
| 4.8.1.12.4 <i>Acil hizmet istasyonları</i> | 98 |
| 4.8.1.12.5 <i>Acil hizmet çıkışları</i> | 98 |
| 4.8.1.12.6 <i>Şerit sinyalleri</i> | 99 |
| 4.8.1.13 Kontrol merkezi | 99 |

| | |
|---|------------|
| 4.8.1.14 İzleme sistemleri..... | 99 |
| 4.8.1.15 Tünel kapatma ekipmanı..... | 99 |
| 4.8.1.16 Haberleşme sistemleri..... | 100 |
| 4.8.1.17 Acil güç temini..... | 100 |
| 4.8.1.18 Ekipmanların yangına dayanıklılığı..... | 100 |
| 4.8.2 İşletimle İlgili Gereksinimler | 101 |
| 4.8.2.1 İdari yetkili makam..... | 101 |
| 4.8.2.2 Teknik denetleme heyeti..... | 101 |
| 4.8.2.3 Tünel yöneticisi..... | 101 |
| 4.8.2.4 Bağımsız emniyet..... | 101 |
| 4.8.2.5 İdari yetkili makamın rolü | 102 |
| 4.8.2.6 Emniyet görevlilerinin rolü | 102 |
| 4.8.2.7 Tünellerde şerit kapatılması..... | 103 |
| 4.8.2.8 Kaza yönetimi..... | 103 |
| 4.8.2.9 Kontrol merkezi faaliyeti..... | 103 |
| 4.8.2.10 Tünelin kapatılması | 104 |
| 4.8.2.11 Tehlikeli maddelerin nakliyesi..... | 104 |
| 4.8.2.12 Tünellerde sollama | 104 |
| 4.8.2.13 Araçlar arasındaki mesafe ve hız | 104 |
| 4.8.2.14 Bilgilendirme kampanyaları | 105 |
| 5. KARAYOLU TÜNELLERİNDE HAVALANDIRMA ESASLARI | 106 |
| 5.1 HAVALANDIRMA YÖNTEMLERİ..... | 106 |
| 5.1.1 Doğal Havalandırma..... | 107 |
| 5.1.2 Mekanik Havalandırma | 109 |
| 5.1.2.1 Boylamasına havalandırma..... | 110 |
| 5.1.2.2 Yarı kanallı havalandırma | 112 |
| 5.1.2.3 Tam kanallı havalandırma | 114 |
| 5.1.2.4 Karma havalandırma | 115 |
| 5.1.3 Mekanik Havalandırmayla Havanın Temizlenmesi..... | 116 |
| 5.1.4 Doğal Havalandırma Hakkında Tavsiyeler..... | 117 |
| 5.2 YANGIN ÖNLEME ESASLARI | 118 |
| 5.2.1 Yangın Gelişim Eğrisi..... | 119 |

| | |
|--|-----|
| 5.2.2 Tünel Yangınları ile Kapalı Alan Yangınlarının Farkı..... | 120 |
| 5.2.3 Tünellerde Yangın Güvenliği..... | 121 |
| 5.2.4 Tünellerde Yangın Durumunda Havalandırma Prensibi | 121 |
| 5.2.4.1 Doğal havalandırma durumu | 122 |
| 5.2.4.2 Mekanik havalandırma durumu | 123 |
| 5.2.5 Tünellerde Yangınla Mücadele Yönetimi..... | 128 |
| 5.2.5.1 Yangın alarmı | 129 |
| 5.2.5.1.1 Yangın algılayıcılar | 129 |
| 5.2.5.1.2 Yangın ihbar butonları..... | 131 |
| 5.2.5.1.3 Yangın ihbar uyarıcıları..... | 131 |
| 5.2.5.1.4 Diğer yangın ihbar yöntemleri..... | 131 |
| 5.2.5.2 Yangınla mücadele | 132 |
| 5.2.5.2.1 Yangın söndürücü tüpler | 132 |
| 5.2.5.2.2 Yangın dolapları | 133 |
| 5.2.5.2.3 Otomatik yangın söndürücüler | 134 |
| 5.2.5.3 İki tünel arası tesisat | 134 |
| 5.2.5.4 Yangın suyu şebekesi | 135 |
| 5.2.5.5 Diğer önlemler | 136 |
| 5.3 TÜNEL HAVALANDIRMA SİSTEMİ TASARIMI | 139 |
| 5.3.1 Havalandırma Tesisatının Performans Gereksinimleri..... | 139 |
| 5.3.2 Temiz Hava Talebinin Hesaplanması | 140 |
| 5.3.2.1 Trafik hacmi | 140 |
| 5.3.2.2 Trafik içerik karışımı..... | 140 |
| 5.3.2.3 Trafik şeritlerine trafik hacimleri tayin edilmesi..... | 140 |
| 5.3.2.4 Trafik koşulları | 140 |
| 5.3.2.5 Trafik sınır değerleri | 141 |
| 5.3.3 Havalandırma Sisteminin Seçilmesi..... | 141 |
| 5.4 TÜNEL HAVALANDIRMA SİSTEMİ TASARIMI ÖRNEĞİ..... | 143 |
| 5.4.1 CO için İhtiyaç Duyulan Temiz Hava Debisinin Hesabı..... | 144 |
| 5.4.2 Duman için İhtiyaç Duyulan Temiz Hava Debisinin Hesabı..... | 149 |
| 5.4.3 Yangın için İhtiyaç Duyulan Temiz Hava Debisinin Hesabı | 152 |
| 5.4.4 NO _x için İhtiyaç Duyulan Temiz Hava Debisinin Hesabı | 153 |

| | |
|---|------------|
| 5.4.5 Jet Vantilatör Hesabı..... | 154 |
| 6. SONUÇLAR | 158 |
| KAYNAKÇA | 162 |
| EKLER..... | 166 |
| EK A.1: Trans-Avrupa Karayolu Tünelleri Minimum Güvenlik Gereksinimleri | 167 |
| ÖZGEÇMİŞ..... | 170 |

TABLULAR

| | |
|---|-----|
| Tablo 2.1: Hava kirliliği sürelerinde kayıtlara geçmiş hastalık ve ölümler. | 6 |
| Tablo 2.2: Dünya atmosferindeki değişik gazların kütleleri..... | 7 |
| Tablo 2.3: Troposfer tabakasındaki gazın bileşimi. | 8 |
| Tablo 2.4: Emisyon değerleri..... | 13 |
| Tablo 2.5: Troposfer tabakasındaki gazın bileşimi..... | 15 |
| Tablo 2.6: Troposfer tabakasındaki gazın bileşimi..... | 16 |
| Tablo 2.7: Kandaki COHb düzeyinin sağlığa olan etkileri..... | 19 |
| Tablo 2.8: Atmosfere yayılan CO kaynak ve miktarları..... | 21 |
| Tablo 2.9: A.B.D. CO kaynak ve miktarları..... | 21 |
| Tablo 2.10: Otomobil ve küçük kamyonlar egzoz emisyon standartları..... | 23 |
| Tablo 2.11: NA belgelenmemiş/küçük kamyonlar..... | 24 |
| Tablo 2.12: Atmosfere yayılan CO kaynak ve miktarları..... | 26 |
| Tablo 2.13: Atmosfere yayılan CO kaynak ve miktarları..... | 28 |
| Tablo 2.14: Alıcı ortam NO _x değerleri..... | 29 |
| Tablo 2.15: NO ₂ için belirgin değerler..... | 30 |
| Tablo 2.16: Hidrokarbon emisyonlarının kaynak ve miktarları (mil-ton/yıl)..... | 32 |
| Tablo 2.17: İnsan faaliyetleri sonucu oluşan HC kaynakları..... | 33 |
| Tablo 2.18: Sülfür oksitlerin kaynak ve miktarları(emisyon, mil-ton/yıl)..... | 36 |
| Tablo 2.19: Alıcı ortam SO ₂ sınır değerleri..... | 37 |
| Tablo 2.20: SO ₂ nin insanlara etkileri..... | 38 |
| Tablo 2.21: AB düzenlemelerine göre, binek otomobiller için (g/km) olarak emisyon standartları..... | 47 |
| Tablo 2.22: AB düzenlemelerine göre, binek otomobiller için (g/km) olarak emisyon standartları..... | 47 |
| Tablo 2.23: Binek araçlar için emisyon standartları..... | 48 |
| Tablo 3.1: Tünel çeşitlerinin sınıflandırılması..... | 62 |
| Tablo 4.1: Binek araçlar için emisyon standartları..... | 80 |
| Tablo 4.2: Ülkemizdeki trafiğe açık olan 500 metreden uzun tüneller..... | 88 |
| Tablo 4.3: Ülkemizdeki yapım aşamasında olan 500 metreden uzun tüneller..... | 89 |
| Tablo 5.1: Boylamasına havalandırmanın kullanılabilceği tünel uzunlukları..... | 126 |

| | |
|--|-----|
| Tablo 5.2: Dünyada karayolu tünellerinde görülen ciddi yangınlar. | 138 |
| Tablo 5.3: CO için q_{co}^0 değerleri..... | 138 |
| Tablo 5.4: CO _{Lim} değerleri. | 138 |
| Tablo 5.5: Kabul edilebilir duman konsantrasyonu. | 138 |
| Tablo 5.6: Dizel ağır vasıta araçlar için duman emisyon miktarı. | 138 |

ŞEKİLLER

| | |
|--|-----|
| Şekil 2.1: Atmosferin temel katmanı | 9 |
| Şekil 2.2: İstanbul içerisinde yapılan örnek ölçüm ve değerler | 11 |
| Şekil 2.3: İstanbul içerisinde yapılan örnek ölçüm ve değerler | 12 |
| Şekil 2.4: Kirletici kaynakların toplam emisyon miktarına katkısı..... | 13 |
| Şekil 2.5: İstanbul genelinde CO emisyonlarının dağılımı | 14 |
| Şekil 2.6: Hava/Yakıt ile yüzde emisyon arasındaki ilişki | 16 |
| Şekil 2.7: Hava/Yakıt ile yüzde emisyon arasındaki ilişki | 20 |
| Şekil 2.8: Los Angeles 19 Temmuz 1965 NO, NO2 ve O3 günlük değişimler..... | 27 |
| Şekil 2.9: Kükürt oksitlerin insan sağlığına etkileri..... | 38 |
| Şekil 2.10: Kükürt oksitlerin bitkilere etkileri | 40 |
| Şekil 3.1: Kargir kaplama örneği | 55 |
| Şekil 3.2: Romalılardan kalma su tüneli | 56 |
| Şekil 3.3: Jumbo aygıtıyla tünel açılması | 63 |
| Şekil 3.4: Özel delgi araçları ile tünel açma | 64 |
| Şekil 3.5: Boru sürme yöntemiyle açılan tünel örneği..... | 65 |
| Şekil 3.6: Şemsiyeleme yönteminde uygulanan zemin çivilerine örnek | 66 |
| Şekil 3.7: Marmaray projesi batırma tüneli uygulaması | 68 |
| Şekil 3.8: Çift ve tek hatlı demiryolu tüneli enkesitleri | 69 |
| Şekil 3.9: Karayolu tünel örneği ve enkesiti | 70 |
| Şekil 3.10: Kanal tüneli örneği..... | 71 |
| Şekil 3.11: Hidrolik güç tünelleri enkesit örneği | 71 |
| Şekil 3.12: Metro tüneli örneği | 72 |
| Şekil 3.13: Paris metrosu tünel inşaatı (1902-1910)..... | 73 |
| Şekil 4.1: Trans Avrupa Karayolunun ülkemizde kalan kısmı | 86 |
| Şekil 4.2: Tünel cep işareti..... | 97 |
| Şekil 4.3: Karayolu tüneller için Viyana Antlaşmasının E11 işareti | 97 |
| Şekil 4.4: Acil hizmet istasyonu ve yangın tüpü işareti | 98 |
| Şekil 4.5: Acil hizmet istasyonu çıkış işareti | 98 |
| Şekil 4.6: Şerit sinyali işareti | 99 |
| Şekil 5.1: Tünel ağzından – tünel ağzına havalandırma | 109 |

| | |
|---|-----|
| Şekil 5.2: Tünel ağzından – şafta havalandırma | 109 |
| Şekil 5.3: Jet enjeksiyonlu boyuna havalandırma | 111 |
| Şekil 5.4: Tek şaftlı boyuna havalandırma..... | 111 |
| Şekil 5.5: İki şaftlı ve jet fonksiyonlu boyuna havalandırma..... | 112 |
| Şekil 5.6: Jet fanlı boyuna havalandırma | 112 |
| Şekil 5.7: Üfleme kanallı havalandırma..... | 113 |
| Şekil 5.8: Emiş kanallı havalandırma..... | 113 |
| Şekil 5.9: Üfleme ve emiş kanallı havalandırma | 114 |
| Şekil 5.10: Tam kanallı havalandırma | 114 |
| Şekil 5.11: Boylamasına havalandırma enkesiti | 115 |
| Şekil 5.12: Tam kanallı havalandırma enkesiti | 115 |
| Şekil 5.13: Yarı kanallı havalandırma (üfleme) enkesiti | 116 |
| Şekil 5.14: Yarı kanallı havalandırma (emiş) enkesiti..... | 116 |
| Şekil 5.15: Yangının evreleri | 119 |
| Şekil 5.16: Doğal havalandırma sonucu tünelde duman katmanı 4m2 petrol yangını . | 123 |
| Şekil 5.17: Jet fan kullanılarak yapılan boyuna havalandırma | 124 |
| Şekil 5.18: Tünel dışına döşenen fan bacalarıyla boyuna havalandırma | 124 |
| Şekil 5.19: Jet fanlı boyuna havalandırma yangın durumu..... | 125 |
| Şekil 5.20: Fan bacaları boyuna havalandırma yangın durumu..... | 125 |
| Şekil 5.21: Raylı sistemlerde acil durum havalandırma sistemi çalışma prensibi | 126 |
| Şekil 5.22: Tam kanallı havalandırma sistemi çalışma prensibi | 127 |
| Şekil 5.23: Yarı kanallı havalandırma sistemi çalışma prensibi | 128 |
| Şekil 5.24: PIARC 2008 Road Tunnels Yangın ve Operasyon Stratejisi | 129 |
| Şekil 5.25: Havalandırma sistem seçim süreci..... | 142 |
| Şekil 5.26: CO ve NO _x için f _v Değerleri | 145 |
| Şekil 5.27: CO ve NO _x için f _i tünel eğim faktörü..... | 146 |
| Şekil 5.28: CO ve NO _x için f _h tünelin deniz seviyesi yüksekliği için faktör | 146 |
| Şekil 5.29: Trafik Hızına Bağlı Olarak Trafik Dağılımı | 147 |

KISALTMALAR

| | | |
|-----------------|---|----------------------------------|
| CO | : | Karbon Monoksit |
| NO | : | Azot Monoksit |
| CO ₂ | : | Karbon Dioksit |
| NO ₂ | : | Azot Dioksit |
| KGM | : | Karayolları Genel Müdürlüğü |
| A.B.D. | : | Amerika Birleşik Devletleri |
| HC | : | Hidrokarbonlar |
| Hb | : | Hemoglobin |
| SO | : | Kükürtoksit |
| SO ₂ | : | Kükürt Dioksit |
| AB | : | Avrupa Birliği |
| O ₃ | : | Ozon |
| PIARC | : | World Road Association |
| PM | : | Partikül Madde |
| MD | : | Milli Dökümantasyon |
| HKİ | : | Hava Kalitesi İndeksi |
| İBB | : | İstanbul Büyükşehir Belediyesi |
| HB | : | Hemoglobin |
| PPM | : | Parts Per Million (milyonda bir) |
| EPA | : | Environmental Protection Agency |
| UVD | : | Uzun Vadeli Değer |
| KVD | : | Kısa Vadeli Değer |
| O.K. | : | Osmanlı Kanunnameleri |
| mSS | : | Metre Su Sütunu |

SEMBOLLER

| | | |
|--|---|-----------------|
| Yerçekimi ivmesi | : | g |
| Tünel kesit yüksekliği | : | H |
| Yangın sebebiyle açığa çıkan yangın yükü | : | Q_c |
| Havanın yoğunluğu | : | ρ |
| Havanın sabit basınç altındaki özgül ısı katsayısı | : | C_p |
| Tünel kesit alanı | : | A |
| Kritik Froude sayısı | : | F_{rc} |
| Tünel uzunluğu | : | L |
| Araç hız faktörü | : | f_v |
| Tünel eğim faktörü | : | f_i |
| Kot faktörü | : | f_h |
| Birim araç CO emisyon miktarı | : | q^{CO} |
| CO için taze hava debisi | : | $Q_{f\ CO}$ |
| NO için taze hava debisi | : | $Q_{f\ NO}$ |
| Dizel araçlar için gerekli taze hava debisi | : | $Q_{f\ dizel}$ |
| Duman için gerekli taze hava debisi | : | $Q_{f\ duman}$ |
| Yangın için gerekli taze hava debisi | : | $Q_{f\ yangın}$ |
| Saatte geçen araç sayısı | : | M_{pc} |
| İzin verilen maksimum CO yoğunluğu | : | CO_{lim} |
| Araç kütlesi | : | m |
| Tünel eğim hız faktörü | : | f_{iv} |
| Kabul edilebilir duman konsantrasyonu | : | K_{lim} |

| | | |
|-------------------------------------|---|------------|
| Kabul edilebilir NO konsantrasyonu | : | NO_{lim} |
| Reynold sayısı | : | Re |
| Otomobiller için kesit alanı | : | A_{pc} |
| Ağır vasıtalar için kesit alanı | : | A_{tr} |
| Standart havanın yoğunluğu | : | S_{ms} |
| Karışım halindeki havanın yoğunluğu | : | S_{me} |

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 imkan tanıyan yer altı yapılarına tünel adı verildiği bilinmektedir.

Dağlık bölgelerde yeni güzergahlar 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.

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;

- i. Tünel uzunluğu, tüp sayısı ve tünelin şehir veya kırsal kesimde olması,
- ii. Normal ve özel trafik durumlarında taze hava gereksinimi
- iii. Tünel portallarında izin verilen hava kirliliği
- iv. Yangın güvenliği faktörleridir.

Tünel havalandırma bacaları tüneldeki emisyonlardan kaynaklanan kirliliği dağıtabilir ancak tamamen ortadan kaldıramamaktadır. 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 CO, CO₂ miktarı ve en önemlisi havalandırma düzenlemesi ile ilgisi vardır. Tünellerin havalandırma sistemleri araç emisyonlarından kaynaklanan egzoz gazlarını seyreltmelerinden dolayı önemli bir öge konumundadır.

Bu çalışmanın amacı, Avrupa Birliği üyelik sürecinde olan Türkiye’de bulunan karayolu tünellerinin, karayolu tünellerinde emisyon standartlarının ve tünellerde havalandırma sistemlerinin Avrupa Birliği karayolu tünelleri ve PIARC çalışmaları ile karşılaştırılması ve incelenmesidir. Ayrıca yapılan bu çalışmanın, ülkemizde halen yapımı süren ve gelecekte yapılacak karayolu tünellerinin yangın güvenliğini arttıracığı beklenmektedir.

2. TAŞIT SALINIMLARI ve TANIMLAR

Hava kirliliği, yaşanılan çevredeki hava kalitesini bozan ve çevre hayatına zarar verecek miktarda olan istenmeyen maddelerin hava içerisinde bulunmasıdır. Hava kirliliğine yol açan kaynaklar, temel özellikleri göz önüne alındığında iki an grupta incelenmektedir. Bunlar doğal ve antropojenik (insan kaynaklı) kaynaklardır. Antropojenik kaynaklar, insan etkisinin içinde yer aldığı ve doğal olaylar sonucu ortaya çıkmayan kirleticiler olup, en başında trafik ve taşıt salınımları bulunmaktadır.

2.1 HAVA KİRLENMESİ ve TARİHSEL GELİŞİM

Her ne kadar, çoğunluk, hava kirliliği problemlerini endüstriyel gelişmeyle özdeş olarak düşünse de sonuç, her durumda, asırlardır insan ırkını rahatsız etmektedir. Kuşkusuz atmosferdeki ilk kirlilik doğal bir kökene dayanır. Volkanlardan ya da orman yangınlarından çıkan duman, kül ve gazlar, kurak havzalardaki fırtınalardan çıkan kum ve tozlar, rutubetli ve düşük katmanlardaki sis, dağlık havzalardaki çam ağaçlarından sızan doğal reçineler, insanlığın ya da aktivitelerinin problemleri ortaya çıkmadan asırlarca önce de vardı.

Gerçekten, başlangıçtaki “Hava Kirliliği” tanımı yukarıda adı geçen doğal problemler olarak kabul edilebilir.

Hava kirlenmesi, atmosferin doğal bileşimini değiştiren herhangi bir kirleticinin (örneğin; toz, duman, gaz, sis ya da buhar vb.) belirli miktar ve sürede havada bulunması halinde, insana, bitkiye ve hayvanlara zarar vermesi ya da bu canlıların yaşamını engellenmesi şeklinde tanımlanabilir.

Volkanik patlamalar gibi özel koşullar dışında, doğal kaynakların kirlilikleri genel olarak kendi başına, yaşam ve yapılar için ciddi tehlikeler yaratmazlar. Ancak, insan etkinlikleri sonucu meydana gelen kirleticiler için aynı şeyi söylemek mümkün değildir. İnsanlar ateşi keşfettiklerinde onun problemlerini de sahiplenmiş oldular. Çünkü ateş

dumanı oluşturur ve duman insan tarafından meydana getirilmiş en eski hava kirleticisidir. İlk mağara adamının yaktığı odun ateşinin dumanından, yoğun yerleşimli bir şehrin kömür ateşinden çıkan dumana gelindiğinde artık kirlilik şehirde yaşayanlar için yeterli derecede önemli bir tehlike olmaya başlamıştır. Hava kirlenmesi insan kadar eskidir. Milat'dan önce 61 yılında filozof Seneca Roma'nın ağır havasını ve yanan şöminelerden yayılan pis kokuyu tanımlamıştı. 1273'de ise kral I. Edward, Londra üzerinde yayılan duman ve is karışımından rahatsız olarak deniz kömürü yakılmasını yasaklamıştır.

Kral Edward'ın bu emrinden sonra ormanların yağmalanması başlamış ve odun nadir bir emtia haline gelmiştir. Bunun sonucunda Londra'lılar tekrar her geçen gün artan bir şekilde kömüre bağımlı hale gelmişlerdir. Kraliçe Elizabeth I zamanında şikayetler Kraliyete kadar yükselmiş ve şehrin sabahları oluşan doğal sisi şikayet konusu olmuştur. Şehrin yoğun sisi ile smogun birbirine karışması sonucu meydana gelen kirlilik asırlar sonra bile anılır olmuştur. Kraliçenin kömür dumanına alerjisi vardı ve nefret de ediyordu. Sonunda şehri terk ederek Nottingham'a göç etti. Elizabeth I'in saltanatının sonuna doğru parlamentosunun şehirde olduğu sürelerde kömürün yakılması yasaklanmıştır.

Türklerde çevre bilincini gösteren belgelere 15. yy.'dan itibaren Osmanlı arşivlerinde rastlanmaktadır. Osmanlı padişahlarından Fatih Sultan Mehmet, İstanbul'un genel temizliği için bir ferman yayınlamıştır. 1539'da Kanuni Sultan Süleyman tarafından yayınlanan Osmanlı kanunnamelerinde çevre temizliği ile ilgili 12 maddelik bir ferman yazılmıştır.(O.K. Cilt:6 S.540). Bu maddelerin tümü su kirlenmesi ve şehir temizliği ile ilgilidir. 1565 yılında yine Kanuni Sultan Süleyman su yollarının korunmasıyla ilgili bir hüküm yayınlamıştır. (MD. 5, S.314) Aynı yıl yeşilin korunması ağaç kesiminin ve avcılığın yasaklanmasına dair bir hüküm yayınlanmıştır. (MD. 5, Hüküm No 691). 1559 yılında Kanuni Sultan Süleyman liman ve körfezlerin temizliği ile ilgili hüküm yayınlamıştır. (MD. 3, Hüküm No 606). Aynı yıl, şehircilik konusunda bir hüküm yayınlanmıştır. (MD. 3, Hüküm No 72).

Osmanlı padişahlarından II. Abdülhamit'e kadar II. Selim zamanında yine çevreyle ilgili çok sayıda su ve çevre temizliği, ağaçlandırma konularında hüküm yayınlanmıştır. II. Abdülhamit devrinde ilk defa 1886 yılında hava temizliği ile ilgili bir belgeye rastlanmaktadır. Biga Sancağı ile II. Abdülhamit arasında yapılan yazışmayı ifade eden bu belgede Biga Yöresinin bataklıklarında oluşan kirletici gazların halk sağlığını tehdit etmesi nedeniyle ıslah edildiğinden bahsedilmiştir. Ancak, Osmanlı devrinde çevresel etkilerin yarattıkları zararların sonuçları hakkında belge bulmak mümkün olamamıştır. Osmanlıdaki bu gelişmelere paralel olarak dünyadaki değişimler Tablo 2.1' de verilmiştir. 1661'de bir İngiliz bilim adamı J.Evelyn bir broşür yayınladı. John Evelyn'in bu broşüründe önerilen koşullara hala tam olarak (MD: Milli Dokümantasyon) uyulmamıştır. Bu broşürde, bugün de hala önerilmekte olduğu gibi; Londra'dan tüm duman üreten ünitelerin uzaklaştırılması ve şehrin çevresinde bir yeşil kuşağın sağlanması gibi radikal bir önemi bulunmaktadır. Onun önerileri 1772'de tekrar neşredildi, oluşan toplumsal hassasiyet sonucunda dış hava kalitesi iyileştirildi. Bu iyileştirmenin kantitatif değerleri kayıt altına alınmamıştır. Tablo 2.1' de görüldüğü gibi, hava kirliliği problemleri sonucu meydana gelen olayların kayıtları 1873 yıllarına ulaşmaktadır Ancak, tüm dünyada endüstrileşmenin yoğunlaştığı 1890'lı yıllardan sonra zehirlenme ve ölüm olayları hız kazanmıştır.

Hava kirlenmesinin üstesinden gelebilmek için, duman kontrol kanunları da dahil olmak üzere benzer açıklamalar 1881'de Chicago ve Cincinnati'de yapılmıştır.

Tablo 2.1: Hava kirliliği sürelerinde kayıtlara geçmiş hastalık ve ölümler.

| Yıl ve Ay | Yer | Ölüm Kayıtları | Hastalık Kayıtları |
|----------------------|-----------------------|---------------------------------------|--------------------|
| 1873, 9-11 Aralık | Londra, İngiltere | Yalnızca kirlenme kayıtlara geçmiştir | |
| 1880, 26-29 Ocak | Londra, İngiltere | Yalnızca kirlenme kayıtlara geçmiştir | |
| 1892, 28-30 Aralık | Mense Valley, Belçika | 63 | 6000 |
| 1948, Ekim | Donora, Pennsylvania | 17 | 6000 |
| 1948, 26 Kasım-1 Ar. | Londra, İngiltere | 700-800 | |
| 1952, 5-9 Aralık | Londra, İngiltere | 4000 | |
| 1953, Kasım | Newyork, Newyork | 17 | |
| 1956, 3-6 Ocak | Londra, İngiltere | 1000 | |
| 1957, 2-5 Aralık | Londra, İngiltere | 700-800 | |
| 1958 | Newyork, Newyork | | |
| 1959, 26-31 Ocak | Londra, İngiltere | 200-250 | |
| 1962, 5-10 Aralık | Londra İngiltere | 700 | |
| 1963, 7-22 Ocak | Londra-İngiltere | 700 | |
| 1963, Ocak, 12 Şub | Newyork, Newyork | 200-400 | |

Kaynak: Prof. Dr. Cuma Bayat, Hava Kirlenmesi ve Kontrolü

2.2 HAVA KİRLİLİĞİNİN DÜNYADAKİ ÖNEMLİ SONUÇLARI

Dünyanın yaşanmaya elverişli olarak kalması isteniyorsa gezegeni bir yorgan gibi kaplayan atmosfere atılan kirleticinin uzun ömürlü etkisi hiçbir zaman göz ardı edilmemelidir. Tablo 2.1’ de verilen örnekler, herhangi bir yer veya yerleşimin atmosferik kirliliğin belli bir süre etkisine maruz kalması halinde neler olabileceğini göstermektedir. Daha az bilinen ise, atmosfere bırakılan değişik formdaki kirleticilerin daha sonra yapabilecekleri etkilerdir.

Hava kirliliğini ve kontrolünü anlamada gerekli ilk adım atmosferin bileşim ve yapısını anlamaktır. Atmosferdeki her bir gazın toplam listesi Tablo 2.2’ de verilmiştir.

Tablo 2.2: Dünya atmosferindeki değişik gazların kütleleri.

| Gaz ya da Buhar | Trilyon ton |
|-------------------------------------|--------------------|
| Azot (N ₂) | 3900 |
| Oksijen (O ₂) | 1200 |
| Argon (Ar) | 67 |
| Su Buharı (H ₂ O) | 14 |
| Karbondioksit (CO ₂) | 2.5 |
| Neon (Ne) | 0.065 |
| Kripton (Kr) | 0.017 |
| Metan (CH ₄) | 0.004 |
| Helyum (He) | 0.004 |
| Ozon (O ₃) | 0.003 |
| Ksenon (Xe) | 0.002 |
| Dinitrojen oksit (N ₂ O) | 0.002 |
| Karbon monoksit (CO) | 0.0006 |
| Hidrojen (H ₂) | 0.0002 |
| Amonyak (NH ₃) | 0.00002 |
| Azotdioksit (NO ₂) | 0.000013 |
| Azotmonoksit (NO) | 0.000005 |
| Kükürt dioksit (SO ₂) | 0.000002 |
| Hidrojen sülfür (H ₂ S) | 0.000001 |

Kaynak: Prof. Dr. Cuma Bayat, Hava Kirlenmesi ve Kontrolü

Kütlesel debileri verilen atmosferdeki gazların hacimsel yüzdeleri yere yakın bölgeler için hacimsel yüzde olarak Tablo 2.3' de verilmiştir. Tablo 2.3' den anlaşılacağı gibi soluduğumuz havanın bulunduğu troposfer hacimsel olarak yüzde 78 Azot (N₂), yüzde 21 Oksijen (O₂), yüzde 1 Argon (Ar) ve yüzde 0.03 Karbondioksit (CO₂) içermektedir. Ayrıca çoğunluğu inert olan gazlar da vardır.

Tablo 2.3: Troposfer tabakasındaki gazın bileşimi.

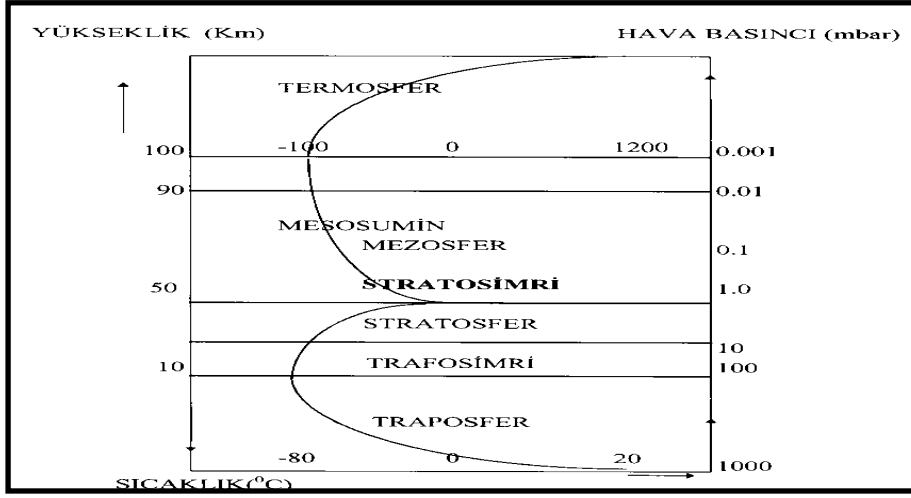
| Gaz | Konsantrasyon(ppm) | Konsantrasyon (yüzde Hacim) |
|------------------------------------|---------------------------|------------------------------------|
| Azot (N ₂) | 780.000 | 78.09 |
| Oksijen (O ₂) | 209.500 | 20.95 |
| Argon (Ar) | 9.300 | 0.93 |
| Karbondioksit (CO ₂) | 320 | 0.032 |
| Neon | 18 | 0.0018 |
| Helyum (He) | 5.2 | 0.00052 |
| Metan (CH ₄) | 1.5 | 0.00015 |
| Kripton (Kr) | 1.0 | 0.0001 |
| Hidrojen (H ₂) | 0.5 | 0.00005 |
| Diazotmonoksit (N ₂ O) | 0.2 | 0.00002 |
| Karbonmonoksit (CO) | 0.1 | 0.00001 |
| Ksenon (Xe) | 0.08 | 0.000008 |
| Ozon (O ₃) | 0.02 | 0.000002 |
| Amonyak (NH ₃) | 0.006 | 0.0000001 |
| Azotdioksit (NO ₂) | 0.001 | 0.0000001 |
| Azotmonoksit (NO) | 0.0006 | 0.00000006 |
| Kükürtdioksit (SO ₂) | 0.0002 | 0.00000002 |
| Hidrojen Sülfür (H ₂ S) | 0.0002 | 0.00000002 |

Kaynak: Prof. Dr. Cuma Bayat, Hava Kirlenmesi ve Kontrolü

Bu gazların değişik miktarları atmosferin dört temel katmanı olan troposfer, stratosfer, mezosfer ve termosferde yer almaktadır ve Şekil 2.1’de gösterilmiştir.

Kirlilik kontrolü açısından ilgilenen en önemli tabaka canlıların çoğunluğunu içinde barındıran tabaka olan troposferdir. Hava Kirlenmesine global bakıldığında kirlenme sonuçları olarak ortak birkaç önemli olay göze çarpmaktadır. Bu olaylar küresel boyutta değerlendirildiğinde küresel ısınma ve ozon tabakası örneği, bölgesel boyutta asit yağmurları örneği ve lokal boyutta ise sanayiden, trafikten dolayı oluşan kirlenmeler örnek verilebilir.

Şekil 2.1: Atmosferin temel katmanları



Kaynak: Prof. Dr. Cuma Bayat, Hava Kirlenmesi ve Kontrolü

2.2.1 Hava Kirliliği Nedir?

Hava kirliliği, yaşanılan çevredeki hava kalitesini bozan ve çevre hayatına zarar verecek miktarda olan istenmeyen maddelerin hava içerisinde bulunmasıdır. Kirletici olarak adlandırılan bu maddeler, insan sağlığına, bitkilere ve hayvanlara, eşyalara veya küresel çevreye zarar verebilmekte, ayrıca estetik olmayan görüntülere ve istenmeyen kokulara da neden olabilmektedirler.

Hava kirliliğine yol açan kaynaklar, temel özellikleri göz önüne alındığında iki ana grupta incelenmektedir. Bunlar; doğal kaynaklar ve antropojenik (insan kaynaklı) kaynaklarıdır.

Antropojenik (insankaynaklı) hava kirliliği kaynakları, insan etkisinin içinde yer aldığı ve doğal olaylar sonucu ortaya çıkmayan kirleticilerdir. Bunlar;

- i. Isınma
- ii. **Trafik**
- iii. Sanayi
- iv. Enerji
- v. Diğer Kaynaklar

2.2.2 Emisyon Nedir?

Kimyasal reaksiyonlar ve yakma prosesleri esnasında ortam havasına karışan tüm gaz ve partiküllere emisyon denir (örneğin: bacadan veya bir aracın egzostundan çıkan gazlar).

2.2.3 İmisyon Nedir?

Atmosferde bulunan, ölçülen veya teneffüs edilen tüm gaz ve partiküllere imisyon denir.

2.2.4 İnversiyon Nedir?

Sıcak havanın soğuk havanın üzerinde bulunarak, havanın dikey olarak birbiriyle karışmasının engellenmesi durumudur. Kirlilik böylece yer seviyesine yakın soğuk hava tabakasının içerisinde toplanır.

2.2.5 Hava Kalitesi İndeksi Nedir?

Hava durumu gibi hava kalitesi de gün gün veya saat saat değişmektedir. Hava kalitesi ve hava kirliliği hakkında basit bilgilerle halkın bilgilendirilmesi ve sağlıklarını nasıl koruyacaklarını öğrenmeleri için hesaplanan hava kalitesi indeksi (HKİ), hava kalitesinin günlük olarak rapor edilmesi için kullanılan bir indekstir. Yaşadığımız bölgenin havasının ne kadar temiz veya kirli olduğu ve ne tür sağlık etkilerinin oluşabileceği konusunda bilgiler verir.

Hava kalitesi indeksi, farklı hava kalitesi ile birlikte genel halk sağlığı üzerine etkisini, hava kirliliği seviyesini, sağlıksız seviyeye yükseldiğinde alınması gereken kademeleri de belirler.

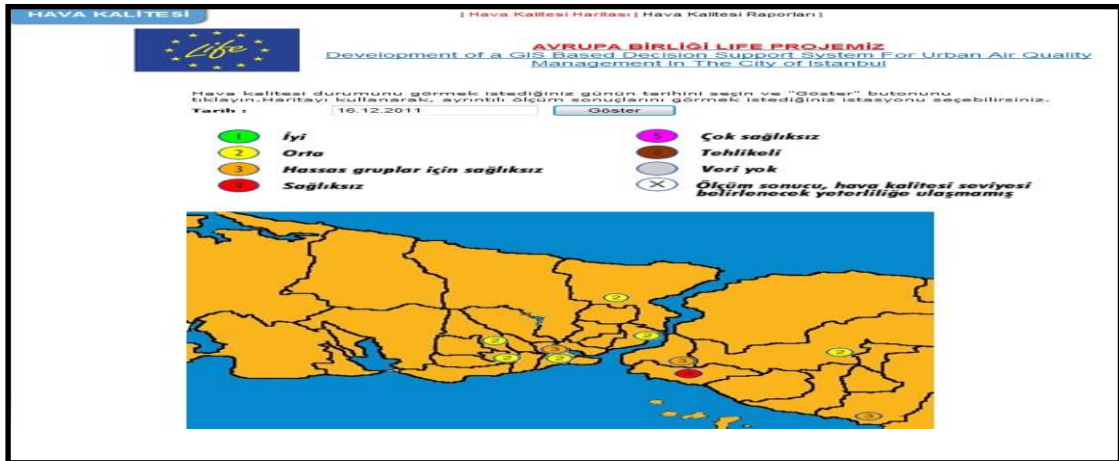
5 temel kirletici için hava kalitesi indeksi hesaplanmaktadır. Bunlar; partikül maddeler (PM10), karbon monoksit (CO), kükürt dioksit (SO₂), azot dioksit (NO₂) ve ozon (O₃) dur.

2.2.5.1 Hava kalitesi verilerini elde etme

Ülke genelinde hava kalitesi, 81 il ve birkaç ilçe merkezinde kurulan tam otomatik ölçüm istasyonları ile toplam 116 noktada izlenmektedir. Ölçüm istasyonlarından elde edilen verilere, Çevre ve Orman Bakanlığı web sitesinden (www.cevreorman.gov.tr, www.havaizleme.gov.tr) ulaşılabilir. Çevre ve Orman Bakanlığı'nın 81 ilde, Çevre ve Orman Müdürlükleri bulunmakta olup, bu Müdürlüklerden "Hava Kalitesi" konusunda bilgi alınabilir.

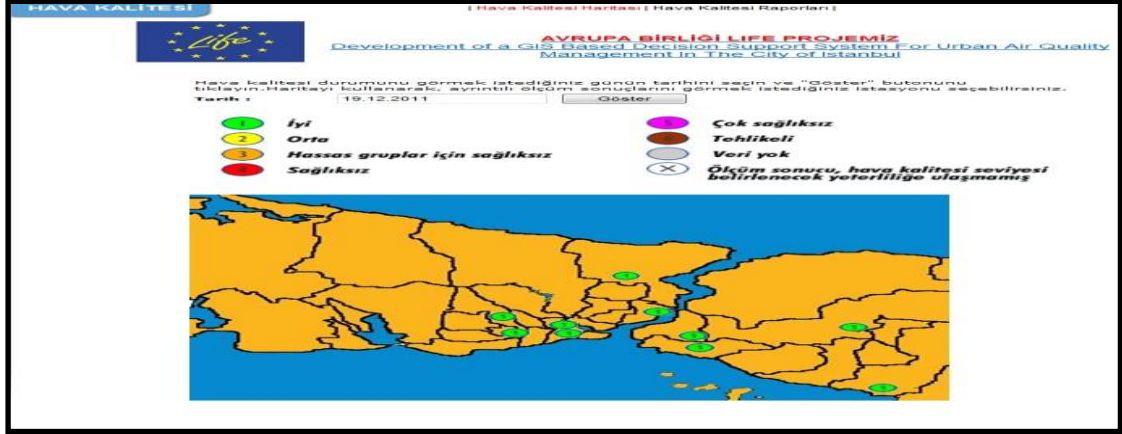
Ayrıca <http://application2.ibb.gov.tr/IBBWC/HavaKalitesi.aspx> web sitesinden Avrupa Birliği Life Projesi kapsamında oluşturulan İstanbul'un çeşitli noktalarında hava kalitesi ölçümü sonuç ve raporların günlük olarak ulaşılabilirdiği gibi, geçmişe dönük değerlerde görülebilmektedir.

Şekil 2.2: İstanbul içerisinde yapılan örnek ölçüm ve değerler



Kaynak: <http://application2.ibb.gov.tr/IBBWC/HavaKalitesi.aspx>, Erişim Tarihi: 16.12.2011

Şekil 2.3: İstanbul içerisinde yapılan örnek ölçüm ve değerler



Kaynak: <http://application2.ibb.gov.tr/IBBWC/HavaKalitesi.aspx>, Erişim Tarihi: 19.12.2011

2.2.5.2 Emisyon envanteri hazırlanması

Önemli kirletici kaynakların neden olduğu hava kirliliği emisyonlarının belirlenmesi için İstanbul metropol alanı merkez olacak şekilde bir emisyon envanteri hazırlanmıştır.

Sistematik bir şekilde, emisyon kaynakları sanayi, trafik ve konutları kapsayacak şekilde noktasal, çizgisel ve alansal kaynaklar olarak sınıflandırılmıştır. Bu kaynaklardan yayılan beş önemli kirletici [partikül madde (PM₁₀), sülfürdioksit (SO₂), karbonmonoksit (CO), organik bileşikler (NMVOCs), ve azot oksitler (NO_x)] ile çalışılmıştır.

2.2.5.3 Trafik

Motorlu taşıtlardan kaynaklanan kirlilik, çizgisel kaynak adı altında tanımlanmaktadır. Motorlu taşıtlardan kaynaklanan toplam emisyonların hesaplanması amacıyla Büyükşehir sınırları içerisinde İBB ve EMBARQ ortaklığında, bilimsel bir araştırma gerçekleştirilmiştir. Bu araştırma kapsamında yerel yönetimlerle işbirliği yapılarak üç tip veri toplanmıştır. Bu veriler daha sonra trafikten kaynaklanan emisyonların hesaplanabilmesi amacı ile işlenmiş ve analiz edilmiş; trafik modelinde kullanılacak biçimde düzenlenmiştir. Sözü edilen veriler İstanbul sokaklarındaki motorlu taşıtlar için, üç amaçla toplanmıştır.

- i. Motorlu taşıtların sayısının, yaşlarının ve çeşitlerinin belirlenmesi
- ii. Motorlu taşıtların çeşitli sınıfları için sürüş özelliklerinin belirlenmesi
- iii. Farklı taşıt sınıfları için motorların çalışmaya başlama sayı ve zamanlarının tahmini

Araçların teknolojik dağılımı iki yaklaşımın bir kombinasyonu ile geliştirilmiştir. Araçlar çeşitli sokaklarda kameraya çekilmiştir. Daha sonra, video kasetler incelenmiş ve İstanbul caddelerindeki araç sayıları ve çeşitler belirlenmiştir.

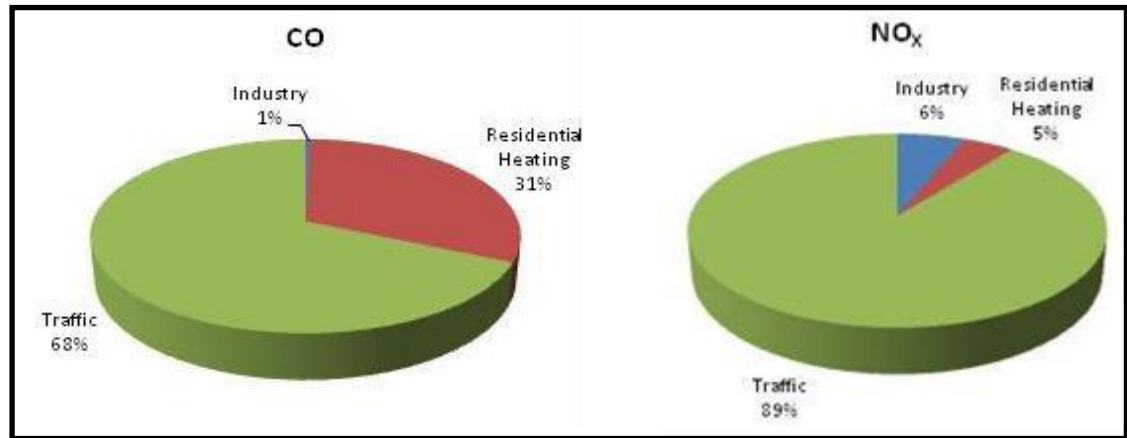
İlgili emisyon faktörleri ile birlikte endüstri, araç ve evsel ısınma faaliyetleri için tüketilen yakıt miktarları kullanılarak, toplam kirletici emisyonları her bir kaynak türü için Tablo 2.4' de özetlenmiştir.

Tablo 2.4: Emisyon değerleri

| | Emisyon (Ton/Yıl) | | | |
|---------------|-------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|
| | CO (Karbon monoksit) | (PM ₁₀) Partikül Madde | (SO ₂) Sülfür dioksit | (NO _x) Azot oksitler |
| Trafik | 270.000 | 5.200 | 1.016 | 138.000 |
| Endüstri | 1.714 | 7.630 | 58.468 | 9.394 |
| Konut Isıtma | 123.510 | 13.631 | 10.983 | 7.014 |

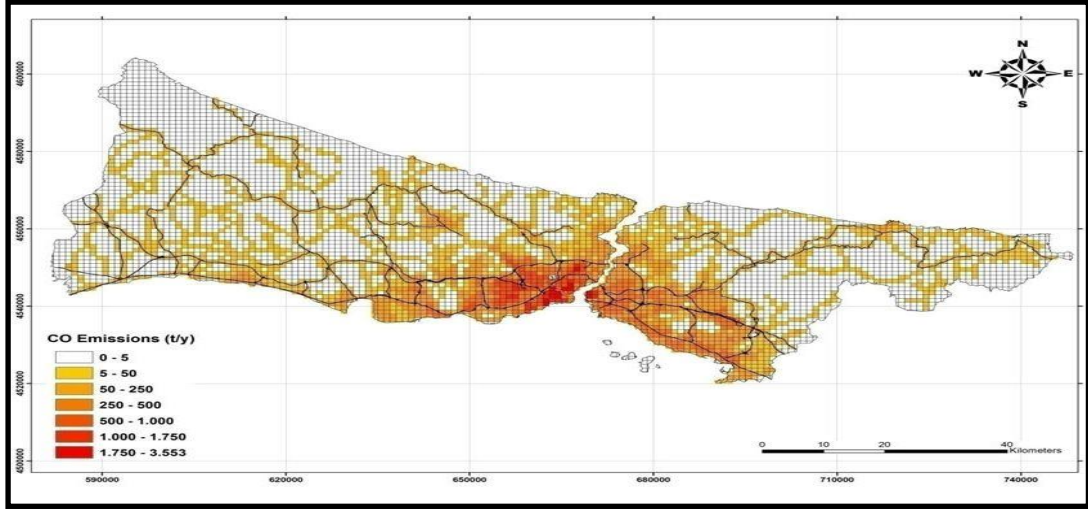
Kaynak: <http://application2.ibb.gov.tr/IBBWC/HavaKalitesi.aspx>

Şekil 2.4: Kirletici kaynakların toplam emisyon miktarına katkısı



Kaynak: <http://application2.ibb.gov.tr/IBBWC/HavaKalitesi.aspx>, Erişim Tarihi: Aralık 2011

Şekil 2.5: İstanbul genelinde CO emisyonlarının dağılımı



Kaynak: <http://application2.ibb.gov.tr/IBBWC/HavaKalitesi.aspx>, Erişim Tarihi: Aralık 2011

Trafikteki CO (Karbon monoksit) ve NO_x (Azot oksitler) emisyonları sırası ile yüzde 68 ve yüzde 89 'luk payları ile çalışma alanı içerisinde en kirletici sektördür.

2.3 ULAŞTIRMA KAYNAKLI KİRLETİCİLERİN İNCELENMESİ, İNSAN SAĞLIĞINA ve ÇEVREYE ETKİLERİ

Hava kirleticilerinin büyük bir bölümünün ulaştırma kaynaklı olduğu yukarıdaki bölümlerde geçmektedir. Bu bölümde ise ulaştırma kaynaklı kirleticilerin detaylı incelemesini ve insan/çevre sağlığına ne gibi etkileri olduğuna yer verilmiştir.

2.3.1 Yanma ve Yanma Denklemleri

Yanma, yakıcı bir madde ile yanıcı bir maddenin ısı ve ışık vererek birleşmeleri olayı şeklinde tarif edilebilmekte ve ısı vererek yanabilen maddeye de yakıt adı verilmektedir. Yakıt içerisindeki temel yanabilir elementler karbon, hidrojen ve bunların bileşikleridir. Yanma işlemi bu yanabilir elementler ve bileşikler karbondioksit ve su buharına dönüşürler. Yakıtların çoğunda az oranda kükürt bulunur. Her ne kadar kükürt, yanabilen bir madde olarak yakıtın ısı değerine belirli ölçüde katkıda bulursa da bileşiklerinin korozif karakteri dolayısıyla zararlıdır. Kazanlarda yanma için gerekli oksijenin kaynağı havadır. Hava; oksijen, azot ve az miktarda su buharı, karbondioksit,

argon ve diğer bileşenlerin karışımı olmakla beraber yanma olayında hacimsel olarak yüzde 21 oksijen, yüzde 79 azottan ibaret olarak kabul edilir.

Tablo 2.5: Troposfer tabakasındaki gazın bileşimi.

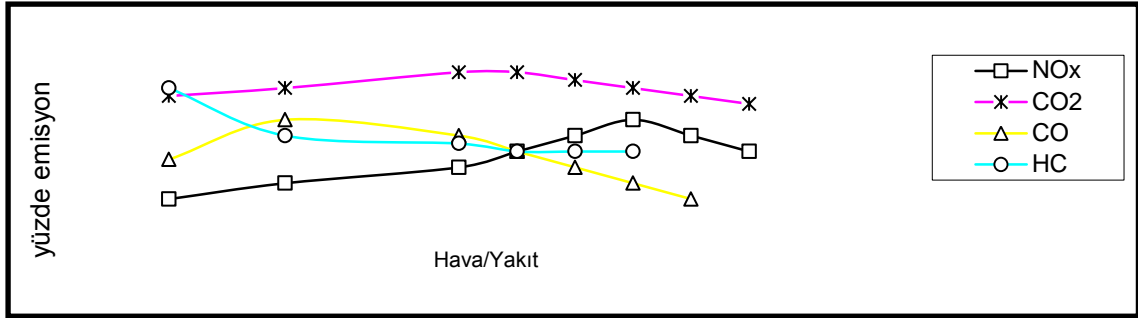
| Yakıt | Tepkime | Tepkime Isısı | |
|-------------------|--|---------------|--------------------|
| | | kJ/kg | kJ/Nm ³ |
| Karbon | $C+O_2 \longrightarrow CO_2$ | 32796 | |
| Hidrojen | $H_2+1/2 O_2 \longrightarrow H_2O$ | 141886 | 12109 |
| Kükürt | $S+ O_2 \longrightarrow SO_2$ | 9300 | |
| Metan | $CH_4+2O_2 \longrightarrow CO_2+2H_2O$ | 55590 | 37743 |
| Etan | $C_2H_6+7/2O_2 \longrightarrow 2CO_2+3H_2O$ | 51870 | 66768 |
| Propan | $C_3H_8+5O_2 \longrightarrow 3CO_2+4H_2O$ | 50000 | 96500 |
| Bütan | $C_4H_{10}+13/2O_2 \longrightarrow 4CO_2+ 5H_2O$ | 49540 | 125562 |
| Karb. Monoksit | $CO+1/2 O_2 \longrightarrow CO_2$ | 10103 | 11990 |

Kaynak: Prof. Dr. Cuma Bayat, Hava Kirlenmesi ve Kontrolü

2.3.2 Motorlarda Yanma

Motorlarda en çok kullanılan yakıt benzin ve mazottur. Petrol destilasyonundan elde edilen benzin C7-8 karbonlu hidrokarbon karışımıdır. Benzin motorlarda yakılırken 10-20 kat havayla karıştırılarak kullanılmaktadır. Aracın cinsine bağlı olarak hava/yakıt oranı değişmektedir. Hava oranı yüksek olan beslemelere zayıf karışımlar, hava oranı az olan beslemelere zengin karışımlar adı verilmektedir. Hava yakıt oranına bağlı olarak egzoz gazları bileşimi değişmektedir. Şekil 2.6'da görüleceği gibi hava/yakıt stokiometrik oranlarda verildiği zaman yanma gazlarında CO₂ maksimum, CO minimum miktarlarda oluşur. Stokiometrik oranın altındaki (zengin karışım) karışımlarda CO ve HC artışı üstündeki karışımlarda (zayıf karışım) NO_x artışı meydana gelmektedir.

Şekil 2.6: Hava/Yakıt ile yüzde emisyon arasındaki ilişki



Kaynak: Prof. Dr. Cuma Bayat, Hava Kirlenmesi ve Kontrolü

Benzinli motorlarda yanma, karbüratörde hava ve yakıtın belli oranlarda karıştırılmasıyla sağlanmaktadır. Enjeksiyon motorların geliştirilmesinden önce hava-yakıt karbüratörde ayrı ayrı emilip belli oranlarda karıştırılıp sonra patlatılarak yakılmakta idi. Enjeksiyon motorlarda ise hava-yakıt istenilen orana hazırlandıktan sonra karbüratöre püskürtülüp yakılmaktadır. Bu ikinci tip yanma daha yüksek verimde meydana gelmektedir. Motorlardaki yanma sonucu atmosfere atılan CO, CO₂, NO_x, H₂O gibi yanma ürünleri yanında, yanmadan atılan HC ve benzine ilave edilen katkı maddeleridir. (Tetraetilkurşun gibi) motorlardaki yanmaya, hava yakıt oranı yanında motorun yapısı ve kullanıcının davranışları etki etmektedir. Taşıtlardan meydana gelen emisyonlar yalnızca motorlardaki yanmadan meydana gelmez, uçucu olması nedeniyle yakıtın buharlaşması ve aşınmalardan oluşan emisyonlar da önemli yer tutmaktadır.

Tablo 2.6: Troposfer tabakasındaki gazın bileşimi

| Kaynaklar | Kirleticiler (yüzde) | | | |
|--------------|----------------------|-----------------|----|----|
| | CO | NO _x | HC | PM |
| Egzoz | 100 | 100 | 62 | 90 |
| Karbüratör | - | - | 9 | - |
| Yakıt Deposu | - | - | 9 | - |
| Krank | - | - | 20 | 10 |

Kaynak: Prof. Dr. Cuma Bayat, Hava Kirlenmesi ve Kontrolü

Dizel motorlarda hava ile yakıt yalnızca karbüratörde karıştırılarak kullanılmaktadır. Dizel yakıtlarda bir miktar Kükürt olduğundan egzoz gazında NO_x, HC, CO, PM ile birlikte SO_x de bulunur. Bu kirleticilerin oranı hava/yakıt oranı ile motor tasarımı ve kullanıcı hareketlerine bağlı olarak değişmektedir. Dizel motorlarda hava/yakıt oranı

benzinli motorlara göre daha büyüktür, yani zayıf karışimli yakıt kullanılır. Bu nedenle dizel motorlarda egzoz emisyonlarında NOx önemli yer tutar. Diğer taraftan dizel yakıtlar havada aerosol meydana getirerek duman şeklinde görünürler. Motordaki yanma oranı azaldıkça dumanın arttığı ve siyahtan maviye kadar değişik aerosoller oluşturduğu görülmektedir.

2.4 MOTORLU TAŞITLARDAN KAYNAKLANAN HAVA KİRLİLİĞİ

Nüfus artışı ve gelir düzeyinin yükselmesine paralel olarak, şehir ortamlarında sayısı hızla artan motorlu taşıtlar, atmosfere saldıkları egzoz gazları nedeniyle en önemli antropojenik kirletici kaynaklar arasında sayılmaktadır.

Ülkemizde de, motorlu taşıtlarda yakıt olarak benzin, motorin, LPG ve doğal gaz kullanılmaktadır. Bazı ülkelerde oksijenli yakıt türleri (metanol, etanol ve bu yakıtların türevleri) de kullanılmaktadır.

Nüfus artışı ve gelir düzeyinin yükselmesine paralel olarak, şehir ortamlarında sayısı hızla artan motorlu taşıtlar, atmosfere saldıkları egzoz gazları nedeniyle en önemli antropojenik kirletici kaynaklar arasında sayılmaktadır.

Ülkemizde de, motorlu taşıtlarda yakıt olarak benzin, motorin ve LPG, doğal gaz kullanılmaktadır. Bazı ülkelerde oksijenli yakıt türleri (metanol, etanol ve bu yakıtların türevleri) de kullanılmaktadır.

Motorlu taşıtlar kullandıkları yakıt türüne göre atmosfere değişik kirleticiler bırakmaktadır. Gaz kirleticiler, karbon emisyonları (CO ve CO₂), NOx ve HC'lar olurken, katı sayılabilecek yapıdaki kirleticiler ise partikül maddelerdir.

Bu kirleticiler toksik (zehirli) özelliklere sahip olup fotokimyasal smog oluşumlarına ve istenmeyen meteorolojik şartlara sebebiyet verebilmektedirler.

2.5 ÖNEMLİ HAVA KİRLETİCİLERİ

Bu bölümde de ulaşımda etkili olan hava kirleticilerinin tanımları ve etkilerine yer verilecektir.

2.5.1 Karbon ve Karbon Emisyonları

Karbon emisyonlarının en önemli iki bileşeni CO ve CO₂ gazlarıdır.

Normal koşullar altında Karbonmonoksit gazı renksiz,tatsız, kokusuz ve kimyasal olarak inert olup ortalama atmosferik ömrü tahminen 2.5 aydır. Tüm insan kaynaklı hava kirleticilerinin yanında önemli bir yer tutan CO in toplam karbon emisyonu küresel olarak 1977'de ölçülmüştür. Karbonmonoksitin yapılar, bitkiler ya da eşyalar üzerindeki etkisi çok azdır. 100 ppm konsantrasyonda bile CO'in bitkilere ve eşyalara her hangi bir zararlı etkisi tespit edilememiştir. Ancak kandaki oksijen transferinden sorumlu bileşik olan hemoglobinle kolay reaksiyon vermesi nedeni ile yüksek konsantrasyonlarda insanın aerobik metabolizmasına ciddi olarak etki yapar. Karbonmonoksit, kandaki hemoglobin (Hb) ile reaksiyona girerek onu kanın oksijen taşıma kapasitesi çok daha düşük olan karboksi hemoglobin (COHb) şekline dönüştürür. Hemoglobinin karbonmonoksit ile olan afinitesi oksijenle olandan 200 defa daha fazla olduğundan, CO'in varlığı çok düşük konsantrasyonlarda bile olsa oksijenin kan içindeki iletimi önemli bir şekilde azalır. CO'e maruz bırakılan insanların sağlıklarına olan etkileri Tablo 2.7' de verilmiştir. Tablo 2.7' den görüleceği gibi kandaki COHb seviyesi arttıkça etkileri çok daha önem kazanmaktadır.

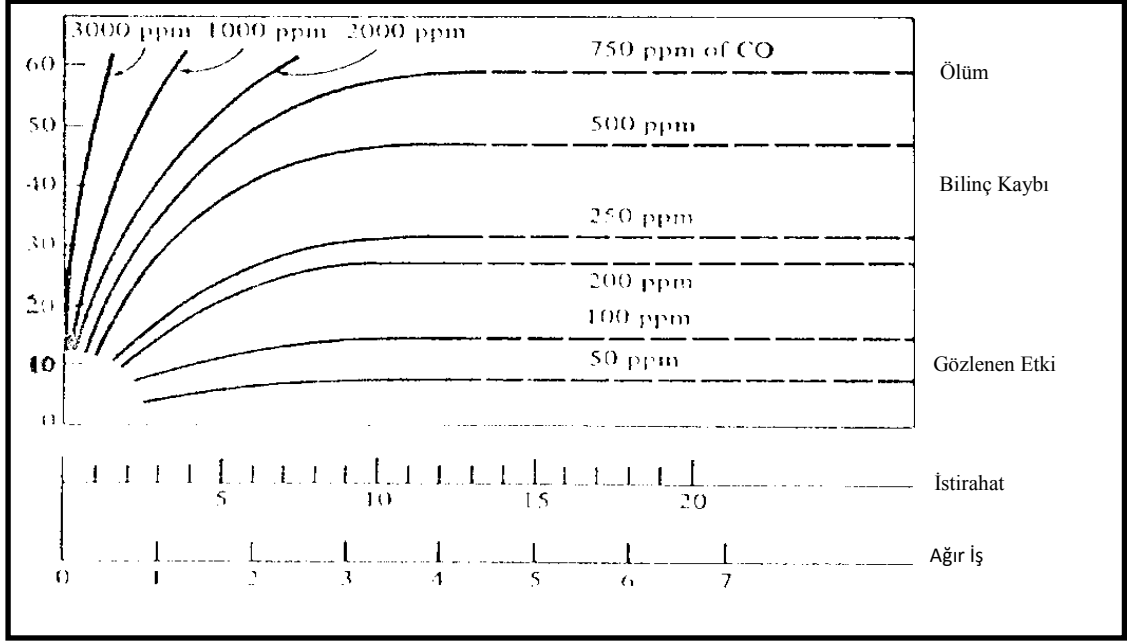
Tablo 2.7: Kandaki COHb düzeyinin sağlığa olan etkileri

| COHb seviyesi yüzde | Gösterdiği etki |
|----------------------------|---|
| 1.0 den az . | Görülen bir etki yoktur |
| 1.0 ile 2.0 | Davranış performansı üzerinde bazı belirtili etki |
| 2.0 ile 5.0 | Merkezi sinir sistemi üzerinde etki; zaman aralıklarını ayırt etme yeteneğinde, net görme, muhakeme ve belli başlı diğer istem dışı kendiliğinden işleyen (terleme gibi) fonksiyonlarda bozulma |
| 5.0 dan büyük | Kalp ve akciğerle ilgili fonksiyonlarda değişme |
| 10 ile 80.0 | Baş ağrıları, yorgunluk, uyuşukluk, koma, solunum zorlukları, ölüm |

Kaynak: Prof. Dr. Cuma Bayat, Hava Kirlenmesi ve Kontrolü

Tablo 2.7’ de gösterildiği gibi vücut tarafından CO' in absorbe edilmesi, CO konsantrasyonu, maruz bırakılma süresi ve yürütülen aktivite ile artar. Karbonmonoksit konsantrasyonu, trafiğin yoğun olduğu ve yolları tıkanık olan kentlerde özellikle yüksektir. Örneğin New York City'de sadece otomobil trafiği nedeniyle günde ortalama 3733 ton CO ve Los Angeles trafiği ise, günde 9090 ton CO üretmektedir. Küçük şehirlerin de trafik nedeni ile CO problemleri olmaktadır.

Şekil 2.7: Hava/Yakıt ile yüzde emisyon arasındaki ilişki



Kaynak: Prof. Dr. Cuma Bayat, Hava Kirlenmesi ve Kontrolü

Kandaki CO konsantrasyonu teneffüs edilen havadaki CO konsantrasyonuna bağlıdır. CO soluyan bir insanın kanında meydana gelen COHb konsantrasyonu; kanda,

$$\text{Yüzde COHb} = 0.16 \times \text{Havadaki CO kons.} + 0.5$$

eşitliği ile bulunabilir. Bu denklemin geçerli olabilmesi için insanın zehirlenmeden durabileceği CO konsantrasyonu olan 100 ppm altında hava ortamı olmalıdır. COHb'nin kanda yarılanma süresi 5 saattir. Yukarıdaki denklem uygulandığında 10 ppm CO bulunan bir havayı soluyan bir insanın kanında COHb yüzde 2.1'e ulaşırken, 50 ppm soluyanda ise yüzde 11.7'ye ulaşmaktadır. 750 ppm CO'e maruz kalan bir insan 5 dakikada, 2000 ppm CO'e maruz kalan bir insan 1 dakikada ölmektedir.

İstanbul'da yapılan araştırmalarda bazı cadde kavşak noktalarında CO konsantrasyonunun bir saatlik sürede 48 mg/m³'e (55 ppm) kadar çıkabileceği görülmüştür. Böyle bir yerde bir saat trafiğe takılan bir kişinin kanındaki COHb seviyesinin yüzde 2.3'e ulaşacağı hesaplanmaktadır. Bu temas, merkezi sinir sistemine etki ederek insanın zaman aralıklarını ve ışık parlaklığını ayırt edebilme yeteneğini bozar.

Karbonmonoksitin kaynakları doğal ve yapay olarak iki grupta toplanır. Her yıl bitkilerin çürümesi sonucu meydana gelen metan gazının oksidasyonundan 3.5 trilyon ton CO oluştuğu hesaplanmaktadır. Metanın doğal şartlarda oksidasyonu en büyük karbonmonoksit kaynağıdır. Bir yılda atmosfere karışan tüm CO'nin yüzde 75'i metanın oksidasyonu sonucu meydana gelmektedir. İnsan aktiviteleri sonucunda oluşan CO toplamın ancak yüzde 10'u kadardır. Her yıl atmosfere yayılan CO miktarı kaynaklarına göre Tablo 2.8' de görülmektedir.

Tablo 2.8: Atmosfere yayılan CO kaynak ve miktarları.

| Kaynak | Miktar (milyon ton/yıl) |
|------------------------|--------------------------------|
| Metan Oksidasyonu | 3.500 |
| Deniz ve Göller | 170 |
| Ormanlardan | 100 |
| İnsan Faaliyetlerinden | 400 |
| Diğer Doğal Kaynaklar | 300 |

Kaynak: Prof. Dr. Cuma Bayat, Hava Kirlenmesi ve Kontrolü

EPA'nın yapmış olduğu bir araştırma sonucu A.B.D.'de CO kaynaklarının yıllar itibarı ile durumu Tablo 2.9' da verilmiştir.

Tablo 2.9: A.B.D. CO kaynak ve miktarları.

| Kaynak | 1968 | 1970 | 1975 | 1977 | 1980 | 2010 |
|---|--------------|--------------|-------------|--------------|-------------|-------------|
| Ulaştırma | <u>102.5</u> | <u>100.6</u> | <u>77.2</u> | <u>85.7</u> | <u>69.1</u> | <u>18.2</u> |
| Yerleşik kaynaklarda sıvı yakıt yakılması (güç ve ısınma) | 1.8 | 0.7 | 1.5 | 1.2 | 2.1 | 6.2 |
| Endüstriyel süreçler | 7.7 | 10.3 | 7.7 | 8.3 | 5.8 | 2.1 |
| Katı atık düzenlenmesi ve diğerleri | 24.8 | 23.3 | 9.8 | 7.5 | 8.4 | 7.8 |
| Toplam | 136.8 | 134.8 | 96.2 | 102.7 | 85.4 | 34.3 |

Kaynak: Prof. Dr. Cuma Bayat, Hava Kirlenmesi ve Kontrolü, EPA National Emission Estimates

Ağırlık bazında, ulaştırma faaliyetlerinin ürettiği CO'in toplam emisyonu, tüm kaynaklardan yayılan toplam CO'in 1968, 1970, 1975, 1977, 1980 ve 2010 yıllarında

yaklaşık yüzde 78.3' üdür. 1980 de insan faaliyetleri sonucu oluşan karbonmonoksitin ikinci büyük kaynağı katı atık düzenlemesi ve diğer nedenlerdir. Bunlar arasına, orman yangınları, bina yangınları, kömür artıkları ve tarımsal kökenli yakma faaliyetleri girmektedir. ABD'deki kütle bazında karbonmonoksit emisyonu 1968'deki 137 milyon tondan 1980 de 85 milyon tona düşmüştür. Bu azalma esas olarak 1968'de kullanılmaya başlayan kirlilik kontrol cihazları nedeniyledir. Atmosferdeki ortalama CO konsantrasyonu 0.1-0.5 ppm dir. 2010 yılında bu değerlerin azaldığı görülmektedir.

Her yıl atmosfere yayılan CO miktarı göz önüne alındığında, atmosferdeki CO konsantrasyonunun her yıl yüzde 50 oranında artması beklenir. Aksine, bazı yıllarda azalmalar da tespit edilmektedir. Bu olay aşağıdaki gibi açıklanabilir;

İlk akla gelen atmosferdeki karbonmonoksitin $CO + \frac{1}{2} O_2 + \text{ışık} \longrightarrow CO_2$ şeklinde dönüşüm reaksiyonudur. Ancak, atmosferik şartlarda bu reaksiyonun atmosfere karışan karbonmonoksitin tümünü dönüştürecek hızda olmadığı tespit edilmiştir. Yapılan hesaplamalarda toplam karbonmonoksitin ancak yüzde 0.1'i CO_2 'ye dönüşebilmektedir. Biyosferde su yatakları, bitki örtüleri, insan aktiviteleri CO üreten bölgeler olduğuna göre, geriye toprağın CO ile ilişkisi kalır. Son yıllarda yapılan araştırmalarda tropikal toprakların en çok CO yakalayıcısı olduğunu ortaya koymuştur. Tropikal bir toprağın saatte 7-10 mg/m² CO absorpladığı gözlenmiştir. Topraktaki biyolojik aktivite azaldıkça, CO üretme hızı azalmakta, buna karşılık CO absorplama hızı artmaktadır. ABD'de yapılan bir araştırmada ABD toprakları yılda ortalama 500 milyon ton CO yakalamaktadır.

CO insan sağlığı ve çevreye etkilerinin belirlenmesi adına çeşitli analizler standartlar ve bu belirlenen değerlerin kontrolü sağlanmaktadır.

CO'in ani ve sürekli örnekleri için çok çeşitli belirleme yöntemleri bulunmaktadır. Bunlar yerçekimi ivmesi, kimyasal, elektrokimyasal ve renk prosesleridir. CO' in dış hava kalite standartlarının gözlemleri için EPA tarafından belirlenmiş referans yöntemleri, yayılmayan infrared (nondispersive infrared) (NDIR), gaz kromatografisi, katalitik değiştirme ve alev iyonizasyon yöntemleriyle CO saptanmasıdır.

26 Kasım 1986 tarihinde çıkan 19269 sayılı Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliği "Karbonmonoksit için Hava Kalitesi Kriterleri" ile CO in değişik kirletici konsantrasyonlarında ve temas sürelerinde insan ve çevre üzerine olan etkilerini tanımlamıştır. Bu kriterler esas alınıp buna birde emniyet payı eklenerek düzenlenen CO için hava kalite standartları 8 saatlik maksimum ortalama olarak 10 µg/m³ (9 ppm) ve 1 saatlik ortalaması ise 40 µg/m³ (35 ppm) olarak belirlenmiştir. Bu ortalamalardan hiç birinin yılda bir defadan daha fazla aşılmasına müsaade edilmemektedir. Bu sayısal değerler CO için birincil ve ikincil standartları ortaya koymaktadır.

Kısa zaman sürelerinde acil durumlar CO seviyelerini öldürücü noktalara yükseltirler. Bu durumları önleyebilmek için özel koşullar geliştirilmiştir. Birinci basamak kontrol alarmı 8 saatlik CO konsantrasyon ortalamasının 34 µg/m³ (30 ppm) e ulaşması ile başlar. CO seviyesinin 8 saatlik ortalaması 46 µg/m³ (40 ppm) e ulaştığında endüstriyel tesislerin kapatılması, trafik yollarının kapatılması gibi zorunlu kontrol düzenlemelerine gidilir. CO için kullanılan dört temel termik kontrol yöntemi adsorpsiyon, absorpsiyon, kondenzasyon ve yakma olup bu yöntemler hemen hemen tüm karbonmonoksit emisyonlarını kontrol edebilirler. CO in kontrolü dış havada seyreltme yolu ile kontrol olmayıp doğrudan kaynağında yapılması gereken bir kontroldür. 1968-1985 yılları arasında ABD’de yapılan bir araştırmanın sonuçları Tablo 2.10’ da ve 2.11’ de verilmiştir.

Tablo 2.10: Otomobil ve küçük kamyonlar egzoz emisyon standartları

| Yıl | Yeni Otomobiller İçin | | | Ön Kontrol Araçlarından | | |
|-----------|-----------------------|-----------------|------------|-------------------------|-----------------|------------|
| | Hidro Karbon | Karbon Monoksit | Azot Oksit | Hidro Karbon | Karbon Monoksit | Azot Oksit |
| 1968-1971 | 4.1 | 34.0 | - | 50 | 62 | - |
| 1972-1974 | 3.0 | 28.0 | 3.1 | 63 | 69 | 9 |
| 1978-1979 | 1.5 | 15.0 | 3.1 | 82 | 83 | 9 |
| 1980-1985 | 0.41 | 7.0 | 2.0 | 96 | 92 | 41 |

Kaynak: Prof. Dr. Cuma Bayat, Hava Kirlenmesi ve Kontrolü

Tablo 2.11: NA belgelenmemiş/küçük kamyonlar

| Yıl | Yeni Küçük Kamyonlar İçin Standartlar g/mi | | | Ön Kontrol Araçlarından Standartlarında yüzde Olarak İndirimi | | |
|------------|--|-----------------|------------|---|-----------------|------------|
| | Hidro Karbon | Karbon Monoksit | Azot Oksit | Hidro Karbon | Karbon Monoksit | Azot Oksit |
| 1968-1971 | 4.1 | 34.0 | NA* | 50 | 62 | NA* |
| 1972-1974 | 3.0 | 28.0 | 3.1 | 63 | 69 | 9 |
| 1975-1975 | 2.0 | 20.0 | 3.1 | 76 | 78 | 9 |
| 1979-1983 | 1.7 | 18.0 | 2.3 | 79 | 80 | 32 |
| 1984 -1985 | 0.8 | 10.0 | 2.3 | 90 | 89 | 32 |

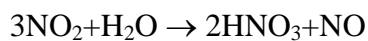
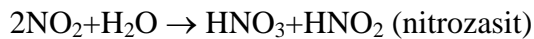
Kaynak: Prof. Dr. Cuma Bayat, Hava Kirlenmesi ve Kontrolü

Tablo 2.10' dan ve 2.11' den anlaşılacağı gibi kirletici emisyonları 3'er yıllık aralarla uygulanan önlemlerle emisyon yüzde 90'lara varan ölçülerde azaltılmıştır. Çevre Bakanlığı'nın aldığı kararla Türkiye genelinde 1995-2000 yılları arasında kademeli olarak otomobillerden çıkan emisyonlar kontrol altına alınması programlanmıştır.

AB Sınır değerleri 8- h -değer: 10 mg/m³ CO iken Türkiye sınır değerleri yıllık ortalama: 10 mg/m³ CO 24- h -değer: 22 mg/m³ CO gözlemlenmiştir.

2.5.2 Azot Emisyonları

Atmosferin bileşiminde doğal olarak ve yüzde 79 oranında bulunan azot (N), canlı yaşamı için herhangi bir zararı olmadığı gibi, ekosistemde bitkiler için önemli bir yaşam kaynağıdır. Hava kirliliği bakımından azot oksit (NO_x) türleri, NO₂ ve NO gazlarıdır. Azot oksitleri (NO_x), Azot ve Oksijenin oluşturabileceği bir çok bileşikten meydana gelmektedir. Bunlar azotmonoksit (NO), azotdioksit (NO₂), diazotmonoksit (N₂O), diazot trioksit (N₂O₃), diazot tetraoksit (N₂O₄) ve diazot pentoksit (N₂O₅) tir. Hava kirliliğinde en fazla üzerinde durulanlar azotmonoksit (NO) ve azotdioksit (NO₂) tir. Havadan ağır olan azotdioksit (NO₂) aşağıdaki eşitlikte gösterildiği gibi nitrat asidi ve diğer nitroz asitleri ya da azot oksidi yapacak şekilde suda çok miktarda çözünür.



Nitrik ve nitrozasitlerin her ikisi de yağmurla havadan sulara geçer ya da atmosferde amonyak ile (NH_3) birleşerek amonyum nitrat (NH_4NO_3) oluşturup, yer yüzüne iner. Bu durumda NO_2 bitkiler için besin maddesidir. Ultraviyole sınırları içinde enerjiyi çok iyi absorbe eder. NO_2 Ozon (O_3) gibi ikinci derece hava kirlilikleri üzerinde önemli bir rol oynar. Azotmonoksit (NO) atmosfere NO_2 den çok daha fazla miktarlarda yayılır. NOx 'ler asit yağmurlarının oluşmasında ve fotokimyasal smog olayında önemli rol oynamaktadır. Ayrıca benzin ve öteki yakıtların yanması sonucu meydana gelen NO_2 gazları, güneş ışığının etkisiyle ozon (O_3) oluşumuna neden olurlar ve bu olay fotokimyasal smog olarak adlandırılmaktadır.

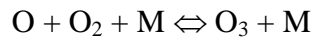
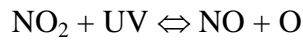
Azotun bazı oksitleri doğal olarak meydana gelirken bazıları ise insan faaliyetleri sonucu oluşur. Atmosferin üst tabakalarında solar radyasyon yardımıyla üretilen ufak konsantrasyonlardaki NOx aşağı doğru difüzyonla atmosferin alt tabakalarına erişir. NOx in az bir miktarı da şimşekler ve orman yangınları sırasında oluşur. Organik maddelerin bakteriyel parçalanması da atmosfere NOx lerin bırakılmasına neden olur. Doğal olarak meydana gelen NOx , insan faaliyetleri sonucu oluşan NOx 'in yaklaşık 10 katıdır. İnsanın katkısıyla oluşan NOx in temel çıkış noktası yerleşik kaynaklarda sıvı yakıtın yakılması ve ulaşımıdır. İnsan faaliyetleri sonucu atmosfere yayılan NOx in tahmini miktarları Tablo 2.12' de görülmektedir. Ulaşım nedeniyle ilk yıldaki NOx emisyonundaki artış (7.5 milyon ton'dan 10.1 milyon ton'a) yalnızca artan trafik araçları ve trafiğe açılan yollar nedeniyle değildir. CO ve hidrokarbonların kontrolü için daha önce kullanılan cihazlar NOx emisyonlarında önemli bir artma meydana getirdiğinden ve karbonmonoksit (CO) ile hidrokarbonlar (HC)ın çok daha sıkı bir şekilde kontrol edilmesinden bu artış meydana gelmiştir. Elektrik hizmet kurumlarından meydana gelen NOx emisyonlarındaki artış ise elektrik ihtiyacının artması nedeniyledir. 1968 - 1980 yıllarında ABD'de yapılan NOx kaynak ve miktar araştırmalarının sonuçları Tablo 2.12' de verilmiştir.

Tablo 2.12: Atmosfere yayılan CO kaynak ve miktarları

| Kaynak | 1968 | 1970 | 1975 | 1977 | 1980 |
|---|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Ulaştırma | 7.5 | 10.1 | 9.2 | 9.2 | 9.1 |
| Yerleşik kaynaklardaki sıvı yakıt yakılması (güç ve ısıtma) | 9.2 | 8.6 | 11.8 | 13.0 | 10.6 |
| Endüstriyel süreçler | 0.2 | 0.2 | - | 0.7 | 0.7 |
| Katı atık düzenlemeleri ve diğerleri | 2.1 | 0.7 | - | - | 0.3 |
| Toplam | 19.0 | 19.6 | 21.0 | 23.1 | 20.7 |

Kaynak: Prof. Dr. Cuma Bayat, Hava Kirlenmesi ve Kontrolü

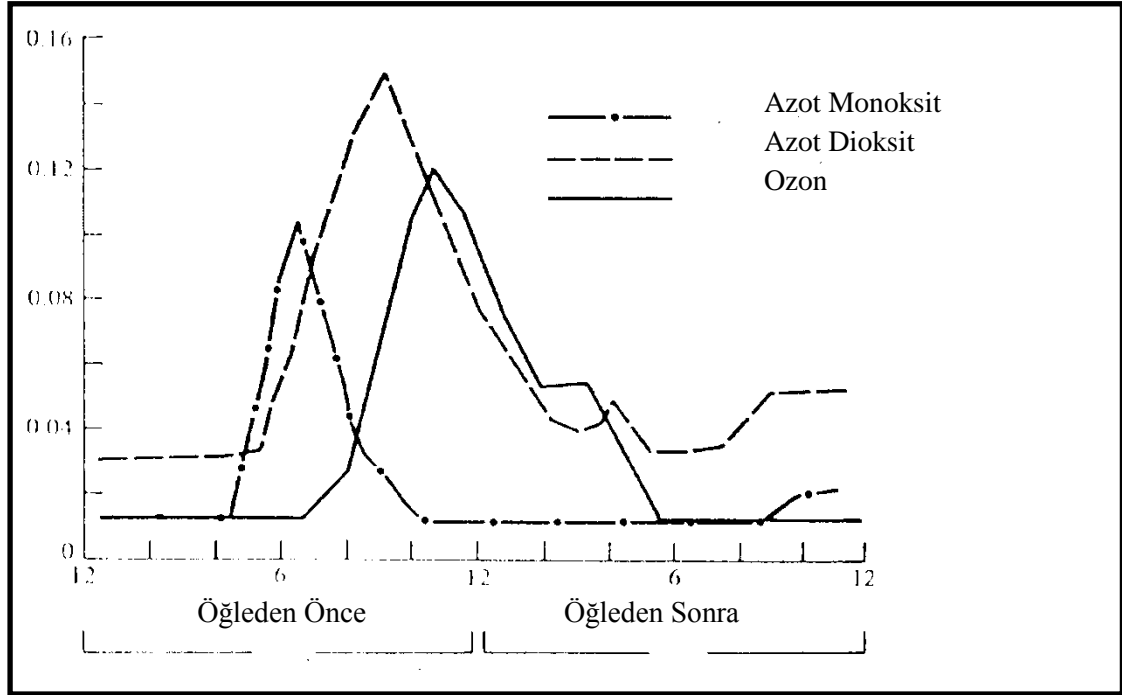
Yoğun yerleşim yerleri dışında kalan kırsal bölgelerdeki tipik değerler NO için 3.7 ila 5.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (2 ila 3 ppb) ve NO₂ için 7.5 ila 9.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (4 ila 5 ppb) arasındadır. Ancak yerleşim alanlarındaki NO_x konsantrasyonları kırsal alanlara göre 1000 defa daha büyük olabilir. NO ve NO₂ nin her ikisi de solar radyasyona, meteorolojik olaylara ve trafik hacmine bağlı olarak gün boyunca belirli değişik konsantrasyonlar göstermektedir. NO, NO₂ ve O₃ ün 1965 de Los Angeles'ta gösterdiği günlük konsantrasyon değişiklikleri Şekil 2.8'de verilmiştir. Günün ışımasından önce NO ve NO₂ oldukça düşük ve değişmez bir konsantrasyon gösterir. Sabah aktivitelerinin başlaması ile birlikte (özellikle otomobillerin kullanılması ile) NO konsantrasyonları hızla artar. Daha sonra artan solar aktivite ile aşağıdaki reaksiyonlar oluşmaya başlar.



NO₂ konsantrasyonları yükselir ve bir pike ulaşır. Fotokimyasal oksidanların akümülyasyona başlaması ile azalmaya başlar. Fotokimyasal oksidanlar (temel olarak O₃) öğle sıralarında bir pike erişirler Akümüle olmuş NO ve O₃ atmosferde kolayca reaksiyona girerek tamamen O₂ ve NO₂ ye dönüşür. Her ne kadar öğleden sonraları solar radyasyon oksidanları üretmek için yeterli değilse de daha önce üretilmiş olan O₃

akşam trafiği ile yayılan NO ile reaksiyona girerek bu sıralarda NO₂ miktarında az da olsa bir artma meydana getirir.

Şekil 2.8: Los Angeles 19 Temmuz 1965 NO, NO₂ ve O₃ günlük değişimler



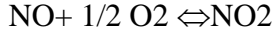
Kaynak: Prof. Dr. Cuma Bayat, Hava Kirlenmesi ve Kontrolü

Maksimum NO konsantrasyonları çoğunlukla sonbaharın sonlarında ve kış aylarında oluşur. Bu aylar ısınma enerjisinin maksimum ihtiyaç duyulduğu, rüzgar hızlarının düşük olduğu ve solar radyasyonların en az olduğu aylar olarak tanımlanır. NO₂, NO gibi mevsimsel değişiklikler göstermez.

Sağlıklı insanların çok yüksek NO₂ konsantrasyonlarına kısa süre dahi maruz kalmaları şiddetli akciğer tahribatlarına yol açabilir. Kronik akciğer rahatsızlığı olan kişilerin ise bu konsantrasyonlara maruz kalmaları akciğerde kısa vadede fonksiyon bozukluklarına yol açabilir. NO₂ konsantrasyonlarına uzun süre maruz kalınması durumunda ise buna bağlı olarak solunum yolu rahatsızlıklarının ciddi oranda arttığı gözlenmektedir.

Azotmonoksit (NO) oldukça inert bir gazdır ve yalnızca orta derecede toksiktir. Her ne kadar NO, CO gibi hemoglobinle birleşerek kanın oksijen taşıma kapasitesini azaltırsa da, dış havada genel olarak NO konsantrasyonu 1.22 mg/m³ (1 ppm) den küçük

olduğundan, NO sağlığa zararlı olarak düşünülemez. Ancak NO kolayca oksitlenek biyolojik açıdan önemi olan NO₂ ye dönüşür.



NO₂ akciğerlerin alveollerini tahriş eder; insan solunum sisteminin azotdioksitle kısa süreli temasına karşı davranışı Tablo 2.13' te verilmiştir. Hayvanlar üzerinde yapılan kısa süreli çalışmalar, 2 saat süre ile 6.6 mg/m³ (3.5 ppm) SO₂ tesirine bırakıldığında solunum hastalıklarına olan direncin azaldığını göstermektedir. Gönüllüler üzerinde yapılan deneylerde 9.4 mg/m³ (5 ppm) lik NO₂ ile 10 dakikalık bir etkileme, normal insanlar üzerinde gerçek fakat geçici etkiler göstermiştir. Sonuçta akciğerlerdeki hava hareketlerin engellendiği saptanmıştır. Konsantrasyonun 47 ile 141 mg/m³ (25 ila 75 ppm) olduğu hallerde zatürree durumları ortaya çıkmıştır.

Tablo 2.13: Atmosfere yayılan CO kaynak ve miktarları.

| Etki | NO ₂ konsantrasyonu | | Etki süresi |
|--|--------------------------------|------------|---------------|
| | mg/m ³ | PPM | |
| Koku eşğinde | 0.23 | 0.12 | Derhal |
| Eşik değeri Koyuluk adaptasyonu için | 0.14 | 0.075 | Belgelenmemiş |
| | 0.50 | 0.26 | Belgelenmemiş |
| Artan Solunum Yolu Direnci | 1.3-3.8 | 0.7-20 | 20 dak.* |
| | 30-3.8 | 1.6-2.0 | 15 dak. |
| | 2.8 | 1.5 | 45 dak.** |
| | 3.8 | 2.0 | 45 dak*** |
| | 5.6 | 3.0 | 45 dak.+ |
| | 7.5 - 9.4 | 4.0 - 5.0 | 40 dak.++ |
| | 9.4 | 5.0 | 15 dak. |
| | 11.3 - 75.2 | 6.0 - 40.0 | 5 dak. |
| Akciğerin difüzyon kapasitesinde azalma | 7.5 - 9.4 | 4.0 - 5.0 | 15 dak. |

Kaynak: Prof. Dr. Cuma Bayat, Hava Kirlenmesi ve Kontrolü

- i. Temas 10 dakikalıktır, temasın bitiminden 10 dakika sonra akış direncine etki gözlenir.
- ii. Bu konsantrasyonda kronik solunum hastalıkları meydana gelir.
- iii. Kronik solunum hastalıkları oluşur.
- iv. Etkileşim oluşur.
- v. Temas 10 dakikaya uzadığında, 30 dakika sonra en büyük etki akış direncindedir.

Azotoksitin 285 mg/m³ (150 ppm) ve daha fazla miktarları insanlar için öldürücüdür. A.B.D.'de yapılan çalışmalar sonucu 6 aylık periyotta 24 saatlik NO₂ konsantrasyonu ortalaması 0.11 mg/m³ (0.06 ppm) olan şehirlerde solunum hastalıklarında aynı şekilde artmaların olması beklenmelidir. Ancak değişik meteorolojik ve diğer faktörler bu olasılıkları azaltmaktadır.

NO'nun laboratuvar şartlarında bitkiler üzerinde her hangi bir zararı gözlenmemiştir. Buna karşın, NO₂ ve primer kirleticiler bitkiler üzerinde bazı hasarlar yaratabilir. PAN ve O₃ gibi ikincil derece kirleticiler NO_x içeren fotokimyasal reaksiyonlar sonucu muhtemelen bitkiler üzerinde çeşitli zararlar yaratırlar. NO₂ nin yüksek dozajlarda etki etmesi tekstil boyalarını soldurur, metalleri okside eder, beyaz renkli fabrika boyalarını sarartır. NO₂ için şu andaki primer ve sekonder standartlar 100 µg/m³ (0.5 ppm) olup bu değer bitkilere etki edecek eşik değerinin de oldukça altındadır. Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliğinde dış hava NO₂ konsantrasyonu Tablo 2.14' te verilmiştir.

Tablo 2.14: Alıcı ortam NO_x değerleri

| Kirletici | UVD (Bir Yıl) µg/m ³ | KVD (24 saat) µg/m ³ | Saatlik µg/m ³ |
|-----------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------|
| NO ₂ | 100* | 300* | -* |
| NO | 200 | 600 | -* |

Kaynak: Prof. Dr. Cuma Bayat, Hava Kirlenmesi ve Kontrolü

AB sınır değerleri incelendiğinde 1 saatlik değer : 200 µg/m³, tür. Sınır değerinin aşılmasına müsaade edilen gün : 18 gün (yılıda) yıllık ortalama değer : 40 µg/m³ olurken Türkiye'de bu değerler yıllık ortalama değer 84 µg/m³ 24 saatlik değer 300 µg/m³ tür.

Tablo 2.15: NO₂ için belirgin değerler.

| Seviye | Konsantrasyonlar | | | |
|--------------------------------|--------------------------|-----|--------------------------|------|
| | 1 saatlik ort. | | 24 saatlik ort. | |
| | $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | ppm | $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | ppm |
| Tetikte | 1130 | 0.6 | 282 | 0.15 |
| Dikkat edilmesi gereken haller | 2260 | 1.2 | 565 | 0.3 |
| Zorunlu ve acil haller | 3000 | 1.6 | 750 | 0.4 |

Kaynak: Prof. Dr. Cuma Bayat, Hava Kirlenmesi ve Kontrolü

2.5.3 Hidrokarbonlar

Yalnız karbon ve hidrojen içeren organik bileşikler hidrokarbonlar olarak adlandırılırlar. Hidrokarbonların kendileri zararlı değildir. Ancak, fotokimyasal reaksiyonlarla kirlenici ve zehirli maddelere dönüşerek smog denilen olayı meydana getirirler. Hidrokarbonların karbon sayısı 1-4 arasında olanlar normal şartlarda gaz, daha yukarı olanlar ise sıvıdır. Atmosfer kirlenmesine, gaz halinde olanlar ile buhar basıncı düşük olup, kolay buharlaşabilen hidrokarbonlar sebep olmaktadır.

Benzin ve diğer petrol ürünlerinin en önemli kimyasalları olan hidrokarbonlar, alifatik ve aromatik olmak üzere iki temel sınıfa ayrılırlar.

Alifatik hidrokarbonlar düz zincirli doymuş hidrokarbonlardır. Alifatik hidrokarbon grubu, alkanlar, alkenler ve alkinleri içermektedir. Alkanlar; doymuş hidrokarbonlar (örneğin; metan) olup, oldukça inert ve genel olarak atmosferik fotokimyasal reaksiyonlarda aktif değildirler. Bu gruptaki hidrokarbonlar alkanlar, alkenler ve alkinlerdir. Aromatik hidrokarbonlar ise doymamış halkalı bileşiklerden oluşur. Aromatik hidrokarbonlar biyokimyasal ve biyolojik olarak aktiftirler ve bazıları oldukça kanserojeniktirler. Tüm aromatikler ya benzenden türetilmişlerdir ya da benzenle bağlantıları vardır. Her ne kadar aromatikler doymamış alifatik hidrokarbonların reaksiyona girme özelliklerine uymasalar da aromatik hidrokarbonların polisiklik gurupları bu bileşiklerin çoğunun kanserojenim özellik göstermesinden dolayı her türlü hava kirliliği çalışmalarının en önemli kaygı konusunu oluşturmaktadır. Yerleşim

bölgelerindeki akciğer kanserindeki artışın en önemli sebebinin otomotiv egzoz emisyonunun polisiklik hidrokarbonları olduğu ileri sürülmektedir. Test hayvanlarında yapılan araştırmalardan en kanserojenim hidrokarbonun Benzol(a) piren olduğu görülmüştür. Benzen bileşiklerinin endüstriyel atıklardaki eşik değeri 80 mg/m³ den 30 mg/m³ (25 ppm den 10 ppm)'e gitmektedir. Daha ilerde, bu değerin 3 mg/m³ e indirilmesi amaçlanmaktadır.

Atmosferde bulunan hidrokarbonların kaynakları hem doğal hem de insan faaliyetleri nedeniyle oluşmaktadır. Atmosferdeki metanın, dünya genelindeki doğal değeri 784 ile 980 µg/m³ (1.2 ile 1.5 ppm) arasındadır. Atmosferde bulunan hidrokarbonların büyük miktarı doğal kaynaklıdır. Bu kaynakların en önemlisi mikrobiyal bozunmalarda oluşan biyolojik reaksiyonlardır. Hidrokarbonların az bir kısmı jeotermal alanlardan, kömür yataklarından, petrol tesislerindeki doğal gazlardan ve doğal yangınlardan kaynaklanmaktadır. Atmosferde bulunan doğal hidrokarbonlardan uçucu terpenler ve izopinenler gibi çok daha kompleks olanları bitkiler ve ağaçlar tarafından üretilir. Terpen molekülleri aerosol özelliğe sahiptir. Ormanlık alan üzerinde havada aerosol oluşturarak "mavi pus" adı verilen kirlenmeye sebep olurlar. Doğal hidrokarbonların konsantrasyonu 1.3 ile 6.5 µg/m³ (0.002 ile 0.01 ppm) arasında değişir. Atmosferde en çok bulunan hidrokarbon metandır. Doğal olarak meydana gelen biyolojik bozunmalardan yılda yaklaşık 250 milyon ton metanın atmosfere yayıldığı hesaplanmaktadır. Bu miktar, insanlar tarafından üretilip atmosfere atılan hidrokarbonlardan çok daha büyüktür. ABD'de yapılan bir araştırmada elde edilen hidrokarbonların yapay kaynakları ve bu hidrokarbonların atmosfere yayılan miktarları Tablo 2.16' da görülmektedir.

Tablo 2.16: Hidrokarbon emisyonlarının kaynak ve miktarları (mil-ton/yıl)

| Kaynak | 1968 | 1970 | 1975 | 1977 | 1980 | 2010 |
|---|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Ulaştırma | 16.6 | 16.8 | 10.4 | 11.5 | 7.8 | 5.6 |
| Sabit kaynaklardaki sıvı yakıt yanması (enerji ve ısınma) | 0.7 | 0.5 | 1.3 | 1.5 | 0.2 | 0.6 |
| Endüstriyel prosesler | 4.6 | 4.8 | 2.7 | 10.1 | 10.8 | 7.6 |
| Katı atık düzenlenmesi ve diğerleri | 10.1 | 7.9 | 14.6 | 5.2 | 3.0 | 3.0 |
| Toplam | 32.0 | 30.0 | 27.0 | 28.3 | 21.8 | 16,8 |

Kaynak: Prof. Dr. Cuma Bayat, Hava Kirlenmesi ve Kontrolü, EPA National Emission Estimates

Tablo 2.16’ da gösterildiği gibi, endüstriyel kaynakların (özellikle rafineriler) neden olduğu hidrokarbon emisyonu insan aktiviteleri sonucu meydana getirilen hidrokarbon kaynaklar arasında en önemli olanıdır. Ancak, son zamanlarda motorlu araçlardaki tamamlanmamış yanmanın yanı sıra yakıt tanklarındaki buharlaşmanın emisyonu, yağ karteri ve karbüratörleri de içeren transferin sebep olduğu hidrokarbon emisyonu, hidrokarbonların en büyük yüzdesini oluşturmaktadır. Ulaştırma alanında hidrokarbonlardaki azalma otomotiv emisyon kontrol cihazlarının geliştirilmesinin bir sonucudur. Katalizörlü yakıcı ile tekrar yakma sonunda dışarı atılan hidrokarbonlar azalmakta ve ayrıca aynı anda karbonmonoksiti yakarak dışarıya CO₂ olarak çıkartması kirliliği azaltmaktadır. Katı atık değerlendirilmesi işlemleri sonucu oluşan hidrokarbon emisyonları, orman yangını, tarımsal yakma ve kömür atığı yakmaları gibi diğer çeşitli aktivitelerde son bir kaç yılda gözle görülür azalmalar meydana gelmektedir.

İnsan aktiviteleri sonucu oluşan hidrokarbonlar, atmosfere yayılan toplam hidrokarbonların yaklaşık yüzde 10’u kadardır. Bu miktarın kendi arasındaki payı ise Tablo 2.17’ de görülmektedir.

Tablo 2.17: İnsan faaliyetleri sonucu oluşan HC kaynakları

| Faaliyet Alanı | HC Miktarındaki Payı (yüzde) |
|-----------------------|-------------------------------------|
| Transportasyon | 55 |
| Yerleşik Yakma | 3 |
| Endüstriyel Faaliyet | 15 |
| Katı Atıklardan | 27 |

Kaynak: Prof. Dr. Cuma Bayat, Hava Kirlenmesi ve Kontrolü

Hidrokarbonların saptanması ve analizleri için metan ve metan içerikli olmayan bileşiklerin birbirinden ayrılması gerekmektedir. Bunu yapmak için gaz kromatografisi ve bununla birlikte alev iyonizasyonu en çok kullanılan ön işlemlerdir. Her ne kadar gaz kromatografisi, hidrokarbonlar için gerekli hassasiyet ve kesinliğe sahipse de günümüzde hala pahalı ve karmaşık işlemler olduğundan araştırmalarda ve kısa süreli hava kalitesi çalışmalarında sınırlı olarak kullanılmaktadır.

1970'lerde, fotokimyasal oksidant standartlarına erişmek amacıyla hidrokarbon standartları ortaya konmuştur. Bir yerleşim bölgesinde hava kalite verileri, sabah saatlerinde (6.-9. arası) metan olmayan hidrokarbonların konsantrasyonu $196 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.3 ppm) ise bu maksimum saatlik ortalama oksidant konsantrasyonunun $65 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.1ppm) olması demektir. EPA bu değerleri esas alarak bir metropoliten alan için metan içerikli olmayan hidrokarbonun hava kalitesi standardını maksimum 3 h için (6. - 9. arası) ve yılda bu değeri birden fazla aşmamak kaydıyla $160 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.24 ppm) olarak saptamıştır. Metanın fotokimyasal reaksiyonlarda rol almadığı anlaşıldığından beri metan dışındaki standartlar kullanıldı. Ancak herhangi bir yılın hidrokarbon standardının kabul edilmesi sekonder reaksiyonlar ve ozon oluşum prosesinin çok karmaşık olması nedeniyle oldukça zordur. Bunun için 1982'de EPA hidrokarbon standardını yürürlükten kaldırdı, bunun yerine yerleşik kaynaklardan oluşan hidrokarbonlar için kabul edilebilir bir kontrol teknolojisi önerdi. Bu teknoloji ; yakıp kül etme, adsorpsiyon, absorpsiyon, kondensasyon ve diğer materyallerle yer değiştirme olarak beş genel prosese dayandırılmıştır.

Hidrokarbonların yakıp kül edilerek kontrolü, tekrar yakma ve katalizörlü tekrar yakma olarak sınıflandırılır. Gaz akışkan içine sıvı yakıt katılarak seyreltik organik buharların yakılması için tekrar yanma kullanılabilir. Ancak eğer gazlar yeterli ısı değerine sahipse yanabilir ya da alevlenebilir. Katalizörlü tekrar yakmada, yanma olan yerde bir solid aktif yüzey kullanılır. Bu düşük sıcaklıkta yanmayı başlatır ve devamını sağlar, ayrıca daha az sıvı yakıt kullanılması sonucu daha az bedel ödenmiş olur. Hidrokarbonların karbon adsorpsiyonu, materyallerin geri kazanılması gibi ekonomik avantajı yanında emisyonun azaltılması açısından kanıtlanmış bir yöntemdir. Aktifleştirilmiş karbon, gaz akışkanı içerisindeki partikül maddeler tarafından tersine olarak etkilenirler. Herhangi bir yıkama sıvısı içinde hidrokarbonların absorpsiyonu; hava püskürtmek kolonlarında, jet yıkayıcıları ile donatılmış kulelerde, spin kulelerinde ve venturi cihazlarında yapılır. Kondenzasyon sırasında, gaz hidrokarbonların sıcaklıkları hidrokarbonlar sıvı duruma geçerken (bu aynı zamanda tekrar kullanılmak için geri kazanma anlamındadır) düşer. Kondenzasyon genel olarak yalnızca yüksek seviyeli hidrokarbon emisyonları için kullanılır. Kaliforniya'da fotokimyasal oksidan formasyonunu düşürmek için fotokimyasal reaksiyonlarda aktif olan organik maddelerin yerine daha az aktif solventler kullanılacak şekilde proses dizaynları yapılmıştır. Örneğin, bazı proseslerde uygun olduğunda olefinler ve aldehitler yerine onlardan daha az reaktif olan trikloretilen kullanılmıştır.

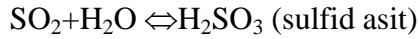
Atmosferik koşullarda hidrokarbonların canlılar ve eşyalar üzerinde her hangi bir toksik etkisi doğrudan saptanmamıştır. Ancak, hidrokarbon üretilen ve kullanan endüstrilerde yapılan araştırmalarda 25 ppm Hidrokarbon bulunan bir hava ortamında her hangi etki saptanmazken, 500 ppm benzen bulunan bir çalışma ortamında insanlar ancak 1 saat dayanabilmektedir. 600 ppm toluen bulunan bir atmosferde ise insan 8 saatte zehirlenmektedir. 7500 ppm benzen bulunan bir atmosferde insanların 1 saat içinde, 20000 ppm Benzen konsantrasyonunda ise 10-15 dakikada öldüğü tespit edilmiştir. Diğer taraftan, hidrokarbonların atmosferde oluşturdukları oksidanlar hem eşyalara, hem de canlılara doğrudan etki etmektedir.

Doğrudan etkisi bilinen tek organik gaz kirletici etilen'dir. Etilenin atmosferde belirli bir dozu aşması sonucu bitki büyümesinde gecikmeye neden olur. Yanmamış hidrokarbonların da kanser yapıcı etkisi olduğu bilinmektedir.

2.5.4 Kükürt Oksitler

Kükürt oksitleri (SO_x), doğal afetler ve insan faaliyetleri sonucunda ortaya çıkan hava kirleticileri arasında kuşkusuz en yaygın ve en çok üzerinde durulanıdır.

Kükürt oksitlerin en yaygın olanları, kükürtdioksit (SO₂), kükürttrioksit (SO₃) ve kükürt heptoksit (S₂O₇)'tir. Kükürtdioksit renksiz, yanmaz ve patlamaz bir gaz olup boğucu bir kokusu vardır. Konsantrasyonu 784 µg/m³ (0.3 ppm) eşik değerine geldiğinde tadı, 1306 µg/m³ (0.5 ppm) eşik değerine geldiğinde kokusu fark edilir. Kükürtdioksit su içinde oldukça fazla çözünür (11.3 g/100 ml, 20°C de), moleküler ağırlığı 64.06 gr.dır ve kabaca havadan iki defa daha ağırdır. SO₂ nin havada kalış süresinin 2 ile 4 gün olabileceği ve bu sürede 1000 km yol alabileceği bilinmektedir. Bu nedenle SO₂ kirliliği, uluslararası bir boyut kazanır. Atmosferde bir dereceye kadar stabil olan SO₂ redükleyici ya da oksitleyici bir yapı gösterir. Atmosferdeki diğer bileşiklerle fotokimyasal ya da katalitik reaksiyonlara giren SO₂, SO₃, H₂SO₄ damlaları ve sülfürik asit tuzlarını meydana getirir. Su ile reaksiyona girerek, zayıf bir oksit olan ve organik boyalarla doğrudan reaksiyona girebilen sülfid asidi meydana getirir. Bu özelliği atmosferde SO₂'nin renkle saptanması amacıyla kullanılır.



Bu reaksiyon daha sonra sülfat asidine dönüşür ve havada bu asit kalıcı bir formdadır.



Katı yakıtların ve fosil yağlarının (sıvı yakıt) yakılması insan faaliyetlerinin bir sonucudur. Bu faaliyetler SO₂ emisyonlarının yüzde 80 den fazlasını oluşturur. Tablo 2.18' den görüleceği gibi yerleşik kaynaklardaki sıvı yakıt yakılması (birinci olarak elektrik makineleri) ve endüstriyel süreçler insan faaliyetleri sonucunda SO₂ emisyonunun en önemli kaynağını oluşturmaktadır. 1968 - 1980 yılları arasında ABD'de yapılan SO₂ kaynak ve miktar araştırması sonuçları Tablo 2.18' de verilmiştir.

Tablo 2.18' den anlaşılacağı üzere SO₂ 'nin en büyük kaynağı yüzde 80 ile fosil yakıtlardır. İstanbul'da yapılan bir araştırmada 1990 -1995 yıllarında yaklaşık 2 milyon ton kömür (yüzde 1-3 Kükürt) yılda tüketilmektedir ve aynı zamanda 950-1000 araç trafikte seyretmektedir. Bir yılda fosil yakıtlardan İstanbul atmosferine yanma sonucu verilen SO₂ yaklaşık 40.000 ton olup, bu vasıtalarından yayılan (yaklaşık 36 ton) SO₂'nin 1000 katına ulaşmaktadır.

Tablo 2.18: Sülfür oksitlerin kaynak ve miktarları(emisyon, mil-ton/yıl)

| Kaynak | 1968 | 1970 | 1975 | 1977 | 1980 | 2010 |
|---|------|------|------|------|------|------|
| Ulaştırma | 0.7 | 0.9 | 1.1 | 0.8 | 0.9 | 0.35 |
| Yerleşik kaynaklardaki sıvı yakıt yakılması (güç ve ısıtma) | 20.6 | 23.5 | 22.0 | 22.4 | 19.0 | 6.75 |
| Endüstriyel süreçler | 6.1 | 5.3 | 2.9 | 4.2 | 3.8 | 0.6 |
| Katı atık düzenlemeleri ve diğerleri | 0.6 | 0.3 | - | - | - | - |
| Toplam | 28.0 | 30.0 | 26.0 | 27.4 | 23.7 | 7.7 |

Kaynak: Prof. Dr. Cuma Bayat, Hava Kirlenmesi ve Kontrolü, EPA National Emission Estimates

Benzinin kükürt miktarı düşük olduğundan (kütleli olarak yüzde 0.03) ulaştırma nedeni ile atmosferdeki insan kaynaklı SO_x kirlenmesi oldukça azdır. Son zamanlarda SO₂ nin otomotiv sektöründe kullanılan katalitik konvertörler vasıtasıyla SO₃ e dönüşmesi endişesi, karbon monoksit ve hidrokarbon emisyonlarının azaltılmasının getireceği faydalar yanında fazla önemsenmemektedir.

Renk, iletkenlik ve titrasyon yöntemleri en çok kullanılan yöntemlerdir. Sürekli ölçümlerde en çok renkler ve iletkenliğe dayalı yöntemler kullanılır. SO₂ nin

belirlenmesinde kullanılan diğer ölçüm teknikleri infrared ya da ultraviyole absorpsiyonun kullanıldığı spektroskopik ya da alev fotometrik yöntemidir.

Ulusal dış hava kalite standardı, kükürtoksitlerin çoğunlukla bulunduğu form olan SO₂ için düzenlenmiştir. Kükürtdioksit oksijenle reaksiyona girerek havadaki rutubetle sülfatları meydana getirir. İlk başlarda yapılan epidemiyolojik çalışmalar, 24 saatlik periyotta kükürt oksitlerin sağlığı etkileyen seviyesinin 6 ile 10 µg/m³ ve yıllık ortalama olarak 10 ile 15 µg/m³ gibi düşük seviyelerde gerçekleştiğini göstermiştir. SO₂ için alıcı ortam sınır değerleri Tablo 2.19' da verilmiştir. Kükürtoksit emisyonların kontrol altına alınabilmesini sağlayan ana temel yöntemler; daha az kükürt içeren yakıtların yakılmasından başlayarak, yakıttan kükürdün alınması, kömürün sıvılaştırılması ya da gazlaştırılması, diğer enerji kaynakları ile yer değiştirilmesi, yanma ürünlerinin temizlenmesi ya da uzun bacalarla yayılmasıdır.

Tablo 2.19: Alıcı ortam SO₂ sınır değerleri

| Kirletici | UVD (Bir Yıl) µg/m ³ | KVD (24 saat) µg/m ³ | Saatlik µg/m ³ |
|--------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------|
| SO ₂ | 150 (250)* | 400 (400)* | 900* |
| I.Kademe Uyarı** | | 700 | |
| II.Kademe Uyarı** | | 1000 | |
| III.Kademe Uyarı** | | 1500 | |
| IV.Kademe Uyarı** | | 2000 | |

Kaynak: Prof. Dr. Cuma Bayat, Hava Kirlenmesi ve Kontrolü

Sülfürik asit (H₂SO₄), sülfürdioksit (SO₂) ve sülfat tuzları solunum sisteminin mukozasını tahriş etme özelliğine sahiptir ve özellikle kronik solunum hastalıklarının gelişmesine destek olur. Bir kaç değişik kaynaktan elde edilen veriler Tablo 2.20' de verilmiş olup, SO₂ nin insan sağlığına etkilerini göstermesi açısından kullanılabilir farklılıklar ortaya koymaktadır. Genel olarak laboratuarda deney koşullarında, erişkin sağlıklı kişiler üzerinde yapılan deneylerle sağlanan veriler ile dış hava koşullarında diğer kirliliklerin birbirini destekleyen etkisi ile temel değişik reaksiyonlara neden olur.

Tablo 2.20: SO₂ nin insanlara etkileri

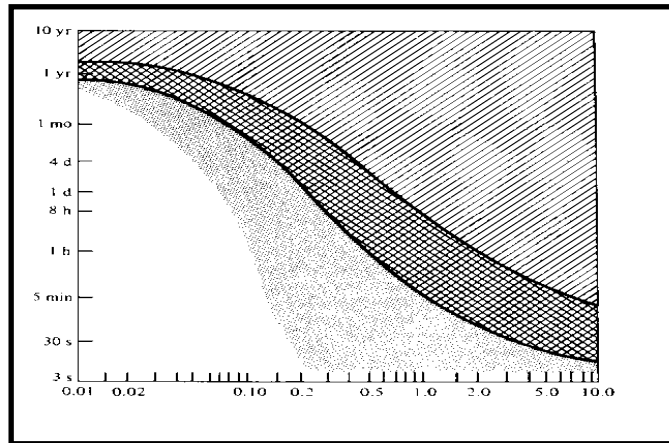
| Konsantrasyon ppm | Temas Süresi | Etkileri |
|-------------------|--------------|---|
| 0-0.06 | | Etkisi bilinmiyor |
| 0.15-0.25 | 1-4 gün | Kalp-solunum tepkiler |
| 1.0-2.0 | 3-10 dak | Sağlıklı kişilerde kalp-solunum tepkiler sezilebilir tepkiler,göğüs kafesinde sıkışma |
| 5.0 | 1 saat | Hava akımları karşısında nefesin kesilmesi ve artan akciğer direnci |
| 10.0 | 1 saat | Ciddi sıkıntılar, bazı burun kanamaları |
| 20 den büyük | 30 sn | Sindirim sisteminin etkilenmesi ve aynı zamanda göz iltihapları |
| 400-500 | Ani | Ölüm, boğulma tehlikesi |

Kaynak: Prof. Dr. Cuma Bayat, Hava Kirlenmesi ve Kontrolü

EPA verilerine göre Chicago'nun 470 µg/m³'lük (0.18 ppm) SO₂ konsantrasyonları aşırı ölümlerle sonuçlanmış durumdadır. Tozlu bir atmosferde SO₂ özellikle zararlıdır. Çünkü hem SO₂ ve hem de sülfürik asit molekülleri, solunum sistemini yönlendiren ve saçta benzeyen tüycükleri felce uğrattır. Tüycüklerin doğal süpürme eylemi olmazsa partiküller içlerine girerek orada çökebilirler. Bu partiküller genel olarak kendileri ile birlikte oldukça yüksek bir konsantrasyonda SO₂ yi de taşırlar, böylece doğrudan ve uzatılmış süreli temas akciğerin hassas yapısını tahriş eder.

Dış havadaki SO₂ konsantrasyonunun, temas süresine bağlı olarak etkisi Şekil 2.9'da özetlenmiştir.

Şekil 2.9: Kükürt oksitlerin insan sağlığına etkileri



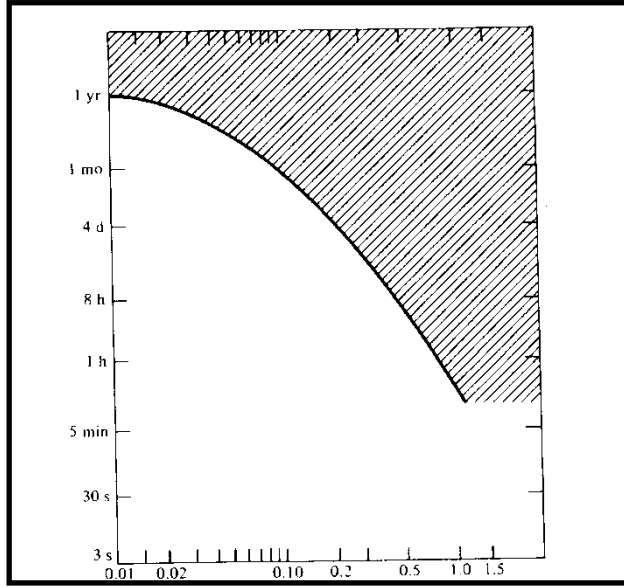
Kaynak: Prof. Dr. Cuma Bayat, Hava Kirlenmesi ve Kontrolü

- i. Beklenenden daha fazla ölüm olaylarının gözleendiği konsantrasyon sınırları ve temas süreleri
- ii. Önemli sağlık etkilerinin gözleendiği konsantrasyon sınırları ve temas süreleri
- iii. Sağlık etkilerinin beklenebileceği konsantrasyon sınırları ve temas süreleri
- iv. Önemli problemlerin olmadığı konsantrasyon sınırları ve temas süreleri

Bitkilerin SO₂ ye karşı tepkilerini belirlemek için bir sürü çalışma yapılmıştır. Dış havadaki SO₂ konsantrasyonu ile temas süresi ve bitkiler üzerindeki etki arasındaki ilişkisi Şekil 2.10'da gösterilmiştir. Gölgelemiş olan bölge zarara neden olan temas süresini temsil ederken, gölgelememiş olan bölge önemi olmayan temas süresini temsil etmektedir.

Bitkilere olan zarar akut ve kronik olmak üzere sınıflandırılabilir. Akut durumlara kısa periyotlarda SO₂ konsantrasyonunun yüksek olduğu koşullarda rastlanır. Sonuçta damarlar arasında ya da yaprakların kenarlarında açıkça kendisini gösteren ölü bölgeler belirgin durumda görülür. Kronik zararlırsa, düşük konsantrasyonlarda uzun süreli temaslar sonucu oluşur. Bitkilerin yapraklarında kahverengi, kırmızı ya da beyaz lekeler görülür. Bitkilere zarar veren SO₂ konsantrasyonunun eşik değeri 8 saatlik temas süresinde 0,8 mg/m³ (0.3 ppm) ile 1.0 mg/m³ (0.4 ppm) arasındadır. Bitkiler, SO₂ ye ışığın kuvvetli olduğu periyotlarda, bağıll nem oranı yüksek, buharlaşma yeterli ve sıcaklık mutedilse özellikle hassastırlar. Bitkiler ayrıca iklim koşullarına bakmaksızın büyüme sezonlarında SO₂ ye çok hassas olurlar. Bitkilerin SO₂ ye olan hassasiyeti büyük değişiklik gösterir. Yonca, pamuk ve soya fasulyesi SO₂ ye karşı özellikle hassas olan bitkilerdir. Bunlar arasında fasulye, salata, ıspanak ile elma, çam ve dut gibi ağaçlar da eklenmelidir. Patates, soğan, mısır ve akağaç (isfendan) ise SO₂ nin etkisine karşı daha dayanıklıdırlar.

Şekil 2.10: Kükürt oksitlerin bitkilere etkileri



Kaynak: Prof. Dr. Cuma Bayat, Hava Kirlenmesi ve Kontrolü

- i. Bitkilerin zarar gördüğü konsantrasyon sınırları ve temas süreleri
- ii. Bitkilerin zarar görmediği konsantrasyon sınırları ve temas süreleri

Sülfürik asit aerosolleri mermer, kireçtaşı, ve kireç harcı gibi karbonat içeren inşaat materyallerine rahatça etki eder. Aşağıdaki eşitlikte gösterildiği gibi, suda çözünür olan sülfatlarla karbonatlar yer değiştirir.



Kalsiyumsülfat ya da jips (CaSO_4) bu süreç sırasında meydana gelir ve suyla yıkanıp giderken geriye rengi atmış gözenekli formunda bir yüzey kalır. Tarihi binalar, ulusal yapılar, katedraller ve heykeller hep kükürt oksitlerin yan ürünleri ile temasa geçerek harap olurlar. New York, Central Park'a getirilen Kleopatra'nın taş heykeli, New York'a getirildiği 19. yüzyıldan beri, Mısır'da kaldığı 2000 yıllık bir süreçtekinden daha fazla harabolmuştur. Sülfürik asit pusu, aynı şekilde pamuk, keten ve naylonu da tahrip eder. 1970 li yıllarda Toronto, Jacksonville ve Chicago'daki kadınlar naylon çorap ve giysilerinin parçalamakta olduğu görülmüştür. Buna havada ki çok az miktardaki

sülfürik asit pusunun neden olduğu anlaşılmıştır. Deriden yapılmış eşyalar da, havada SO₂ nin yan ürünleri konsantrasyonu belli bir değerin üzerine çıkarsa zayıflar ve bozular. Kağıt SO₂ yi absorbe eder, SO₂ ise H₂SO₄ e okside olur ve kağıt sararır ve gevrekleşir. SO₂ 'nin bu zararlı etkisinden tarihi evrakları korumak için özel önlemler alınmasının zorunluluğunu unutmamak gerekir. SO₂, bağıl nem oranı yüzde 70 in üzerinde ise demir, çelik çinko, bakır ve nikel gibi metallerin korozyon hızını artırır. Çelik levhalar, yıllık ortalama konsantrasyon 78 µg/m³ (0.03 ppm) olduğunda birde partikül seviyesi yüksekse 1 yılda kütlesinden yüzde 10'dan fazla kaybederler. Sonbahar ve kışın daha fazla sıvı yakıt yakıldığından korozyondaki artma dikkat çekecek kadar fazlalır. Korozyonun hızı, kirletilmiş yerleşim alanlarda temiz havalı alanlardakine göre 1,5 ile 5 defa daha fazla olmaktadır.

2.5.5 Partikül Maddeler (PM10)

Aerodinamik çapı 10 mikrondan daha küçük olan partikül maddeler PM10 olarak tanımlanmaktadır. Hava hijyeni açısından özellikle çapları 10 mikrondan daha küçük olan ve solunmayla kolayca içe çekilebilen parçacıklar büyük önem taşımaktadır. Tane irilikleri ve yoğunluklarına bağlı olarak değişik sürelerle askıda kalabilirler. Toplam partiküllerin yüzde 18'i yakıt yanması sonucu ortaya çıkan emisyonla bağlıdır.

Partiküller doğal ve antropojenik olarak iki gruba ayrılırlar. Doğal olanlar; polenler, sporlar, bakteriler, virüsler, protozoalar, funguslar, volkanik tozlar gibi çeşitleri vardır. Antropojenik (yapay) kaynaklar; duman, uçucu kül, metal oksitler ve diğer inorganik tozlar olarak sınıflandırılmaktadır.

PM10 solunum sisteminde birikebilir ve astım, kronik akciğer, ve kalp hastalığı olan kişilerin sağlık durumları kötüleşebilir. Toz içerisindeki diğer kirleticiler akciğerlerin derinlerine kadar inebilir. İnce partiküllerin büyük bir kısmı akciğerlerdeki alveollere kadar ulaşarak zehirli maddeler kana karışabilir.

24 saatlik AB sınır değeri, : 50 µg/m³'tir. (yıllık müsaade edilen aşmalar: 35 gün). Yıllık ortalama ise 40 µg/m³ mertebelerindedir. Türkiye'ye bakıldığında 24 saatlik değeri 220 µg/m³ iken, yıllık değeri ise 114 µg/m³ tür.

2.5.6 Ağır Metaller

Trafikten kaynaklanan en önemli ağır metal kirleticiler kurşun (Pb), kadmiyum (Cd), krom (Cr), bakır (Cu), nikel (Ni) ve çinko (Zn) dir.

2.5.6.1 Kurşun (Pb)

Çevrede en önemli kurşun kaynağı, araç yakıtlarına vuruntuyu önlemek üzere katkı maddesi olarak katılan tetraetil kurşun veya tetrametil kurşun olmaktadır. Katı ve sıvı yakıtlar, cinslerine bağlı olarak, yakılmaları sonucunda atmosfere kurşun verebilmektedirler. Ancak, egzoz gazları göz önüne alındığında, diğer kaynaklar ikinci derecede kalmaktadır.

- i. Duyu ve sinir iletişim hızında azalma
- ii. Geri dönüşü mümkün olmayan beyin hasarları
- iii. Anemi
- iv. Kurşun karamsarlık, sinirlilik, huzursuzluk, baş ağrıları, kas titremesi, adelerde koordinasyon bozukluğu ve hafıza kaybı oluşabilir. Bu belirtiler komaya ve ölüme kadar götürebilir.

Yıllık ortalama: 0,5 µg/m³ kurşun

Yıllık ortalama: 1,6 µg/m³ kurşun

2.5.6.2 Kadmiyum (Cd)

Doğada az miktarda bulunmaktadır. Kadmiyum metal sanayinde ve plastiklerde kullanılmaktadır. Taşıtların motor yağlarında ve lastiklerde bulunmaktadır. Havaya yanma sonucu ve lastik yıpranmaları neticesinde karışabilmektedirler.

Kadmiyum fazlalığının dolasım sistemine zarar vermesinden dolayı, hipertansiyon adı verilen yüksek kan basıncına neden olmaktadır. Canlılar üzerindeki kadmiyum birikimleri daha çok böbrek ve karaciğerde görülmektedir.

2.5.6.3 Çinko (Zn)

Çinko metal kaplama, alaşımlarda, boya, lastik ve kozmetik sanayisinde kullanılmaktadır. Otomobil lastiklerinin yıpranmaları sonucu fazla miktarda atmosfere salınmaktadır.

Toprak ortamına yağ ve kuru çökeltme yoluyla ulaşmaktadırlar. Canlılarda çok yüksek miktarda alınan çinko dozları sonucu zehirlenmelere neden olmaktadır.

2.5.6.4 NİKEL (Ni)

Nikel endüstride kaplama,elektronik,madeni para, pil ve besin endüstrisinde (katalizör olarak) ve paslanmaz çelik üretiminde kullanılmaktadır. Nikel toksidite değeri düşük bir metal olmasına rağmen, aktif nikel ile karbon monoksitin etkileşmesi sırasında oluşur.

Nikel, fosil kaynaklı yakıtların yakılması sonucu havaya atılmaktadır. Nikel vücuda solunum yolu ile absorbe olur.

Akciğer ve burun kanseri riskini artırır.

2.6 AB' DEKİ SALINIMLAR ve İNCELENMESİ

Bu bölümde emisyon faktörlerinin Avrupa ülkelerinde ne gibi etkileri olduğu, emisyon faktörlerinin zamanla hangi süreçlerden geçtiği ve değişimi incelenmiştir. Bu incelemelere ek olarak Avrupa ülkelerinde bu konuya ilişki çözümlerin ne şekilde olduğu ve emisyon standartlarının gelişimine de yer verilmiştir.

2.6.1 Emisyon Standartlarının Gelişimi

Karayolu tünellerinde havalandırma tasarımı için emisyon faktörleri ve hesaplama yöntemleri PIARC tarafından 1990 ve 1995 yıllarında yayınlanmıştır. Yayınlanan standartlarda emisyon yöntemleri ve baz alınan kararlar git gide daha katı hale getirilmiştir. Çünkü hava kirliliği ve emisyon değerlerinin dünya için tehdit oluşturduğu kanısına varılmıştır. Ancak teknoloji ve araştırmalarla geliştirilen araç ve yakıt projeleri ile emisyon değerleri gitgide düşürülmüş ve araçların eskiye göre daha az tehdit oluşturduğu belirtilmiştir. Dolayısı ile PIARC 1995 versiyonu 1995 yılındaki sürece ve duruma göre oluşturulmuş ve günümüze göre eski bir standart durumundadır.

1995 yılından sonra ülkeler yapılan protokollerle, bu konuda çeşitli kanun ve kuralların getirilmesi ile araç başına CO emisyonunu önemli ölçüde azaltma konusunda başarı sağlamışlardır. Buna istinaden CO birçok havalandırma tasarımı için hakim faktör olmaktan çıkmış, dizel araçlarında artışı sonucunda bu tür araçlar benzinli araçlar kadar önemli hale gelmiştir. Özellikle ağır iş makineleri, yolcu ve yük taşımacılığında kullanılan araçların da dizel yakıt kullanması dizelin emisyon konusundaki önemini arttırmıştır.

Motorlar konusunda yapılan çalışmalar, protokoller neticesinde alınan kararlar ve emisyon faktörlerini azaltma konusunda yapılan ar-ge çalışmaları doğrultusunda araç başına emisyon miktarı önemli ölçüde azaltılmıştır. Gelişen süreçte bu faktörlerin azaltılmasına istinaden lastik ve fren aşınmaları nedeni ile oluşan partikül madde emisyonları, yol kaplaması aşınması ve bu yoldan havaya yayılan tozlardan kaynaklanan kirlenmeler dikkate alınmaya başlanmış ve bu konularla ilgili çözüm yolu aranmıştır. Bazı ülkelerde tünel havası için belirleyici kirletici olarak karbonmonoksit yerini azotdioksite bırakmış ve izleme kriterinde bu maddeye yer verilmiştir.

PIARC Teknik Komitesi tarafından 2001-2003 yılları arasında karayolu tünelleri ve emisyon standartlarının gelişimi hakkında yapılan toplantılar çerçevesinde konu ile ilgili bilgiler aktarılmaya çalışılmıştır.

2.6.2 Emisyonlar

Emisyon değerleri, bu değerleri etkileyen faktörler ve bu faktörler ile ilgili oluşturulan veriler 2001-2003 yılları arasında gerçekleştirilmiş toplantılarda ulusal düzeyde ortak araştırmalar sonucunda belirlenmiştir. Bunun dışında örnek olarak Avusturya, Almanya, İsviçre, Hollanda başta olmak üzere birçok ülkeden temin edilen veriler kullanılmış ve Tablo 2.21 ve 2.22 bu verilere göre oluşturulmuştur. AB araştırma programları ARTEMİS ve PARTICULATES COST 346 (ağır hizmet araçları için emisyonlar ve yakıt tüketimi) gibi programların sonuçları ve verileri neticesinde Avrupa'daki en son emisyon faktörleri çalışmalarını bu raporda yer alan emisyon faktörleri datalarının içine dahil edilmiş ve bu konu ile ilgili bir veri bankası oluşturulmuştur.

Bahsi geçen gelişmeler ve emisyon faktörleri konusundaki iyileşmeler neticesinde Avrupa' da ve birçok ülkede ortak görüş olarak 1995 yılındaki PIARC raporlarında verilen hesap yöntemlerinin güncellenmesi konusunda talep oluşmuştur. Ancak yapılan emisyon düzenlemeleri, toplanan veriler ve 2001-2003 arasındaki toplantılar neticesinde ağır yük araçlarının yanı sıra binek otomobiller için de sıkı emisyon standartlarının dikkate alınması kararı ile sonuçlanmıştır. Bunun nedeni olarak da emisyon standartlarında verilen emisyon azalmaları ile gerçek dünyada sürüş sırasında elde edilen verilerin arasında büyük farkların oluşması belirtilmiştir. Bu sebeptendir ki Tablo 2.21' de ve 2.22' deki hesaplamalarda EURO2 ve EURO 3 ağır vasıtalar için belirlenen emisyon faktörleri eski raporlara göre daha da ağırlaştırılmıştır.

Bu değişiklikleri sağlayan da her ülkedeki emisyon yasalarının farklı zaman dilimlerinde ortaya konması, farklı periyodik araç muayene seviyeleri ve farklı trafik kompozisyonlarının varlığı olmuştur. Dolayısı ile motor dizaynındaki gelişmelerin ve teknik değişimlerin sonuçlarını takdir etmek bu standart sürecinde de erken bulunmuştur.

Dizel motorların yaygınlaşması neticesinde tünellerde görünürlük ile ilgili yeni durumlar ortaya çıkmıştır. Egzoz gazları emisyonları giderek azalmış ve yerini egzoz gazı hüviyetinde olmayan partikül madde emisyonları almıştır. Emisyon faktörleri olarak çok

az yerde geçmesine rağmen bu emisyon tünellerde ışık etkisini azaltma, hava kalitesini düşürme gibi birçok olumsuz etkiyi beraberinde getirmiştir. Temiz hava hesabında da mutlaka dikkate alınması öngörülmüştür.

Araçların etkisine geldiğimizde ise binek araçlarla mukayese edildiğinde ağır vasıta araçlar ile ilgili test sayısı çok az olmuştur. Binek araçlara ilişkin birçok test ve ölçüm tespit edilirken, ağır vasıta araçlara ilişkin bu testlere rastlanmamıştır. Ağır vasıta araçlar için duman emisyon verileri farklı kütlelere sahip araçlardan alınmıştır. Testlerden elde edilen sonuçlar ağır vasıtalar için emisyon değerlerinin aracın kütlesi ile doğru orantılı olduğunu göstermiştir.

Özet olarak, bazı faktörleri değerlendirmek zor olduğu için, çok daha düşük yeni emisyon değerlerinin benimsenmesinde dikkatli olunması gerektiği tespit edilmiştir. Ülkelerdeki standart test koşulları, bakım seviyesi, araçların ve motorlarının yaşları, periyodik bakım süresi, gerçek sürüş koşullarının etkisi gibi birçok faktörün etkili olacağı belirtilmiştir.

Sıkı emisyon yasaları uygulanmayan ve periyodik araç kontrolü olmayan ülkeler için ise 1991 yılında çıkarılan Marrakech raporundaki emisyon faktörlerinin uygulanması önerilmiştir.

Tablo 2.21, 2.22 ve 2.23'te bulunan tüm emisyon verileri ECE ve EURO emisyon düzenlemelerinin olduğu yerdeki araçlar için geçerliliğini sağlamaktadır. Bu emisyon faktörleri tünel içindeki olağan sürüşe karşılık gelmekte olup, ara değerler lineer interpolasyon yöntemiyle elde edilebilmektedir.

2.6.3 Emisyon Standartları

PIARC raporu sonucunda verilen emisyon faktörleri ECE ve EURO düzenlemelerine karşılık gelmekte olup, ECE standardı Avrupa'da, Asya'da birçok ülkede (Japonya ve Güney Kore hariç) ve Arap ülkeleri dahil Afrika'da uygulamaya konmuştur. Kuzey Amerika'da (Güney Kore'nin yanı sıra Orta ve Güney Amerika da kullanılır), Japonya

ve Avustralya’da farklı bir düzenleme vardır. Avustralya’da son zamanlarda yeni araçlar için AB düzenlemelerini benimsemiştir. Önemle üzerinde durularak, emisyon standartları uygulamalarının yerel durumunun ve bu standartlar ile ilgili ülkedeki geçiş zamanlarının belirlenmesi gerektiği belirtilmiştir.

Tablo 2.21: AB düzenlemelerine göre, binek otomobiller için (g/km) olarak emisyon standartları.

| Binek otomobil | Yıl | Test çeşidi | CO | HC | NOX | HC+N OX | PM |
|--------------------|------|-------------|------|-----|------|---------|-------|
| ECE 15/04 gasoline | 1982 | R15 | 16.5 | | | 5.1 | |
| EURO 1 gasoline | 1992 | NEDC | 2.72 | | | 0.97 | |
| EURO 1 diesel | 1992 | NEDC | 2.72 | | | 0.97 | 0.14 |
| EURO 2 gasoline | 1997 | NEDC | 2.0 | | | 0.5 | |
| EURO 2 diesel | 1997 | NEDC | 1 | | | 0.7 | 0.08 |
| EURO 3 gasoline | 2000 | NEDC | 2.3 | 0.2 | 0.15 | | |
| EURO 3 diesel | 2000 | NEDC | 0.64 | | 0.5 | 0.56 | 0.05 |
| EURO 4 gasoline | 2005 | NEDC | 1.0 | 0.1 | 0.08 | | |
| EURO 4 diesel | 2005 | NEDC | 0.5 | | 0.25 | 0.3 | 0.025 |

Kaynak: PIARC, Road Tunnels: Vehicle Emissions and Air Demand for Ventilation, Kasım 2004.

Tablo 2.22: AB düzenlemelerine göre, ağır otomobiller için (g/km) olarak emisyon standartları.

| Ağır vasıta | Yıl | Test çeşidi | CO | HC | NOx | Partikül madde |
|----------------------|------|-------------|------|------|------|----------------|
| ECE R49 | 1982 | R49 | 14.0 | 3.5 | 18.0 | |
| pre EURO* | 1991 | R49 | 12.3 | 2.6 | 15.8 | |
| ECE R 49/02 (EURO 1) | 1992 | R49 | 4.9 | 1.23 | 9.0 | 0.4 |
| EURO 2 | 1997 | R49 | 4.0 | 1.1 | 7.0 | 0.15 |
| EURO 3 | 2000 | EST | 2.1 | 0.66 | 5.0 | 0.10 |
| EURO 4 | 2005 | EST/ECT | 1.5 | 0.46 | 3.5 | 0.02 |
| EURO 5 | 2008 | EST/ECT | 1.5 | 0.46 | 2.0 | 0.02 |

Kaynak: PIARC, Road Tunnels: Vehicle Emissions and Air Demand for Ventilation, Kasım 2004.

2.6.4 Filo Segmentasyonu

Emisyon hesaplamalarında araç kategorilerine (TIR, benzinli binek araç, dizel binek araç, iş makinesi, vb.) ve her bir kategorinin temsil ettiği model yılı segmentasyonuna (emisyon standartları) göre araç filosu segmentasyon bilgisine gereksinim olacaktır.

Tablo 2.23: Binek araçlar için emisyon standartları.

| Motor tipi | Emisyon standardı | q _{ex} | | | q _{ne} | f _h | f _a |
|----------------|-------------------|-----------------|---------|----------------|-----------------|-------------------|----------------------------|
| | | CO | NOX | Dizel partikül | Egzoz partikül | Yükseklik faktörü | Yaşlanma faktörü CO NOX |
| Benzinli motor | ECE 15/00 | II.3.5 | II.3.19 | - | II.3.38 | II.3.39 | - |
| | ECE 15/04 | II.3.6 | II.3.20 | - | II.3.38 | II.3.39 | - |
| | EURO 1 | II.3.7 | II.3.21 | - | II.3.38 | II.3.39 | II.3.8/II.3.22 |
| | EURO 2 | II.3.9 | II.3.23 | - | II.3.38 | II.3.39 | II.3.10/ II.3.24 |
| | EURO 3 | II.3.11 | II.3.25 | - | II.3.38 | II.3.39 | II.3.12/II.3.26 |
| | EURO 4 | II.3.13 | II.3.27 | - | II.3.38 | II.3.39 | - |
| Dizel motor | ECE 15/04 | II.3.14 | II.3.28 | II.3.33 | II.3.38 | II.3.39 | - |
| | EURO 1 | II.3.15 | II.3.29 | II.3.34 | II.3.38 | II.3.39 | - |
| | EURO 2 | II.3.16 | II.3.30 | II.3.35 | II.3.38 | II.3.39 | - |
| | EURO 3 | II.3.17 | II.3.31 | II.3.36 | II.3.38 | II.3.39 | - |
| | EURO 4 | II.3.18 | II.3.32 | II.3.37 | II.3.38 | II.3.39 | - |
| | Masa numarası | | | | | | |

Kaynak: PIARC, Road Tunnels: Vehicle Emissions and Air Demand for Ventilation, Kasım 2004.

2.6.5 Binek Araçlar

Emisyon hesaplamalarında binek araçlarda kullanılacak yöntem ve denklem içerisinde geçen terimlerin anlamları bu kısımda belirtilmiştir.

Hesaplama işlemi:

$$Q = q_{ex}(v, i) \cdot F_h \cdot f_a + q_{ne}(v) \quad (2.1)$$

| | |
|------------------------|---|
| Q | CO, NOx [g/h, araç] ve dizel partiküller için emisyon [m ² /h, araç] |
| q _{ex} (v, i) | ortalama hız ve yol eğimine bağlı temel emisyon faktörü [Q olarak boyutları] |
| q _{ne} (v) | egzoz haricindeki partikül emisyonu için emisyon faktörü |
| f _h | yükseklik faktörü [-] |
| f _a | katalizörler için yaşlanma faktörü [-] |

2.6.5.1 Temel emisyon faktörü

Temel emisyon faktörleri bir tünel içindeki ortalama araç hızının ve yolun eğiminin bir fonksiyonu olarak verilmektedir. 0 km/h sürata sahip bir araç için verilen değerler rölanti koşullarını temsil etmektedir.

Emisyonlar saatlik verilir. İlgili araç hızına karşılık gelen değer bölünerek, km başına emisyon elde edilir.

Gram (g) olarak verilen emisyonu hacimsel emisyonla dönüştürmek için emisyon değerleri partikül gazların özgül ağırlığına bölünmelidir. Ortalama değerler şunlardır:

$$\rho_{CO} = 1200 \text{ g CO/m}^3 \quad \rho_{NO2} = 2000 \text{ g NO}_2/\text{m}^3$$

Araç egzozu içindeki azot oksit emisyonu (NO_x) ağırlıklı olarak NO₂'den daha düşük özgül ağırlığa sahip olan NO ihtiva eder. NO_x emisyon verileri ağırlık itibariyle verildiği zaman, NO_x emisyon değerleri karşılaştırmasına sahip olabilmek için NO_x hacmi NO₂ olarak ifade edilir.

Kütle (gram) içindeki partikül madde (PM) emisyonu ile bulanıklık etkisi arasındaki dönüştürme faktörü 1g = 4,7 m² eşitliği tarafından verilir. Bu faktör 6,25 m²/g MIRA korelasyon faktörüne ve tünel havasındaki dizel dumanların güçlü seyreltmesi nedeniyle optik aktivitedeki azalma için 0,75 azalma faktörüne dayanmaktadır. Son araştırmalar PM egzozlarını daha yüksek göstermesine rağmen egzoz haricindeki parçaların daha düşük bir dönüştürme faktörüne sahip olduğu kabul edilir. Tünel havası her zaman egzoz ve egzoz harici partiküllerin (PM) bir karışımını içeriyor olduğu için yeni veriler mevcut olana kadar bu MIRA faktörlerinin muhafaza edilmesi öngörülmüştür.

Araç kategorileri için aşağıda emisyonlar verilmiştir:

- i. Benzinli geleneksel araç, ECE 15/00 düzenlemesine karşılık gelen
- ii. Benzinli geleneksel araç, ECE 15/04 düzenlemesine karşılık gelen

- iii. Dizel motorlu binek araçlar, 15/04 ECE 'e karşılık gelen
- iv. EURO1 düzenlemesini kullanan araçlar
- v. EURO2 düzenlemesini kullanan araçlar
- vi. EURO3 düzenlemesini kullanan araçlar
- vii. EURO4 düzenlemesini kullanan araçlar

2.6.5.2 Belirli bir araba nüfusunun ortalama emisyonu

Her düzenlemedeki araçların yüzdesi kurulabilir ve böylece dizayn yılındaki tüm otomobil parkı için ortalama emisyon değerleri elde edileceği belirtilmiş olup, bu hesaplama prosedürü 1991 Kongresindeki PIARC "Kirlilik ve Havalandırma" raporunda verilmiştir.

Aşağıda belirtilen 3 etkinin bu ortalama etkin rol oynadığı belirtilmiştir.

- i. Araç filosunun yenilenme oranının kabul edilmesi öngörülmektedir. Deneyimler göstermektedir ki sanayileşmiş milletlerde 0'dan 5 yaşa kadarki araç kategorisi her ilk 5 yılda toplam araç nüfusunun yüzde 10'unu temsil eder, oysa 5 ile 15 yıl arasındaki araçların göreceli sayısı yüzde 10'dan yüzde 0'a doğru doğrusal bir şekilde azalmaktadır. Yeni araçların çokça arttığı ülkelerde, yeni araba nüfusu daha baskın olabilir;
- ii. Yıllık km yapılması yeni araçlar için, özellikle binek otomobil olması durumunda eski modellere göre daha büyük olma eğilimindedir
- iii. Tasarım yılına göre belli bir emisyon düzenlemesinin yürürlüğe giriş tarihinin bilinmesi gerekmektedir.

2.6.5.3 Yükseklik faktörü fh

Deniz seviyesinde, yükseklik faktörü her bileşen için her zaman 1'dir. Yüksekliğin farklı egzoz bileşenleri üzerindeki etkisi motor tipine göre çeşitlilik gösterir. Veri tabanının yetersiz olmasına rağmen, havalandırma tasarımında yükseklik faktörü ihtiyatlı davranmak adına dikkate alınmalıdır. Faktörün, verilen temel emisyon değerlerine

ilişkin yorumlanması gerekir; 2,000m yükseklik için faktör, temel emisyon değerlerinin bir bir faktörle çarpılması gerektiği anlamındadır. 700m yüksekliğe kadar üç yollu katalitik konvertörlü benzinli araçların emisyon davranışlarında bir değişiklik olmadığı kabul edilir.

2.6.5.4 Yaşlanma etkisi fa

Katalitik konvertörlü benzinli araçlar için, katalizörün termal yaşlanması, performansını etkiler. Bu etki, uygun yaşlanma faktörlerini uygulayarak dikkate alınır. O zamanki mevcut emisyon standartları ve uygulamaya girdiği yıla ilişkin, yaşlanma faktörleri üzerinde düşünülmelidir. Verilen yaşlanma etkisi parametreleri zaten bir emisyon standart sınıf içindeki araçların ortalama bir yaş profilini kapsar. Dolayısıyla, emisyon standardının uygulama yılının kullanılması gerekmektedir. Dizel motorlu binek otomobillerde oksidasyon katalizörleri için hiçbir yaşlanma etkisi öngörülmemektedir, şimdiye kadar bu etki için hiçbir veri yoktur. Ayrıca binek otomobillerde partikül kütlelerin yaşlanma için önemine ait herhangi bir veri mevcut değildir. Bu, EURO 4 ve EURO 5 standartlarını ilgilendirir.

3. TÜNELLERİN KISA TANIMLAMASI

Tüneller önemli mühendislik yeraltı yapılarındandır. Öyle ki tüneller, uygun ulaştırma yapıları vasıtası ile arasında doğal zorluklar ve tehlikeler olan iki yerleşim biriminin kesintisiz bir şekilde bağlantısını sağlamaktadır. Böylece, dağlık araziler, nehirler ve denizler gibi doğal engellerin, elverişli ulaştırma sistemiyle, iklim şartlarından da etkilenmeyecek şekilde aşılması sağlanmaktadır. Yolcu ve yüklerin her ikisinin de devamlı ve kesintisiz taşınıyor olması bir toplumun gelişmesi ve sosyal olarak refaha ermesi için gerekli bir durumdur.

Tüneller, karayollarının bütünleyici bir parçasını oluşturmaktadır. Türkiye coğrafi açıdan engebeli bir yapıda olduğundan çok sayıda tünele sahiptir. Bu çalışmanın amacı, Avrupa Birliği üyelik sürecinde olan Türkiye’de bulunan karayolu tünellerinin Avrupa Birliği karayolu tünelleri ile karşılaştırılması ve Kâğıthane Piyalepaşa tünelinin örnek alınarak incelenmesidir. Bu kapsamda Türkiye Karayolu tünellerinin mevcut durumları tespit edilmiş, Avrupa Birliği standartlarına uygunlukları irdelenerek Türkiye karayolu tünellerinde yapılması gerekenler ortaya konmuştur.

Bir ulaşım 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 verilmektedir.

Özellikle kentsel bölgelerdeki trafik yoğunluğundan ve coğrafi güçlüklerden kaçınmak için inşa edilen tünellerin sayısı giderek artmaktadır.

3.1 GENEL ANLAMDA TÜNEL TANIMI

Tünel, uluslararası literatürde mutabakat sağlanmış bir tanımı olmamakla birlikte; genel anlamıyla yer altından kazı yapılmak suretiyle oluşturulan geçitlerdir. Veya demiryolu, karayolu, yaya yolu, kanal vb. gibi bir nakliye yolunun bir kısmının yeryüzünden

geçirilmesinin teknik bakımdan imkânsız olduğu ya da ekonomik bakımdan uygun bulunmadığı yerlerde bu kısmın yeraltından geçirilmesi için başvuru yapılaraya tüneller denir.

Tüneller, geometrilerinin ve üstlerine gelen yüklerin karmaşıklığı, kaya ve kaplama malzemelerinin özellikleri ve karşılıklı etkileşimleri nedeniyle projelendirmesi oldukça güç yapılardır.

Karada ve denizde gittikçe artan trafik hacmi yeni tüneller yapılmasını gerekli kılmaktadır. Trafik yoğunluğu artışına paralel olarak tünellere duyulan ihtiyaç özellikle dağlık alanlarda can alıcı hale gelmiştir. Türkiye gibi gelişmekte olan ülkelerde ise tüneller yapımları yoğun yol geliştirme programları dâhilinde ele alınmaktadır.

3.2 TÜNELLERİN TARİHÇESİ

Mağara ve dehlizlerin açılması, akarsu veya yer altı suyunun etkileri ile zeminin dağılması veya suların kireç taşı tabakalarını eritmesi suretiyle uzun zamanda meydana gelmiştir. Çeşitli etkiler ile (daha çok yer sarsıntıları olduğu zaman) yer altı suları çatlaklarda ilerleyerek kireçtaşı tabakalarının boşluklarında toplanır. Zamanla kireçtaşını eriten bu sular kayacın daha kolay eriyen kısımlarına doğru ilerler. Çatlaksız ve suda erimeyen bir kayaç tabakası ise bu ilerlemenin yatay yönde olmasını sağlar.

İnsan elinin değmediği pek çok dehliz ve mağara örnekleri vardır. Bunlar arasında deniz sularının etkisi ile meydana gelenler olduğu gibi, arazinin yüksekte kalan kısımlarını delerek bunların altından geçmek suretiyle yataklarını değiştirmiş akarsuların etkisi ile karstlanma sonucu meydana gelenlere de rastlanmaktadır. İskoçya'daki Hebrides takımalarında bulunan Fingal mağarası bunlardan birincisine karakteristik bir örnektir. 20 m yükseklik ve 70 m uzunluğundadır. Düden, Dumanlı, Damlataş, İnsuyu, Cennet-Cehennem mağaraları akarsuların açtığı dehliz ve mağaralara örnek oluşturur.

Bu dehliz ve mağaralardan faydalanan ilk insanların, daha kullanışlı ve güvenli bir duruma getirmek için bunları genişlettikleri, ilerlettikleri ve sağlamlaştırdıkları ve doğal

dehlizlerin bulunmadığı yerlerde bunlara benzetmek suretiyle küçük çapta bir takım dehlizler açtıkları söylenebilir.

Mısır Firavunları, Teb, Nübi Krallıkları, Amerika Aztekleri gibi çok eski uygarlıklardan kalma bu şekilde yapılar vardır. Özellikle Mısır ve Hindistan'daki mezar ve tapınakların girişleri bu tipte olan en eski kalıntılardır.

Tünellerin çok gelişmiş toplumlarda ulusun günlük yaşamının önemli parçasını oluşturduğu ilkçağlardan beri açıkça görülmektedir. Yaşamlarını sürdürebilmek, günlük uygulamalarını devam ettirebilmek, gelişebilmek ve değişik toplumlarla yakınlaşabilmek için tünellere ihtiyaç duyulmuş ve bu nedenle de M.Ö. 200 yılından günümüze kadar tünencilik çok büyük gelişmelere sahne olmuştur. Tüneller tarih boyunca her zaman kültürel açıdan gelişmiş toplumlarda inşa edilmişler ve bu toplumlar teknik ve ekonomik güce de sahip olmuşlardır.

Kârgir kaplamalı ilk tünelin, M.Ö. 200 yıllarında yapılmış olduğuna dair kalıntılara rastlanmıştır. Fırat nehri altında açılmış olan bu tünel tuğla kaplamalı ve kemerlidir. Nehrin 200 m genişliğindeki bir yerinde yaklaşık 3,80 m genişlik ve 4,80 m yüksekliğinde olup uzunluğu 960 m'yi bulmaktadır. Daha sonraları galeri açmanın bir savaş tekniği olarak ta kullanıldığı görülmektedir. Mısırlılar ve Romalılar ise daha çok su getirmek amacı ile tüneller açmışlardır. Yunanlılar zamanında ilk tünelin M.Ö. 687'de Sakız Adası'nda açılmış olduğu tespit edilmiştir. Şekil 1,1'de kargir kaplaması yöntemiyle yapılan bir tünelden örnek bir fotoğraf alınarak kargir kaplamasının özellikleri gösterilmiştir.

Şekil 3.1: Kargir kaplama örneği



Kaynak: Nihat Teke, Tünellerde Avrupa Birliği Standartları, Eylül 2012.

Bütün bu tünellerin açılmasında, elde bulunan olanaklara göre, uygulanan yöntemler çok ilkel olmuştur. Fakat şunu da unutmamak gerekir ki, yüzyıllık, bin yıllık tüneller hala günümüzde ayakta durmaktadır ve bugün bize o zamanın becerisi hakkında düşündürücü fikirler vermektedir. Bu fikirler şu an bile tünel inşaatının gelişmesinde zaman zaman rol oynamaktadır. Bununla beraber 1556 tarihinde Georg Bauer tarafından yazılan “De Re Metallicas Georg” adlı eserde anlatılan Agricola Alias yapısındaki yöntem uzun zaman kullanılmış olan tünel açma usulünü göstermekte olup yaklaşık olarak 350 yıl içinde yer altı inşaatında tartışılmaz çalışma şekli olarak kalmıştır.

XVII. yüzyılda gelişmeye başlayan kanal taşı, tünelcilikte önemli bir aşama meydana getirmiştir. Endüstri devriminin başlaması da tünellerin gelişmesinde özellikle ulaştırma uygulamalarında hızlı bir ivme sağlamıştır. 18. yy ve 19. yy süresince İngiltere’de endüstriyel gelişim, tünelleri de etkilemiştir. Buna bağlı olarak daha hızlı bir şekilde kanallar da gelişmiştir. Demiryolları ve kayda değer birçok mühendislik uygulamalarında ki gelişmeler, tünellerdeki önemli gelişmelere de etkide bulunmuştur. Avrupa’daki tünel inşasına ait bu gelişmeler Amerika’ya da geçerek 1818 yılında Pansylvania da Schuylkill kanalı üzerinde ilk tünele başlanmıştır. 1820 de biten bu tünel

5,49 m genişliğinde 6,10 m yüksekliğinde ve 250 m uzunluğundadır. Şekil 1,2’de Romalılardan kalma bir tünel gösterilmektedir.

Şekil 3.2: Romalılardan kalma su tüneli



Kaynak: Nihat Teke, Tünellerde Avrupa Birliği Standartları, Eylül 2012.

Gelişmeler ışığında, mühendisler daha zor koşullar altında açılması gereken tüneller hakkında çalışmalara başlamış ve bu noktada su altı tünellerinin ilk örnekleri yapılmaya başlamıştır. Bu çalışmalardan ilki 1823–1843 yılları arasında Taymis Nehri altında açılan 4,20 m ve 4,80 m çaplarındaki halen hizmette olan bir ikiz tüneldir (İngiltere/Londra/Greenwich). Bu tünel, tünel açma yöntemlerinde önemli bir gelişmeye ışık tutmuştur. Fransız mühendis Brunel’in patentini aldığı Bukliye yöntemi ilk defa burada uygulanmıştır. Brunel’in Taymis Nehri altında ilk bukliyesini attığı devirde Lord Cohrane’da sulu zeminlerde kuyu ve galeri açmak için basınçlı havadan faydalanma yöntemine ait patentini 1830 tarihinde almıştır. Fakat bu şekilde tünel açma ilk defa ancak 1839’da Hersent tarafından Chalonnnes-sur-Loire’da, sonra da 1879’da Anverste uygulanmıştır. Daha sonra, 1880’de bir deniz altı tüneli açma hazırlığı olarak Manş Denizi altında iki keşif galerisi açılmıştır. 1893 yılında ABD Boston’da kanalizasyon sistemi için ve 1910 yılında Michigan Central Demiryolunun Detroit nehri geçişinde büyük boyutlarda tüneller kullanılmıştır.

1999 yılında Danimarka ve İsviçre’de Drogden isimli batırılmış tünel örneğine rastlanmıştır. Ayrıca 2000 yılında, Japonya’da Kawasaki Fairway ve Osaka South Port isimli tünellerin yapımı tamamlanmıştır. Yine aynı yıl Japonya’da Kobe Port isimli bir tünelin inşaatı bitirilmiştir. Trafik yoğunluğunun artmasıyla beraber karayolu tünel inşaatı, özellikle A.B.D., Fransa, İtalya, Almanya gibi gelişmiş ülkelerde büyük önem kazanmış ve bu ülkelerdeki modern otobanlarda uzun tüneller açılmıştır (Küçükoglu, 2006, URL- 2, 2007, URL- 3, 2007). Ülkemizde de bu alanda gerek kara ve gerekse denizde önemli projeler başlatılmıştır.

3.3 TÜNEL İNŞASINI GEREKTİREN NEDENLER KISACA ŞU ŞEKİLDE SIRALANABİLİR

- i. Eğimi sınırlı olan güzergâhlarda, dağlık arazide yeryüzünden aşılamayan sırt ve tepeleri geçilmesi amacıyla,
- ii. Güzergâhın bir kısmında tünel inşası ile önemli bir kısalma meydana gelecek ve tünel için gereken masraf bu kısalmadan elde edilecek tasarruf ile karşılanabilecektse ya da tünelden geçilmesi halinde maliyet artsa bile bu artış işletme masraflarından elde edilecek tasarruf ile karşılanabilecektse,
- iii. Güzergâhın bir kısmının önemli toprak kaymaları, kaya yuvarlanmaları veya çığlardan korunması amacıyla,
- iv. Gerek askeri bakımdan, gerekse üzerindeki seyri aksatmamak, doğal yapıyı bozmamak için akarsuların veya boğaz teşkil eden deniz sularının altından geçilmek istendiği zaman,
- v. İnşası ve bakımı fazla masraflı olan kendini tutamayan zeminlerdeki büyük yarmalardan kurtulmak amacıyla,
- vi. Yer üstü istimlâklerinin çok pahalı olduğu yerlerdeki yolların genişletilmesi veya yeni yolların açılması imkânının bulunmadığı durumlarda ya da kitle halinde toplu ulaşım gerektiği zaman metro inşası için,
- vii. Trafiği çok yoğun olan yolların veya bir yolla bir demiryolunun aynı düzeyde birbirini kesmesi istenmediği zaman,
- viii. Birbirlerinden tepe, sırt, akarsu, boğaz vb. gibi doğal engellerle ayrılmış şehir semtlerinin birleştirilmesi amacıyla.

3.4 TÜNEL İNŞASINDAN ÖNCE YAPILAN ARAŞTIRMALAR

Bir tünelin başarılı olarak açılabilmesi için itinalı ve eksiksiz bir geoteknik araştırma programının uygulanması gerekmektedir. Bu program 3 safhadan oluşmaktadır.

- i. Ön inceleme safhası
- ii. Fizibilite Safhası
- iii. Proje Safhası

Şimdi sırası ile bu safhalarda yapılması gereken araştırmaları inceleyelim.

3.4.1 Ön İnceleme Safhası

Bu safhada elde mevcut bilgilerden (bölgesel jeolojik haritalar ve yayınlar, hava fotoğrafları, yeraltı suyu araştırmaları, sondaj kuyusu logları, arazideki mostroların incelenmesi, bölgede daha önce açılmış olan tünellere ilişkin inşaat kayıtları, çevrede varsa taş ocağı veya maden işletmesi gibi yerlerin incelenmesi vb. gibi) azami ölçüde faydalanılmalıdır. Bu safhada araştırma sondajları yapılmasada bazı özel hallerde örneğin örtü kalınlığının bilinmesi, yeraltı su derinliğinin öğrenilmesi veya özel jeolojik sorunun çözümlenmesi amacı ile birkaç sondaj kuyusu açılabilir.

Düşünülen alternatif güzergâhlar ayrı ayrı incelenir. Bilindiği gibi büyük fay zonları, ayrıışmış kayalar, karstik kireçtaşları ve alçı taşları, ayrıışmış serpantin, yeraltı su seviyesinin altında bulunan suya doymun kumlar, şişme özelliği gösteren kayalar tünel açımı sırasında büyük zorluklara neden olmaktadır. Bu nedenle bu gibi zorluklar göz önüne alınarak bir veya birkaç alternatif güzergâh daha sonra ki fizibilite safhasında incelenmek üzere seçilir. Alternatif güzergâhlar diğerlerine oranla daha uzun olsalar da incelenmeli ve mukayese edilmelidirler. Bazı hallerde direk güzergâhın en kısa olmasına karşın inşaat yönünden zorluklar oluşturduğu, büyük ölçüde iksayı gerektirdiği ve bunların sonucunda da gerek inşaat süresinin uzadığı gerekse toplam maliyetin arttığı görülmüştür.

Tünel üzerindeki örtü kısmı da önemlidir. Metrolar ve metro istasyonları yüzeye yakın olarak inşa edilirler ve bunlar genellikle yüzeyin 15–30 m altındadırlar. Böyle hallerde yer altı su derinliği ile zemin-kaya sınırı dikkate alınmalı ve öğrenilmelidir. Tünelin zemin-kaya sınırında ilerlemesinden kaçınılmalı, ilerleme tümü ile ya kayada ya da zeminde yapılmalıdır.

3.4.2 Fizibilite Safhası

Bu safha jeolojik harita alımı, ön sondajlar, muayene çukurları ve diğer gerekli jeolojik çalışmaları kapsar. Bu safhada jeologun görevleri şu ana başlıklar altında toplanabilir:

- i. Tünel güzergâhı dolayının ayrıntılı jeolojik haritası hazırlanmak
- ii. Tünel merkezi çizgisi boyunca ayrıntılı bir jeolojik profil hazırlamak
- iii. Karşılaşmalı muhtemel tünel zemini koşullarını inşaat mühendisinin veya müteahhidin aşına olduğu terimlerle açıklamak
- iv. Projeciye şartnameler vermek ve maliyetin tespitinde yardımcı olmak

Bu safhada ön maliyet ve seçilen alternatifler tekrar gözden geçirilerek en ekonomik güzergâh seçilir. Bundan sonraki proje safhası için önerilerde bulunulur. Ayrıca tünel tasarlanması sırasında birtakım araştırmalar yapılmalı ve bazı önlemler alınmalıdır. Bu önlemler şu şekilde sıralanabilir;

- i. Güneşin doğuşu ve batışı esnasında yol yüzeyinde çok yüksek parlıltı değerleri oluşacağından ve aydınlatma tekniğinde özel zorluklar, dolayısıyla da ek maliyetler getireceğinden, mümkünse tüneller doğu-batı doğrultusunda inşa edilmemelidir.
- ii. Çıkışlarda oluşabilecek kamaşmanın önlenmesi için, doğrusalların yerine hafif virajlı giriş-çıkışlar tercih edilmelidir. Ayrıca tünel içinde de hafif virajlı bir gidiş, cismin açık renk duvarlar üzerinde kontrastını yükselteceğinden, görme koşulları açısından da yararlıdır.
- iii. Tünel yaklaşma bölgesindeki yol kaplaması ve tünel kapı yüzeyi koyu renk ve pürüzlü olmalıdır. Ayrıca tünel girişinden önce yola dik olarak inşa edilen

duvarlar da mat, koyu renk malzemeden yapılmalıdır. Tünel içinde mümkün olduğu kadar aynasal yansıtıcı yüzeylerden kaçınılmalı duvarlar ise kolay temizlenir malzemeden yapılmış olmalıdır

- iv. Nispeten karanlık olan tünel girişinin görüş alanındaki yerini arttırmak için tünel kapısı geniş ve yüksek yapılmalıdır. (su altı tünelleri için çok faydalı olan bu çözüm, dağ tünelleri için çok pahalıya mal olmaktadır)
- v. Tünel girişinin bitişiğindeki ve üstündeki açık arazi; yıl boyu yeşil kalan kışa dayanıklı, iğne yapraklı bitkiler ve bodur ağaçlarla ağaçlandırılmalıdır.
- vi. Yüksek hız ile yaklaşılan tüneller kurulum aşamalarında yüksek maliyetler getireceğinden hızı limiteleyecek bazı önlemler alınmalıdır. Örneğin; tünel yaklaşılırken bir rampanın mevcut olması ya da hız uyarı işaretleri hızı azaltacağından eşik bölgesi parıltı düzeyi ve uzunluğu da düşecektir. Ödeme veya kontrol noktaları oluşturulacak ise bunların çıkış yerine girişte yapılması tercih edilmelidir. Bu sayede giriş bölgesinde gereken parıltı değeri büyük ölçüde azaltılabilir.
- vii. Aydınlatmanın verimini yükseltmek için tünel içindeki yol kaplaması ve tünel duvarları yüksek yansıtma faktörüne sahip olmalıdır. Bu amaç için açık renk yol kaplamalarının, kolay temizlenebilen aydınlık duvarların kullanılması uygundur. Ancak aydınlatmanın kalitesi ve endirekt kamaşmanın önlenmesi bakımından yol kaplaması ve tünel duvarları dağıtıcı/yansıtıcı nitelikte olmalıdır (Bommel 1980; Philips, 1981).

3.4.3 Proje Safhası

Bu safha nihai jeolojik harita alımı çalışmalarını, sondaj araştırmalarını ve yerinde deneyler ile laboratuvar deneylerini kapsamaktadır. Bu safhada Jeolojik profil daha ayrıntılı hale getirilir ve teknik rapor yazılır. Projenin ayrıntılı olarak maliyetinin hesaplanmasının yapılmasında projeyi yapana yardımcı olunur.

Bu hesaplamanın yapılmasında ve planlamanın yapılması şu şekilde gerçekleştirilir:

- i. Tünel seviyesi ve istikametinin belirlenmesi,

- ii. Giriş ve şaftlar için uygun yerlerin saptanması,
- iii. Tünel kaplamasının tasarımı,
- iv. Özel tekniklere gereksinim olup olmadığının tespiti,
- v. Kazı ve inşaat yöntemleri ile ilgili önerilerde bulunması,
- vi. Önerilen kazı ve inşaat yöntemleri ile ilgili olarak ilerleme hızı, aşırı sökme miktarları ve tünel içerisine gelmesi muhtemel su miktarları belirlenir.

3.5 TÜNEL AÇMA YÖNTEMLERİ

Tünel açılacak güzergâhın topografyası, zemin koşulları ve açılacak tünelin geometrisi gibi parametreler değerlendirilerek tünel açma yöntemi ve buna bağlı olarak kullanılacak ölçme yöntemleri belirlenmektedir. Tünel açma yöntemleri, günümüzde genelde kullanılan inşaat prensipleri açısından dört ana grup halinde incelenebilir. Bu gruplar;

- i. Aç-Kapa yöntemiyle tünel açma yöntemi,
- ii. Tünel Delme Makinesi (TBM) ile tünel açma yöntemi,
- iii. Batırma Tünel (Immersed Tube) yöntemi,
- iv. Yeni Avusturya Tünel Açma yöntemi (NATM)

olarak sıralanabilir (Ünlütepe, A. 2003).

3.6 TÜNEL ÇEŞİTLERİ

Tüneller, yapım şekillerine göre ve işlevlerine göre olmak üzere iki ana başlıkta incelenebilir. Yapım şekline göre tüneller, tünellerin nasıl bir toprak parçasında nasıl inşa edilmesi gerektiğiyle ilgili, işlevlerine göre tüneller ise tünellerin ne amaçla ve ne şekilde kullanılacağına dair bir sınıflandırmadır. Tablo 3.1' de tünel çeşitlerinin yapım şekillerine ve işlevlerine göre sıralanması ifade edilmektedir.

Tablo 3.1: Tünel çeşitlerinin sınıflandırılması

| Tünel Çeşitleri | |
|--|----------------------------------|
| Yapım Şekillerine Göre Tüneller | İşlevlerine Göre Tüneller |
| 1)Kayaç Zeminde Açılan Tüneller | 1) Demiryolu Tünelleri |
| 2)Yumuşak Zeminde Açılan Tüneller | 2) Karayolu Tünelleri |
| 3)Su Altında Açılan Tüneller | 3) Yaya yolu Tünelleri |
| | 4) Akarsu Tünelleri |
| | 5) Hidrolik Tüneller |

Kaynak: Nihat Teke, Tünellerde Avrupa Birliği Standartları, Eylül 2012.

3.6.1 Yapım Şekline Göre Tüneller

Yapım şekline göre tüneller kayaç zeminlerde açılan tüneller, yumuşak zeminlerde açılan tüneller ve su altında yapılan tüneller şeklinde sınıflandırılabilir.

3.6.1.1 Kayaç zeminlerde açılan tüneller

Kayaç zeminlerde inşa edilen tünellerde genellikle delme-patlatma yöntemi ya da değişik tipteki delgi aygıtları kullanılmaktadır. Kaya zeminlerin kendini taşıyabilir özellikte olması nedeniyle bu tip zeminlerde inşa edilen tünellerde, genellikle stabilite sorunlarıyla karşılaşmamaktadır.

Klasik yöntem adıyla da anılmakta olan delme-patlatma yöntemi ile tünel inşası yüz yılı aşkın süredir önemli bir değişiklik yapılmadan hemen her türlü kayaç koşullarında kullanılmaktadır.

Bu yöntemle tünel inşasında aşağıdaki sıra izlenmektedir:

- i. Kararlaştırılmış bir plana göre önceden aynada patlayıcıların yerleştirileceği lağım delikleri açılmaktadır. Eğer jumbo adlı delgi aygıtı lağım deliklerinin açımında kullanılacaksa aynaya yaklaştırılmakta ve kazı için hazırlanmaktadır.
- ii. Açılan deliklere daha önceden hesaplanmış miktarda patlayıcılar yerleştirilmektedir.
- iii. Deliklerde bulunan patlayıcılar ateşlenmekte ve patlatmadan meydana gelen gazların giderilmesi için havalandırma yapılmaktadır.
- iv. Düşme ihtimali olan kayaç parçaları düşürülmekte, gerekli durumlarda yeni açılan kısma destek yapıldıktan sonra çıkan kazı malzemesi taşınmaktadır.

Şekil 3.3: Jumbo aygıtıyla tünel açılması



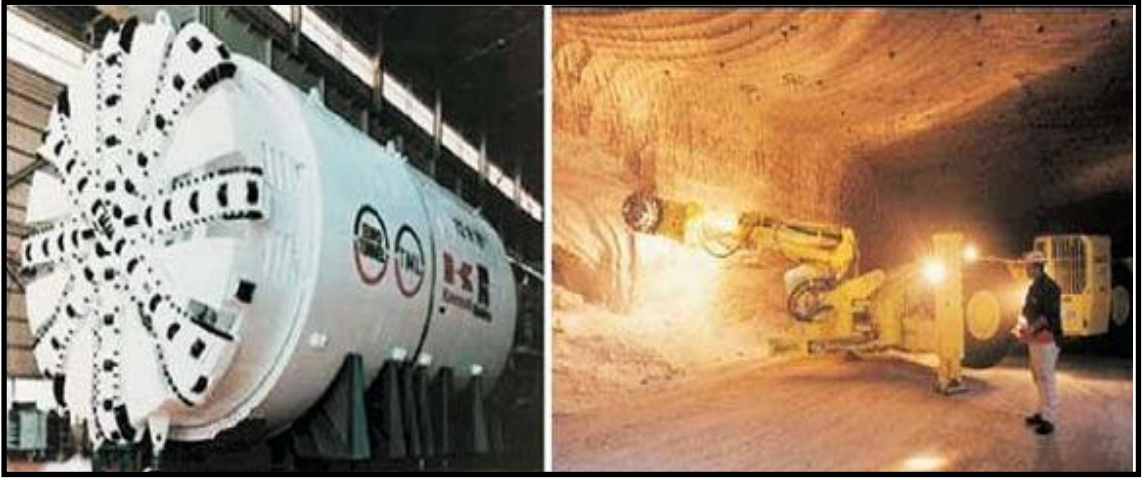
Kaynak: Nihat Teke, Tünellerde Avrupa Birliği Standartları, Eylül 2012.

Özel delgi açma aygıtlarının yaklaşık 50 yıl önce geliştirilmesi ile tünel açımında yeni bir devir başlamış ve bu aygıtlar sayesinde kazı hızı geleneksel yöntemlere göre artmıştır. Özel delgi aygıtlarıyla tünel açma, tam kesitte ve yarım kesitte tünel açma olmak üzere iki kısımda incelenebilir.

Tam kesitte tünel açan aygıtlara genel olarak tünel açma makinesi (TBM) denmektedir. Bu aygıt ön yüzüne çeşitli cins ve sayıda kesiciler yerleştirilmiş dönen bir kafa ile içinde gerekli parçaların ve kumanda bölümünün bulunduğu silindirik bir gövdeden ibarettir.

Diğer bir tünel açma aygıtı da kollu tünel açma aygıtıdır. Bu aygıt kayacı, bir kol üzerinde dönen küçük bir kafaya yerleştirilmiş kesiciler yardımıyla yontmaktadır. Tam kesitte tünel açma aygıtına göre daha az enerjiye ihtiyaç duymakta ve maliyetleri de daha düşük olmaktadır. Tam kesitte tünel açma aygıtından farklı olarak bu aygıt dairesel olmayan kesitlerde de kullanılmaktadır. Şekil 3.4' te tünel açma makinalarının resimleri gösterilmektedir.

Şekil 3.4: Özel delgi araçları ile tünel açma



Kaynak: Nihat Teke, Tünellerde Avrupa Birliği Standartları, Eylül 2012.

3.6.1.2 Yumuşak zeminlerde açılan tüneller

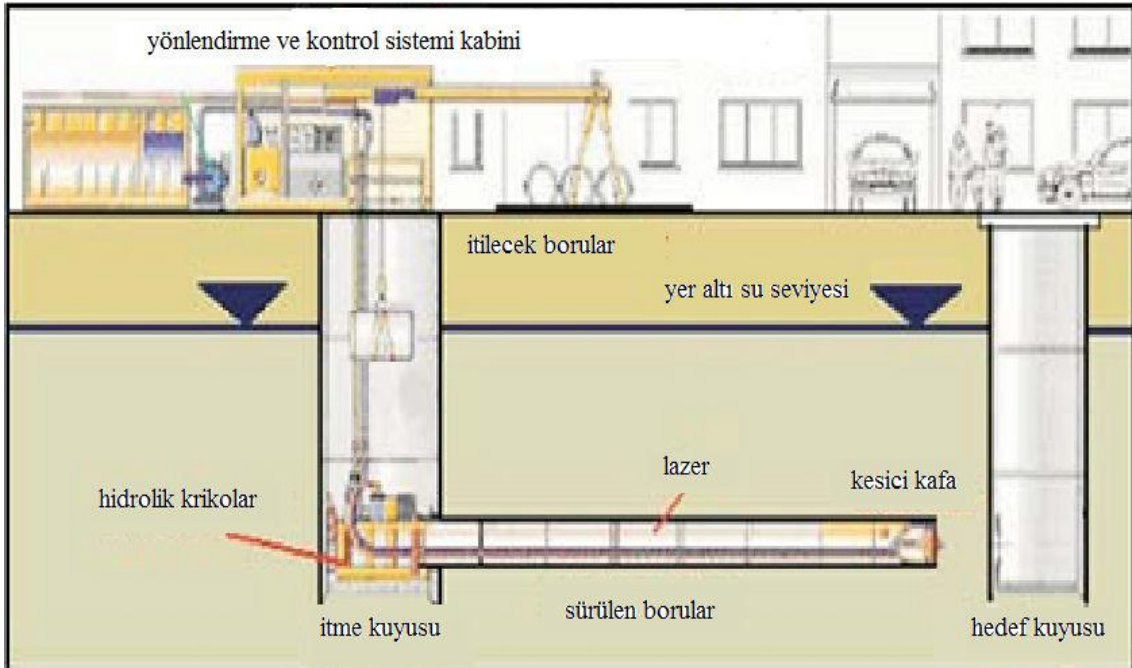
Alt geçitler, gömme depolar, yer altı otoparkları, içme suyu ve kanalizasyon tünelleri gibi yer altı yapılar genellikle sığ derinliklerde ve yumuşak zeminlerde açılmaktadırlar. Bu zeminler düşük taşıma gücüne sahip olan ve genellikle suya doymuş zeminlerdir. Bu nedenle bu tür zeminlerde tünel açma, özel tekniklerin geliştirilmesini ve genellikle zeminlerin iyileştirilmesini gerektirmektedir.

Bu sebeple zemin iyileştirme yöntemleriyle tünel çevresi stabilizesinin sağlanması ve yeraltı su seviyesinin düşürülmesi gerekmektedir. Stabilizeyi sağlamak ve su sızıntılarını önlemek için enjeksiyon, zemini dondurma, denetimli drenajla zemin suyu seviyesinin düşürülmesi ve basınçlı hava yardımıyla suyun denetim altına alınması gibi işlemler yapılmaktadır.

Yumuşak zeminlerde tünel açma yöntemlerinden ilki kalkanla tünel açma yöntemidir. Kalkan (bukliye) esas olarak çelik bir silindir şeklindedir. Bu aygıt tünel boşluğunu çevreleyerek, zemine destek sağlamak suretiyle kaplamanın yapımına destek gerektirmeden kazı yapılmasına izin vermektedir. Tünel kazısında tam kesit halinde ilerlemeyi sağlayan bu aygıt, yapılmış olan son kaplama kenarından destek alarak ileri doğru solucan hareketine benzer bir hareketle itilmekte ve keskin ucu sayesinde zemine gömülerek kazının yapılmasını sağlamaktadır.

Bir diğer yumuşak zeminde tünel açma yöntemi ise boru sürmeyle açmadır. Bu yöntemde dışarıda imal edilmiş borular, krikolar yardımıyla arka arkaya zemine sürülmektedir. Boru sürme yöntemi, kanalizasyon ve su şebekelerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Yöntemde öncelikle boru dönecek yerde giriş ve çıkışta iki adet kuyu açılmakta, giriş kuyusuna yan duvarlardan destek alacak şekilde yerleştirilen kriko yardımıyla, kuyuya indirilen borular zemine itilmektedir. Kazı işi itme işleminden önce ya da sonra çeşitli araçlarla yapılabilmektedir. Şekil 3.5 'te boru sürme yöntemini sembolize eden bir resim bulunmaktadır.

Şekil 3.5: Boru sürme yöntemiyle açılan tünel örneği

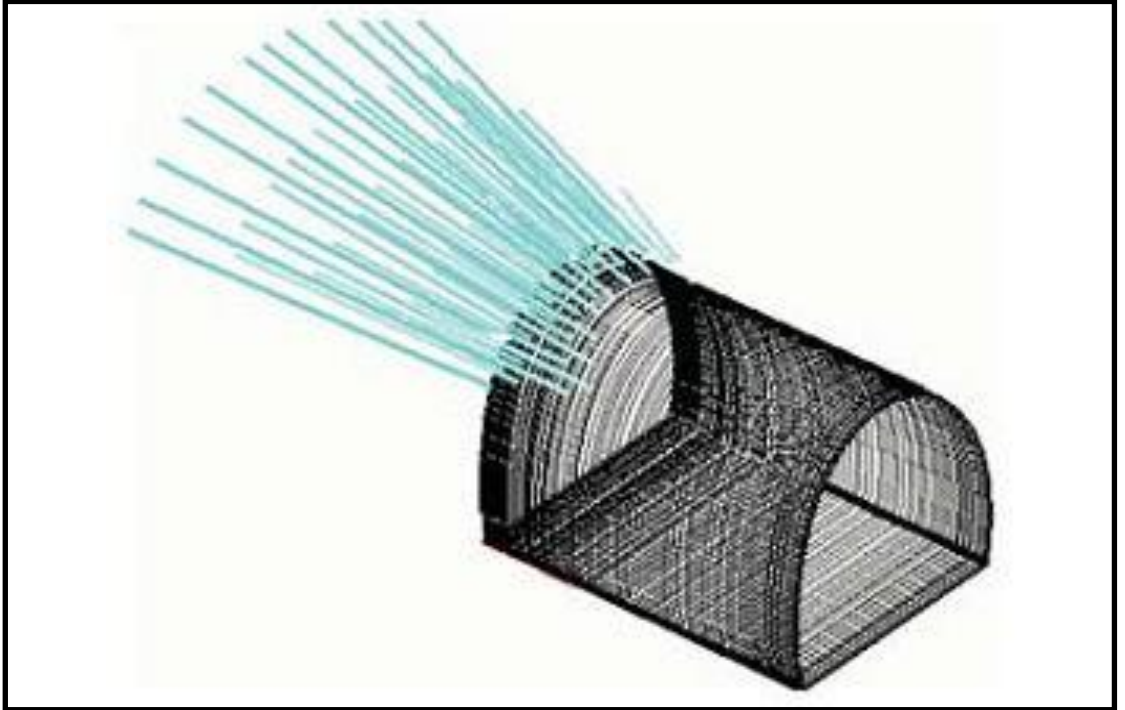


Kaynak: Nihat Teke, Tünellerde Avrupa Birliği Standartları, Eylül 2012.

Başka bir yumuşak zeminde tünel açma yöntemi olan aç-kapa yöntemi genellikle örtü kalınlığı 10 m'den az olan kanalizasyon, içme suyu ve altgeçit tünellerinin inşasında kullanılmaktadır. Bu yöntemde zemin, büyük bir hendek şeklinde kazılmakta, tünelin kaplaması yapıldıktan sonra üzeri tekrar örtülmektedir.

Yumuşak zeminde tünel açma yöntemlerinden son olarak şemsiyelime (boru kemer) yönteminden bahsedilebilir. Bu yöntemde tünel aynasının stabilizesini sağlamak amacıyla zemin çivisi adıyla bilinen destekleme elemanları, tünel aynasında önceden belirlenen çapta ve uzunlukta delikler delinerek zemine uygulanmaktadır. Delinen deliklere uygun kalınlıkta ve uzunlukta çelik donatı ya da yeterli çekme dayanımına sahip fiberglaslar yerleştirilmekte ve etrafı uygun kıvamda çimento enjeksiyonuyla doldurulmaktadır. Bu sayede oluşturulan ön kemer altından kazı yapılarak tünel inşası gerçekleştirilmektedir. Şekil 3.6' da tünel açma yöntemlerinden şemsiyeleme yönteminde kullanılan zemin çivisi resmi bulunmaktadır.

Şekil 3.6: Şemsiyeleme yönteminde uygulanan zemin çivilerine örnek



Kaynak: Nihat Teke, Tünellerde Avrupa Birliği Standartları, Eylül 2012.

3.6.1.3 Su altında yapılan tüneller

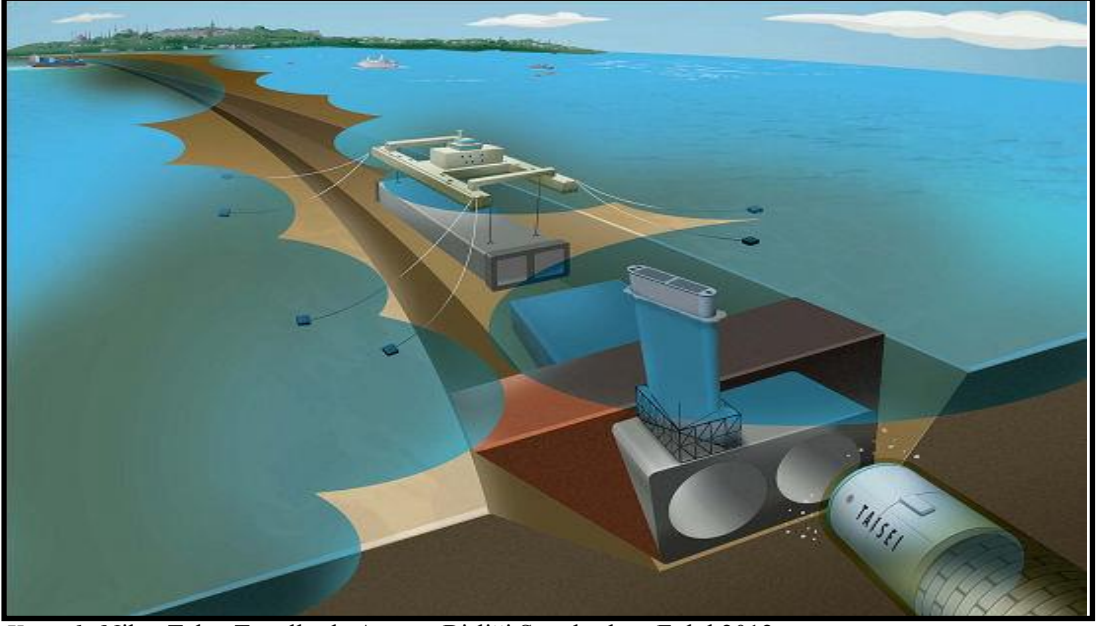
Su altında yapılan tüneller batırılmış tüneller ve daldırılmış yüzen tüneller olarak sınıflandırılabilir.

Tüp tünel ya da batırılmış tünel adıyla anılan tüneller bir su yolu engelini aşmak için köprülere ve derinden geçen geleneksel tünellere bir seçenek olmakla birlikte karakteristik olarak kanalları ve kanal tarzındaki doğal engelleri alttan geçmede en kısa yol olarak gözükmektedir.

Batırılmış tüneller, karada inşa edilen tüplerin batırılarak indirildikten sonra deniz tabanında açılan ve tabanı düzlenmiş bir hendeğe dizilerek yerleştirilmesi ve daha sonra üstlerinin örtülmesi şeklinde inşa edilmektedir (Ö. Aydan). Bu nedenle, deniz kenarında genellikle uzunluğu 100 m'yi geçen tüplerin inşa edileceği deniz seviyesinin altında geniş bir yapım alanına gereksinim vardır. Tüplerin deniz tabanına yerleştirilmesinden önce, tüp tünel yüksekliğinin 1,3-1,7 katı derinlikte ve oldukça geniş bir hendeğin kazılması ve tabanının düzlenmesi gerekmektedir. Tüpler inşa edildikten sonra yüzdürülerek tünel inşa alanına getirilmekte, vinçlerden ve harita mühendisliği ilkelerinden yararlanılarak ve dalgıç kullanılarak deniz tabanına batırılıp indirilmekte ve dizilerek birbirlerine eklenmektedir. Marmaray projesi boğaz geçişi için yapılan tünel de bu sistemle inşa edilmiştir.

Deniz altı geçişinde kullanılan diğer bir tip de daldırılmış yüzen tünellerdir. Suyun kaldırma kuvvetinden faydalanılarak yapı, uygun bir derinlikte desteklenmektedir. Tüpe benzer yapı çelik ya da betonarme olarak üretilmekte ve üretilen parçalar kolonlar, halatlar ya da dubalar sayesinde belirli seviyede yüzer halde tutulmaktadır. Şekil 3.7' de ülkemizde batırma tüp tüneli yöntemiyle yapılan Marmaray Tünelini semboize eden bir resim bulunmaktadır.

Şekil 3.7: Marmaray projesi batırma tüneli uygulaması



Kaynak: Nihat Teke, Tünellerde Avrupa Birliği Standartları, Eylül 2012.

3.6.2 İşlevlerine Göre Tüneller

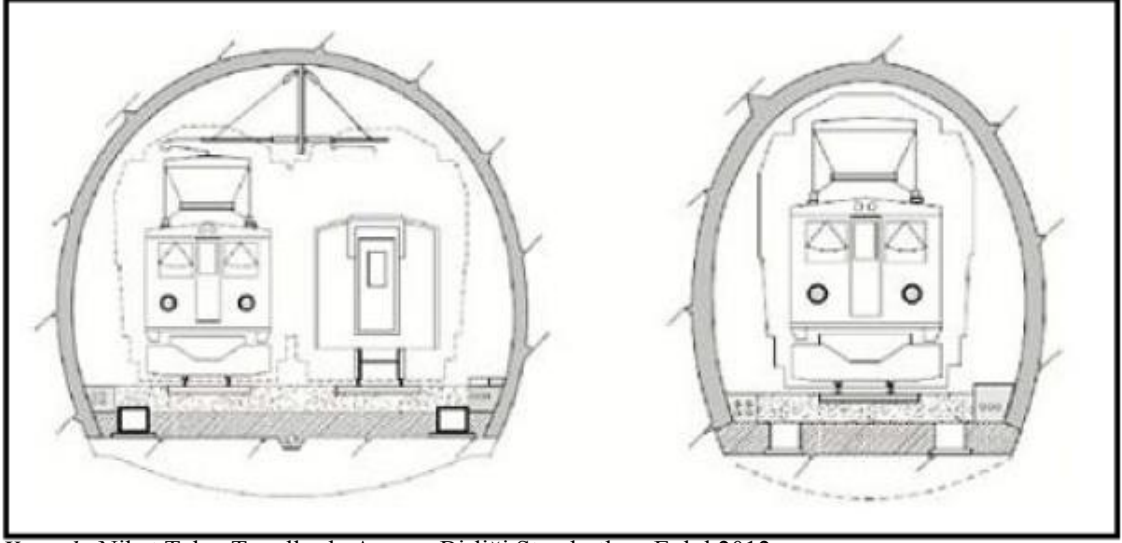
Tünelin inşa edileceği altyapının çeşidi bu sınıflandırmanın oluşumundaki en önemli ölçüttür. İşlevlerine göre tüneller demiryolu tünelleri, karayolu tünelleri, yaya tünelleri, kanal (akarsu) tünelleri, hidrolik güç tünelleri ve metro tünelleri olarak sıralanabilir.

3.6.2.1 Demiryolu tünelleri

Demiryollarında karayolundakinden farklı olarak sürtünme katsayısı düşük olduğu için yüzde 1,2'den fazla eğimlere izin verilmemektedir. Tüneller tek hatlı demiryollarında 4,5 ila 6 m genişlikte (yaklaşık enkesit alanı 50 m²), çift hatlı demiryollarında ise 8 ila 9 m'lik bir genişlikte (yaklaşık enkesit alanı 80 m² - 100 m²) olacak şekilde açılırlar.

Yükseklikler havalandırma tesisleri bakımından elverişli, araçların üzerinde en az 1,20 m bir boşluk kalacak biçimde, tek hatlı demiryollarında daha çok sepet kulbu şeklinde, çift hatlarda ise tam kemer şeklinde inşa edilirler. Buna karşılık, satha çok yakın olarak geçilmesi durumunda dikdörtgen şekline de gidilmiştir. Şekil 3.8' de tek ve çift hatlı demiryolu tünellerinin enkesitleri gösterilmektedir.

Şekil 3.8: Çift ve tek hatlı demiryolu tüneli enkesitleri



Kaynak: Nihat Teke, Tünellerde Avrupa Birliği Standartları, Eylül 2012.

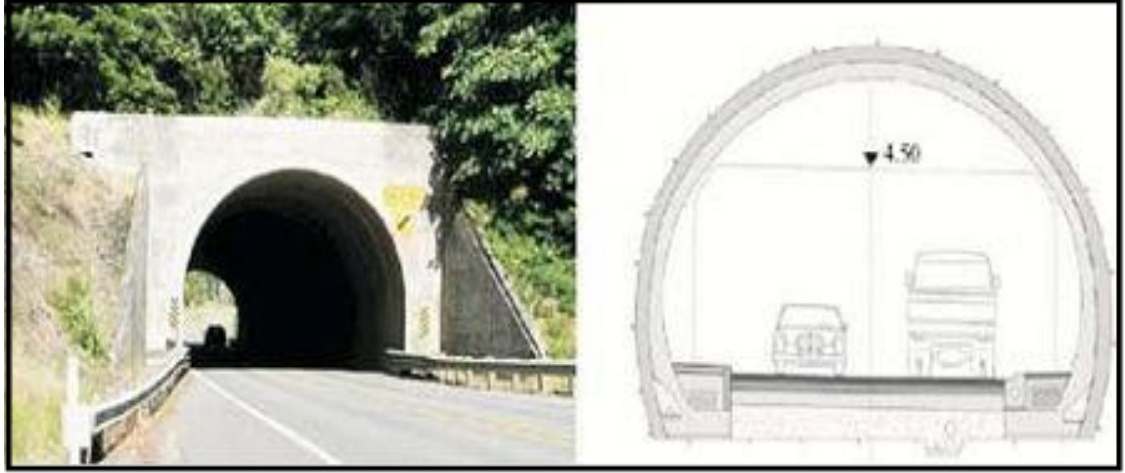
3.6.2.2 Karayolu tünelleri

Karayolu tünelleri, demiryolu tünellerine nazaran güzergâh geometrisi açısından çok daha esneklerdir. Bunlar genellikle yüzde 2'lik bir eğime göre projelendirilmektedir. Trafik hacmi düşük ise söz konusu eğim yüzde 4'e kadar çıkmaktadır. Daha yüksek eğimler havalandırma ve görüş güvenliği açısından uygun değildir. Uzun tünellerde havalandırma ve yangın güvenliği projenin en önemli öğelerinin başında yer alır.

Karayolu enkesiti günlük trafik hacmine bağlıdır. Şehirlerarası yol tünellerinde genel olarak 6 m'lik bir otoyolu ile yan taraflarda 1 m'lik iki yaya yolu bulunur. Şehir içlerinde olduğu gibi, trafiği fazla olan tüneller daha geniş olur. Bu tüneller yalnız bir yöndeki trafiği, bazen de gidiş ve geliş olmak üzere her iki yöndeki trafiği de barındırabilir.

Karayolu tünelleri genel olarak tam kemer, sepet kulbu veya elips şeklinde olup nehir altından geçtikleri takdirde çok defa bukliye ile açıldıklarından daire şeklinde olurlar. Eğer tünel sathı çok yakın ise o zaman dikdörtgen kesit tercih edilerek üzeri betonarme döşeme ile kapatılır. Tünelin havalandırması büyük kesit gerektiriyorsa tam kesit tercih edilir. Şekil 3.9' da karayolu tünellerinin dış görünüşü ve en kesitleri gösterilmektedir.

Şekil 3.9: Karayolu tünel örneği ve enkesiti



Kaynak: Nihat Teke, Tünellerde Avrupa Birliği Standartları, Eylül 2012.

3.6.2.3 Yaya tünelleri

Yaya tünelleri genişliği 3 m'den, yüksekliği ise insana ezilme hissi vermemesi bakımından 2.50 m'den daha küçük tutulmamalıdır. Şekilleri ise dikdörtgen veya tercihen kemerli ve daire şeklinde olabilir. Bu tünellerde bazen bisikletliler için ayrı bir şerit de yapılabilir.

3.6.2.4 Kanal (akarsu) tünelleri

Nehir ulaşım sistemlerinde kullanılan kanal tünelleri için enkesit şekli tüneli kullanacak olan teknelerin cinsine göre değişir. Örneğin Fransa'daki Oise-Aisne kanalı üzerindeki Braye-en-Laonnois tüneli tam kemer şeklinde olup, genişliği 8 m, yüksekliği ise 8.50 m dir. Yine Marsilya civarındaki Rove tüneli ise sepet kulbu şeklinde yapılmış olup genişliği 22 m, yüksekliği de su üstünde kalan kısmı 9.90 m olmak üzere, 15.40 m'dir. Şekil 3.10'da su kanalı örneği gösterilmektedir.

Şekil 3.10: Kanal tüneli örneği

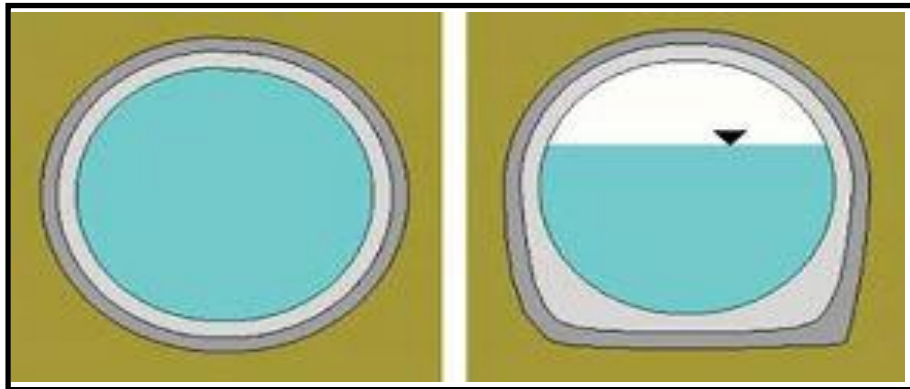


Kaynak: Nihat Teke, Tünellerde Avrupa Birliği Standartları, Eylül 2012.

3.6.2.5 Hidrolik güç ve su tünelleri

Baraj çıkışlarına açılan bu tünellerin güzergâh geometrileri diğer tünellere nazaran daha esnek ve genelde sağlam zeminde açılırlar. Hidrolik güç tünel kesit alanları düşüm yüksekliği, su debisi ve enerji kayıpları gibi faktörlere bağlı olup 10 m² ila 30 m² arasında değişir. Şekil 3.11’ de basınçlı ve basınçsız hidrolik güç tünellerinin enkesit örnekleri gösterilmektedir.

Şekil 3.11: Hidrolik güç tünelleri enkesit örneği



Kaynak: Nihat Teke, Tünellerde Avrupa Birliği Standartları, Eylül 2012.

3.6.2.6 Metro tünelleri

Metro tünellerinin enkesitleri hat ta çalıştırılacak araçların maksimum kapasitesine (araç ticari hızı, koltuk sayısı, konfor derecesi, araç sayısı, araç kapı sayıları ve genişlikleri, istasyon uzunluğu vs.), tren dizilerinin takip aralıklarına, sinyalizasyon ve ücret toplama sistemlerine bağlıdır (Şekil 1.10). Tek ve çift hatlı metro tünelleri için tipik enkesit alanı 35 m² 'dir. Yangın güvenliği en üst düzeyde olmalıdır.

Metro tünellerinin şekil ve boyutları şehirlere göre birbirinden farklılık gösterir. Örneğin Paris'deki metro tünelleri genel olarak kemerli ve çift hatlıdır. Bunun yanında bir, üç ve dört hatlı kısımlar da mevcuttur. Tek hatlı olanlarda genişlik 4.30 m dir. Yükseklik ise 4.70 m olup 2.15 m yarıçaplı tam kemer şeklinde yapılmışlardır. Şekil 3.12' de metro tünelinin görünüşü gösterilmektedir.

Şekil 3.12: Metro tüneli örneği



Kaynak: Nihat Teke, Tünellerde Avrupa Birliği Standartları, Eylül 2012.

Çift hatlılarda genişlik 7.10 m iken yükseklik 5 m dir. Kemer, elips şeklinde olup, bunun yüksekliği de 2.07 m'dir. Üç ve dört hatlılar ise sırası ile 10 m ve 12.90 m genişliktedirler. Kemerler genellikle üç merkezli sepet kulbu şeklindedir. İstasyonlar genel olarak kemerli ve iki hatlıdır. Fakat bir, üç, dört ve beş hatlı olanları da vardır. Bunların bir kısmı kemerli bir kısmı da çelik veya betonarme döşeme ile kapatılmışlardır. Tek hatlı kemerli istasyonlar 14.14 m genişlikte, 5.90 m yükseklikte olup uzunlukları 75 ila 105 m'dir. Tek hatlı istasyonlarda genişlik en az 7,30 m olup, üç-dört hatlılarda ise 22.50 m'yi bulmaktadır. Nehir altındaki bukliye tünelleri ise daire kesitli, genel olarak çift hatlı ve dış çapları da 7.78 m'dir. Şekil 3.13' de 1902-1910 yılları arasında Pariste yapılan tünelde çekilen eski bir resim görülmektedir.

Şekil 3.13: Paris metrosu tünelleri inşaatı (1902-1910)



Kaynak: Nihat Teke, Tünellerde Avrupa Birliği Standartları, Eylül 2012.

Londra'daki tüp şeklindeki tüneller ise bukliye ile açılmış olup, daire çapları 3.30 m ila 3.70 m arasındadır. Fakat bu genişlik çok az olduğu için havalandırma, kanalizasyon ve bakım personeli için hiç pay bırakmamaktadır. İstasyonlar ise yine bukliye ile açılmış olup tek hatlıdır ve dış çap 6.50 m istasyon uzunlukları ise 106 m'dir.

4. TÜNELLERDE AB STANDARTLARI

Avrupa Parlamentosu ve Konseyi 29 Nisan 2004 tarihinde 2004/54/EC sayılı Direktifi ile Trans-Avrupa Karayolu Ağı Tünelleri için minimum güvenlik gereksinimlerini belirlemiştir.

4.1 AB STANDARTLARININ GELİŞTİRİLMESİNİN AMACI

Avrupa Birliği sınırları içindeki, Trans-Avrupa Karayolu Ağı üzerinde bulunan, uzunluğu 500 m den fazla olan proje, yapım ve işletim halindeki tünellerde, tünel güvenliğinin sağlanması, bu konuda minimum güvenlik önlemlerinin belirlenmesi, güvenlik yönetimi sisteminin oluşturulması hedeflenmiştir. Bu direktif, 2004/54/EC (Trans-Avrupa Karayolu Ağı Üzerindeki Tüneller İçin Minimum Güvenlik Gereksinimleri) özel sektör tarafından yapılan ve işletilen tünelleri de kapsamaktadır.

Trans-Avrupa Karayolu Ağı, 1692/96/EC sayılı Karar'ın I no.lu Ek'inin 2. Bölümünde belirtilen ve söz konusu Karar'ın II no.lu Ek'indeki haritalarla gösterilen ve/veya tanımlanan karayolu ağı anlamındadır.

Acil hizmet, bir kaza durumunda müdahale eden polis hizmeti, itfaiyeci ve kurtarma ekiplerini de kapsayan, kamu veya özel veya tünel personelinin bir bölümü olan tüm yerel hizmetler anlamındadır.

Tünel uzunluğu, bir tünelin tamamen kapalı olan bölümündeki ölçülmüş en uzun trafik şeridinin uzunluğu anlamındadır.

4.2 AB DİREKTİFİNİN HEDEFLERİ

Tünel projelerinde insan yaşamını, çevreyi ve tünel tesisatını tehlikeye sokabilecek önemli olayların önlenmesinin yanı sıra, kazalarda koruma sağlanması ve Trans-Avrupa Karayolu Ağı'ndaki tünellerde minimum seviyede güvenlik teminini hedeflenecektir.

Avrupa Parlamentosu ve Avrupa Birliği Konseyi karayolu tünellerinde optimum güvenlik seviyesine ulaşabilmek için şu hedefleri belirlemiştir:

- i. “2010 Yılı İçin Avrupa Ulaştırma Politikası: Karar Verme Zamanı” hakkındaki 12 Eylül 2001 tarihli Beyaz Kitabında, Komisyon, Trans-Avrupa Karayolu Ağı’na ait tüneller için minimum güvenlik gereksinimlerini önereceğini belirttiğinden,
- ii. Ulaştırma sistemi, Trans-Avrupa ulaştırma ağının geliştirilmesi ile ilgili Topluluk ilkeleri hakkındaki Avrupa Parlamentosu ve Konseyin 23 Temmuz 1996 tarihli ve 1692/96/EC sayılı Kararı’nda tanımlandığı üzere, özellikle, Trans-Avrupa Karayolu Ağı, Avrupa’nın entegrasyonunu destekleme konusunda son derece önemli olduğundan ve Avrupa vatandaşları arasında yüksek refah seviyesi temin ettiğinden; Avrupa Topluluğu, Trans-Avrupa Karayolu Ağı’na ilişkin yüksek, yeknesak ve sürekli bir güvenliğin temin edilmesi sorumluluğuna sahip olduğundan;
- iii. 500 m’den fazla uzunluğa sahip uzun tüneller, Avrupa’nın geniş alanları arasında iletişimi kolaylaştıran önemli yapılar olduğundan ve bölgesel ekonomilerin işlevselliğinde ve gelişmesinde kesin role sahip olduğundan;
- iv. Avrupa Konseyi birçok vesilelerle, bilhassa 14-15 Aralık 2001 tarihinde Laeken’deki toplantısında tünel güvenliğinin artırılması önlemlerinin alınması hususundaki aciliyeti önemle vurguladığından;
- v. 30 Kasım 2001 tarihinde, Zürih’te toplanan Avusturya, Fransa, Almanya İtalya ve İsviçre Ulaştırma Bakanları, uzun tünellerdeki güvenliğin artırılması hususunda eşgüdümlü sağlanmış en son şartlara ilişkin ulusal mevzuatın uyumlaştırılmasını öneren bir Ortak Bildiri’yi kabul ettiğinden;
- vi. Önerilen faaliyetin, yani karayolu tünellerinde Avrupa vatandaşlarının tümü için yeknesak, sürekli ve yüksek seviyede korumanın temin edilmesi Üye Ülkeler tarafından yeterince başarılamadığından ve bundan dolayı, uyumlaştırma seviyesinin gereklilik göstermesi nedeniyle, Topluluk seviyesinde daha iyi sağlanacağından, Antlaşma’nın 5 no.lu Madde’sinde belirtilen yetki ikamesi ilkesine uygun bir şekilde, Topluluk önlemler kabul edebileceğinden; orantılılık

- ilkesi uyarınca, ilgili maddede belirtildiği üzere, bu Direktif hedefin başarılması için gerekli olanın ötesine geçmeyeceğinden;
- vii. Tünellerde son zamanlarda meydana gelen kazalar, insani, ekonomik ve kültürel açıdan tünellerin önemini belirttiğinden;
- viii. Uzun süre önce işletilmeye başlanan Avrupa'daki bazı tüneller, teknik imkanların ve ulaştırma koşullarının bugünkünden çok farklı olduğu günlerde projelendirilmiş olduğundan; bunun sonucu olarak, tamamen farklı güvenlik seviyeleri olduğundan ve bu durumun düzeltilmesi gerektiğinden;
- ix. Tünellerdeki güvenlik, pek çok şeyin yanı sıra, tünelin geometri bilgisine, projesine, yol işaretlerini de kapsayacak şekilde güvenlik ekipmanına, trafik yönetimine, acil servis eğitime, olay yönetimine, kullanıcıların tünellerde ne şekilde davranacaklarına ilişkin bilgi teminine, sorumlu yetkili ve polis, itfaiyeci ve kurtarma ekipleri gibi acil servis arasında en iyi iletişime yönelik bir dizi önlemler gerektirdiğinden;
- x. Birleşmiş Milletler Avrupa Ekonomik Komisyonu'nun çalışmasında, Karayolu kullanıcılarının nakledilmesi tünel güvenliğinin tartışmasız bir unsuru olarak belirtildiğinden;
- xi. Güvenlik önlemlerinin; olaylar ile ilgili kişilerin kendilerini kurtarmasına, daha ciddi sonuçların önlenmesi için karayolu kullanıcılarının derhal harekete geçmesine, acil servisin etkin bir şekilde hareket etmesini temine ve çevrenin korunması ve yanı sıra maddi hasarın sınırlanmasına imkân tanınması gerektiğinden;
- xii. Bu Direktif ile gerçekleştirilen iyileştirmeler tüm kullanıcılar için, engelli kişiler de dâhil olmak üzere, güvenlik koşullarını artıracığından; ancak, engelli kişiler acil bir durumda kaçarken daha fazla zorluk çekecekleri için onların güvenliğine özellikle dikkat edilmesi gerektiğinden;
- xiii. Dengeli bir yaklaşım uygulanması için ve önlemlerin yüksek maliyetleri nedeniyle, her bir tünelin tipi ve öngörülen trafik hacmi göz önünde bulundurularak, minimum güvenlik ekipmanının tanımlanması gerektiğinden;
- xiv. Karayolu tünellerindeki güvenlik ekipmanının ve trafik kurallarının iyileştirilmesi ve uyumlaştırılmasına yardımcı olmak üzere Dünya Karayolu Birliği ve Birleşmiş Milletler Avrupa Ekonomik Komisyonu (UNECE) uzun

zamandan beri çok değerli önerilerde bulunduğu; ancak, bu öneriler bağlayıcı olmadığından ve azami potansiyel ancak önerilerin tanımladığı gereklilikler yasama ile zorunluluk oluşturduğunda en yüksek seviyeye getirilebileceğinden;

- xv. Yüksek güvenlik seviyesinin sürdürülmesi, tünellerdeki güvenlik imkânlarının uygun şekilde idamesini gerektirdiğinden;
- xvi. Bu Direktif'in şartlarının Tünel Yöneticileri tarafından uygun bir şekilde uygulanmasını temin etmek üzere, Üye Ülkelerin, tünel güvenliğine ilişkin tüm hususların yerine getirilmesi için, sorumlu ulusal, bölgesel veya yerel seviyede bir veya daha fazla yetkili belirlemesi gerektiğinden;
- xvii. Bu Direktif'in uygulanması için esnek ve ilerleyen bir program gerektiğinden; bu durum, Üye Ülkelerde ulaştırma sistemindeki veya bayındırlık hizmetlerindeki darboğazlarda büyük sıkıntılar oluşturmadan en acil işlerin tamamlanmasına imkân tanıyacağından;
- xviii. Mevcut tünellerin yenilenmesi maliyeti, özellikle coğrafi nedenlere bağlı olarak, bir Üye Ülkeden diğerine önemli ölçüde değiştiğinden ve ülkelerindeki tünellerin Avrupa ortalamasının üzerinde sıklığa sahip olduğu durumlarda, Üye Ülkelere, bu Direktif'in şartlarını yerine getirmek için herhangi bir yenileme çalışmasını aynı anda gerçekleştirilmeyecek şekilde düzenlemelerine izin verilmesi gerektiğinden;
- xix. Halen işletilmekte olan veya projesi onaylanmış ancak bu Direktif'in yürürlüğe girmesini takip eden 24 ay içinde kamuya açılmamış tüneller için, makul maliyette uygulanacak yapısal çözümlere tünelin müsait olmadığı durumlarda, bu Direktif'in şartlarının uygulanmasına alternatif olmak üzere, Üye Ülkelerin risk azaltma tedbirlerini kabul etmesine izin verileceğinden;
- xx. Tünel güvenliğinin artırılması için, hala, daha fazla teknik ilerleme gerekli olduğundan; teknik ilerleme için, Komisyon'un bu Direktif'in şartlarını kabul etmesine ilişkin bir prosedürün başlatılması gerektiğinden; bu prosedürün, aynı zamanda, uyumlaştırılmış bir risk analiz metodunun kabul edilmesi için kullanılması gerektiğinden;

- xxi. Bu direktifin uygulanması için gerekli önlemlerin, Komisyon'un Uygulama Yetkisinin Yürütülmesi'ne İlişkin Prosedürleri Belirten 28 Haziran 1999 tarihli, 1999/468/EC sayılı Konsey Kararı uyarınca kabul edilmesi gerektiğinden;
- xxii. Trafik düzensizliğinin azaltılması için, Topluluk seviyesindeki işlerin eşzamanlı yürütülmesi bakış açısı ile Üye Ülkelerin, bu Direktifin şartlarının yerine getirilmesi için kabul etmeyi öngördükleri tedbirlere ilişkin bir raporu Komisyon'a sunması gerektiğinden;
- xxiii. Bu direktifin şartlarının, proje veya yapım aşamasında bir tünel için ikinci bir tüp inşasını gerektirdiği durumlarda, inşa edilecek bu ikinci tüp yeni bir tünel olarak mütalaa edileceğinden; bu Direktif'in şartlarının, tüm ilgili tedbirler için planlama izin heyetini kapsayan, yasal bağlayıcılığı olan yeni planlama prosedürlerinin başlatılmasını gerektirmesi halinde aynı işlemler uygulanacağından;
- xxiv. Tünellerdeki değişken mesaj işaretlerinde kullanılan işaret ve imgelere ilişkin kapsamlı uyumlaştırma derecesine ulaşmak için, işin, uygun forumda sürmesi gerektiğinden; Üye Ülkelerin, kendi ülkelerindeki tüm tüneller için kullanıcı ara birimini uyumlaştırmaya teşvik edilmesi gerektiğinden;
- xxv. Ülkelerinin Trans-Avrupa Karayolu Ağı'nı oluşturmayan kesiminde bulunan ve bunun sonucu olarak bu Direktif'in kapsamına dâhil olmayan karayolu tünelleri için karşılaştırılabilir güvenlik seviyelerini uygulama konusunda Üye Ülkelerin teşvik edilmesi gerektiğinden;
- xxvi. Daha yüksek bir tünel güvenlik seviyesini hedefleyen ulusal hükümlerin oluşturulması için Üye Ülkelerin teşvik edilmesi gerektiğinden;

Üye ülkeler 30 Nisan 2007 tarihine kadar Avrupa Birliği Komisyonuna direktifin hedeflerine ulaşmak için yaptıkları planları içeren planı sunacaklardır. Tünellerin iyileştirme çalışmaları 30 Nisan 2014 tarihine kadar devam edecektir. Trans Avrupa yol ağında bulunan mevcut tünellerinin toplam tüp uzunluğu AB ortalamasının üzerinde olan üye ülkeler 6 yıla kadar ek süre talep edebileceklerdir.

4.3 DİREKTİF KAPSAMINA DAHİL EDİLEN AB TÜNELLERİ

Direktifin uygulama alanı içine giren karayolu tünelleri olarak; Trans-Avrupa Ulaşım Ağı içinde yer alan, 500 metreden uzun, işletmeye açık olan, yapımı devam eden ya da henüz tasarım aşamasında olan tüm tüneller belirlenmiştir. Tablo 4.1' de Avrupa Komisyonu'nun belirlediği mevcut ve gelecekteki tüneller belirtilmektedir. Mevcut durumda, İtalya ve Avusturya'daki tünel yoğunluğu tüm Avrupa Birliği'ndeki yoğunluğun çok üzerindedir. Bununla birlikte Norveç; toplam uzunluğu 200 kilometre olan 130 tüneli ile ana ulaşım ağında yer alan tek Avrupa Ekonomik Alanı üyesidir.

Tablo 4.1: Binek araçlar için emisyon standartları.

| Üye Ülkeler | Mevcut TEN Tünelleri | Yeni TEN Tünelleri | Mevcut TEN Tünelleri | Yeni TEN Tünelleri | Toplam TEN Tünelleri |
|-------------|----------------------|--------------------|----------------------|--------------------|----------------------|
| | >1000m | >1000m | 500-1000m | 500-1000m | >500m |
| | >1000m | 2002-2010 | 500-1000m | 2002-2010 | 2010 yılında |
| İTALYA | 83 | 13 | 144 | 6 | 246 |
| AVUSTURYA | 33 | 8 | 19 | 4 | 64 |
| ALMANYA | 19 | 12 | 18 | 6 | 55 |
| YUNANİSTAN | 3 | 16 | 4 | 22 | 45 |
| FRANSA | 18 | 2 | 13 | 2 | 35 |
| İSPANYA | 16 | 3 | 4 | 2 | 25 |
| İNGİLTERE | 6 | 2 | 4 | 0 | 12 |
| HOLLANDA | 1 | 3 | 7 | 0 | 11 |
| FİNLANDİYA | 0 | 1 | 0 | 4 | 5 |
| LÜKSEMBURG | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 |
| DANİMARKA | 1 | 0 | 2 | 0 | 3 |
| İSVEÇ | 0 | 3 | 0 | 0 | 3 |
| PORTEKİZ | 1 | 0 | 0 | 1 | 2 |
| BELÇİKA | 1 | 0 | 1 | 0 | 2 |
| İRLANDA | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| AB Toplamı | 182 | 64 | 216 | 50 | 512 |

Kaynak: Muzaffer Zafer Sinoplu(Avrupa Birliği Karayolu Tünelleri ile Türkiye Karayolu Tünellerinin Tünel Güvenliği Açısından Karşılaştırılması)

4.4 AB' DE TÜNEL GÜVENLİĞİ KONUSUNDAKİ ÇALIŞMALAR

Avrupa Birliği bünyesinde yer alan tünellerde meydana gelen dramatik kazalar konusunda Enerji ve Ulaşım konularından sorumlu Avrupa Komisyonu Başkan Yardımcısı Loyola de Palacio şöyle demektedir:

Son yıllarda meydana gelen tünel kazalarında, kurtarılabilecek pek çok insan hayatı kaybedilmiştir. Avrupa Birliği, tüm Avrupa ekonomisinin işlerliği ve gelişmesi konusundaki belirleyici rolünü üstlenebilmek için, yüksek güvenlik seviyesini sağlamak sorumluluğundadır.

Bu sorumluluktan yola çıkarak, Avrupa Birliği Komisyonu, 30 Aralık 2002 tarihinde Avrupa Parlamentosu ve AB Konseyi'nin onayına Trans-Avrupa Ulaşım Ağı kapsamında yer alan karayolu tünellerindeki minimum güvenlik gerekçesiyle ilgili direktif teklifini sunmuştur.

Söz konusu direktif teklifinde, son yıllarda meydana gelen tünel kazalarının bilançosu şu şekilde özetlenmiştir:

- i. Son yıllardaki tünel kazalarında, Gotthard'da 11, Mont-Blanc'de 39, Tauern'de ise 12 insan hayatını yitirmiştir.
- ii. Tünel yangınlarının, onarımı dâhil direkt maliyeti 210 milyon euro/yıl'dır.
- iii. Tünellerin kapanmış olmasından kaynaklanan dolaylı maliyetlerin ekonomiye etkisi büyüktür. Mont-Blanc tüneli kazası sonucu, sadece İtalya için bu miktar yıllık 300- 450 milyon euro arasındadır.
- iv. Tünellerin kapanışı Avrupa ekonomisi için de zararlıdır: Ulaşım bedelleri yükselmekte, rekabet gücü azalmakta, daha uzun yolculuklara neden olmasıyla güvenliği olumsuz yönde etkilemekte ve dolayısıyla çevre kirliliğini de arttırmaktadır.

Avrupa Komisyonu'nun sunduğu direktif teklifinde, bu konuya yaklaşımı iki aşamalıdır:

- i. Kısa ve orta vadede; Komisyon, tünel kullanıcıları için yüksek bir güvenlik seviyesi oluşturacak minimum standartları belirleyecektir. Dolayısıyla; direktif teklifi teknik ve işletim güvenliği ile ilgili konuları kapsayacaktır: ekipman, trafik kuralları, bilgilendirme.
- ii. Son zamanlardaki tünel yangınları, mevcut ulaşım sisteminin özellikle dağlık alanlarda sürdürülebilirliği konusunda soruları gündeme getirmiştir. Bu yüzden komisyon, orta ve uzun vadeli çözüm olarak, trafiğin karayollarından, kapasitesi uygun olan alternatif ulaşım modlarına yönlendirilmesini önermektedir (European Union).

4.5 AB ORTAK ULAşTIRMA POLİTİKASININ GELİŞİMİ

Avrupa Ekonomik Topluluğu'nu kuran Roma Antlaşması'nın 2. Maddesinde AET'nun amaçları şu şekilde özetlenmiştir: Topluluğu'nun görevi, bir ortak pazarın kurulması ve üye devletlerin ekonomi politikalarının zamanla yaklaştırılması yoluyla, Topluluğu'nun tümü içinde ekonomik etkinliklerin uyumlu olarak gelişmesini, sürekli ve dengeli yayılmasını, istikrarın artmasını, hayat seviyesinin hızla yükselmesini sağlamak ve birleştirdiği devletlerarasında daha sıkı bir işbirliğini gerçekteştirmektir. Bu amaçlara ulaşmak ve Topluluğu'nun etkinliğini artırmak için yerine getirilmesi gereken hususlar arasında ulaşım alanında ortak bir politikanın oluşturulması da yer alıyordu.

Eylül 1993 tarihinde yürürlüğe giren Maastricht Antlaşması ile Roma Antlaşması'nın 2. maddesi değiştirilmiştir. Topluluk ortak bir pazarın, ekonomik ve parasal birliğin kurulması ve 3 ve 3a maddelerinde yer verilen ortak politikaların ve faaliyetlerin yürürlüğe konulması yolu ile topluluğu'nun bütünü içinde ekonomik faaliyetlerin uyumlu ve dengeli kalkınmanın, çevreye saygılı, sürekli ve enflasyonist olmayan bir büyümenin, ekonomik performansların yüksek derecede bütünlüğünün, yüksek seviyeli bir istihdam ve sosyal korumanın, yaşam seviyesinin ve kalitesinin yükselmesinin, üye devletlerarasında ekonomik ve sosyal bütünlükle dayanışmanın iyileştirilmesi görevine sahiptir.

Maastricht Antlaşması, yukarıda belirtilen hedeflere ulaşmak için yerine getirilecek hususlar arasında, ulaştırma alanında ortak bir politika ve Trans-Avrupa ulaşım ağlarının kurulmasının ve geliştirilmesinin teşvikine de yer veriyordu.

Avrupa Birliği'nin ekonomik bütünleşmesinin önemli bir aşamasını teşkil eden Tek Pazar'ın tamamlanması ve etkin işleyişi her şeyden önce birliğin iç sınırları arasındaki teknik olduğu kadar fiziki engellerin de kalkmasına bağlıdır. Gerek topluluk içinde, gerekse topluluk dışında Avrupa pazarının ulaştırma konusuna açılmaması halinde, Avrupa bütünleşmesi, mal pazarının kaynaştırılması alanında eksik kalacaktır. Sadece ulaştırmaya ve ulaştırma için açılan pazarlar bütünleşebilir (Pattberg).

Avrupa Birliği'nin tarihsel süreç içerisinde gümrük birliğinden, nihai amacı olan siyasi birliğe olan ilerleyişinde ekonomik entegrasyon açısından, dört temel serbestliğin, yani malların, kişilerin, hizmet ve sermayenin üye ülkeler arasında serbest dolaşımının sağlanmasında ortaya çıkan güçlükler, ortak bir ulaştırma politikası oluşturma ihtiyacını ortaya koymuştur.

Ortak Ulaştırma Politikası, üye devletlerde taşımacılık ile ilgili geçerli kuralların, Topluluk seviyesinde ortak ilkelere bağlanmasını gerçekleştirmeye yöneliktir. Temel kuralı; hizmeti yapan işletme, kullanılan araç ya da taşınan mala, ait olduğu ülke dolayısıyla farklı işlem yapılmasını önlemektir. Ortak Ulaştırma politikasının iki temel amacı vardır. Birinci amaç, üye ülkelerde ulaştırma politikalarında mevcut bulunan bütün ayrımcı ve ayrıcalıklı uygulamaları ortadan kaldırarak ortak pazarın yaratılmasını sağlamaktır. İkinci amaç ise, ulaştırma hizmetlerinde bir ortak Pazar yaratmaktır (Karluk).

4.6 AB ULAŞTIRMA POLİTİKASI BEYAZ KİTABI

Avrupa Birliği Komisyonu, 12 Eylül 2001 tarihinde ulaştırma hizmetlerinden yararlananların ihtiyaçlarına cevap veren bir ulaştırma politikası oluşturmak amacıyla hazırlanan 2010 için Avrupa Ulaştırma Politikası: Karar Verme Zamanı isimli Beyaz Kitabı yayınlamıştır. Beyaz Kitap'ta AB'nin ekonomik rekabet gücü korunurken,

çevrenin kirlenmesi ve trafik yoğunluğunun azaltılması amacıyla taşımacılıktaki sabit büyüme ve ekonomik büyüme arasındaki bağlantıyı kademeli olarak kaldıran bir strateji ortaya konmuştur.

Bu kapsamda değişik taşımacılık şekilleri arasında kurallara uygun bir rekabetin sağlanması ve bunlar arasındaki bağlantıların kurulmasının teşvik edilmesi, taşımacılıktaki darboğazların hafifletilmesi, taşımacılık araç ve hizmetlerini kullanan AB vatandaşlarının ihtiyaç ve taleplerini dikkate alan bir ulaştırma stratejisinin uygulanmasına yönelik 60 kadar önlem önerilmiştir.

Bu önerilen önlemler dört ana başlık altına toplanmıştır:

- i. Değişik taşımacılık şekilleri arasındaki dengenin sağlanması.
- ii. Taşımacılıktaki darboğazların giderilmesi.
- iii. Taşımacılıkta araç ve hizmetlerinden yararlananların ihtiyaçlarının göz önünde bulundurulması.
- iv. Ulaştırmadaki küreselleşme etkilerinin yönetimi.

Ulaştırma Beyaz Kitabında Ulaştırma ve Enerji konularından sorumlu Komisyon Başkan Yardımcısı Loyola de Palacio ulaşımın AB için önemini vurgulamıştır. Ulaşım, ekonomik rekabet ve ticari, ekonomik ve kültürel değişimde kritik rolü olan bir konudur. Ekonominin bu sektörü AB'nin toptan yerli imalatının yüzde 10'u kadar bir tutara karşılık gelmekte ve 10 milyon kişiye iş olanağı sunmaktadır. Ulaşım ayrıca Avrupa vatandaşlarını bir araya getirmeye yardımcı olmaktadır. Ortak Ulaştırma Politikası Avrupa yapılaşmasının temel taşlarından biridir.

Ulaştırma Beyaz Kitabı'nda yer alan dört ana başlıktan biri olan "Taşımacılıkta Darboğazların Giderilmesi" başlığı altında, ana ulaşım hatlarında tıkanıklık ve kapanmanın meydana gelmemesi için ele alınan konulardan biri de önemli altyapı projeleridir. Trans-Avrupa Ulaşım Ağı içinde bulunan tünellerdeki güvenliğin geliştirilmesi bu projeler arasındadır.

Ulaştırma Beyaz Kitabı'nda "Tünel Güvenliğinin Geliştirilmesi" başlığı altında uzun tünellerde güvenliğin daha da önem kazandığı belirtilmektedir. Uzun tünellerdeki güvenlik, Trans-Avrupa Ulaşım Ağı'nın geliştirilmesinde hayati önem taşıyan bir konudur. Sınırlar arası önemli sayıdaki karayolu ya da demiryolu bağlantılarında, ister proje aşamasında, ister yapım aşamasında olsun, uzunluğu bazen 50 kilometreyi geçen çok önemli tüneller yer almaktadır. Topluluğun finansal desteğini almış ya da alacak olan bu projeler şöyledir:

- i. Fransa ve İspanya arasında yer alan 8 km uzunluğundaki Somport Tüneli,
- ii. Danimarka-İsveç arasındaki demiryolu-karayolu bağlantı hattı,
- iii. Gelecekteki Lyon-Turin transalpine demiryolu bağlantısı,
- iv. Brenner Projesi
- v. Halihazırda inşa edilen Bologna-Florance arası hızlı hat (Bu 90km'lik projenin 60 km'si tünellerle geçilmektedir).

Varolan yapıların bir kısmında ya yaşlanma ile ilgili problemler yaşanmaktadır (demiryolu tünellerinin yüzde 80'i 19. yy'da inşa edilmiştir) ya da sürekli artan trafikle başa çıkılmasında zorlanılmaktadır. Mevcut ulusal yasalar büyük farklılıklar göstermektedir. Bazı üye devletler tünel güvenliği ile ilgili yasalara sahipken, diğerlerinde bu konuda yasalar hiç gelişmemiştir ya da hiç bulunmamaktadır. Avrupa Birliği tünellerdeki güvenliğin gelişmesi için hem teknik düzeyde hem de tünellerin işletimi konusunda yardımcı olabilecektir.

Bu yüzden önemle üzerinde durulması gereken, minimum güvenlik standartlarının uyumu şeklinde bir direktif formunda oluşabilecek Avrupa tüzüğüdür. Bu sayede, özellikle Avrupa Ulaşım Ağı'nda yer alan karayolu ve demiryolu tünellerini kullananlar için, yüksek bir güvenlik seviyesini garanti edecek şartlar ortaya konabilecektir. Ayrıca Komisyon, Topluluk fonlarından özellikle Trans-Avrupa Ulaşım Ağı bütçesinden karşılanan tünel içeren projelerde güvenlik konusunda çok tedbirli olacaktır (Commission of the European Communities).

4.7 TRANS AVRUPA KARAYOLU TÜNELLERİ

1990'lı yılların başından itibaren, birbirinden bağımsız ve aralarında yeteri kadar bağ oluşturulamamış üye ülke altyapılarının mevcut halleriyle tek pazarın gelişmesine yeteri kadar hizmet etmeyeceği düşüncesinden hareketle, AB Üyesi Ülkelerin ulaşım, telekomünikasyon ve enerji altyapılarını birbirine bağlayacak bir Trans-Avrupa Şebekesinin (Trans-European Network-TEN) geliştirilmesi konusu 1992 tarihli Maastricht Antlaşmasında yeni bir başlık olarak yer almıştır. Böylece, açık ve rekabet edebilir bir pazar sisteminin oluşturulması amacıyla ulusal ve bölgesel altyapı şebekelerinin birbirlerine bağlanması, karşılıklı işletilebilir hale getirilmesi, kopuk bağlantıların tamamlanması, tıkanıklıkların giderilmesi, ayrıca adaların, kara ile kuşatılmış alanların ve periferide kalan bölgelerin merkezi bölgelere bağlanması hedeflenmiştir.

Şekil 4.1: Trans Avrupa Karayolunun ülkemizde kalan kısmı



Kaynak: KGM

TEN'in kurulmasıyla ekonomik rekabet edebilirlik, büyüme, istihdam artışı, ulaşım emniyetinin sağlanması, hava kirliliğinin azaltılması, çevresel standartların artırılması, kısaca bölgelerarası işbirliği ve uyumun pekiştirilmesi sağlanmış, en önemlisi de kişilerin, malların, hizmetlerin serbest dolaşımı kolaylaştırılmış olacaktır.

Bilindiği üzere, Türkiye Avrupa Birliği (AB)' ne üye olduğunda Trans Avrupa Ağlarının (TEN-T) bir parçası haline gelecektir. Bu nedenle AB fonları Türkiye'nin kullanımına sunulduğunda bu fonların en fazla kullanılacağı sektörlerden biri şüphesiz ulaştırma sektörü olacaktır.

Bu durumu dikkate alan Türkiye, AB' nin ulaştırma projelerine kaynak sağlamasını temin etmek için Türkiye'nin Trans Avrupa Ağlarına bağlanması sırasında izleyeceği stratejinin, yapması gereken yatırımların ve Türkiye'yi Trans Avrupa Ağlarına bağlayacak çok modlu taşımacılığı sağlayacak ana güzergâhların belirleneceği, bu güzergâhlara bağlantı sağlayacak önemli ulaştırma ağlarının ve bağlantı noktalarının da ortaya konulacağı Ulaşım Altyapı İhtiyaç Değerlendirme Çalışması (TINA Türkiye)'ni hazırlamıştır.

TİNA Projensinin amacı, Türkiye Cumhuriyeti sınırları içinde ve Avrupa Birliği'nin TEN-T sisteminin Türkiye'ye uzantısı niteliğinde çok modlu (multimodal) bir ulaştırma ağı (Çekirdek Ağ) geliştirilmesidir. Proje, Türkiye'de karayollarını, demiryollarını, limanları ve havaalanlarını kapsayan çok modlu bir ulaştırma ağının tanımlanması ve değerlendirilmesinden oluşmaktadır.

Dengeli, rasyonel ve etkili bir ulaştırma altyapısı oluşturularak ulaştırma modlarının etkin kullanımını sağlamak Türkiye'nin ulaştırma politikalarının temel konusudur. Türkiye zaman kaybetmeden Trans Avrupa Ağlarının (TEN-T) bir parçası haline getirilmelidir.

2005 istatistiklerine göre, yolcuların yüzde 95'i karayolları; yüzde 2.6'sı da demiryollarıyla taşınmaktadır. Yüklerin ise yüzde 91'i karayolları ile taşınırken, yüzde 5'i demiryollarıyla ve yüzde 3'ü denizyoluyla taşınmaktadır.

Proje, Türkiye sınırları içerisinde Kapıkule Sınır Kapısından başlayıp, Doğuda Sarp, Gürbulak Sınır Kapılarına, Güneyde Cilvegözü ve Habur Sınır Kapılarına ulaşmaktadır. TEM Projesi kapsamında yer alan yollarımızın büyük bölümü aynı zamanda Uluslararası E-YOLLARI ağının bir parçasıdır. Tüneller, karayollarının bütünleyici bir parçasını oluşturmaktadır. Aşılması güç coğrafi engellerin tüneller kullanılarak geçilmesi ulusal ve uluslararası ulaşımında çok büyük avantajlar sağlamaktadır.

Toplam uzunluğu 1.1.2011 tarihi itibarıyla 24.931 Km olan Kuzey-Güney Avrupa Otoyolu Projesi yol ağının ülkemiz sınırları içinde kalan bölümü yaklaşık 6.962 Km. olup, bu uzunluk tüm ağın yaklaşık yüzde 28'ini oluşturmaktadır. Tablo 4.2' de ülkemizdeki trafiğe açık olan uzunluğu 500 metreden fazla olan tünellerin karayolları bölge sınıflamasına ve devlet yolu ya da otoyol üzerinde olma durumuna göre tünellerin isimleri ve uzunlukları verilmiştir.

Tablo 4.2: Ülkemizdeki trafiğe açık olan 500 metreden uzun tüneller.

| TCK Bölge No | Devlet Yolu / Otoyol | Tünel Adı | Uzunluğu(m) |
|--------------|----------------------|---------------|----------------|
| 2 | Otoyol | Selatin | 3.043-- 3.043 |
| 5 | Otoyol | Ayran | 559 -- 597 |
| 5 | Otoyol | Kızlaç | 3.014 -- 3.125 |
| 5 | Otoyol | Aslanlı | 1.241 -- 1.241 |
| 7 | Devlet Yolu | Kocakaya | 553 |
| 10 | Devlet Yolu | Zigana | 1.702 |
| 10 | Devlet Yolu | Esenkıyı | 547 |
| 10 | Devlet Yolu | Kopmuş | 1.013 |
| 10 | Devlet Yolu | Uluburun | 980 -- 980 |
| 10 | Devlet Yolu | Çamburnu | 580 -- 580 |
| 10 | Devlet Yolu | Çayeli | 1.390 – 1.390 |
| 13 | Devlet Yolu | Ulaş | 1.542 |
| 13 | Devlet Yolu | Göcek | 960 -- 960 |
| 14 | Otoyol | Iğdır | 518 -- 486 |
| 15 | Devlet Yolu | Sapça | 568 |
| 15 | Devlet Yolu | Dorukhan | 903 |
| 15 | Devlet Yolu | Suçatı | 705 |
| 17 | Otoyol | Vecdi Diker | 740 -- 740 |
| 17 | Otoyol Bağlantı Yolu | Halit Ulukurt | 690 -- 702 |
| 17 | Otoyol | Korutepe | 1.041 -- 1.090 |
| 17 | Otoyol | Gültepe | 606 -- 585 |

Kaynak: Muzaffer Zafer Sinoplu(Avrupa Birliği Karayolu Tünelleri ile Türkiye Karayolu Tünellerinin Tünel Güvenliği Açısından Karşılaştırılması)

Tablo 4.3’ de ülkemizdeki yapım aşamasında olan uzunluğu 500 metreden fazla olan tünellerin karayolları bölge sınıflamasına ve devlet yolu ya da otoyol üzerinde olma durumuna göre tünel isimleri ve uzunlukları verilmiştir.

Tablo 4.3: Ülkemizdeki yapım aşamasında olan 500 metreden uzun tüneller.

| TCK Bölge No | Devlet Yolu / Otoyol | Tünel Adı | Uzunluğu (m) |
|--------------|----------------------|-------------------|--------------|
| 7 | Devlet Yolu | Saca | 2000 - 2000 |
| 7 | Devlet Yolu | Güreceli | 800 - 800 |
| 7 | Devlet Yolu | Samsun Batı Çevre | 1015-1015 |
| 7 | Devlet Yolu | Boztepe | 3310-3310 |
| 7 | Devlet Yolu | Öceli | 1585-1585 |
| 10 | Devlet Yolu | Tortum | 1700 |
| 10 | Devlet Yolu | Cankurtaran | 5000 |
| 12 | Devlet Yolu | Kop | 12000 |
| 13 | Devlet Yolu | T-1 Dim | 1380-1380 |
| 13 | Devlet Yolu | Karagedik-1 | 540-540 |
| 13 | Devlet Yolu | Çubukbeli | 1800 |
| 15 | Devlet Yolu | Ilgaz | 4335 |
| 15 | Devlet Yolu | Üzülmez | 595-670 |
| 15 | Devlet Yolu | Asartepe | 895 |
| 16 | Devlet Yolu | Çamlıbel | 980 |
| 5 | Devlet Yolu | Boğsak | 1190-1190 |
| 7 | Devlet Yolu | Dranas | 1996 |
| 7 | Devlet Yolu | Nefise Akçelik | 3770-3770 |
| 10 | Devlet Yolu | T-1 | 768-768 |
| 10 | Devlet Yolu | Tirebolu -1 | 2129-2129 |
| 10 | Devlet Yolu | Tirebolu -2 | 619-630 |
| 10 | Devlet Yolu | Eynesil | 500 |

Kaynak: Muzaffer Zafer Sinoplu(Avrupa Birliği Karayolu Tünelleri ile Türkiye Karayolu Tünellerinin Tünel Güvenliği Açısından Karşılaştırılması)

4.8 AB TARAFINDAN ÖNERİLEN TÜNEL GÜVENLİK GEREKSİNİMLERİ

AB Direktifine göre altyapı için getirilen minimum gereksinimlerin özeti EK-1' de verilmiştir.

4.8.1 Yapısal Gereksinimler

Avrupa Birliği kriterlerine göre tünellerde bulunması gereken minimum yapısal gereksinimler tüp sayısı, acil yaya yolu, acil çıkış, çapraz bağlantılar, aydınlatma sistemi, havalandırma sistemi, vb. sistemlerin gerekliliği EK-1' den anlaşılabilir.

4.8.1.1 Tüp sayısı

Bir tünelin tüp sayısının belirlenmesi için ana kriter;

- i. Ağır vasıta yüzdesi
- ii. Eğim
- iii. Uzunluk
- iv. Tahmini trafik hacmi ve güvenliği olacaktır.

Tünellerin proje aşamasında, herhangi bir durumda 15 yıllık trafik tahmini yapılır, yapılan tahmin sonucunda şerit başına günlük 10.000 araç sayısının aşılacağını görülürse tek yön trafikli çift tüplü tünel yapılır.

Arıza şeridi hariç tünel içinde ve dışında aynı sayıda şerit olacaktır. Herhangi bir şerit sayısı değişikliğinde tünel girişinde yeterli mesafede bilgilendirme yapılacak ve güvenlik tedbirleri alınacaktır. Bu mesafe en az, tünel içinde ki hız sınırında seyreden aracın 10 sn' de katedeceği uzunlukta olacaktır. Coğrafi koşullar bunu önlerse güvenliği artırmak için ilave ve/veya destekleyici önlemler alınacaktır.

4.8.1.2 Tünel eğimi

Bir tünelin kesit geometrisi projelendirilirken

- i. Düşey ve yatay güzergahlara
- ii. Erişme yollarına
- iii. Güvenliğe
- iv. özel önem verilecektir.

Coğrafi olarak mümkün olduğu müddetçe yeni tünellerde yüzde 5'in üzerindeki boyuna eğimlere izin verilmeyecektir.

Eğimi yüzde 3'ün üzerinde olan tünellerde, bir risk analizine dayalı olarak, güvenliği artırmak için ilave destekleyici önlemler alınacaktır. Yavaşlama şeriti genişliğinin 3.5 m' den az olduğu ve ağır yüklü vasıtalara izin verilen yerlerde, bir risk analizine dayalı olarak, ilave destekleyici önlemler alınacaktır.

4.8.1.3 Kaçış yolları ve acil çıkışlar

Arıza şeridi olan yeni tünellerde, bir arıza veya kaza halinde tünel kullanıcılarının kullanması için, yükseltilmiş olsun veya olmasın acil durum yaya yolları temin edilecektir. Tünelin yapım özellikleri imkân vermediği takdirde veya sadece orantısız maliyet ile imkân verdiği takdirde ve tünelin tek yönlü olması halinde ve sabit izleme ve şerit kapama sistemine sahip olması halinde bu koşul uygulanmamaktadır.

Arıza şeridi veya acil durum yaya yolu bulunmayan mevcut tünellerde güvenliğin temini için ilave çözümleyici önlemler alınacaktır. 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 tünel yaya olarak erişim sağlar.

Acil çıkış örnekleri şunlardır;

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

Açık alana çıkışı sağlayan kaçış yollarına geçişi olmayan sığınaklar inşa edilmeyecektir. Eğer lokal şartlar altında dumanın ne kadar uzağa gideceği ve ne kadar hızlı yayılacağını kapsayan ilgili risklerin analizi, kullanıcıların güvenliğini sağlamada havalandırma ve diğer güvenlik şartlarının yetersiz olduğunu gösteriyorsa acil çıkışlar teşkil edilecektir.

Herhangi bir durumda, yeni tünellerde trafik hacmi şerit başına 2000 araçtan yüksek olduğunda acil çıkışlar teşkil edilecektir. Şerit başına araç sayısı 2000' den büyük trafik hacmine sahip 1000 m' den uzun mevcut tünellerde acil çıkışlar yapılmasının fizibilitesi ve etkisi değerlendirilecektir. Acil çıkışların olduğu yerde iki acil çıkış arasındaki mesafe 500 m' yi aşmayacaktır.

Tünel kullanıcılarının güvenli bir şekilde dışarıya ulaşabilmeleri ve acil hizmetlerin tünele erişim sağlayabilmeleri için, güvenlik çıkışlarının gerisindeki boşaltma güzergâhlarına duman ve ısının ulaşmasını engellemek üzere kapı gibi uygun araçlar kullanılacaktır.

4.8.1.4 Acil servisler için erişim

Tüplerin hemen hemen veya tamamen aynı seviyede olduğu çift tüplü tünellerde acil hizmetlerin kullanımı için uygun çapraz bağlantılar her 1500 m'de bir temin edilecektir.

Coğrafi açıdan mümkün olduğunda, çift tüp veya çok-tüplü tünellerin her bir girişinin dış kısmında refüj (refüj şeridi) geçişi mümkün kılınacaktır.

4.8.1.5 Cepler

Yeni yapılacak tünellerde trafik hacminin şerit başına 2 000 motorlu taşıttan yüksek olduğu, 1500 m'den uzun, yeni, iki yönlü tünellerde eğer arıza şeridi temin edilmemiş ise, 1000 m'yi geçmeyecek mesafelerde cepler temin edilecektir.

Mevcut tünellerde 1 500 m'den uzun, şerit başına 2 000 motorlu taşıttan fazla trafik hacmine sahip ancak arıza şeridi olmayan mevcut iki yönlü tünellerde cep uygulamasının fizibilitesi ve yararı değerlendirilecektir.

Tünelin yapım özelliği imkân vermez ise veya sadece orantısız maliyette imkân verir ise, yükseltilmiş kısımlar ve normal trafik şeritleri hariç motorlu taşıt erişilebilirliği olan toplam tünel genişliği en azından tek bir normal trafik şeridinin genişliğine eşit ise, ceplerin temin edilmesi zorunlu değildir. Cepler, bir acil hizmet istasyonu kapsayacaktır.

4.8.1.6 Drenaj

Tehlikeli madde taşımacılığına izin verilmesi durumunda, yanıcı ve zehirli sıvıların drenajı tünel enkesitlerinde iyi tasarlanmış mazgal delikleri veya diğer önlemler vasıtası ile temin edilecektir. Buna ilaveten, drenaj sistemi, tüplerin içinde ve tüplerin arasında yangının ve yanıcı ve zehirli sıvıların yayılmasını önlemek üzere projelendirilecek ve sağlanacaktır.

Mevcut tünellerde, bu koşul karşılanamaz ise veya sadece orantısız maliyet ile karşılanabilir ise, ilgili risklerin analizi temelinde tehlikeli madde taşımacılığına izin verme konusunda karar alınırken bu durum göz önünde bulundurulacaktır.

4.8.1.7 Yapıların yangına karşı dayanıklılığı

Yapının yerel çökmesinin felakete sonuçlanması durumunda (örnek: batık tüneller veya önemli bitişik yapıların çökmesine neden olabilecek tüneller) tüm tünellerin ana yapısında yeterli seviyede ateşe dayanıklılık temin edilecektir.

4.8.1.8 Aydınlatma

Normal aydınlatma, tünel içerisinde olduğu gibi giriş bölgesinde de, sürücülere yeterli gündüz ve gece görünürlüğü sağlayacak özellikte olacaktır. Güvenlik aydınlatması, bir güç kaynağı arızası durumunda araçlarıyla tüneli tahliye etmeleri için, tünel kullanıcılarına asgari görünürlük sağlayacaktır.

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

4.8.1.9 Havalandırma

Havalandırma sisteminin tasarımı, yapımı ve işletmesinde aşağıdaki hususlar dikkate alınacaktır.

- i. Normal ve zirve trafik akışlarında araçlardan yayılan kirleticilerin, kontrolü,
- ii. Bir olay veya kaza nedeniyle duran trafikteki araçlardan yayılan kirleticilerin kontrolü,
- iii. Bir yangın durumunda sıcaklık ve duman kontrolü,

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

Çift yönlü veya yoğun tek yön trafikli tüm tünellerde, boyuna havalandırma yapılacaktır. Mekanik havalandırma sisteminin gerekli olduğu ve boyuna havalandırmaya izin verilmediği tünellerde enine veya yarı-enine havalandırma sistemleri kullanılacaktır. Bu sistemler bir yangın durumunda dumanı tahliye etme yeteneğine sahip olacaktır.

Trafik hacmi şerit başına 2000'den 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 alınacaktır.

- i. Hava ve duman deşarj kapakları ayrı ayrı veya gruplar halinde çalıştırılabilecek şekilde tesis edilecektir,
- ii. Boyuna hava hızı sürekli izlenecek ve havalandırma sisteminin (kapaklar, fanlar, vb.) yönlendirme süreci uyumlu olarak ayarlanacaktır.

4.8.1.10 Acil istasyonlar

Acil hizmet istasyonları, muhtelif güvenlik ekipmanının temini için, özellikle acil hizmet telefonları ve yangın söndürme cihazları için öngörülmektedir, ancak karayolu kullanıcılarını yangının etkisinden korumak üzere planlanmamıştır.

Acil hizmet istasyonları yan duvarda veya tercihen duvara gömmeli bir kutudan ibaret olabilmektedir. En azından bir acil hizmet telefonu ve iki yangın söndürme cihazı ile teçhiz edilecektir.

Acil hizmet istasyonları, yeni tüneller için 150 m'yi geçmeyecek, mevcut tünellerde 250 m'yi geçmeyecek aralıklarla temin edilecektir.

4.8.1.11 Su ekipmanı

Tüm tüneller için su temini sağlanacaktır. Su muslukları tünel girişlerine yakın ve içerde 250 m'yi geçmeyecek aralıklarla temin edilecektir. Su temini mevcut olmadığına, yeterli suyun başka bir şekilde temin edildiğini beyan etmek zorunludur.

4.8.1.12 Yol işaretleri

Üye Ülkeler, gerekirse, tünelden önceki uyarı sahasında, tünelin içinde ve tünelin bitiminden sonra uygun işaretleri kullanacaktır. Bir tünel için işaretler tasarlanırken, yerel trafik ve yapım koşulları ve yanı sıra diğer yerel koşullar göz önünde bulundurulacaktır. Viyana Anlaşması'nı uygulamayan Üye Ülkelerin haricinde, "Yol İşaretleri ve Sinyallere İlişkin Viyana Anlaşması"na uygun işaretler kullanılacaktır.

Tünellerde kullanılacak yol işaretleri ve semboller aşağıda belirtilmiştir. Aksi belirtilmedikçe bu bölümde bahsedilen yol işaretleri 1968 yılında imzalanmış olan “Yol İşaretleri ve Sinyallere İlişkin Viyana Anlaşması”nda tanımlanan işaretlerdir.

İşaretlerin, işaret sisteminin uluslararası anlaşılabilirliğini kolaylaştırmak için her bir işaret sınıfının şekil ve renk özelliğinin kullanımı, mümkün olduğunda, yazı değil grafik simge kullanımı esas alınacaktır. Üye ülkeler öngörülen işaret ve sembollerin değiştirilmesini gerekli görürse, değişiklikler, işaret ve sembollerin temel özelliklerini değiştirmeyecektir. Üye Ülkelerin Viyana Anlaşmasını uygulamadığı durumlarda, yapılan değişiklikler temel amacı değiştirmeyecek ise, öngörülen işaret ve semboller değiştirilebilir.

4.8.1.12.1 Radyo

Tünellerde, kullanıcıların radyoları aracılığı ile bilgi alabilecekleri yerlerde, girişten önce yerleştirilen uygun levhalar bu bilgiyi ne şekilde alacaklarını kullanıcılara belirtecektir.

İşaretler ve yol işaretleri açıkça görülebilecek şekilde tasarlanacak ve yerleştirilecektir.

4.8.1.12.2 Cepler

Cepleri belirten işaretler Viyana Anlaşmasına göre E işaretleri olacaktır. Telefon ve yangın söndürücüler ek levha veya işaretin üzerinde belirtilecektir. Güvenlik çıkışları: bütün güvenlik çıkışları için aynı işaret kullanılacaktır. Tahliye güzergâhları: en yakın iki güvenlik çıkışı 25 m’den fazla olmayan aralıklarla, tahliye seviyesinin 1,0 ila 1,5 m yukarısındaki yükseklikte, çıkışlara olan mesafeyi gösteren yan duvarlardaki levhalar ile belirtilecektir.

Şekil 4.2: Tünel cep işareti



Kaynak: Nihat Teke, Tünellerde Avrupa Birliği Standartları, Eylül 2012.

4.8.1.12.3 Tünel işareti

Levhanın at kısmında veya H2 ek levha üzerinde uzunluk belirtilecektir.3000 metreden uzun tüneller için her 1000 metrede tünelin kalan uzunluğu belirtilecektir. Tünelin ismi de belirtilebilir.

Yatay işaretleme

- i. Yol kenarında yatay kurb taşı kullanılmalıdır.
- ii. İki yönlü tünellerde, iki yönü ayıran refüj çizgisi (tek veya çift) boyunca açıkça görülebilecek araçlar kullanılmalıdır.

Şekil 4.3: Karayolu tüneller için Viyana Antlaşmasının E11 işareti

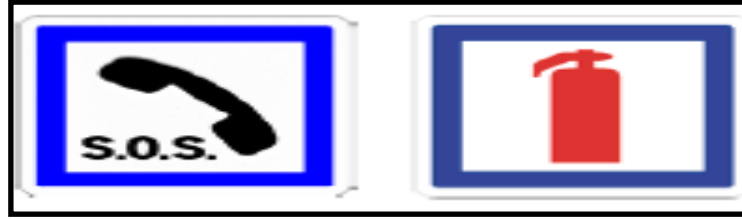


Kaynak: Nihat Teke, Tünellerde Avrupa Birliği Standartları, Eylül 2012.

4.8.1.12.4 Acil hizmet istasyonları

Acil hizmet istasyonları: acil hizmet telefonlarının ve yangın söndürücülerin mevcudiyetini belirtmek için yerleştirilmiş işaretlerdir. Acil hizmet istasyonlarında Viyana Anlaşmasına göre F işaretleri olan bilgilendirici işaretler bulunacak ve karayolu kullanıcıları için mevcut olan ekipmanı belirtecektir.

Şekil 4.4: Acil hizmet istasyonu ve yangın tüpü işareti



Kaynak: Nihat Teke, Tünellerde Avrupa Birliği Standartları, Eylül 2012.

Tünelden bir kapı ile ayrılan acil hizmet istasyonlarında uygun dillerle yazılmış açıkça okunan yazı ile, yangında acil hizmet istasyonunun koruma garantisi olmadığı açıkça belirtilecektir. Aşağıda örneği verilmiştir.

“BU ALAN YANGINDAN KORUMA SAĞLAMAMAKTADIR
ACİL HİZMET ÇIKIŞLARINA YÖNLENDİREN İŞARETLERİ İZLEYİNİZ”

4.8.1.12.5 Acil hizmet çıkışları

Acil hizmet çıkışlarını belirten işaretler Viyana Anlaşmasına göre G işaretleri olacaktır. Örnekler Şekil 4.5’ te gösterilmiştir.

Şekil 4.5: Acil hizmet istasyonu çıkış işareti



Kaynak: Nihat Teke, Tünellerde Avrupa Birliği Standartları, Eylül 2012.

Ayrıca en yakın iki çıkışı belirten işaretin yan duvarlara asılması gerekmektedir.

4.8.1.12.6 Şerit sinyalleri

Bu işaretler yuvarlak veya dikdörtgen olabilmektedir. Değişik mesaj işaretleri trafik sıkışıklığı, arıza, kaza, yangın veya diğer tehlikeler hakkında tünel kullanıcılarına bilgi verecek olan herhangi değişik mesaj işareti açıkça belirtilmiş olacaktır.

Şekil 4.6: Şerit sinyali işareti



Kaynak: Nihat Teke, Tünellerde Avrupa Birliği Standartları, Eylül 2012.

4.8.1.13 Kontrol merkezi

3000 m' den uzun ve şerit başına 2000 araçtan yüksek trafik hacmine sahip tüm tüneller için bir kontrol merkezi; oluşturulacaktır. Farklı tünellerin izlenmesi tek kontrol ünitesinde merkezileştirilebilir.

4.8.1.14 İzleme sistemleri

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

4.8.1.15 Tünel kapatma ekipmanı

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

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

4.8.1.16 Haberleşme sistemleri

Telsiz ekipmanı (Belirli frekanstaki telsiz yayınlarının tünel boyunca iletimini sağlayan elektronik ekipman) , acil servislerin (bakım, itfaiye, ambulans, vb.), kullanımı için, 1000 m' den uzun ve trafik hacmi şerit başına 2000 araçtan yüksek tüm tünellere tesis edilecektir.

Kontrol merkezinin olduğu yerde, gerektiğinde acil durum mesajlarını iletmek için, tünel kullanıcılarına hitap eden kanalların radyo yayınına giriş yapma imkânı olacaktır. Tahliye esnasında tünel kullanıcılarının dışarıya erişmeden önce bekleyeceği sığınaklarda ve diğer tesislerde, kullanıcılara bilgi aktarılması amacıyla, hoparlörler teçhiz edilecektir.

4.8.1.17 Acil güç temini

Tüm tüneller tahliye için kaçınılmaz olan güvenlik ekipmanlarının, tüm kullanıcılar tüneli tahliye edinceye kadar, işletimini sağlayacak bir acil güç kaynağına sahip olacaktır. Elektrik, ölçü ve kontrol devreleri, örneğin lokal bir arızanın, veya bir yangın nedeniyle oluşan bozulmanın diğer sistemleri etkileyemeyeceği şekilde tasarlanacaktır.

4.8.1.18 Ekipmanların yangına dayanıklılığı

Tüm tünel ekipmanının yangına dayanıklılık düzeyi, teknolojik imkânları ve bir yangın durumunda gerekli güvenlik fonksiyonlarının sürdürülmesi amacı, dikkate alınacaktır.

4.8.2 İşletimle İlgili Gereksinimler

Avrupa Birliği kriterlerine göre yapısal önlemlerin yanı sıra işletme yönünden de bazı önlemlerin alınması ve alınan önlemlerin belirli makamlarca düzenli kontrolünün yapılması hedeflenmektedir.

4.8.2.1 İdari yetkili makam

Üye ülkeler tarafından atanacak ve tünel güvenliği ile ilgili tüm konularda bütün sorumluluğa sahip olacaktır. İdari Yetkili Makam, ulusal, bölgesel veya yerel olabilir. Sınır kateden tüneller için her üye ülke bir idari yetkili makam atayacaktır. İdari Yetkili Makamlar, yeni bir tünel yapılması ya da bir tünelin yeniden yapılması için izin vermek durumundadırlar. Ayrıca bir tünelin işletimini, güvenlik koşulları sağlanmıyor ise, askıya alabilir ya da yasaklayabilir.

4.8.2.2 Teknik denetleme heyeti

Güvenlik değerlendirmeleri, testleri ve denetlemesi için üye ülkeler tarafından atanacaktır. Bu fonksiyonu İdari Yetkili Makamın kendisi de yürütebilir, ancak tünel yönetimine bağlı bir organizasyon Denetleme Heyeti olarak yetkilendirilemez.

4.8.2.3 Tünel yöneticisi

Her tünel için İdari Yetkili Makam bir tünel yöneticisi belirleyecektir. Tünel yönetimi kamusal ya da özel bir organ olabilir ve tüm tünel işletiminden sorumlu olacaktır. Sınır kateden tüneller için her iki İdari Yetkili Makam da aynı tünel yönetimini tanıyacaktır.

4.8.2.4 Bağımsız emniyet

Her tünel için, tünel yöneticisi tarafından görevlendirilecektir. Kullanıcıların güvenliği ve işletim personelinin güvenliğini sağlamak için gerekli tüm önlemleyici ve koruyucu

önlemleri denetleyecektir. Emniyet görevlisi tünel güvenliği ile ilgili tüm konularda bağımsız olacak, bu konularda bir işverenden talimat almayacaktır.

Tünel işletimi trafik akışının sürekliliğini ve güvenliğini temin edecek şekilde organize olmalı ve yürütülmelidir. Tünel işletimine katılan personel ve acil durum servisleri gerekli temel ve uygulamalı eğitim almalıdırlar.

Her tünel için acil durum planları hazırlanacaktır. Farklı ülkelerde başlayıp biten tüneller için her iki ülkenin de dâhil olduğu tek bir acil durum planı oluşturulacaktır.

4.8.2.5 İdari yetkili makamın rolü

Örgütlenme seviyesinde İdari Yetkili Makam yol tünellerinde kaza/olay koordinasyonu ve denetlemesi için aşağıdakileri yerine getirecektir:

- i. Emniyet bakımından tünellerin incelenmesi için şartları belirleyecektir;
- ii. Emniyet Görevlileri ile birlikte acil durum hizmetlerinin eğitimi ve teçhiz edilmesi için örgütlenme ve operasyon programlarını denetleyecektir (acil durum hareket planları dahil);
- iii. Emniyet Görevlilerinin görevlerini tanımlayacaktır;
- iv. Gerekli risk azaltma önlemlerini denetleyecek ve uygulayacaktır;
- v. Acil durum hizmetlerinin eğitimi ve yangın testlerinin uygulanması için tünelleri kapatacaktır.

4.8.2.6 Emniyet görevlilerinin rolü

Tünelde olan tüm yangınlar Emniyet Görevlileri tarafından kaydedilecek ve değerlendirilecek ve uygun seviyedeki detayda İdari Yetkili Makamın dikkatine sunulacaktır. Üye Ülkeler tünellerdeki hem kazalar ve yangınlar hem de bu tür kazaların sıklığı ve nedenlerine ilişkin istatistikleri derleyecekler ve emniyet tesisleri ve önlemlerinin gerçek rolü ve etkinliği konusunda bilgi sağlayacaklardır.

4.8.2.7 Tünellerde şerit kapatılması

Önceden planlanmış inşa ya da bakım çalışmalarının nedeniyle şeritlerin tamamen ya da kısmen kapatılması her zaman tünel dışında başlayacaktır. Şeritlerin kapalı olduğu, yol tünele girmeden önce belirtilecektir. Bu amaç için değişik mesaj işaretleri, trafik ışıkları ve mekanik bariyerler kullanılabilir.

4.8.2.8 Kaza yönetimi

Ciddi bir kaza veya olay halinde, ilgili bütün tünel tüpleri derhal trafiğe kapatılacaktır. Tünel dışındaki ve tünel içindeki trafiğin mümkün olan en kısa zamanda durdurulabilmesi için tünel girişlerindeki yukarıda bahsi geçen ekipmanın ve gerekirse tünel içindeki değişken ışıklı trafik işaretlerinin ve mekanik bariyerlerin eşzamanlı harekete geçirilmesi ile bu durum gerçekleştirilecektir. 1000 m'den kısa tüneller trafiğe başka şekillerde kapatılabilir. Trafik, durumdan etkilenmemiş araçların tüneli hızlı bir biçimde terk edebilmesini temin edecek şekilde yönetilecektir.

Tünelde bir olayın vuku bulması halinde acil hizmetlere erişme süresi mümkün olduğunca hızlı olacaktır ve periyodik tatbikatlar esnasında ölçülecektir. Ayrıca, olaylar esnasında da ölçülebilir.

4.8.2.9 Kontrol merkezi faaliyeti

Farklı Üye Ülkelerde başlayan ve biten ve bir kontrol merkezi gerektiren bütün tüneller için tek bir kontrol merkezi, belli bir zamanda, bütün kontrolü sağlayacaktır. Tünel içinde düzenli bir trafik akışı ve daha büyük emniyet sağlamak için özellikler tünel içinde araçlar arasındaki mesafeler ve araçların hızları daha fazla kontrole konu olacaktır.

4.8.2.10 Tünelin kapatılması

Tünelin kapatılması durumunda (uzun ya da kısa süreli) Üye Devletler, kolaylıkla erişilebilir bilgi sistemleri aracılığıyla, kullanıcılara en iyi alternatif yol güzergahlarını bildireceklerdir. Bu tür alternatif yol güzergahları sistematik beklenmedik durum planlarının bir parçasını oluşturacaktır. Bu planlar, trafik akışını mümkün olduğu ölçüde muhafaza etmeyi ve çevre sahalardaki ikincil emniyet etkilerini asgariye indirmeyi amaçlamalıdır.

4.8.2.11 Tehlikeli maddelerin nakliyesi

Üye Ülkeler ve İdari Yetkili Makamları tehlikeli maddeler taşıyan araçların tünellere erişimi ile ilgili aşağıdaki önlemleri uygulayacaktır: Tünel girişlerine hangi grup tehlikeli maddelere izin verildiği/yasak getirildiğini belirten yeni işaretler yerleştireceklerdir; Tehlikeli maddelere ilişkin tünel şartları konusunda karar vermeden önce bir risk analizi yapacaklardır;

Tünele girmeden önce beyanda bulunmak ya da eskort gibi tehlikeli maddelerin tünel içinde nakledilmesi riskini azaltmak için tasarlanmış işletim tedbirlerini ayrı durumlar için değerlendireceklerdir.

4.8.2.12 Tünelde sollama

Ağır araçların, her iki yönde birden fazla şeridi olan tünellerde, sollama yapmasına izin vermek için, Üye Devletler bir risk analizi yapacaklardır.

4.8.2.13 Araçlar arasındaki mesafe ve hız

Araçların uymaları gereken hız limitleri ve takip mesafeleri özellikle tüneller için önemlidir ve dikkatle takip edilecektir. Tünel kullanıcılarına, uygun hız ve takip mesafesinin tavsiye edilmesi ve gerekli yaptırım önlemlerinin alınması sağlanacaktır. Normal koşullarda araç sürücülerini araçlarının 2 saniyede kat ettiği mesafe kadar takip

mesafesi uygulamaları gerekmektedir. Ağır yük taşıtları için bu mesafe 2 katı olarak alınır. Tünelde trafik durduğunda öndeki araç ile mesafe en az 5 m olarak muhafaza edilecektir.

4.8.2.14 Bilgilendirme kampanyaları

Tünellerdeki güvenliğe ilişkin bilgilendirme kampanyaları düzenli olarak organize edilecektir ve ilgili tarafların katılımı ile birlikte uluslar arası kuruluşların eşgüdümlü çalışmaları esas alınarak uygulanacaktır. Bu bilgilendirme kampanyaları, özellikle taşıtın arızalanması, trafik sıkışıklığı, kazalar ve yangınlar ile bağlantılı olarak tünele yaklaşırken ve tünel içinde araç kullanırken karayolu kullanıcılarının doğru davranışlarını kapsayacaktır.

Mevcut güvenlik ekipmanına ilişkin bilgi ve karayolu kullanıcısının tünellerdeki doğru davranışına ilişkin bilgi tünel kullanıcıları için uygun yerlerde (örneğin: tünellerden önceki dinlenme alanlarında, trafiğin durduğu zaman tünel girişlerinde veya internette) bulundurulacaktır.

5. KARAYOLU TÜNELLERİNDE HAVALANDIRMA ESASLARI

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.

Öte yandan, bir yangın durumunda, oluşacak duman ve ısının kontrol edilerek, tünelden uzaklaştırılması zorunludur.

Tünel havalandırma sisteminin tasarım amacı, aşağıdaki problemleri karşılamak için en gerçekçi seçimi yapmaktır.

- i. Hava kirleticilerini seyreltmek (tünel içerisinde)
- ii. Çevresel faktörler (tünel dışında)
- iii. Bir yangın durumunda duman kontrolü

5.1 HAVALANDIRMA YÖNTEMLERİ

Tünel uzunluğu, yeri, trafik tipi, çevre kanunları ve yangın güvenlik şartları gibi diğer faktörler kadar kirleticilerin azaltılması için gereken hava hacmi hesaba katıldığında bir değerlendirme yapılabilir ve bir tünel için havalandırma sistemi seçilebilir.

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

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 ana 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.

5.1.1 Doğal Havalandırma

Trafik bölgesinde hava akışının mekanik kontrolü için vantilatörlerle teçhiz edilmeyen bir tünel ‘‘doğal havalandırılmış’’ olarak tanımlanmaktadır. Doğal havalandırılmalı tünellerde, tünel içerisinde yeterli ortam sağlanması, esas olarak atmosferik koşulların hava akımı yaratmasına ve sürdürmesine bağlıdır. Trafik hareket halinde iken, araçların yarattığı piston etkisi doğal havalandırma için ilave hava akımı yaratır.

Tünel içi hava ortamını etkileyen ana faktör; yükselti farklılığı, dış ortam sıcaklığı veya tünelin ağzı arasındaki rüzgar tarafından yaratılan basınç farklılığıdır. Ancak bu faktörlerin hiç biri süreklilik göstermez. Örneğin; rüzgar yönü ve hızındaki bir değişiklik, piston etkisi de dahil olmak üzere, tüm bu doğal faktörleri önemli ölçüde etkileyecektir.

Tünel direnci;

- i. Uzunluk,
- ii. Kesit geometrisi,
- iii. Duvar pürüzlülüğü,
- iv. Taşıt sayısı,
- v. Hava yoğunluğu, unsurları tarafından etkilenir.

Doğal havalandırma ile sağlanacak basınç, tünel direncini yenecek büyüklükte olmalıdır.

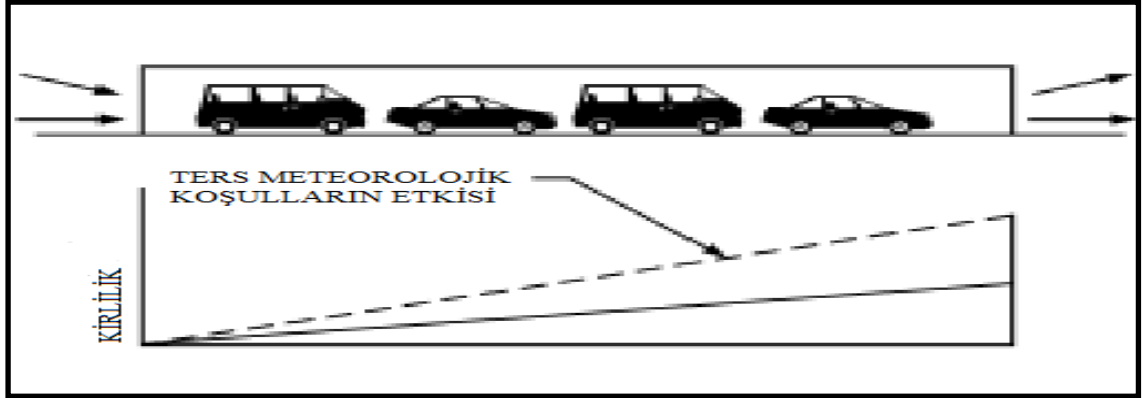
ASHRAE' ye göre doğal havalandırılmalı tüneller, hava akışına göre;

- i. Tünel ağzından – tünel ağzına,
- ii. Tünel ağzından – şafta, olmak üzere iki grupta incelenebilir.

Tünel ağzından tünel ağzına havalandırma, düzenli ve pozitif hava akışı yarattığı için, tek yönlü trafiğin bulunduğu tünellerde iyi sonuç verir. Hava hızı yol boyunca oldukça sabittir ve hava kirliliği tünel çıkışı ağzında en üst düzeye çıkar. Ters meteorolojik koşullar altında hava hızı düşecek kirlilik yoğunluğu artacaktır.

Bu tür bir tünelde, çift yönlü trafik uygulandığı takdirde tünel hava akışı daha da azalacak ve trafik yoğunluğu arttıkça kirlilik yoğunluğu merkez bölgede daha da kritik seviyeye ulaşacaktır.

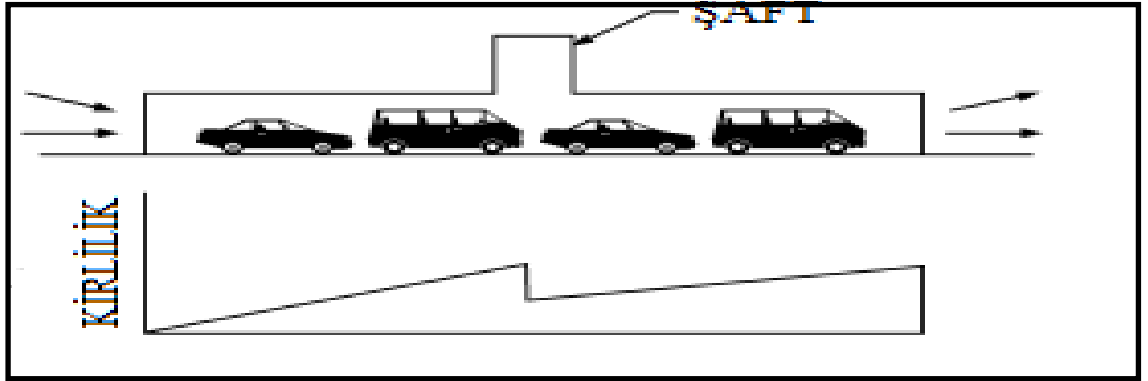
Şekil 5.1: Tünel ağzından – tünel ağzına havalandırma



Kaynak: Sedef AKKAPLAN, Krayolu Tünellerinde Yangın Güvenliği, Aralık 2001.

Çift yönlü trafiğin bulunduğu tünellerde, ara şaftın bulunduğu ve bulunması sebebiyle, tünel ağzından şafta havalandırma uygundur.

Şekil 5.2: Tünel ağzından – şafta havalandırma



Kaynak: Sedef AKKAPLAN, Krayolu Tünellerinde Yangın Güvenliği, Aralık 2001.

Tünellere birden fazla şaft açılması durumunda, şaftlar arasında kirli hava cepleri oluşacağından yarar değil zarar vereceklerdir.

5.1.2 Mekanik Havalandırma

Bir tünel içerisinde tesis edilen havalandırma sistemi normal işletme şartları altında kabul edilebilir hava kalitesini sağlamalıdır. Bir yangın durumunda, yangınla mücadele ekipleri ve acil işlemler için olduğu kadar kullanıcılar için de güvenliği temin etmelidir. Ayrıca havalandırma sistemi yangın sırasında patlayıcı bir karışımın oluşumunu

önlemek zorundadır. Yangın merkezinde patlayıcı karışım olmasa bile sıcak baca gazları içindeki eksik yanma etkisiyle daha uzakta bir patlayıcı karışım oluşabilir. Tünel havalandırmasında mekanik yöntemleri kullanan farklı sistemler söz konusudur.

5.1.2.1 Boylamasına havalandırma

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

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

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

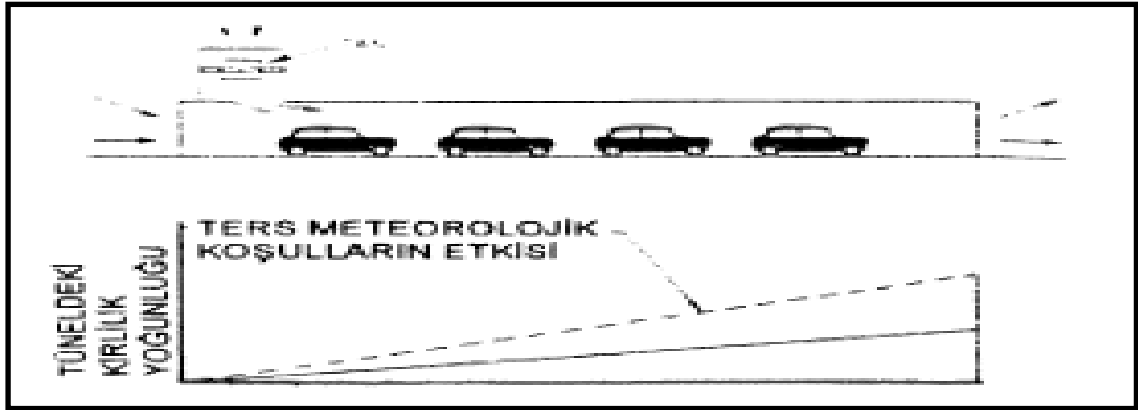
Kullanılan metotlardan ikincisi, tünelin ortasında fan yerleştirilmiş bulunmasıdır. Tünelin her iki ucundan alınan hava, pozitif bir baca etkisi yaratılarak, kirlenmiş olarak şafttan dışarı atılmaktadır. Çift yönlü trafiğin işlediği tünelde pik kirlilik yoğunluğu şaftın bulunduğu yerde oluşacaktır. Tek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

Boylamasına havalandırma biçimlerinden bir başkası ise, tünel orta noktasında İki adet şaft bulunmasıdır. Tünel giriş ağzından giren hava 1.şaft içine yerleştirilen fan yardımı ile dışarı atılmaktadır. 2.şaft içine yerleştirilen fanla içeriye üflenen temiz hava kirlenmiş olarak tünel çıkış ağzından dışarı çıkmaktadır. Ters yönde esen rüzgarlar

tünelin İkinci bölümündeki hava akımını kesebilmekte, üfleme fanı ile egzost aspiratörü arasında kısa devre oluşabilmekte ve bu bölümde kirlilik yoğunluğu artabilmektedir.

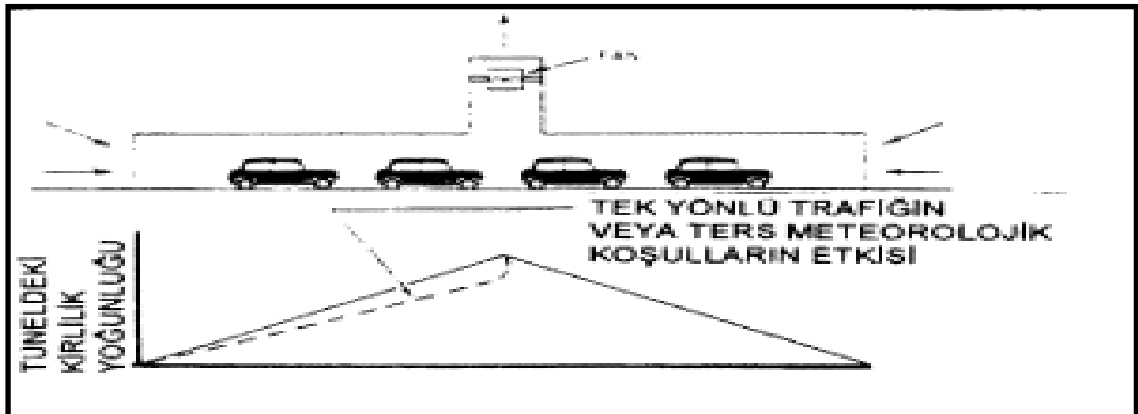
Giderek daha çok kullanılmaya başlayan, boylamasına havalandırma metotlarından bir diğeri tünel tavanına asılan fanlarla yapılan havalandırma. Jet (jetfoil, booster) tipi fanların kullanıldığı havalandırma, daha önce tanıtılan metodların gereksinim duyduğu aksiyal fanların konulacağı binalar ortadan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

Şekil 5.3: Jet enjeksiyonlu boyuna havalandırma



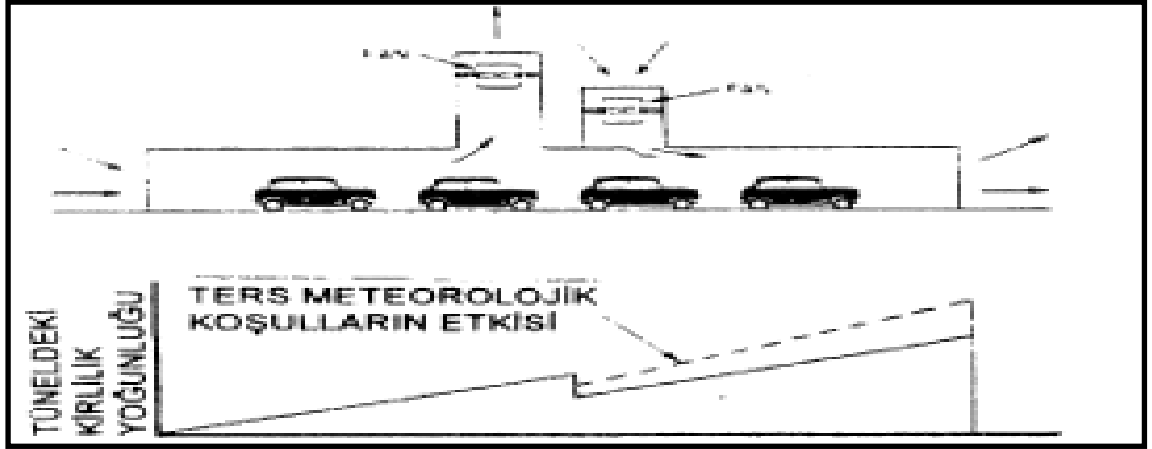
Kaynak: Sedef AKKAPLAN, Krayolu Tünellerinde Yangın Güvenliği, Aralık 2001.

Şekil 5.4: Tek şaftlı boyuna havalandırma



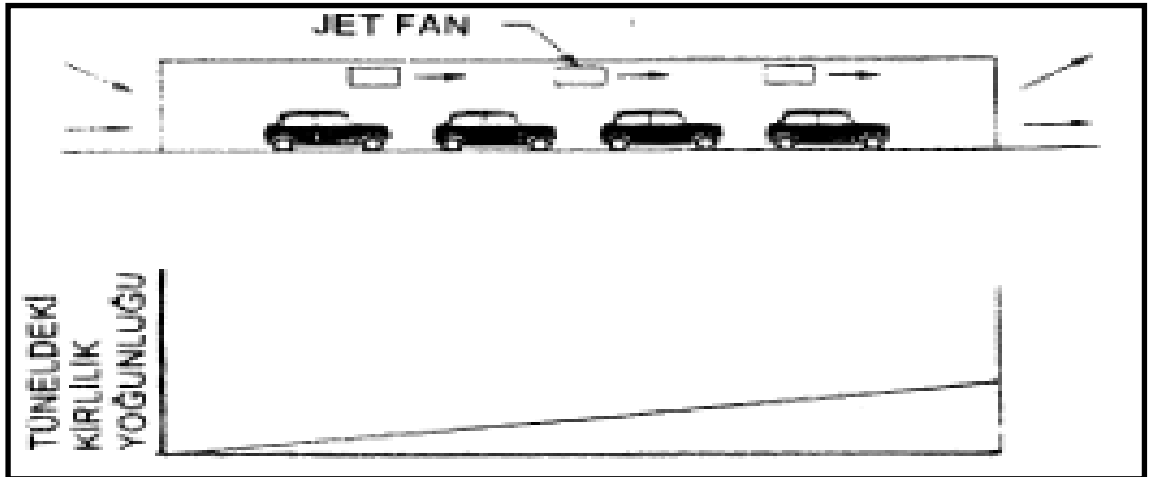
Kaynak: Sedef AKKAPLAN, Krayolu Tünellerinde Yangın Güvenliği, Aralık 2001.

Şekil 5.5: İki şaftlı ve jet fonksiyonlu boyuna havalandırma



Kaynak: Sedef AKKAPLAN, Krayolu Tünellerinde Yangın Güvenliği, Aralık 2001.

Şekil 5.6: Jet fanlı boyuna havalandırma



Kaynak: Sedef AKKAPLAN, Krayolu Tünellerinde Yangın Güvenliği, Aralık 2001.

5.1.2.2 Yarı kanallı havalandırma

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

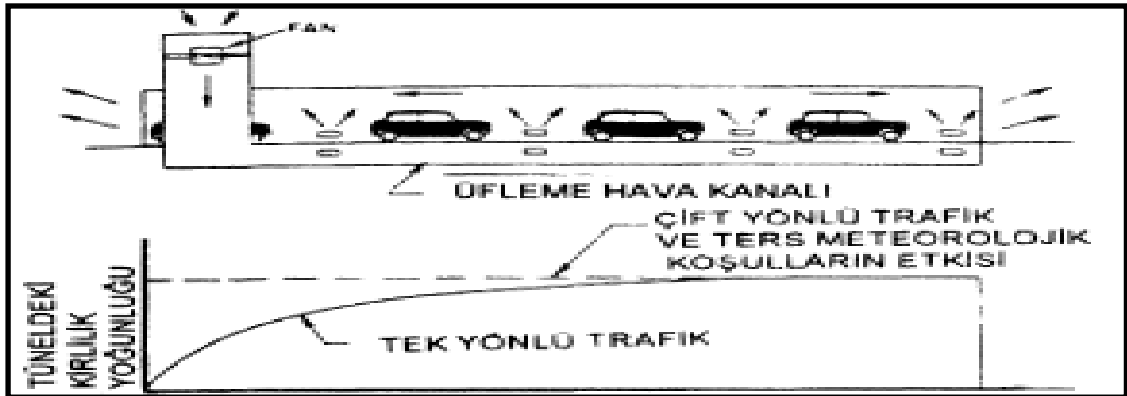
Kullanılan metotlardan biri üfleme hava kanalıdır. Temiz hava bir fan yardımı ile eşit aralıklarla yerleştirilmiş üfleme menfezlerinden tünele üflenmek üzere hava kanallarına basılmaktadır. Egzost gazlarının en kısa sürede seyreltilmesi için üfleme menfezleri araç egzost borusu seviyesinde yerleştirilmektedir. Hava kanalı ile yol arasında oluşturulan yeterli basınç farkı, piston etkisini ve rüzgarı yenerek, kirli havanın tünel

tavanına yükselmesini ve iki ayrı yönde hareket ederek tünel giriş ve çıkış ağzından tahliyesini sağlar.

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

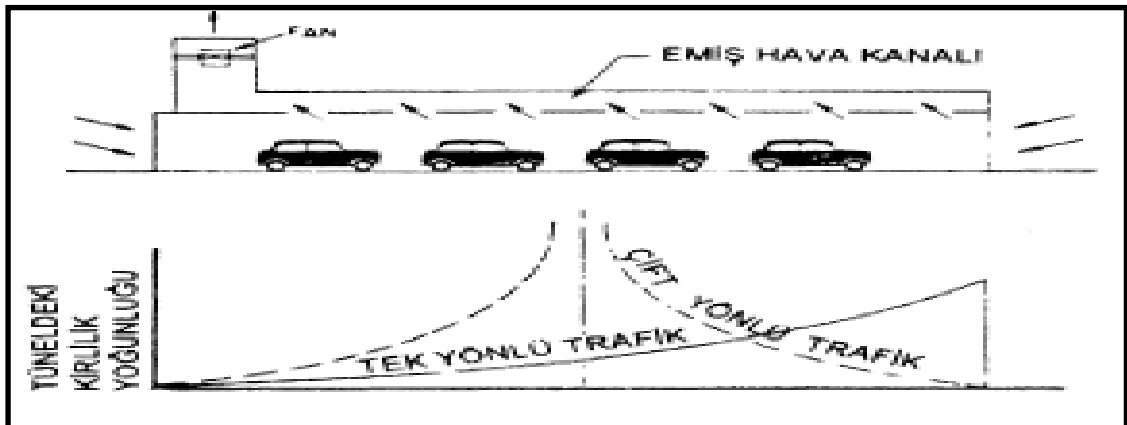
Bir başka yöntem ise üfleme ve emme kanallarının tünelin belirli bölümlerine uygulanmasıdır. Giriş ağzından giren hava tünelin İlk bölümünün tavanındaki emiş hava kanalları ve fan yardımı ile dışarı atılmaktadır. Tünelin ikinci bölümünden hava kanalları ile üflenen hava ise çıkış ağzından dışarı çıkmaktadır.

Şekil 5.7: Üfleme kanallı havalandırma



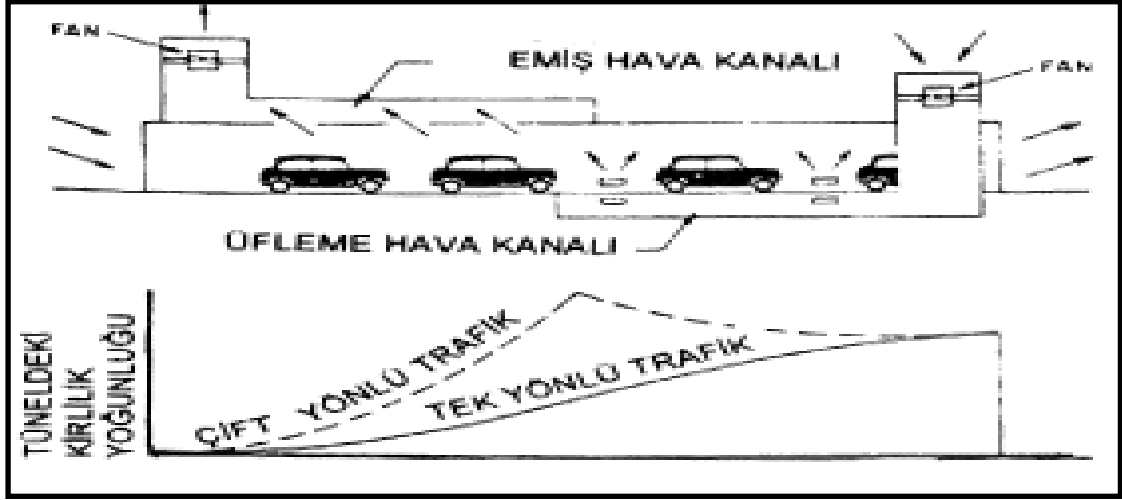
Kaynak: Sedef AKKAPLAN, Krayolu Tünellerinde Yangın Güvenliği, Aralık 2001.

Şekil 5.8: Emiş kanallı havalandırma



Kaynak: Sedef AKKAPLAN, Krayolu Tünellerinde Yangın Güvenliği, Aralık 2001.

Şekil 5.9: Üfleme ve emiş kanallı havalandırma

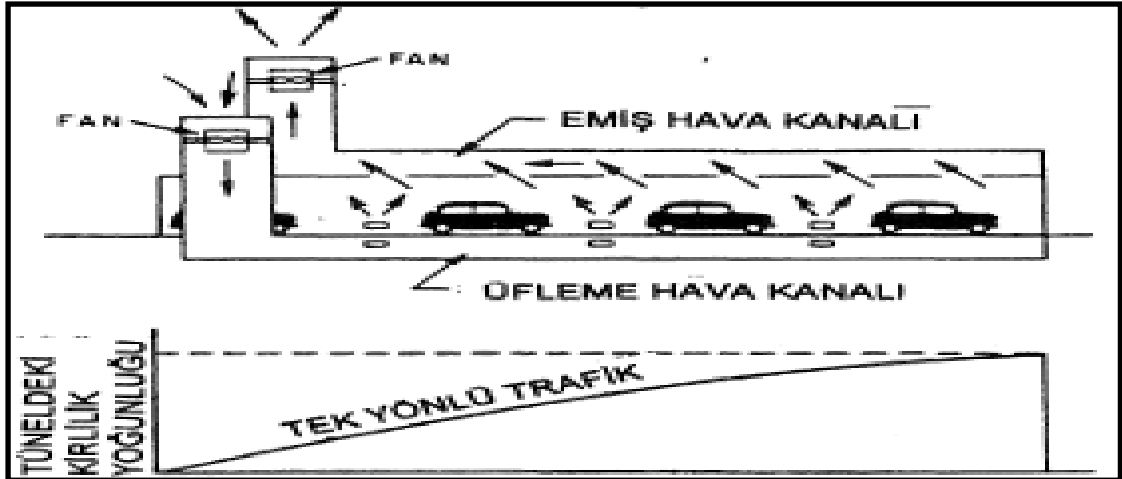


Kaynak: Sedef AKKAPLAN, Krayolu Tünellerinde Yangın Güvenliği, Aralık 2001.

5.1.2.3 Tam kanallı havalandırma

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

Şekil 5.10: Tam kanallı havalandırma



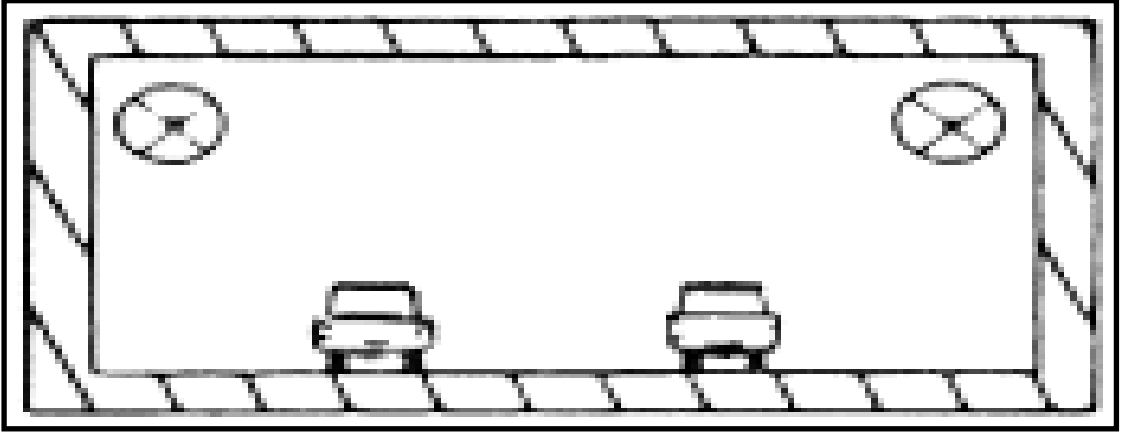
Kaynak: Sedef AKKAPLAN, Krayolu Tünellerinde Yangın Güvenliği, Aralık 2001.

5.1.2.4 Karma havalandırma

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

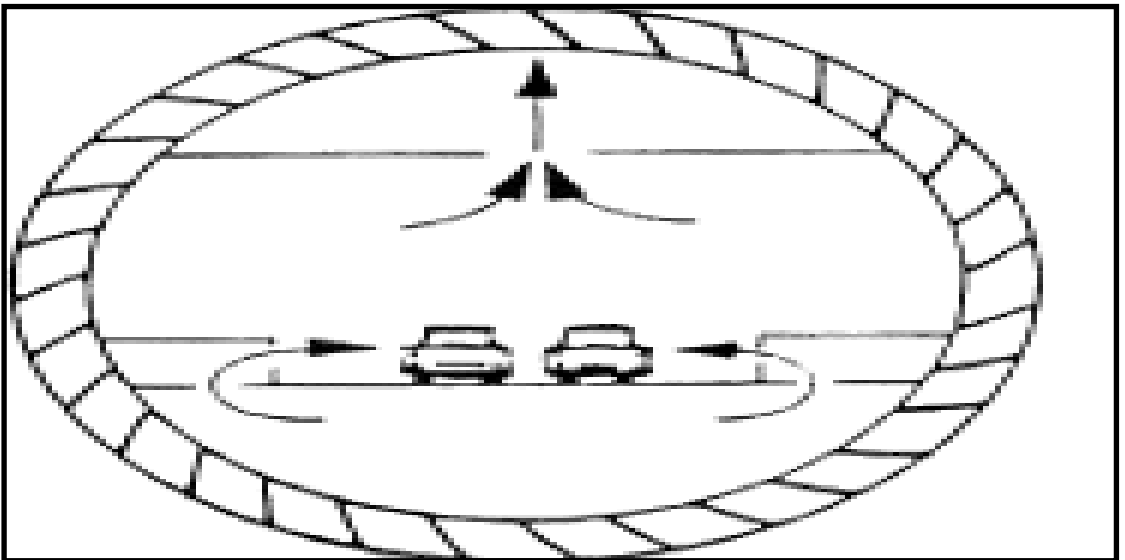
Tünel cebri havalandırılmasında kullanılan belli başlı yöntemlerin tünel enkesiti içindeki görünümleri şematik olarak Şekil 5.11, 5.12, 5.13 ve 5.14’ te gösterilmiştir.

Şekil 5.11: Boylamasına havalandırma enkesiti



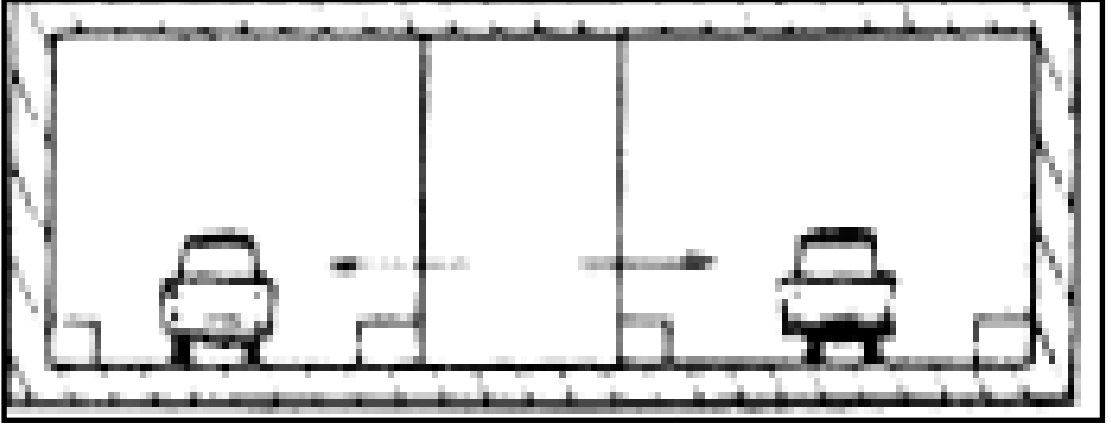
Kaynak: Sedef AKKAPLAN, Krayolu Tünellerinde Yangın Güvenliği, Aralık 2001.

Şekil 5.12: Tam kanallı havalandırma enkesiti



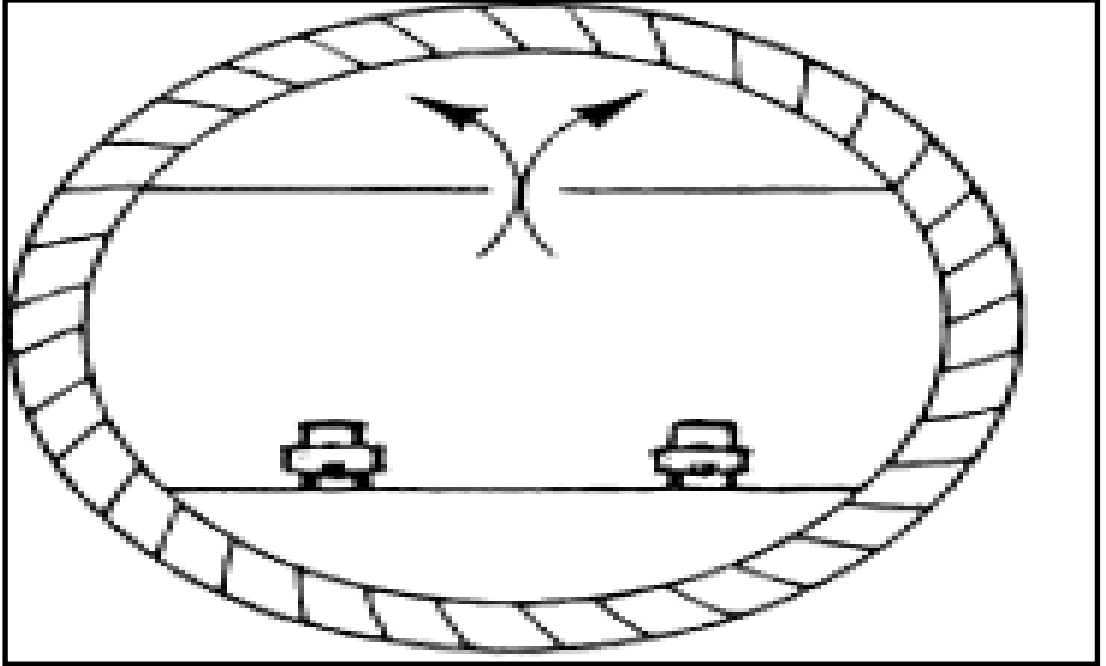
Kaynak: Sedef AKKAPLAN, Krayolu Tünellerinde Yangın Güvenliği, Aralık 2001.

Şekil 5.13: Yarı kanallı havalandırma (üfleme) enkesiti



Kaynak: Sedef AKKAPLAN, Krayolu Tünellerinde Yangın Güvenliği, Aralık 2001.

Şekil 5.14: Yarı kanallı havalandırma (emiş) enkesiti



Kaynak: Sedef AKKAPLAN, Krayolu Tünellerinde Yangın Güvenliği, Aralık 2001.

5.1.3 Mekanik Havalandırma ile Havanın Temizlenmesi

Tünel içindeki egzoz havası;

- i. Tünel havalandırması için gerekli hava debisini azaltmak,
- ii. Tünel tüplerinden ve şaftlarından tahliye edilen kirliliğini azaltmak için, uygun kirlilik seviyelerine düşürülerek temizlenir.

Mevcut yugulamalarda, en çok, tünel havasından kurum ve tozu toplayabilen elektrostatik çökerticiler kullanılmaktadır.

Japonya'daki tünellerden geçen kamyonların yüksek oranda olması sebebi ile görülebilirlik, ilgili seviyelere çekilmesi gereken ilk kirlilik parametresidir. Bu sebeple; Japonya'da ilk önce tünel havası içindeki katı partiküllerin yoğunluğunu azaltan bir sistem uygulanmıştır.

Norveç'deki tüneller, kış mevsiminde araçlar çivili lastik taktığında, yüksek toz yoğunluğunun tünel havasını etkilemesi sebebi ile, hava temizlemek için bir sistemle donatılmıştır.

Bu koku hakkındaki tamamlayıcı araştırma programları, bu iki ülkede ve aynı zamanda Avusturya ve Almanya'da geliştirme aşamasındadır. Bunlardan bazılarının amacı; CO, NOx ve HC'ları temizlemektir. En son araştırma programı, çevresel amaçlarla havanın biyolojik olarak temizlenmesinin kullanımı ile ilgilidir.

5.1.4 Doğal Havalandırma Hakkında Tavsiyeler

Doğal havalandırma; doğal olaylara ve tünel içindeki havayı tazeleyen trafiğe bağlıdır. Bu havalandırma sistemi, kirleticilerin seyreltilmesi için çok etkili olabilir, fakat güvenlik önlemleri için sadece doğal havalandırmaya güvenmek mümkün değildir. Aslında, tünel içindeki bir yangın olayında trafik muhtemelen duracak ve havalandırma sadece kısmen belirlenebilir olabilen doğal bir baca etkisi gibi sağlanacak, fakat havalandırmanın ana etkeni oldukça belirsiz olacağından dolayı güvenilmez olacaktır.

Bu sebeple bazı ülkeler doğal havalandırma uygulamasını sınırlayan yaptırımları uygulamaktadır. Bu uygulamalara ilişkin birkaç örnek aşağıda bilgilerinize sunulmuştur.

- i. **Almanya:** 1994 RABT standartlarında mekanik havalandırma ve acil çıkışa sahip olmayan tünellerde yangın ihtimaline karşı yeterli güvenlikteki tünel uzunluğu 350 m.'dir.

- ii. **Fransa:** Ulusal karayolu ağı içindeki tünellerde, aşağıdaki uzunluklardan daha uzun tünellerde duman kontrolünü gerekli görürler.
 - Şehir içinde: 300 m.
 - şehir dışında: 500 m. (genelde)
 - Şehir dışında: 800-1000 m. (trafik < 2000 araç/gün)
- iii. **İngiltere:** doğal havalandırmalı tünel uzunluğu 400 m.'ye kadar çıkabilmekle beraber, bunun için makul sebeplerin belirlenmesine ihtiyaç vardır.
- iv. **Hollanda:** uzunluğa risk analizi ile karar verilir.
- v. **ABD:** 240m.'ye kadar tünellerde doğal havalandırma kullanılabilir.

5.2 YANGIN ÖNLEME ESASLARI

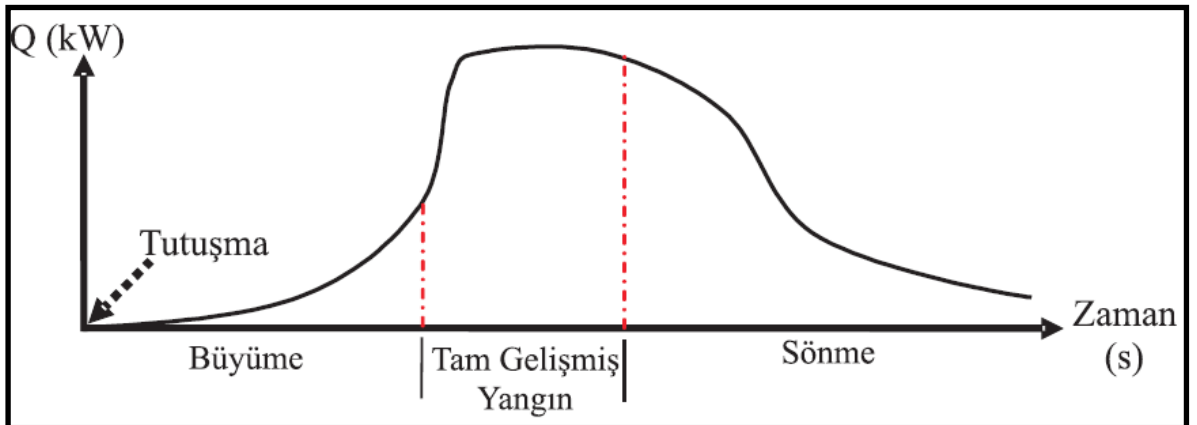
Yangın fiziksel ve kimyasal bir olaydır. Isı, yakıt (yanıcı madde) ve oksijenin uygun oranda bir araya gelmesi ile başlayan reaksiyona ‘yanma’; yanma olayının kontrol dışı gelişen haline yangın denilmektedir. Yangın sırasında alevin, yakıtın ve çevresinin birbirleriyle etkileşimi çoğunlukla doğrusal değildir. Kapalı alan yangını terimi yangının bir oda ve buna benzer etrafı çevrelenmiş bir alanda çıkması durumunda kullanılan bir tanımdır. Kapalı bir ortam içinde malzeme yanıyorsa yangın gücüne ve yanma hızına etki eden başlıca iki parametre vardır. Birincisi, sıcak gazların tavan kısmında birikmesi sonucunda tavanın ve duvarların ısınması; dolayısı ile bu yüzeylerin ve sıcak gaz katmanının yakıt yüzeyine doğru ışınım yoluyla ısı transferi yaparak yanma hızını arttırmasıdır. İkinci etken ise mekandaki havanın giriş yapabileceği kısımların kısıtlı olması sonucunda yanma için gerekli olan oksijen miktarının elde edilebilirliğinin sınırlanmasıdır. Bu nedenle malzemelerin yanma hızı ve çevreye yaydıkları ısı gücü azalmakta ve yanmayan gazların konsantrasyonunda artış olmaktadır. Tünelde çıkan yangınlarda kapalı alan yangını olarak sınıflandırılır. Ancak tünel yangınında yolcu tahliyesi için gerekli olan acil durum havalandırma sistemi yanma için gerekli olan oksijen miktarından fazlasını sağlamaktadır. Araştırmalar sonucunda, tünel içindeki bir yangının ısıl gücünün (yangın yükü) aynı malzemelerin kullanıldığı açık hava yangınının ısıl gücünden dört kat fazla olduğu tespit edilmiştir.

5.2.1 Yangın Gelişim Eğrisi

Yangın, dört evreden oluşmaktadır. Şekilde gösterildiği gibi yangın sırasıyla; tutuşma, büyüme, tam gelişmiş yangın ve sönme evrelerinden oluşmaktadır.

Tutuşma, yangının başlaması için gerekli olan enerjinin verilmesi sonucunda yanma reaksiyonunun başlaması olayıdır. Tutuşma bir alev kaynağından olabileceği gibi ortamdaki sıcaklığın yükselmesiyle de olabilir. Yangının büyüme evresinde ise yangın gelişimi; yanan malzemelerin özelliğine, ortamdaki oksijenin miktarına, ortam konfigürasyonuna ve yanma tipine bağlı olarak hızlı veya yavaş olabilir. Çevredeki malzemelerin ortamdaki ısı transferi sonucunda sıcaklıkları artarak yanmaya başlarlar. Sıcaklığın artması sonucunda öyle bir an gelir ki ortamdaki cisimlerin birçoğu tutuşma sıcaklığına ulaşarak aniden yanmaya başlar. Bu ani reaksiyon parlama (flashover) olarak tanımlanır. Bu evreyi takip eden tam gelişmiş yangın evresinde, ortamdaki tüm yanıcı maddelerin yanmaya başladığı düşünülür. Bu evrede yangının ısıl gücü en yüksek değere ulaşır ve ortamdaki oksijen miktarı azdır. Tam gelişmiş yangın evresinde, yangının büyümesi oksijen miktarı ile sınırlıdır. Sönme evresinde ise ortamdaki yanan malzeme tükenmesi sonucunda yangın ısıl gücü azalmaktadır. Bu evrede yangın yakıt kontrollü bir yangın durumundadır.

Şekil 5.15: Yangının evreleri



Kaynak: John Wiley, An Introduction to Fire Dynamics, 1999.

5.2.2 Tünel Yangınları ile Kapalı Alan Yangınlarının Farkı

Tünel yangınları ile kapalı alan yangınları arasındaki farklar maddeler halinde şu şekilde sıralanabilir.

- i. Kapalı alan yangınında maksimum yangın gücü genellikle doğal havalandırma faktörüne bağlıdır. Dolayısıyla bu yangınlarda dışarıya açılan alan ve bu açıklığın yüksekliği önem taşımaktadır. Tünel yangınlarında ise doğal havalandırma sırasındaki yangın büyüklüğü, tünel eğimine, kesit alanına, uzunluğuna, tünel duvar özelliklerine ve girişteki meteorolojik koşullara bağlıdır. Tüneller genellikle mekanik havalandırma sistemleriyle donatıldıklarından kapalı alan yangınına göre daha fazla oksijen bulunmaktadır. Havalandırma hem yangın yüküne hem de yangın verimine etki etmektedir.
- ii. Yanabilir maddelerin bulunduğu kapalı bir alanda tüm yüzeylerin aniden yangına dahil olmasına parlama denmektedir. Bu tarz yangınlarda parlama çok kısa zamanda gerçekleşmektedir. Tünel yangınlarında ise genellikle parlama olması muhtemel değildir. Buna rağmen, tren ve araç kabinleri içerisindeki yangınlarda parlama kolaylıkla olabilir. Tünel yangınında mekanik havalandırma etkisiyle havalandırma yönündeki araç tutuşabilir; fakat bu durum parlama olarak nitelendirilmemektedir.
- iii. Tünel yangınlarında duman katmanı oluşumu kapalı alan yangınına göre farklılıklar göstermektedir. Kapalı alan yangınlarında başlangıç evresinde üst kısımda sıcak hava katmanı ve alt kısmında soğuk ve dumansız bölge bulunmaktadır. Buna benzer bir durum tünel eksenini doğrultusunda havalandırma çalıştırılmadan önce tünel yangınlarının başlangıcında da görülmektedir. Fakat, duman katmanı kademeli olarak tünel yüzeyine doğru yangından uzak bölgelerde alçalmaya başlar. Tünel çok uzunsa duman katmanı tünel tabanına kadar alçalabilir. Bu olgunun gerçekleşmesi yangından uzaklığa, yangının boyutuna, tünel tipine, çevresine ve yüksekliğine bağlıdır. Boylamasına havalandırma ile tünel içi hava hızı kademeli olarak arttırıldığında bu katmanlaşmış kısım dağılır. Tünel havalandırma hızı belirli bir seviyeye ulaşmadığında duman havalandırma yönünün tersine hareket ederek ters

katmanlaşma meydana getirmektedir. Yangın tünel içinde gelişirken havalandırma ile etkileşim halindedir ve baca etkisi nedeniyle akışa karşı bir direnç yaratarak akışta değişimlere sebep olmaktadır.

- iv. Tüneldeki bir yangında havalandırma, yangın bölgesinde soğutma özelliği göstererek sıcaklığın yüksek değerlere ulaşmasını engeller.

5.2.3 Tünellerde Yangın Güvenliği

Tünel yangınlarında ölümlerin birçoğu duman solunması sonucunda meydana gelmektedir. Duman ve zehirli gazlar, yangıundan kaçarken insanların önlerini görmemelerine, bunun sonucunda paniğe kapılmalarına ve zehirlenip boğulmalarına neden olmaktadır. Ayrıca bu durum, yangın söndürme çalışmalarına da engel olmaktadır. Tünel sistemine kurulacak bir acil durum havalandırma sistemi, yangın sırasında oluşan dumanın ve ısının tünellerden uzaklaştırılmasını sağlayabilir. Böylelikle;

- i. Mahsur kalan insanların güvenli bir şekilde sistemi boşaltmaları sağlanacak,
- ii. Yangın çıkan tünele giren personel veya itfaiye elemanı kurtarma, soğutma veya söndürme işlemi sırasında daha rahat çalışacaktır.

Acil durum havalandırması ile yangın sonucu oluşan duman ve ısının tünelin diğer noktalarına yayılmadan dışarı atılması, sistemde yer alan yapı elemanlarının ve ekipmanların yangın sonucu oluşacak yüksek sıcaklıklardan zarar görmesini engelleyebilecektir.

5.2.4 Tünellerde Yangın Durumunda Havalandırma Prensibi

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.

Tünellerde kullanılan havalandırma sistemleri esas olarak iki kategoride incelenebilir. Birincisi doğal havalandırma sistemi, ikincisi ise mekanik havalandırma sistemleridir.

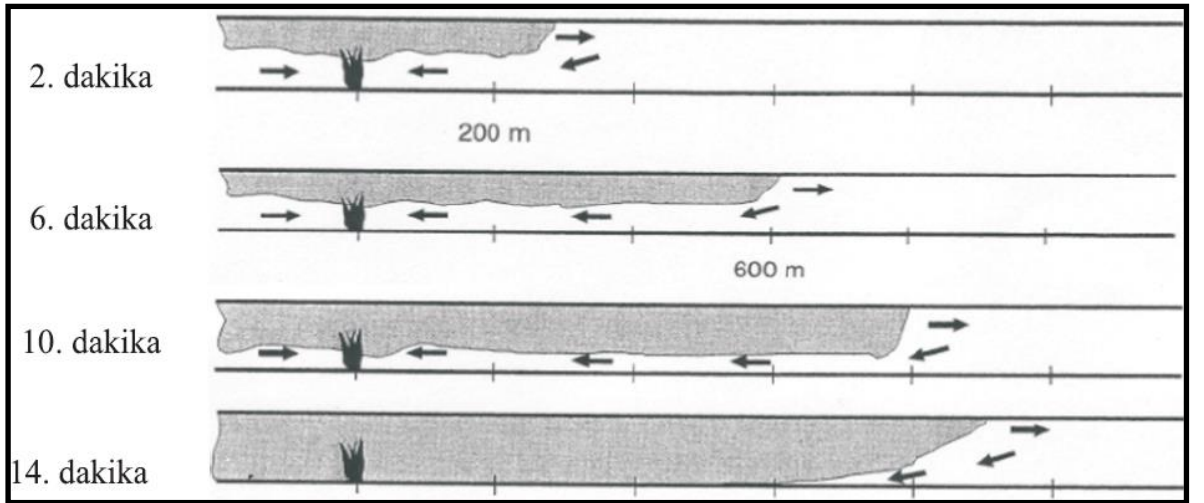
5.2.4.1 Doğal havalandırma durumu

Mekanik havalandırma sistemi olmadan, tünel içindeki hava hareketi sonucunda oluşan havalandırmaya doğal havalandırma denmektedir ve kısa tünellerde yaygın olarak kullanılan bir sistemdir. Ülkelerden ülkelere mekanik havalandırmanın gerekli görülmediği, sadece doğal havalandırmanın yeterli görüldüğü tünel uzunlukları farklılıklar göstermektedir. Doğal havalandırmada normal olarak , tünel uçlarındaki sıcaklık ve yükseklik farkı sonucu oluşan statik basınç değişimleri ve araçların

hareketleri sonucunda (piston etkisi) akış sağlanmaktadır. Ancak yangın durumunda araç hareketleri durdurulacağı için piston etkisi ortadan kalkmaktadır.

Tünelde yangın durumunda sıcak duman tavana doğru yükselmekte ve tavanda katmanlaşarak zamanla tünel boyunca yayılmaya başlar. Tünel duvarları ile ısı kaybı sonucu duman katmanı zamanla soğumaya başlar ve duman tabana doğru soğuk havayla karışarak alçalmaya başlar. Duman katmanı küçük boylu tünellerde belirli bir süre insanların kaçması için gerekli olan ortamı sağlamaktadır. Bu durum Şekil 5.16' da gösterilmiştir. Yangın büyüklüğüne, gelişimine, tünel kesit alanına, eğimine, taşıtların oluşturduğu havalandırmaya ve hava şartlarına bağlı olan doğal havalandırma sistemi her zaman güvenilir bir ortam sağlamamaktadır.

Şekil 5.16: Doğal havalandırma sonucu tünelde duman katmanı (4m² petrol yangını)



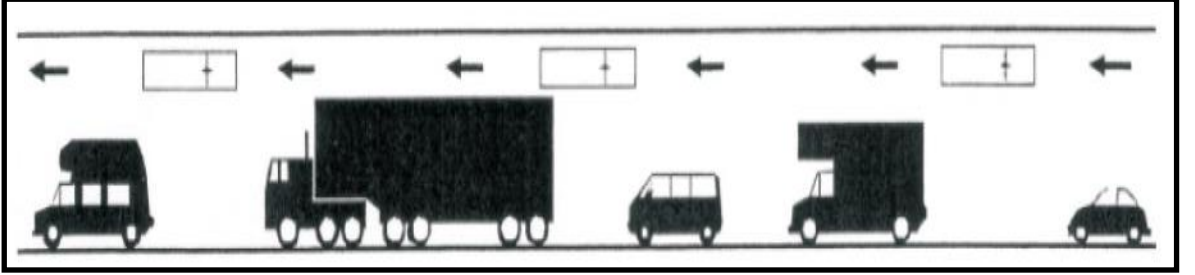
Kaynak: Thomas Telford, The Handbook of Tunnel Fire Safety, 2005.

5.2.4.2 Mekanik havalandırma durumu

Mekanik havalandırma sisteminde temel amaç yangın bölgesinde oluşan dumanın fan kullanılarak uzaklaştırılmasıdır. Tünellerde kullanılan dört farklı mekanik havalandırma sistemi vardır. Bunları daha önce de belirttiğimiz üzere, boylamasına, tam kanallı, yarı kanallı ve karma havalandırma sistemleridir.

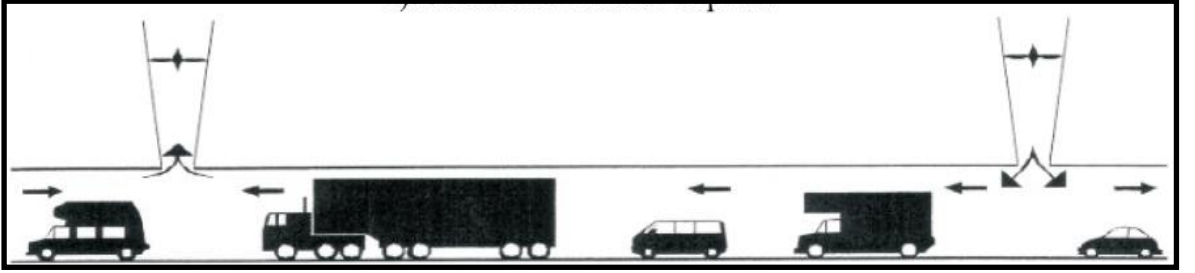
Boylamasına havalandırma sisteminde tünel bir hava kanalı olarak kullanılır ve havalandırma sistemi için ayrıca bir boşluk bırakılmaz. Havalandırmada ya tünel boyunca döşenen jet fanlar ya da tünel dışına kurulan bacalara bağlanan fanlar kullanılır.

Şekil 5.17: Jet fan kullanılarak yapılan boyuna havalandırma



Kaynak: Thomas Telford, The Handbook of Tunnel Fire Safety, 2005.

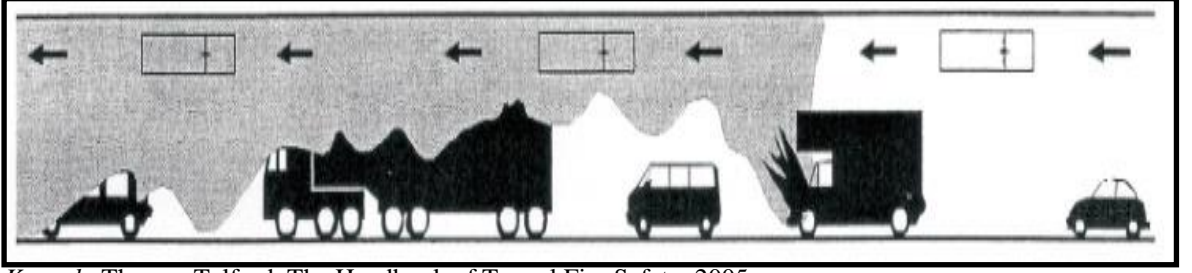
Şekil 5.18: Tünel dışına döşenen fan bacalarıyla boyuna havalandırma



Kaynak: Thomas Telford, The Handbook of Tunnel Fire Safety, 2005.

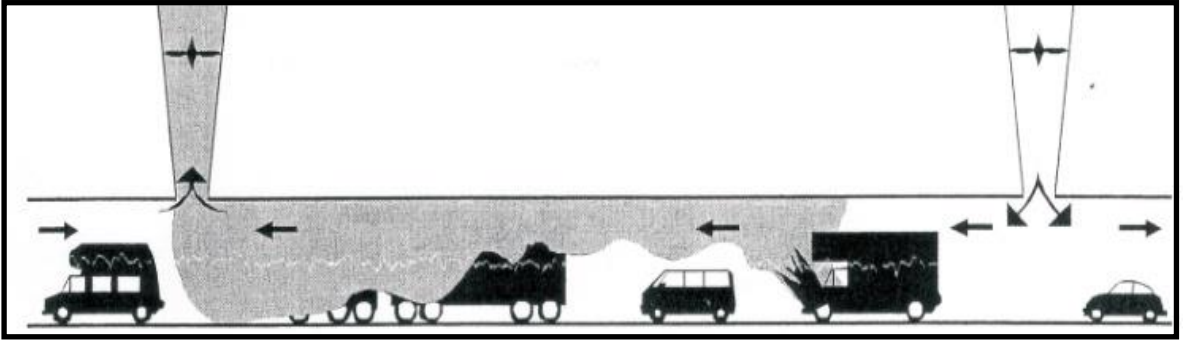
Tünel boyunca döşenen jet fanlarla etkili bir havalandırma sağlanılmak isteniyorsa, jet fanlar portal ağızlarından en az 80-100 m. içeriye yerleştirilmesi gerekmektedir. Ayrıca jet fanlar arasındaki mesafeler de birbirlerinin akışını etkilemeyecek şekilde bırakılmalıdır. Tünelde yangın çıkması durumunda yangın sonucu oluşan duman bu sistemde bir yöne doğru yönlendirilerek hattın diğer tarafında dumansız bir bölge oluşturulur.

Şekil 5.19: Jet fanlı boyuna havalandırma yangın durumu



Kaynak: Thomas Telford, The Handbook of Tunnel Fire Safety, 2005.

Şekil 5.20: Fan bacaları boyuna havalandırma yangın durumu



Kaynak: Thomas Telford, The Handbook of Tunnel Fire Safety, 2005.

Jet fan tipi havalandırma fanlarının yerleştirilmesi için ayrı bir binanın veya yapının yapılmasına gerek yoktur. Bu sistemin montajı kolay olup diğer havalandırma sistemlerine göre daha az maliyetlidir. Fakat, jet fanların montajı için daha yüksek veya geniş tünel yapısına ihtiyaç duyulmaktadır. Çok sayıda fanın kullanılması bakım ve işletme maliyetlerini arttırmaktadır.

Jet fanlarının havalandırma için kullanılması tünel uzunluğu ve trafiğin tek veya çift yönlü olmasına göre değişiklik göstermektedir. Bazı ülkeler boylamasına havalandırmanın kullanılabileceği tünel uzunluklarını sınırlandırmıştır.

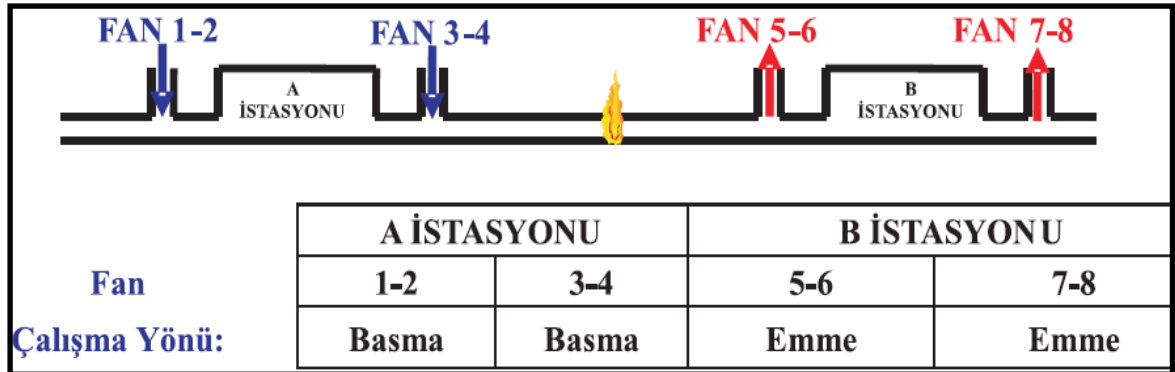
Tablo 5.1: Boylamasına havalandırmanın kullanılabileceği tünellerin uzunlukları

| ÜLKE | ŞEHİRİÇİ | | ŞEHİRLERARASI | |
|---------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | Tek Yönlü Trafik | Çift Yönlü Trafik | Tek Yönlü Trafik | Çift Yönlü Trafik |
| Almanya | 4 km. jet fan ile | 2 km. jet fan ile | 4 km. jet fan ile | 2 km. jet fan ile |
| Fransa | 800 m. | - | 4000 m. | 800 m. |
| A.B.D. | 900 m. | 900 m. | 900 m. | 900 m. |

Kaynak: PIARC, Fire and Smoke Control in Road Tunnels, 1999

Yeraltı raylı toplu taşıma sistemlerinde kullanılan acil durum havalandırma sistemleri, genellikle basma çekme prensibini kullanarak, boylamasına havalandırma ile duman tahliyesini sağlamaktadır. Basma çekme prensibi gereği, yangının bir tarafındaki istasyonda veya tünelde bulunan acil durum havalandırma fanları emme diğer taraftaki fanlar basma durumunda çalıştırılır. Tünel yangınlarında dumanı istenen yönde tahliye edebilmek ve insanlara güvenli bir kaçış yönü sağlamak amacıyla genel olarak istasyonların etrafında yer alan, acil durumu havalandırma fanları kullanılmaktadır.

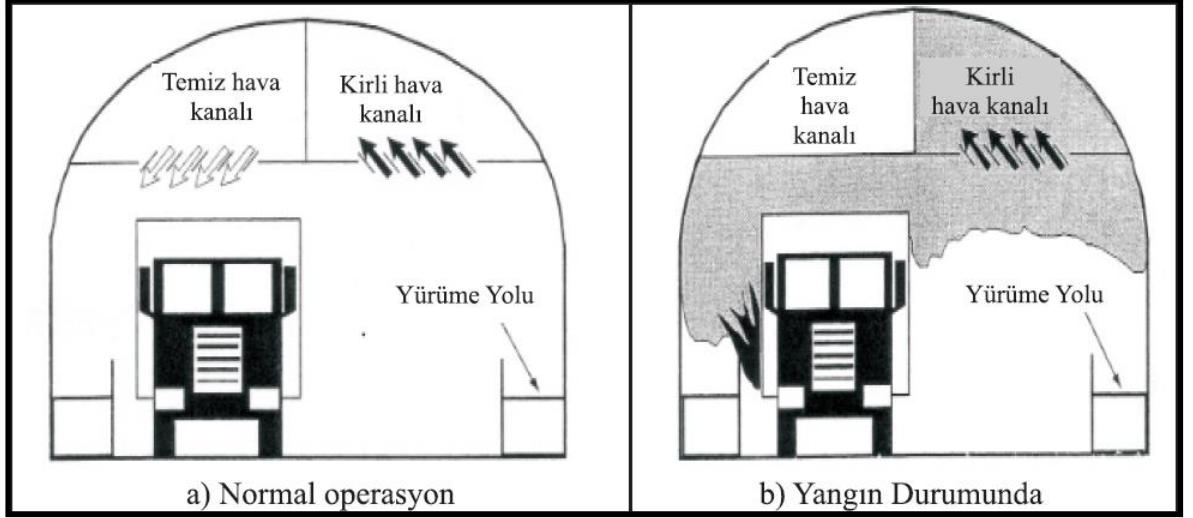
Şekil 5.21: Raylı sistemlerde acil durum havalandırma sistemi çalışma prensibi



Kaynak: Mühendis ve Makine, Cilt: 51, Sayı: 604

Tam kanallı havalandırmada ise tünel boyunca döşenen iki farklı havalandırma kanalının menfezlerinin birinden tünele temiz hava sağlanırken diğerinden ise tünel içindeki kirli hava emilir. Bu iki kanaldan gelen hava debileri eşittir ve iki kanaldaki akış tünel ekseninin dikine bir havalandırma sağlamaktadır. Yangın sırasında ise tünele temiz hava sağlayan kısım kapatılır ve sistemdeki duman emiş kanallarından dışarı atılır.

Şekil 5.22: Tam kanallı havalandırma sistemi çalışma prensibi

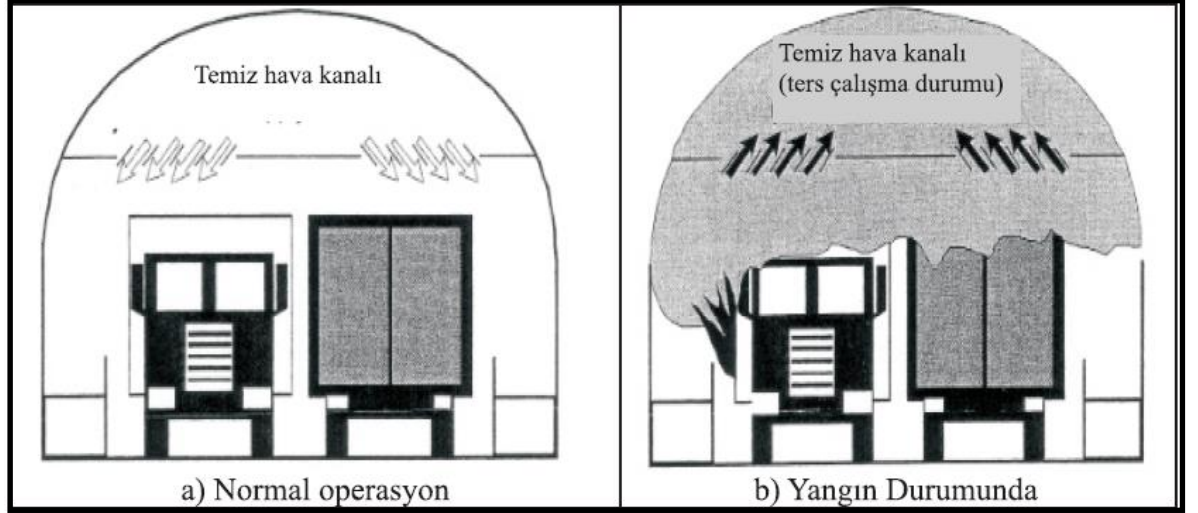


Kaynak: Thomas Telford, The Handbook of Tunnel Fire Safety, 2005.

Yarı kanallı havalandırma sistemi tam kanallı havalandırma sistemine benzer fakat bu sistemde sadece tünel boyunca döşenen tek bir havalandırma kanalı bulunmaktadır. Normal çalışma durumunda tünele temiz hava bu kanallardan verilmekte kirli hava ise tünel giriş ve çıkışlarından atılmaktadır. Yangın durumunda ise duman emişi bu kanallardan yapılarak duman tünelden uzaklaştırılmaktadır.

Kanallı havalandırma sistemlerinde duman, yangın bölgesinin yakınındaki emiş kanalından atılabilmektedir. Boylamasına havalandırmada ise yerel olarak atılan duman tahliyesi yapılamamaktadır. Boylamasına havalandırma sisteminde duman bir yöne doğru yönlendirilerek dumansız bir tahliye yolu oluşturmaktadır. Böylelikle hem güvenli bir kaçış sağlanırken, hem de itfaiye ekiplerinin müdahalesi kolaylaşmış olmaktadır. Boylamasına havalandırma sisteminin dezavantajı, dumanın yönlendirildiği taraftaki ekipmanların zarar görmesi ve o kısımda kalan insanların mahsur kalma olasılığıdır. Kanallı havalandırma sistemlerinde gerekli olan damperlerin açılıp duman tahliyesinin yapılabilmesi için yangın bölgesinin düzgün bir şekilde tespit edilmesi gerekmektedir. Kanalların yapılması ve ek havalandırma yapısına gerek duyması, kanallı sistemlerin yatırım maliyetlerinin yükselmesine sebep olmaktadır. Fakat sistemdeki bakım onarım maliyetleri daha düşüktür.

Şekil 5.23: Yarı kanallı havalandırma sistemi çalışma prensibi



Kaynak: Thomas Telford, The Handbook of Tunnel Fire Safety, 2005.

Yarı ve tam kanallı havalandırma sistemleri çalıştığında tüneldeki boyuna havalandırma hızı duman katmanının dağılmaması için 2 m/s'nin altında kalması gerekmektedir. Bu havalandırma sistemleri çift yönlü trafiğin olduğu yol tünellerinde tercih edilmektedir.

Bu sistemlerde fan seçimi ve tespitinin önemi söz konusudur. Fanların çalıştıkları havalandırma sistemlerinde gerekli basma yükseklikleri farklılık göstereceğinden her sistem için fan basma yüksekliğinin tespiti gerekmektedir. Fanlar, raylı toplu taşıma sistemlerinde kullanılacaksa veya iki yönlü çalışması gerekecekse basma ve emme durumunda çalışabilen, ters yönde çalışırken performansı düşmeyen, aksenel akış fanları seçilmelidir. Tünellerde kullanılan ve duman mücadelesinde gerekli olan tüm donanım sıcaklığa dayanıklı olarak seçilmesi gerekmektedir.

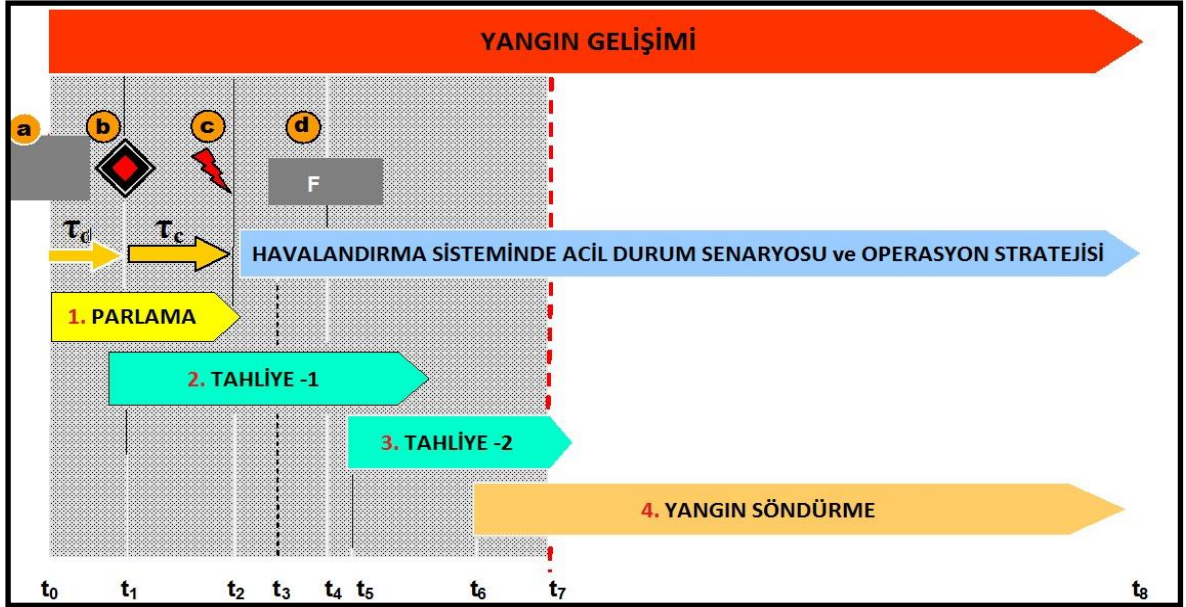
5.2.5 Tünellerde Yangınla Mücadele Yönetimi

Tünel yangınları ile mücadele uygun ve gerekli ekipmanın tünelde bulunması ve kullanılmasından öteye tam bir risk yönetim çalışması içermektedir.

Yangınla mücadele sırasında trafik kontrolü, havalandırma, haberleşme, drenaj, acil durum ekipmanı, acil durum aydınlatması vb. arasındaki eşgüdüm çok önemli bir yer tutmaktadır.

Kentiçi tünel projelendirmesi sırasında yangınla mücadele konusunda göz önüne alınması gereken ve makina mühendisliği ile ilgili kriterler ele alınacaktır.

Şekil 5.24: PIARC 2008 Road Tunnels Yangın ve Operasyon Stratejisi



Kaynak: PIARC, Road Tunnels Operational Strategies for Tunnel Ventilation, 2008.

5.2.5.1 Yangın alarmı

Taşıt tünellerinde bir yangın çıktığında bu yangın ihbarının ilgililere iletilmesi gerekmektedir. Yangın ihbarı konusu tünel projelendirmesini etkilemektedir. Yayınlar, taşıt tünellerini,

- i. Kontrol merkezli tünel,
- ii. Aynı kontrol merkezini kullanan birkaç tünel,
- iii. Alarm sistemi olmayan tünel,
- iv. Kontrol merkezi olmayan alarm sistemli tünel, olarak sınıflandırmaktadırlar.

5.2.5.1.1 Yangın algılayıcılar

Taşıt tüneli içindeki bir yangın ilgililere (Kontrol Merkezine) Yangın Algılayıcıların uyarısı ile bildirilmektedir. Algılayıcının, çevre sıcaklığı belli bir değere ulaştığında

veya sıcaklık artış hızı belli bir değeri aştığında sinyal vermesi istenebilir. Bu durumda, isteğe uygun algılayıcı seçilmelidir.

Algılayıcıların arasının 25 m.'den az olması ve 20 litre petrol yangını algılaması önerilmektedir.

Tünellerde dumana hassas yangın algılayıcılar da kullanılabilir. (Japonlar tünelleri her 15 m'de bir ışın tipi algılayıcı ile takviye etmektedirler.)

Dumana hassas algılayıcılar fazla miktarda toz bulunan veya nemli yerlerde yanlış ihbar verebilmektedirler.

Tek tek algılayıcılardan oluşmayan ancak tünel boyunca sıcaklık algılayıcı görevi yapan kablo türü algılayıcılar da mevcuttur. Bunlar, sıcaklık belli bir değeri aştığında ihbar vermektedirler.

Ayrıca, ihbar mahallini tam olarak da belirleyebilmektedirler. Ancak, bu tip algılayıcılar sıcaklık artış hızına karşı duyarlı değildirler.

Sıcaklık artış hızında iki hassasiyet bulunmaktadır:

- i. Bir tanesi dakikada 5 °C, yüksek duyarlık,
- ii. Bir tanesi dakikada 10 °C, zayıf duyarlık.

Ölçüm sistemlerinin biri devreden çıktığında ikaz verilmekte, belirli bir süre içinde iki sistem de devreden çıkarsa Yangın Alarmı verilmektedir.

Bundan başka, son bir emniyet olarak, her bir algılayıcı 58 °C'lik bir termostatik devreden çıkma tertibatı ile de donatılmaktadır. Algılayıcılar maksimum 18 m.'de bir adet olarak yerleştirilmişlerdir. Nemden, tünel gazlarından, tünelin yıkanmasından vb. koşullarından etkilenmeyecek korumada (IP 65) seçilmişlerdir. Algılayıcılar elektronik tip olup, sıvı eleman veya deforme olabilecek diyafram ihtiva etmemektedirler. İhbar, Kontrol Merkezindeki panele iletilmekte, yangın yerini de belirten algılayıcı Panelden

durdurulana kadar çalışmaya devam etmekte, çalıştırıldığında tekrar algılama yapabilmektedir.

5.2.5.1.2 Yangın ihbar butonları

Tünel içinde yangını görenlerin tünel yönetimi ikaz edebilmesi için gerekebilecek araçlardan biri de Yangın İhbar Butonları'dır.

İhbar butonları Kontrol Merkezi'ne alarm sinyali göndermektedir.

5.2.5.1.3 Yangın ihbar uyarıcıları

Alt tünelde gidiş ve geliş tüplerini bağlayan duvarda Yangın Geçiş Kapıları vardır. Ayrıca, tünelde yukarıya, zemin seviyesine bağlanan yangın çıkış kapıları vardır. Bu kapıların her bir kanadına birer adet mikro anahtar konulmaktadır. Kapılar açıldığında Kontrol Merkezine "Kapı Açıldı/Yangın" ikazı gitmektedir. Araç tünellerindeki Özel Yangın Dolapları ve Yangın Tüpü Muhafazaları kapaklarında birer adet mikro anahtar vardır. Kapaklar açıldığında Kontrol Merkezine "Kapak Açıldı/Yangın" ikazı gitmektedir.

Tozlu Yangın Söndürücü tüpleri yerinden alındığında buradaki mikro anahtar Kontrol Merkezine "Yerinden Alındı / Yangın" ikazı iletmektedir.

Bu "İkaz" sinyallerinin "Alarm" durumuna dönüşmesi için Kontrol Merkezi'ndeki operatörün ihbarın gerçekliğini teşhis ederek "Alarm" komutu vermesi gerekecektir.

5.2.5.1.4 Diğer yangın ihbar yöntemleri

Çesitli yayınlarda taşıt tünellerine telefon kabinleri konulması, Kapalı Devre Televizyon Sistemi ile tünelin izlemesi ve normal trafik akışındaki bir kesinti durumunu ikaz edecek Trafik Kontrol Sisteminin tünellere tesis edilmesi hususları yangın ihbarı için önerilmektedir.

Alt Tüneldeki Özel Telefon Kabinleri'ni ve diğer Servis/Acil Durum Telefonlarını kullanarak yangını Kontrol Merkezine bildirme olanağı vardır. Amerikan Ulusal Yangından Korunma Birliği (NFPA) telefon kabinlerinin 90 m.'den daha kısa aralıkla olmasını istemektedir. İngiltere Ulaştırma Bakanlığı ile 50 m.'de bir telefon önermektedir. Yol Kongreleri Daimi Uluslararası Birliği de yoğun trafiği olan tünellerde 50 m.'de bir kabin önermektedir. Ulus Tüneli'nde her 50 m.'de bir telefon kabini mevcuttur.

Alt tünelin tüm kameralarına Duran Trafik Algılayıcı ile donatılmış Görüntü İşlemcisi bağlanmıştır.

Herhangi bir nedenle duran araç algılandığında Kontrol Merkezine ikaz verilmekle ve ilgili kameranın görüntüsü ana monitöre gelmektedir.

5.2.5.2 Yangınla mücadele

Daha önceki bölümlerde, taşıt tünellerinde yangının nasıl algılandığı anlatılmıştır. Bu bölümde yangınla nasıl mücadele edileceği anlatılacaktır.

5.2.5.2.1 Yangın söndürücü tüpler

Yangın küçük iken mücadele kolaydır. Bu nedenle yangına ilk müdahale çok önemlidir. Yeni başlayan yangını kontrol edebilmede Yangın Söndürücü Tüpler en uygun araçlardır.

Amerikan Ulusal Yangından Korunma Birliği tünelin her iki duvarında maksimum 90 m.' de bir tesis edilecek özel dolaplarda 9 kg kapasiteli yangın söndürücü tüpler önermektedir.

Yol Kongreleri Daimi Uluslararası Birliği ise 6 kg'lık tüpler önermektedir.

İngiliz Ulaştırma Bakanlığı 50 m.'de bir konulacak kabinlerde 3 kg'lık kuru tozlu, üzerinde manometre bulunan ve maviye boyalı tüpler veya 9 litre kapasiteli, CO2 şarjlı ve beyaza boyalı tüp bulunmaktadır.

Yangın söndürücülerin yerinden algılandıklarını gösteren birer sensör bulunmaktadır.

Ayrıca, kullanılmış ve boş söndürücülerin yanlışlıkla yerlerine takılmalarını önlemek için yetkili personelin kullanabileceği özel anahtarlı söndürücü askıları tesis edilmektedir.

5.2.5.2.2 Yangın dolapları

Amerikan Ulusal Yangından Korunma Birliği tünel içindeki her noktanın bir yangın hidrantına 45 m. (150 ft.) mesafede olmasını önermektedir.

İngiliz Ulaştırma Bakanlığı ise 50 m.'de bir yerleşecek Yangınla Mücadele Kabinlerine, eğer yerel itfaiye teşkilatı isterse, yangın hortumu da konulmasını istenmektedir.

Yangın hidrantlarına devamlı olarak bağlı duran yangın hortumları kullanıldığında hortum boylarının iki yangın hidrantı arasındaki mesafeden daha kısa olmaması önerilmektedir.

1957 yılında, Hollanda'daki Velsen tüneline bir yangın tam hidrantın önünde çıktığı ve komşu hidrantlardaki hortumlar yangına ulaşamadığı için önemli zararlara neden olmuştur.

İngiliz Ulaştırma Bakanlığı da 45 m.'lik hortumlar kullanılmasını önermektedir. Hidrant yerleşiminde, herhangi bir hidrant çalışmadığında iki yandan püskürtülen suların kesişmesi esas olmaktadır. Hortum bağlantı vanalarının devamlı açık pozisyonda durması, hortumun yerinden alınması ile su akışının otomatik olarak başlaması ve su kontrolünün lans üzerinden yapılmasını önermektedir.

5.2.5.2.3 Otomatik yangın söndürücüler

Amerikan Ulusal Yangından Korunma Birliği taşıt tünellerinde sprinkler kullanımına değinmemektedir.

İngiltere Ulaştırma Bakanlığı otomatik yangın söndürme sistemlerinin tünellerde genellikle kullanılmadığını, İngiltere'deki hiç bir tünelde de bulunmadığını belirterek sakıncalarını sıralamaktadır.

Yol Kongreleri Daimi Uluslararası Birliği de benzer şekilde otomatik yangın söndürme sistemlerinin taşıt tünelleri için neden önerilmediğini anlatmaktadır.

Köpüklü söndürme sistemleri araçların içinde insanlar olacağı için, gazlı sistemler de havalandırma sistemi otomatik olarak dumanı atmak için çalışırken gazları da atacağı için pratik çözüm olmayacaktır.

Su ile çalışan sprinkler sistemleri yanan sıvıları geniş bir alana yaymaktadırlar. Yangının cinsi bilinmediğinden otomatik olarak sıkılan su bazı ürünlerle birleştğinde tehlikeli reaksiyonlara neden olabilmektedir. Yükselen duman içinden geçen su spreyi dumanı soğutarak zemin seviyesine indirmekte ve görüşü engellemekte, duman içinde biriken su buharı görüşün engellemesini daha da artırmaktadır.

Su spreyi alevi söndürse bile metal parçaları kolayca soğutamamaktadır. Bu da, alev sönmüş bile olsa, parlayıcı maddelerin çıkarmaya devam ettikleri gazların sıcak metal ile temas ederek yeniden parlamasına neden olabilmektedir.

Ayrıca, sprinkler suyunun elektrik tesisatı ile yaratacağı sorunlar da düşünölmelidir.

5.2.5.3 İki tünel arası tesisat

Taşıt tünellerinde yangın sırasında insanlara kaçış olanağı sağlamak için bazı mimari önlemler alınmaktadır.

İki t p arasındaki kapılar yangından kaçan insanlara kaçış olanağı sağlamanın yanısını tıkanan trafik nedeni ile yangın yerine ulaşmakta zorluk çekecek olan itfaiye aracının trafiğe açık olan tüpten yangına ulaşmasını ve yangınla mücadelede geri hizmetlerin dumansız ve serbest bir ortamda yapılmasını sağlamaktadırlar.

Bu kapıların maksimum 100 m.'de bir olması önerilmektedir.

İngiliz Ulaştırma Bakanlığı bu kapının iki yanında bir tarafı erkek, diğer tarafı dişi bağlantı ağızlı hortum bağlama borusu tesisini istemektedir. Böylece yangın olmayan taraftaki itfaiye aracından yangının bulunduğu tüpe hortum bağlantısı yapmak mümkün olacaktır. Kapının iki yanında, ayrıca yanmaz elbise içindeki itfaiyeci için haberleşme kablo bağlantısı, duman icinde yol bulabilmek icin elik kablo bağlantı halkası vb. ekipman istenmektedir.

5.2.5.4 Yangın suyu şebekesi

Tünellerde yangın hidrantlarını da iceren yangın dolaplarının bağlı olduğu yangın şebekesinin kent su şebekesinden beslenmesi tercih edilen bir seçenektir. Yangın şebekesinin tünelin iki ucunda, iki ayrı şebekeye bağlı olması önerilen bir diğer husustur.

Depo kapasitesi hidrantları 1 saat süreyle besleyebilmelidir.

Su depolarının, mümkünse, tünelin iki tarafına birer adet konulması ve istenilen minimum debiyi sağlayabilmek icin her birinin 72 m³'den k c k olmaması önerilmektedir.

İngilizler hidrantın minimum kapasitesini 2000 lt/ dakika olarak istemektedirler. Fransızlar 1000 lt/dakika olarak istemektedirler. Alman, Avusturya ve İsveçliler 1200 lt/dakika, Amerikalılar ise 1900 lt/dakika olarak önermektedirler.

Yangın suyu şebekesindeki basınç için İngilizler 17 mSS, Fransız, İsviçreli, Avusturyalı ve Almanlar 60 mSS, Amerikalılar ise 42 mSS önermektedirler.

Kuru sistemler kullanıldığında tünelin herhangi bir noktasına suyun ulaşmasının 10 dakikadan daha az olması istenmektedir.

Kullanılacak boru cinsi konusunda İngiltere Ulaştırma Bakanlığı bir öneride bulunmaktadır. ø100 - ø200 mm çaplarında karbon çeliği veya duktü font boru kullanımı önerilmektedir. Donma tehlikesi olan yörelerde Yangın Suyu Şebekesi'nde donmaya karşı önlem alınması önerilmektedir. Islak sistemlerde soğuk havalarda suyun pompa ile sirküle edilmesi veya sirküle edilen suyun ısıtılması kullanılabilir yöntemlerdir. Yangın şebekesinin özel rezistanslı ısıtma kablosu sarılarak ısıtılması dona karşı alınabilecek bir diğer önlemdir.

Yangın şebekesine gerektiğinde pompa eklenmesi önerilen bir husustur.

Yangın suyu pompaları preostadlarla kumanda edilmektedir. Yangın suyu kullanılırken, kent su şebekesinden su temin edilemiyorsa pompalar, ayarlanacak basınç kademesinde, otomatik olarak devreye girerek sistemi besleyecek özellikte olmalıdır.

5.2.5.5 Diğer önlemler

Yangının verebileceği zararları azaltmak için tünel yapı malzemesinin yangına ve sıcaklığa karşı mukavim olması gerekmektedir. Çelik konstrüksiyon bölümler en az iki saat süren yangına karşı dayanıklı olmalıdır. Üzeri PVC kaplı elektrik kabloları yandıklarında duman ve halojen gazı yaymaktadır. Bunlar da su ve nem ile birleşince zehirli ve metal eritici asitlere dönüşmektedir. Bu nedenle tünel içindeki tüm kablolar alev iletmeyen, halojenden arıtılmış (sıfır halojenur) kablo olacaktır. Yanma deneylerinde HCl, HBr gibi halojen türü gaz ve SO₂, NO₂ gibi korozyona müsait gaz ve zehirli duman üretmeyeceklerdir. Tünel içine kaplama yapılacaksa bu kaplamanın yanmaz malzemedir olması, duvarla arasında kalan boşlukta her 3 m.'de bir yangın durdurucular konulması gibi konstrüktif önlemler de tünel dizaynının da yangınla

mücadele bakımından göz önünde tutulması gerekli önlemlerdir. Ancak, bu tür önlemlere değinilmesi bu tebliğın kapsamı dışında tutulmuştur.

Dünyada, karayolu tünellerinde görülen ciddi yangınlar Tablo 5.2' de verilmiştir.

Tablo 5.2: Dünyada karayolu tünellerinde görülen ciddi yangınlar.

| Yıl | Tünel adı | Yer ve Ülke | Yangın başlangıcındaki araçlar | Muhtemel sebepler | Yangının süresi | Sonuç | | |
|------|----------------------------|----------------------|--|---------------------------------------|------------------|----------------|----------|-------------|
| | | | | | | İnsanlar | Araçlar | Tünel |
| 1949 | Hollanda 2550 m. | New York USA | 11 t karbon bi sülfür yüklü 1 kamyon | Yükle birlikte kamyonun kontrol kaybı | 4 saat | 66 yaralı | 23 araç | Ciddi hasar |
| 1968 | Moorfleet 243 m. | Hamburg Almanya | 1 kamyon römorku (14 t poliethan çanta) | Fren sıkışması | 1 saat 30 dakika | - | 1 römork | Ciddi hasar |
| 1975 | Guadarrama 3330 m. | Guadarrama İspanya | Çam sakızı tanklarla yüklü 1 kamyon | Bilinmiyor | 2 saat 45 dakika | - | 1 kamyon | Ciddi hasar |
| 1976 | B6 430 m. | Paris Fransa | Paketler içinde 16 t polyester ile yüklü 1 kamyon | Bilinmiyor | 1 saat | 12 yaralı | 1 kamyon | Hasar |
| 1978 | Velsen 770 m. | Velsen Hollanda | 2 kamyon + 4 araç | Çarpışma | 1 saat 20 dakika | 5 ölü 5 yaralı | 6 araç | Ciddi hasar |
| 1979 | Nihonzaka 2045 m. | Shizuoka Japonya | 4 kamyon + 2 araç | Çarpışma | 4 gün | 7 ölü 2 yaralı | 173 araç | Ciddi hasar |
| 1980 | Kajiwara 740 m. | Japonya | 200 kutuda 4 ton boya ile yüklü 1 kamyon + 1 kamyon 10 ton | Çarpışma ve devrilme | - | 1 ölü | 2 araç | Hasar |
| 1982 | Caldecott 1028 m. | Oakland Amerika | 1 kamyon + 1 tolcu otobüsü + 1 araç 33000 litre petrol | Çarpışma | 2 saat 40 dakika | 7 ölü 2 yaralı | 8 araç | Ciddi hasar |
| 1983 | Frejus 12868 m. | Modane Fransa-İtalya | Plastik malzeme ile yüklü 1 kamyon | Vites kutusu kırılması | 1 saat 50 dakika | - | 1 kamyon | Ciddi hasar |
| 1984 | Felbertauern 5130 m. | Avusturya | 1 otobüs | Fren kesilmesi | 1 saat 30 dakika | - | 1 otobüs | Hasar |
| 1984 | Gotthard 16321 m. | Goeschenen İsviçre | Plastik rulo yüklenmiş 1 kamyon | Motor yangını | 24 dakika | - | 1 kamyon | Ciddi hasar |
| 1987 | Gumefans 340 m. | Bern İsviçre | 1 kamyon | Yığın halinde çarpışma | 2 saat | 2 ölü | 3 araç | Hasar |
| 1993 | Serra Ripoli 442 m. | Bologna İtalya | 1 araç + kağıt ruloları yüklü 1 kamyon | Araçın kontrolden çıkması | 2 saat 30 dakika | 4 ölü | 15 araç | Ciddi hasar |
| 1994 | Gotthard 16321 m. | Goeschenen İsviçre | 1 kamyon + plastik ve kağıt ile sarılmış bisikletle yüklü römork | Tekerlek sürtünmesi | 2 saat | - | 2 araç | Ciddi hasar |
| 1995 | Pfander 6719 m. | Avusturya | 1 kamyon + 1 araç + 1 yük aracı | Çarpışma | 1 saat | 3 ölü | 3 araç | Ciddi hasar |
| 1996 | Isole delie Femmine 150 m. | İtalya (Sicilya) | Sıvı gazlı 1 tanker + 1 küçük otobüs | Çarpışma ve patlama | - | 5 ölü | 20 araç | Hasar |

Kaynak: Conference on Protection from Fire of Rail and Road Tunnels, Rome, Haziran 1996.

5.3 TÜNEL HAVALANDIRMA SİSTEMİ TASARIMI

İyi bilindiği üzere, tünelin havalandırma sistemi, emisyon kirliliğini önlemenin yanında, bu yapıda meydana gelebilecek yangınla mücadelenin de esas bir bileşeni olarak önem arz etmektedir. Bu bağlamda dikkate değer olan bir husus, PIARC uygulamaları ve gelişmeler sayesinde düşen araç emisyon kirliliği ile havalandırma gereksinim ve yükü azalırken yangın ve benzeri acil durumlar ile mücadelede yerine getirilmesi gereken koşulların giderek ağırlaştırılmış olmasıdır. Bu durum ise geçmiş yıllarda uzun tünellerde yaşanan birçok ciddi yangın ve benzeri acil olayların yanı sıra insan hayatına verilen değerle birlikte güvenlik ve konfor ile ilgili algılama ve standartların yükselişiyle açıklanabilir. Bütün bu anlayış ve gelişmeler neticesinde modern tünel havalandırmasında, birçok durumda yangınla mücadele gereksinimleri ve koşulları belirleyici olmaktadır. Bu durumun, geçmiş yıllardaki araç emisyonu kaynaklı kirliliğin daima havalandırma sisteminin belirleyicisi olduğu uygulamaların aksi yönde bir değişim olarak nitelenmek mümkündür.

Tünel içerisinden geçen yollar, karayollarının en pahalıya mal olan kısımlarını oluşturur. Sadece havalandırma sistemi için gerekli olan yapım ve tesisat, toplam bedelin yüzde 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 yüzde 50'sinden çok daha fazla olabilmektedir.

5.3.1 Havalandırma Tesisatının Performans Gereksinimleri

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

5.3.2 Temiz Hava Talebinin Hesaplanması

Temiz hava talebinin hesabının yapılabilmesi için bir takım değerlere ve bilgilere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu bilgiler genel olarak bu kısımda özetlenmiştir.

5.3.2.1 Trafik hacmi

Yılda 30 saatte ulaşılan veya aşılan değer olan Q30 olarak gösterilen ortalama yıllık günlük trafik hacmi (MSV), karayollarındaki yol ağının tünelli kısmı için bir trafik tahminiyle belirlenir.

5.3.2.2 Trafik içerik karışımı

Emisyon hesaplaması için, aşağıdaki trafik ayırım sınıflaması dikkate alınır.

- i. Benzinli ve egzoz katalizörsüz binek otoları
- ii. Dizel binek otoları
- iii. HGV'ler

5.3.2.3 Trafik şeritlerine trafik hacimleri tayin edilmesi

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

5.3.2.4 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.

5.3.2.5 Trafik sınır değerleri

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

5.3.3 Havalandırma Sisteminin Seçilmesi

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 amacına yönelik olarak, elektro-mekanik tesisatların tasarım ömürleri 20 yıl olarak alınacaktır. Tünelin yapısal elemanlarının tasarım ömürleri ise genellikle 80 yıl olarak alınacaktır.

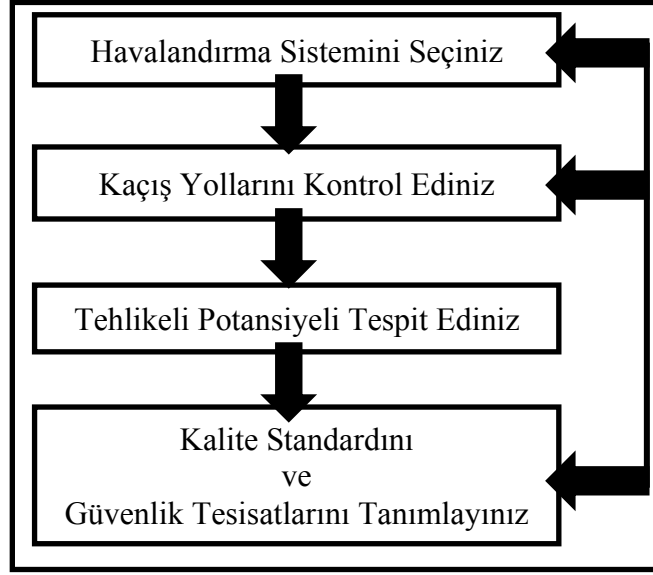
Normal çalışma tasarım hali için aşağıdaki kriterler dikkate alınmalıdır:

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

Tünelde yangın tasarım hali için aşağıdaki kriterler dikkate alınmalıdır:

- i. Kaçış yollarının durumu
- ii. Tehlike potansiyeli
- iii. Havalandırma sisteminin seçimi için, Şekil süreç geręekleřtirilmelidir.

Şekil 5.15: Havalandırma sistem seçim süreci



Kaynak: Turgay KARAKAŞ, Tünellerin Havalandırma Sistemleri, 2011.

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.

Bir kaçış yolunun uzunluğu, sırasıyla yaya geçiş girişleri, kaçış girişleri ile portallar arasındaki azami mesafe olarak tanımlanmıştır. Boyuna havalandırma sistemi (LL) durumunda 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.

Tehlike potansiyeli aşağıdaki faktörlere bağlıdır:

- i. MSV
- ii. Trafiğin yönü (gR)
- iii. Ek çelişki noktaları (gK) (birleşen şeritler, tünelde ve ana alanda kesişmeler)
- iv. Tehlikeli maddelerin nakli için izin verilmesi ve bunların sıklığı(gG)

5.4 TÜNEL HAVALANDIRMA SİSTEMİ TASARIMI ÖRNEĞİ

Havalandırma hesabı yapılabilmesi için tünel uzunluğu, günlük ortalama otomobil sayısı, pik saat oranı, tünel rakımı, vb. birtakım bilgilere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu bilgiler ile birlikte PIARC 1991'deki tablolar ışığında hesaplamalar için gerekli değerlere ulaşılmaktadır. Bir örnek hesap ile devam edecek olursak;

Öncelikle hesabı yapılacak örnek tünel ile ilgili projelendirme değerleri belirlenmelidir. Örnek tünel ile ilgili hesaplamalarda kullanılacak değerler ve 2021 yılı tahmini trafik verileri Karayolları Genel Müdürlüğünden alınmaktadır.

| | |
|---------------------------|-------------------------------|
| Tünel uzunluğu | : 3785 (m) |
| Tünel eğimi | : yüzde 0.5 |
| Tünel rakımı | : 201 (m) |
| Otomobil sayısı | : 15223 adet/gün (çift yönde) |
| Otobüs sayısı | : 3470 adet/gün (çift yönde) |
| Kamyon + treyler sayısı | : 3946 adet/gün (çift yönde) |
| Pik saat oranı | : yüzde 11 |
| Dizel otomobil yüzdesi | : yüzde 10 |
| Benzinli otomobil yüzdesi | : yüzde 90 |
| Tünel yüzey kesit alanı | :78 (m ²) |
| Ortalama seyir hızı | : 30 (km/h) |

Havalandırma hesabında başlangıç noktası temiz hava ihtiyacı için debilerin hesaplanmasıdır. Havalandırma sisteminin amacı, oluşacak kirli havayı (CO), (NO_x) gazlarını tahliye etmek, duman konsantrasyonunu belli oranda tutabilmek ve yangın durumunda dumanın insanlardan uzaklaşmasını sağlayarak güvenli biçimde tahliyeyi sağlamaktır. Hesaplamalarda CO, duman, NO_x ve yangın değerleri göz önüne alınmaktadır.

CO, duman, NO_x ve yangın durumu için Denklem 6.1 esas alınarak ayrı ayrı debi hesabı yapılmalı ve toplam debi değerlerine ulaşılmalıdır.

$$Q_f = \frac{q^0 \times f_v \times f_i \times f_h}{3600} \times \frac{M_{pc}}{V} \times \frac{10^6}{X_{Lim}} \times L \quad (6.1)$$

- Q_f : Taza hava debisi (m³/h)
 q^0 : Birim araç emisyon debisi (m³/h)
 f_v : Araç hız faktörü (Şekil 5.26)
 f_i : Tünel eğim faktörü (Şekil 5.27)
 f_h : Kot faktörü – Yükseklik faktörü (Şekil 5.28)
 M_{pc} : Saatte geçen vasıta sayısı (Trafik verilerinden yararlanılacak)
 $V_{araç}$: Ortalama seyir hızı (km/h)
 X_{Lim} : İzin verilen maksimum yoğunluğu (Tablo 5.4)
 L : Tünel uzunluğu (km)

2021 yılı tahmini trafik verileri ve Denklem 6.1' den faydalanarak gerekli yerlere CO indisleri yerleştirilerek oluşturulan denklemde CO debisi hesaplanabilecektir.

$$Q_{fCO} = \frac{q_{CO}^0 \times f_v \times f_i \times f_h}{3600} \times \frac{M_{pc}}{V} \times \frac{10^6}{CO_{Lim}} \times L$$

5.4.1 CO için İhtiyaç Duyulan Temiz Hava Debisinin Hesabı

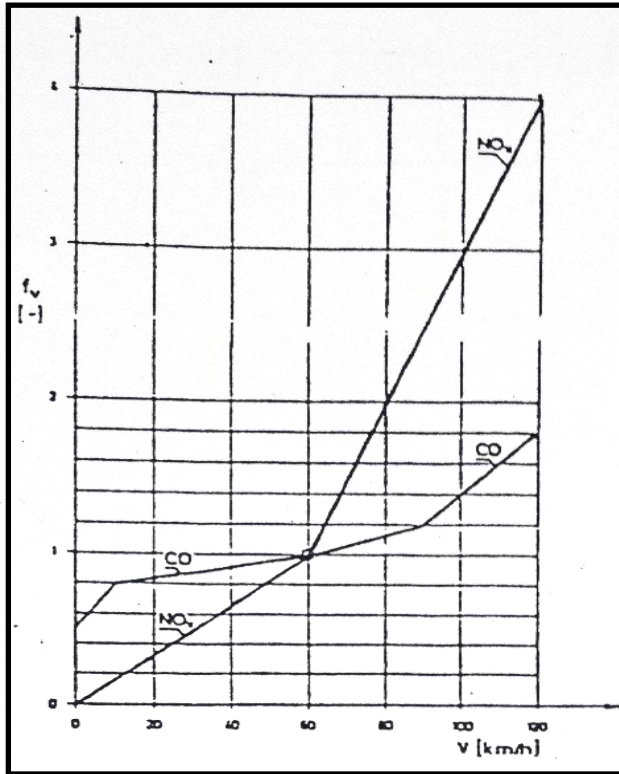
Formülasyonda f_v , f_i , f_h , CO_{Lim} , q_{CO}^0 değerleri mevcut veriler yardımıyla PIARC 1991 kaynaklı Şekil 5.26, 5.27, 5.28 ve 5.29'dan ve Tablo 5.3 ve 5.4' ten yararlanak bulunacaktır. Otomobiller için saatte geçen vasıta sayısını ifade eden M_{pc} değerini hesaplamak gerekmektedir.

KGM tarafından iletilen değerlerin içerisinde çift yöndeki araç (otomobil) sayısı 15223 adet/gün olarak verilmişti. Buna göre öncelikle tek yöndeki araç sayısını bulmak için, çift yön için verilen sayı 0.5 ile çarpılır.

Pik saatteki araç sayısı için ise tek yön için bulunan değer tahmini trafik verilerindeki pik saat oranı ile çarpılır. 30 m/s ortalama hız için trafik dağılımı ile ilgili katsayı Şekil 5.26' dan bulunur. Son olarak da M_{pc} değerinin hem benzinli hem de dizel otomobiller için ayrı ayrı değerleri bulunur. Bu değer için benzinli – dizel araç yüzdeleri kullanılacaktır.

- | | | |
|------|---------------------------------------|--|
| i. | Otomobil tek yön miktarı | : 15223 x 0.5 = 7611 adet/gün |
| ii. | Tek yön pik saat miktarı | : 7611 x 0.11 = 838 adet |
| iii. | 30 km/h için tek yön pik saat miktarı | : 838 x 0.8 = 670 |
| iv. | Benzinli otomobil pik saat miktarı | : 670 x 0.9 = 603 (M_{pc} benzinli) |
| v. | Dizel otomobil pik saat miktarı | : 670 x 0.1 = 67 (M_{pc} dizel) |

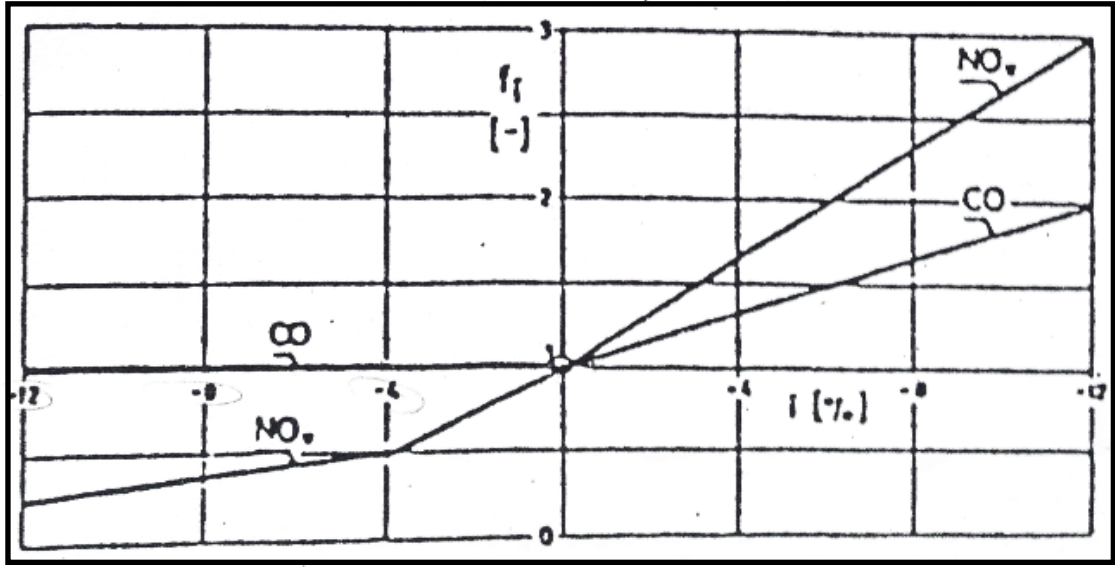
Şekil 5.26: CO ve NO_x için f_v Değerleri



Kaynak: PIARC, XIXth World Road Congress, Marrakech, 1991.

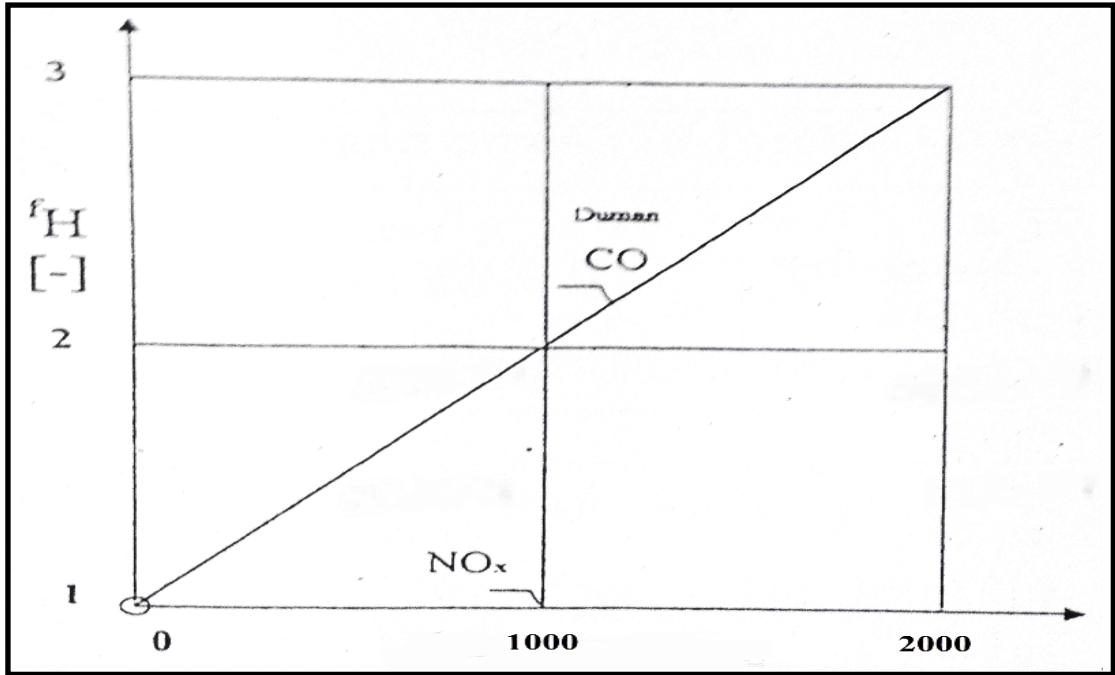
Şekil 5.26' daki grafikte 30 m/s ortalama hız grafikte yatay hatta bulunur. CO için oluşturulan grafikten faydalanarak dikey hatta f_v değeri olarak kullanılacaktır. Bizim aldığımız hız değerine göre $f_v = 0.88$ kullanılacaktır.

Şekil 5.37: CO ve NO_x için f_i tünel eğim faktörü



Kaynak: PIARC, XIXth World Road Congress, Marrakech, 1991.

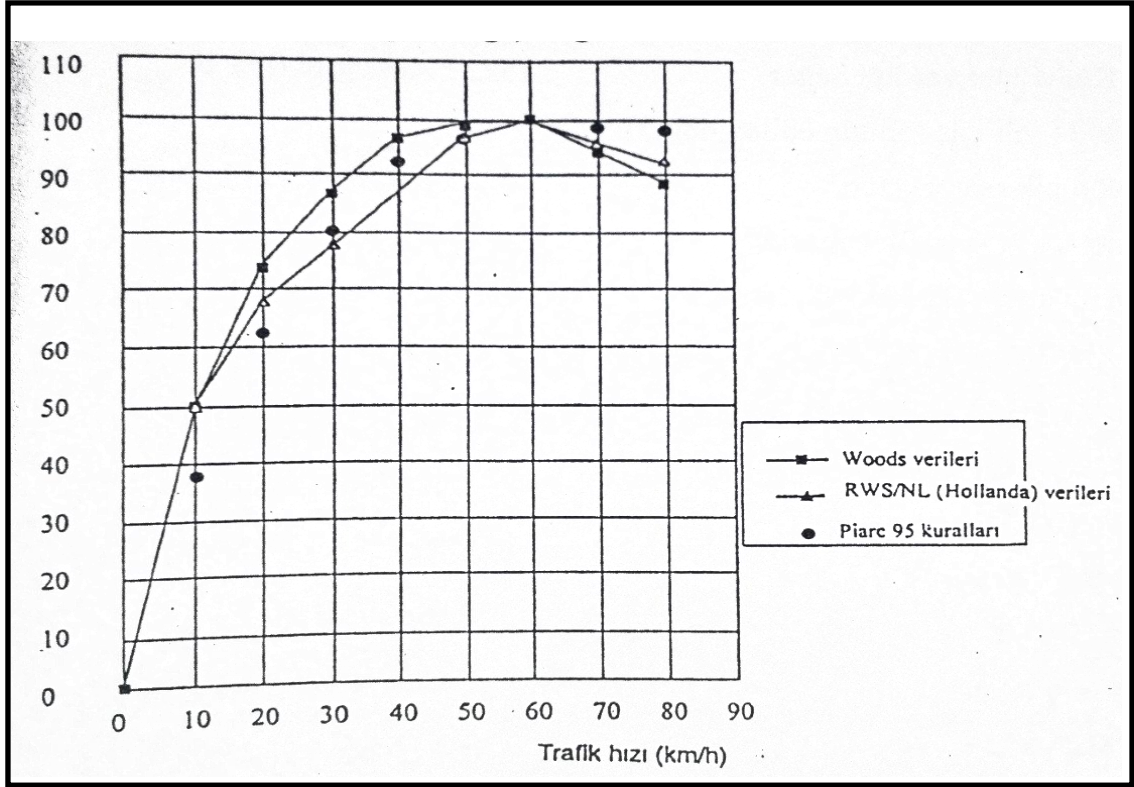
Şekil 5.48: CO ve NO_x için f_h tünelin deniz seviyesi yüksekliği için faktör



Kaynak: PIARC, XIXth World Road Congress, Marrakech, 1991.

Şekil 5.28' deki grafikte +200 metre deniz seviyesi yüksekliği için yatay hatta işaretleme yapıldığında dikey hatta f_h değeri bulunacaktır, bu değer f_h = 1.2 alınmıştır

Şekil 5.59: Trafik Hızına Bağlı Olarak Trafik Dağılımı



Kaynak: PIARC, XIXth World Road Congress, Marrakech, 1991.

Tablo 5.3: CO için q^0_{co} değerleri

| Binek Otomobili (Araç Başına) | | | |
|-------------------------------|------------|-------------|---------|
| Emisyon Direktifleri | q^0_{co} | q^0_{NOx} | Kontrol |
| Dizel motor | 0.08 | 40 | - |
| FTP 75 | 0.12 | 40 | - |
| EEC R15/04 | 0.7 | 120 | - |
| EEC 89/458 | 0.16 | 60 | - |
| Direktif yok | 1 – 1.5 | 120 | yok |

Kaynak: PIARC, XIXth World Road Congress, Marrakech, 1991.

Tablo 5.3' ten faydalanarak q^0_{co} değerleri dizel ve benzinli motorlar için seçilmelidir. Örnekte bu değerler benzinli araçlar için 0.7, dizel araçlar için 0.08 alınmıştır.

Tablo 5.4' ten faydalanarak COLim değeri seçilmelidir. Örnekte bu değer en yüksek değer olan 150 olarak seçilmiştir.

Tablo 5.4: CO_{Lim} değerleri

| Tünel tipi | Pik Trafikteki CO _{Lim} | |
|---------------------|----------------------------------|----------------------------|
| | Akan trafik | Duran veya sıkışmış trafik |
| Şehiriçi tüneller | | |
| Günlük sıkışma | 100 – 150 | 100 – 150 |
| Nadiren sıkışma | 100 – 150 | 100 – 150 |
| Şehirlerarası tünel | | |
| Otoyol veya dağ | 100 – 150 | 150 – 200 |

Kaynak: PIARC, XIXth World Road Congress, Marrakech, 1991.

Benzinli otomobiller için tüm değerler yerine konur ve hesap yapılır.

$$Q_{fCO} = \frac{0.7 \times 0.88 \times 0.5 \times 1.2}{3600} \times \frac{603}{30} \times \frac{10^6}{150} \times 3.785$$

$$Q_{fco} = 52.0568 \text{ m}^3/\text{s} \text{ (benzinli otomobiller için)}$$

Dizel otomobiller için tüm değerler yerine konur ve hesap yapılır.

$$Q_{fCO} = \frac{0.08 \times 0.88 \times 0.5 \times 1.2}{3600} \times \frac{67}{30} \times \frac{10^6}{150} \times 3.785$$

$$Q_{fco} = 0,661 \text{ m}^3/\text{s} \text{ (dizel otomobiller için)}$$

Kamyon ve treyler için tüm değerler yerine konur ve hesap yapılır. Kamyon ve treyler için $M_{pc} = 3946 \times 0.5 \times 0.8 \times 0.11 = 174$ alınmalıdır.

$$Q_{fCO} = \frac{0.7 \times 0.88 \times 0.5 \times 1.2}{3600} \times \frac{174}{30} \times \frac{10^6}{150} \times 3.785$$

$$Q_{fco} = 14,993 \text{ m}^3/\text{s} \text{ (kamyon + treyler için)}$$

Otobüs için de aynı işlem uygulandığında $Q_{fco} = 13,184 \text{ m}^3/\text{s}$ bulunur. Bu durumda CO için toplam debi değeri tüm değerler toplanarak bulunur.

- i. $Q_{fco} = 52.0568 \text{ m}^3/\text{s}$ (benzinli otomobiller için)
- ii. $Q_{fco} = 0.661 \text{ m}^3/\text{s}$ (dizel otomobiller için)
- iii. $Q_{fco} = 13.184 \text{ m}^3/\text{s}$ (otobüsler için)
- iv. $Q_{fco} = 14.993 \text{ m}^3/\text{s}$ (kamyon + treyler için)

$$\sum Q_{fco} = 80.9856 \text{ m}^3/\text{s}' \text{ dir.}$$

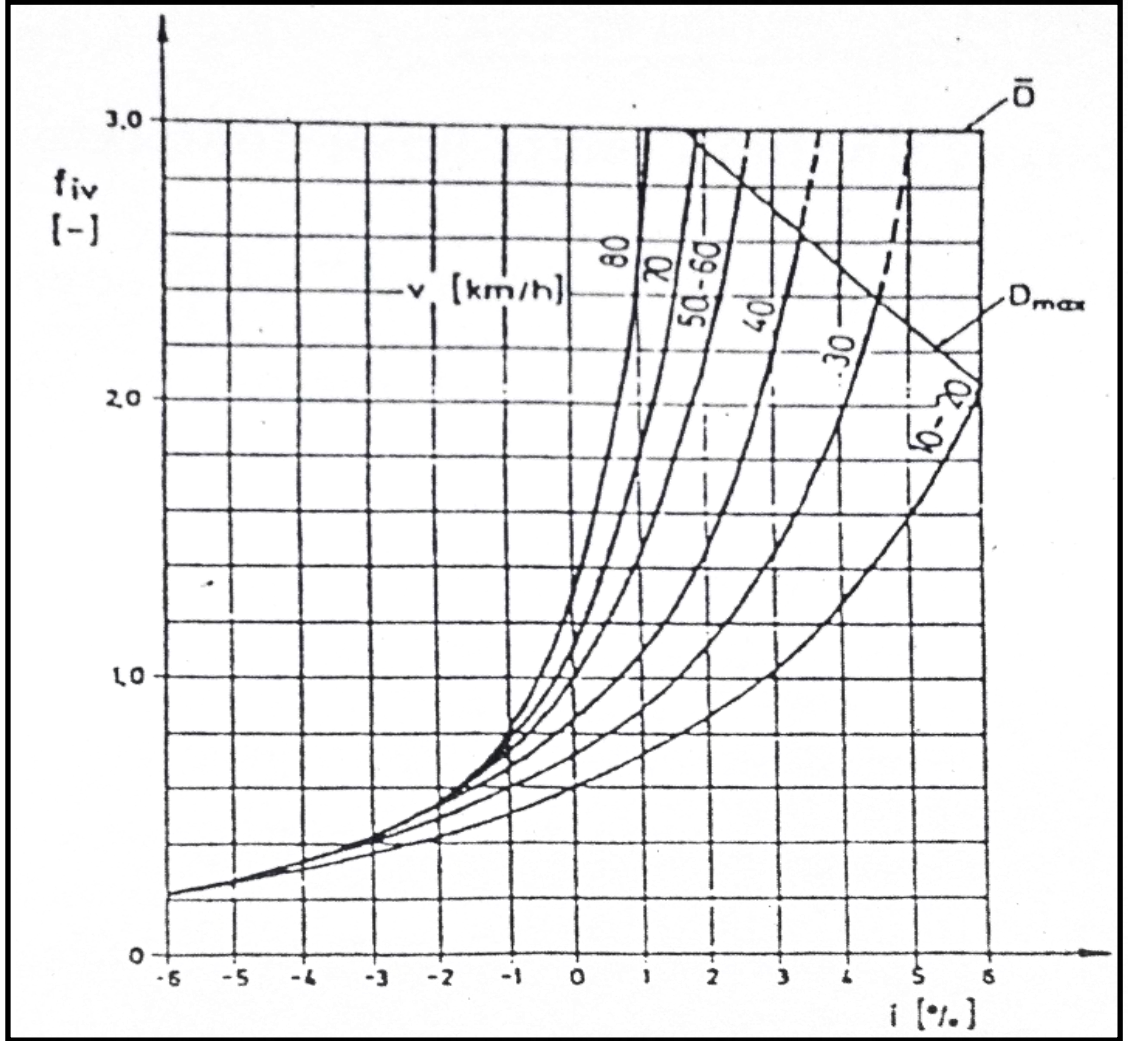
5.4.2 Duman için İhtiyaç Duyulan Temiz Hava Debisinin Hesabı

Tünelde kontrol edilecek ikinci unsur duman olup seyreltilmesi için gerekli taze hava debisi Denklem 6.2' deki gibi hesaplanmaktadır.

$$Q_{f \text{ duman}} = \frac{q_T^0 \times f_{iv} \times f_h}{3600} \times \frac{M_{hv}}{V} \times \frac{L}{K_{Lim}} \quad (6.2)$$

- $Q_{f \text{ duman}}$: Duman için taze hava miktarı ihtiyacı (m^3/s)
 q_T^0 : Birim araç duman emisyon miktarı (m^2/h)
 m : Araç ağırlığı (ton)
 f_{iv} : Tünel eğim, hız faktörü (Şekil 5.30)
 f_h : Kot faktörü (Şekil 5.28)
 M_{hv} : Saatte geçen ağır vasıta sayısı (Trafik verilerinden yararlanılacak)
 $V_{\text{araç}}$: Seyir hızı (km/h)
 K_{Lim} : İzin verilen maksimum yoğunluğu (Tablo 5.5)
 L : Tünel uzunluğu (km)

Şekil 5.30: Dizel motorlar için tünel eğim-hız faktörü f_{iv}



Kaynak: PIARC, XIXth World Road Congress, Marrakech, 1991.

Tablo 5.5: Kabul edilebilir duman konsantrasyonu

| Trafik Tipi | Pik trafikte K_{Lim} |
|--|------------------------|
| Akan trafik $V_{max} = 60 - 80$ km/h $V_{max} = 100$ km/h | 0.005 - 0.007 0.005 |
| Sıkışmış trafik | 0.007 - 0.009 |
| Tıkanmış tünel | 0.012 |
| Tünelde bakım çalışmaları | 0.003 ve daha az |

Kaynak: PIARC, XIXth World Road Congress, Marrakech, 1991.

Tablo 5.6: Dizel ağır vasıta araçlar için birim duman emisyon miktarı

| Dizel motorlu kamyon ve otobüsler | | | | | | | | |
|-----------------------------------|---------|---------------------|---------|---------|---------|---------------------|------|------|
| Emisyon direktifi | Kontrol | q^0_T | | | | $q^0_T NO_x$ | | |
| | | Araç ağırlığı (ton) | | | | Araç ağırlığı (ton) | | |
| | | 5* | 10* | 20* | 40* | 5* | 20* | 40* |
| Kanun yoksa | Hayır | 80-130 | 160-250 | 300-400 | 400-600 | 500 | 1400 | 1900 |
| EEC R 49 + 24 EEC 88/77 | Hayır | 80 | 160 | 240 | 280 | 500 | 1400 | 1900 |
| | Evet | 65 | 130 | 200 | 240 | 470 | 1300 | 1800 |
| | Evet | 50 | 100 | 160 | 200 | 360 | 1000 | 1400 |
| US Transient88 | Evet | 50 | 100 | 160 | 200 | 330 | 900 | 1200 |
| US Transient91 | Evet | 30 | 60 | 100 | 140 | 270 | 750 | 1000 |
| US Transient94 | Evet | 20 | 40 | 70 | 110 | 220 | 600 | 800 |

*Verilen değerler arasında doğrusal interpolasyon yapılabilir.

Kaynak: PIARC, XIXth World Road Congress, Marrakech, 1991.

Debi hesabı için gerekli verileri incelediğimizde araçlara ait ağırlıkların belirlenmesi gerekmektedir. Buna istinaden ağır vasıta ağırlıkları otobüsler için $m = 15$ ton, kamyon ve treyler için $m = 20$ ton olarak alınmıştır.

Seçimi yapılan bu ağırlıklar ile Tablo 5.5' ten otobüs için $q^0_T = 200$ ve kamyon + treyler için $q^0_T = 240$ alınmaktadır.

Şekil 5.30'dan bilinen hız ve eğim değerlerinin ($V=30$ km/h ve eğim yüzde 0.5) kesiştiği nokta bize f_{iv} değerini verecektir ve $f_{iv} = 0.8$ ' dir.

İhtiyaç olan değerlerden biri de K_{Lim} değeridir ve Tablo 5.5' ten 0.008 seçilebilir. f_h değeri 0.8 olarak aynı şekilde alınacaktır. Uzunluk kilometre cinsinden yazılmalıdır.

Bulduğumuz bu değerler öncelikle otobüs için Denklem 6.2' ye uygun olarak yerleştirilirse;

$$Q_{f \text{ duman}} = \frac{200 \times 0.8 \times 1.2}{3600} \times \frac{172}{30} \times \frac{3.785}{0.008}$$

Otobüsler için $Q_f \text{ duman} = 144.67 \text{ m}^3/\text{s}$

Kamyon ve treyler için dumana göre taze hava debisi hesabında;

$$Q_{f \text{ duman}} = \frac{240 \times 0.8 \times 1.2}{3600} \times \frac{196}{30} \times \frac{3.785}{0.008}$$

Kamyon ve treyler için $Q_f \text{ duman} = 197.82 \text{ m}^3/\text{s}$

- i. $Q_f \text{ duman} = 144.67 \text{ m}^3/\text{s}$
- ii. $Q_f \text{ duman} = 197.82 \text{ m}^3/\text{s}$

$\sum Q_f = 342.49 \text{ m}^3/\text{s}$ dir.

5.4.3 Yangın için İhtiyaç Duyulan Temiz Hava Debinin Hesabı

Boyuna havalandırma duman akışı için PIARC komitesi önerilerinde asgari 3 m/s' lik hava hızı temin edilmesini önermektedir. Bu değer en fazla 6 m/s alınmalıdır.

Yangın için ihtiyaç duyulan hava debisi Denklem 6.3' deki gibi hesaplanmalıdır.

$$Q_{f \text{ yangın}} = V_{\text{hmin}} \times A \quad (5.3)$$

V_{hmin} : Minimum hava hızı (m/s)

A : Tünel yüzey kesit alanı (m^2)

Bu eşitlikten $Q_{f \text{ yangın}} = 3 \times 78 = 234 \text{ m}^3/\text{s}$ olacaktır.

5.4.4 NO_x için İhtiyaç Duyulan Temiz Hava Debisinin Hesabı

NO_x için ihtiyaç duyulan hava debisi hesabı CO için yapılan hesaplamayla benzerlikler göstermektedir. NO_x debi hesabı için Denklem 5.4 kullanılarak hesaplanabilir.

$$Q_{fNO} = \frac{q_{NO}^0 \times f_v \times f_i \times f_h}{3600 \times S_{me}} \times \frac{M}{V} \times \frac{10^6}{NO_{lim}} \times L \quad (5.4)$$

q_{NO}^0 : Emisyon hesap değeri (Tablo 5.3)

NO_{Lim} : İzin verilen konsantrasyon

S_{me} : Havanın yoğunluğu (g/m^3)

M : Vasıta sayısı (adet)

q_{NO}^0 değerleri için Tablo 5.3' ten benzinli otomobil için = 120, dizel otomobiller için = 40, 15 tonluk otobüs için = 1100, 20 tonluk kamyon ve treyler için = 1400 seçimi yapılmaktadır.

Havanın yoğunluğu $S_{me} = 2000$ olarak alınacak olup, diğer değerler aynen kabul edilecektir.

$$Q_{fNO} = \frac{120 \times 1.20 \times 0.5 \times 0.8}{3600 \times 2000} \times \frac{603}{30} \times \frac{10^6}{15} \times 3785$$

Buradan benzinli otomobil için $Q_{fNO} = 40.57$ ve diğer işlemler de bu veriler ışığında dizel otomobil, otobüs, kamyon + treyler için yapıldığında;

$$\sum Q_{fNO} = 299.52 \text{ m}^3/\text{s}' \text{ dir.}$$

5.4.5 Jet Vantilatör Hesabı

Jet vantilatörlerden beklenen itme kuvveti, bir tünelde oluşan 4 ayrı basınç etkisini yenecek düzeyde olmalıdır.

- i. Giriş-Çıkış kayıpları
- ii. Sürtünme
- iii. Araç Direnci
- iv. Rüzgar Basıncı

Seçimi yapılan jet vantilatörler, genelde çift yönlü çalışan vantilatörlerdir. Jet vantilatörler imalatçı tarafından test edilmekte ve performans değerleri sunulmaktadır.

Basınç kayıpları Denklem 5.5 kullanılarak hesaplanabilmektedir.

$$(K_{\text{giriş}} + f \times \frac{\text{Uzunluk}}{g} + K_{\text{çıkış}}) \times V_{\text{tün}}^2 + (N_{\text{pc}} \times A_{\text{pc}} \times CD_{\text{pc}} + N_{\text{tr}} \times A_{\text{tr}} \times CD_{\text{tr}}) \quad (5.5)$$
$$ABS \times (V_{\text{tün}} - \text{Trafikhızı} \times \frac{1}{36})^2 \times \frac{1}{\text{Alan}}$$

| | |
|---|-------------------------|
| S_{ms} (hava yoğunluğu) | : 1.2 kg/m ³ |
| $K_{\text{giriş}}$ (tünel giriş kayıp faktörü) | : 0.5 |
| $K_{\text{çıkış}}$ (tünel çıkış kayıp faktörü) | : 1 |
| K (tünel yüzey katsayısı) | : 0.002 m |
| Re (reynold sayısı) | : 1978000 |
| D_h | : 9.89 |
| CD_{pc} (oto aerodinamik katsayısı) | : 0.4 |
| CD_{tr} (ağır vasıta aerodin. Katsayı) | : 1.0 |
| A_{pc} (otomobil kesit alanı) | : 2 m ² |
| A_{tr} (ağır vasıta kesit alanı) | : 7 m ² |

$$f=0.0055\left[\left(1+\sqrt[3]{2\times 10^4\times \frac{K}{D_h}}\right)+\left(\frac{10^6}{Re}\right)\times 1\right] \quad (5.6)$$

Değerler Denklem 5.6' da yerlerine koyulduğunda $f = 0.0278$ bulunur.

Tüneldeki oto sayısı N_{pc} ' yi bulabilmek için hız 10 km/h veya 2.77 m/s alındığında tünelden geçiş süresi, $3785 / (2.77 \times 60) = 22.77$ dakika bulunur. Azaltma katsayısı 0.5 alındığında;

Pik saatte tek yön otomobil sayısı : $15223 \times 0.5 \times 0.11 \times 0.5 = 419$ adet

60 dakikada 419 adet otomobil ise 22.77 dakikada = 160 otomobil geçecektir.

Bir dakikada geçen oto mobil sayısı ise 8 otomobil olacaktır.

Yangın durumunda ise oto sayısı 1 saat + 1 dakikadaki otomobil sayısına eşittir. Bu değerde $160 + 8 = 168$ olarak bulunur.

N_{pc} (tüneldeki oto sayısı) : 168 adet

Aynı hesaplar ağır vasıta araçlar için yapıldığında;

N_{tr} (tüneldeki ağır vasıta sayısı) : 155 adet olacaktır.

Bu değerler Denklem 5.5' te yerine koyulduğunda;

Toplam Basınç Kaybı : 191,605 Pa olarak bulunur.

Toplam kuvvet ihtiyacı = Tünel yüzey alanı x Toplam basınç kaybı
= 78×191.605
= 14945.247 Newton

Jet vantilatör sayısını belirlemek için yapılması gereken işlem toplam kuvvet ihtiyacının itme gücüne bölümü ile tespit edilmektedir. Bununla birlikte fan üreticilerinden vantilatöre ait bazı bilgilere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu bilgiler;

| | |
|--|--------------------------|
| Anma Ölçüsü | : 1250 cm |
| Üfleme debisi | : 40.5 m ³ /s |
| Güç | : 45 kw |
| Vantilatör çıkış hızı (V _f) | : 33,8 m/s |
| Vantilatör efektif çıkış alanı (A _f) | : 1.1978 m ² |
| İtme verimliliği | : 0.952 |
| Montaj verimliliği | : 0.9 |

Bu veriler ışığında statik itme kuvveti (F_s) hesaplanmalıdır.

$$F_s = S_m \times A_f \times \left(\frac{\text{Debi}}{A_f} \right)^2 \times \text{itme verimliliği} \quad (5.7)$$

Denklem 5.7' de değerler yerine koyulduğunda F_s = 1564.386 N olarak bulunur.

Dinamik itme kuvveti (F_d) Denklem 5.8 ile hesaplanıp montaj verimliliği ile çarpılırsa hesaplamada gerekli olacak montaj itme gücü (F_{di}) tespit edilebilmektedir.

$$F_d = F_s \times \left(1 - \frac{V_{\text{tünel}}}{A_f} \right) \quad (5.8)$$

$$F_d = 1564.386 \times \left(1 - \frac{3}{33.8} \right) = 1425.535 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} \text{Fdi} &= \text{Fd} \times \text{Montaj verimliliği} \\ &= 1425.535 \times 0.9 \\ &= 1282.98 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Gerekli vantilatör adedi} &= \text{Toplam kuvvet ihtiyacı} / \text{montaj itme gücü} \\ &= 14495.247 / 1282.98 \\ &= 12 \text{ adet} \end{aligned}$$

Bu durumda bu örnek tünelin yeterli havalandırmasının yapılabilmesi için proje kapsamında belirtilen özelliklere sahip 12 adet vantilatör kullanılması öngörülmüştür.

6. SONUÇLAR

Atmosferik koşullarda, moleküler boyutta ve gaz halinde olan kirleticilere gaz kirleticiler adı verilmektedir. Hava kirlenmesinde hidrokarbonlar (HC), karbonmonoksitler (CO_x), kükürtoksitler (SO_x), azotoksitler (NO_x) ve oksidanlar en önemli gaz kirleticilerdir. Bunlardan hidrokarbonlar ve karbonmonoksit ulaştırma kaynaklı önceliğe sahiptir. Bu kirleticiler, lokal ölçekte hava kirliliğini, bölgesel ölçekte asit yağmurlarını, küresel ölçekte ise sera gazı etkisi ve ozon tabakası incelmeleri gibi ciddi problemleri beraberinde getirmektedir.

Benzinli motorlarda, motorun vuruntuya karşı direncini arttırmak için benzine tetraetil kurşun gibi katkı maddeleri atılmaktaydı. Ergime sıcaklığı düşük olan kurşun yanma sonucunda buharlaşarak egzoz gazları ile havaya atılmakta ve kurşun bileşenleri insan vücudunda, kan dolaşımında ve sinir sisteminde büyük tahribatlara sebep olmaktadır. Kurşunsuz benzinin esprisi ise; insan için bu kadar tehlikeli olan katkı maddesi olan Kurşun yerine motorda vuruntuyu, gürültüyü ve sürtünmeyi aynı oranda azaltabilecek Mangan kullanılarak bu tahribatın önüne geçilmeye çalışılmıştır.

PIARC ile yapılan kongreler, motor teknolojisinde meydana gelen gelişmeler ve benzinli araçlar yerine dizel araçların günümüzde daha yaygın hale gelmesi araç emisyonlarında büyük tehlike olarak görülen CO oranında düşüşe sebep olmuş, hatta bazı ülkelerde CO yerini azotoksitlere ve partikül maddelere bırakmıştır. Bu sayede büyük tehdit oluşturan CO tehlike sınırının altına indirgenmiştir.

Tünellerin inşa edilmesinde konunun haiz olduğu fiziksel özellikler tünel yapım tekniklerini değiştirmektedir. Bu konuda AB standartlarını ayrı ayrı açıklayan kaynaklar bulunmasına rağmen, bu bilgilerin toplu halde bulunduğu bir kaynak bulunmamaktadır. Bu çalışma ile araç emisyonları, havalandırma ve yangın önleme ile ilgili standartlarda dahil edilerek tek bir kaynak halinde birleştirilmiştir.

Karayolu tünellerinde ‘‘Tünel Güvenliği’’ bir sistem olarak ele alınmalı, yapılanma için gerekli mevzuatın hazırlanması AB mevzuatına uygunluk ve tünel mevzuatlarının standardı için faydalı gözükmeğtedir. Her bir tünelin, AB direktif hükümlerini sağlaması konusunda çalışılmalı, risk analizi metotları geliştirilmeli, pilot uygulamalar ile işlerliği izlenmelidir. Ayrıca, sistemde yer alacak personellerin eğitim müfredatı belirlenmeli, hızla bu eğitime başlanmalıdır.

Özellikle tünel idari yönetimi ve yönetim mevzuatının AB’ ye uyumu konusunda ülkemizde eksiklikler bulunmaktadır. Bu durumun düzeltilebilmesi için tünel projelendirmesinde, yapımında ve işletilmesinde yer alan kurum ve kuruluşların bir araya gelerek ortak çalışmalar ve görev tanımlamaları yapmaları gerekmektedir.

Jet fan kullanılarak gerçekleştirilen havalandırma sisteminde fanlar için ayrı bir yapının yapılmasına gerek duyulmamaktadır. Bu sistemin montajı kolay olup diğer havalandırma sistemlerine göre daha az maliyetlidir. Ancak, jet fanların montajı için daha yüksek ve geniş bir tünel yapısına ihtiyaç duyulmaktadır. Bununla birlikte çok sayıda fan kullanılmasından ötürü bakım ve işletme maliyeti artmaktadır.

Tünel havalandırma sistemi seçiminde maliyet elbette önemlidir, ancak tünellerde kullanılacak havalandırma sisteminin tünel uzunluğuna, yangın yüküne ve çevre şartlarına göre farklılık göstereceği tartışılmış ve tünelde havalandırma sistemi seçilirken, havalandırma sisteminin yangın durumunda uluslar arası standartlarda önerilen ve yangında güvenlik için gerekli bütün şartları sağlamasına dikkat edilmesi gereği ortaya konulmuştur.

Tünellerdeki yangın sıklığı, en genel anlamda, trafik yoğunluğu, tünel uzunluğu, yol durumu ve tüneli kullanan araçların özelliklerine bağlıdır. Taşıt emisyonları, tünellerdeki kaza riskini ve dolayısı ile yangın riskini arttıran bir faktördür. Taşıt emisyonlarının yarattığı riskin azaltılması ve yangın sırasında duman kontrolü, tünelde kullanılan havalandırma sisteminin etkinliğine bağlıdır. Dolayısıyla tünel uzunluğu, meteorolojik faktörler ve maliyet havalandırma sistemi tasarımındaki en önemli parametrelerdir.

Tünel yol kesitleri, karayolu ağı içerisindeki en güvenli kesimlerden biridir. Tünellerde, açık kesimlerde olduğundan daha az kaza meydana gelmesi gerçeği bunun bir göstergesidir. Tünelin olumsuz hava şartlarından daha az etkilenmesi ve sabit ışıklandırma şartları bunun başlıca nedenleri arasındadır. Diğer taraftan, tünelde meydana gelecek kaza, kazanın olumsuz etkileri açısından açık kesime göre çok daha yüksek olacaktır.

Tünellerde yangın riski, duman davranışı, taşıt emisyonları ve havalandırma sistemleri, yaşanacak bir yangın problemindeki temel faktörler olarak karşımıza çıkmaktadır. Ülkemizde alınacak tedbirler hakkında yeterli bilgi mevcut değildir. Bu çalışma, bu anlamda yangın ile ilgili yaşanabilecek senaryo, tedbir ve stratejileri ortaya koymakta ve yapılabilecek yasal düzenlemelere ışık tutmaktadır.

Tünellerde meydana gelecek bir yangına nasıl, ne zaman ve kimler tarafından müdahale edileceği konusunda bir belirsizlik olduğu gözlenmiştir. Bu çalışmada önerilen tedbirler ışığında, yönetmelikteki bu eksikliğin giderilmesi mümkündür.

Yangınla mücadelede alınacak tedbirlerden en önemlilerinden bir tanesi de “etkin ve doğru bir havalandırma sistemi” tasarımıdır. Bu tasarım ile ilgili olarak çalışmada bir tünel örneği ve tasarım detaylarına yer verilmiş ve bu konuda değerlendirilmiştir.

Bununla birlikte tünelin ve tünel havalandırmasının da çevreye olumsuz etkileri söz konusudur. Japonya’ daki tünellerde uygulanan bu yöntemin olumlu sonuçları, bu amaçla değerlendirilmelidir.

Bu kapsamda alınacak tedbirler yangın riskini azaltmakla beraber, önlenemeyen bir yangın sırasında yangınla mücadele için alınacak ve uygulanacak tedbirler, olumsuz sonuçları en aza indirecektir. Tünel uzunluğuna bağlı olarak, belli noktalarda gerekli donanım ve hatta uzun tünellerde deneyimli yangın ekibi bulundurulması gerekli görülmektedir.

Bununla birlikte tünel çevresinde müdahale edebilecek olan ekiplerin, belli zamanlarda ilgili alanlarda tatbikatlar gerçekleştirerek bu konudaki deneyimi arttırılmalı ve

müdahale yöntemlerinin en doğru ve etkin biçimde gerçekleştirilmesi sağlanmalıdır. Özellikle İstanbul İtfaiyesi ve Ulaşım A.Ş. / Raylı Sistemler arasında yapılan mutabakat doğrultusunda gerçekleştirilen tatbikatlar sayesinde tünellerde kullanılması gereken ekipman çeşitleri, müdahale yöntemleri konusunda deneyim kazanılmış ve bu deneyimlerin aktarımı konusunda önemli bilgiler elde edilmiştir.

Yangınla mücadelede mobil ekiplerin yanı sıra kullanılacak sabit donanım da önem arz etmektedir. Kullanılacak olan sistemlere ait teknolojiler geliştirilmeli, mevcut gelişmeler takip edilmeli ve bunların tünellere uygunlukları araştırılmalıdır.

Yangının hemen algılanması ve tam yerinin belirlenmesi de çok önemli olup, bu amaçla geliştirilmiş sistemlerin kullanılması, yangınla mücadelede önemli olacaktır.

Karayolu tünellerindeki güvenlik sadece etkin bir işletme sorunu olmayıp, yoldaki araçların durumu ve yol kullanıcılarının davranışlarına da bağlıdır. Bu sebeple, yol kullanıcıları için eğitim ve bilgi kampanyaları, kamu spotları düzenlenmeli ve bu bilgiler, sürücü eğitiminin bir parçası olarak kullanıcılara kazandırılmalıdır.

Riskleri azaltmak veya ortadan kaldırmak için yapılan risk analizleri, tehlikeli maddeler ve tehlikeli madde taşımacılığı ile ilgili olarak da tedbirleri kapsamalıdır. Bu amaçla OECD ve PIARC tarafından geliştirilen risk analiz modelleri değerlendirilmelidir.

KAYNAKÇA

Kitaplar

- Akkaplan, S., 2001. *Karayolu tünellerinde yangın güvenliği*. Ankara: Gazi Üniversitesi
- Ayvazoğlu, E., 1974. Maden havalandırma. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Fakültesi Ofset Baskı Atölyesi.
- Bozkurt, M., 1983. *Tüneller ders notları*. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Yayınları.
- Bulutlar, E., 1984. *Tünel güzergâhının seçimi ve tünel inşasına kadar yapılan araştırmalar*. Ankara: Elektrik İşleri Etüt İdaresi.
- Epstein, S. B., 1985. *Tunnels*. USA: Little Brown Company.
- Karakaş, T., 2011. *Tünellerin havalandırma sistemleri ve bolu tüneli uygulaması*. İstanbul: Marmara Üniversitesi
- Karayolları Genel Müdürlüğü Bakım Dairesi Başkanlığı, 1997. *Karayolları tünelleri ve yükseklik teşkil eden yapılar*. Ankara: KGM matbaası.
- Karayolları Genel Müdürlüğü Otoyolları Dairesi Başkanlığı, 2006. *Otoyollarında büyük sanat yapıları envanteri*. Ankara: KGM matbaası.
- Krausmann, E., Mushtaq, F., 2005. *Analysis of tunnel-accident data and recommendations for data collection and accident investigation*. İtalya: European Commission
- Küçüköğlü, H., 2006. *Sonlu elemanlar metodu ile tünel modellemesi ve bir uygulama*. Ankara: Gazi Üniversitesi.
- Osmanoğlu, D., 2007. *Tünellerde zemin iyileştirilmesi ve stabilizenin sonlu elemanlar yöntemi ile plaxis programında analiz edilmesi*. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi.
- PIARC, World Road Association, 1991. *XIX th world road congress*. Marrakech : PIARC Technical Committee
- PIARC, World Road Association, 1995. *Road tunnels: emmissions, ventilation, environment*. Montreal : PIARC Committee on Road Tunnels
- PIARC, World Road Association, 1999. *Fire and smoke control in road tunnels*. Paris : PIARC Committee on Road Tunnels

- PIARC, World Road Association, 2004. *Road tunnels: vehicle emmissions and air demand for ventilation*. PIARC Commitee on Road Tunnels
- Teke, N., 2012. *Tünellerde Avrupa birliği standartları*. İstanbul: Bahçeşehir Üniversitesi
- Telford, T., 2005. *The handbook of tunnel fire safety*. London: Thomas Telford Publishing.

Sürekli Yayınlar

- Aydan, O., 2001. Jeoloji Mühendisliği Dergisi. *İstanbul Boğazı Denizaltı Geçişi için Tip Tünel ile Kalkan Tünelin Uygunluğunun Karşılaştırılması*. (54), ss.1-17.
- Commission of the European Communities, 2001. European Commission Final Report. *European Transport Policy for 2010: Time to Decide*. (370), pp. 3-58.
- European Union, 2002. EU Report. *Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council*. (769), pp. 1-16.
- Karlık, R., 2003. Beta Basım. *Avrupa Birliği ve Türkiye*. ss. 49-51, 461, 462.
- Öztürk, H.T., Durmuş, A., 2008. İstanbul Bülten. *Tünellere Toplu Bir Bakış ve Savunma Tünellerinin Türkiye için Önemi*. (96), ss.11-17.
- Pattberg, H., 1998. İstanbul Kültür Vakfı Yayınları. *Avrupa Tek Pazarına Dinamik Destek Olarak Ulaştırma*. ss. 5

Diğer Yayınlar

- İzbek, K.K., (1999). C.I.E. Tanım ve Kriterleri Işığında Tünel Aydınlatma Tekniği Prensipleri ve İzmir-Osman Kibar Tünel Aydınlatmalarına İlişkin Görüşler
- Ünlütepe, A., 2003. Tünel İnşaatları Sırasında Uygulanan Ölçme Yöntemleri ve Bu Yöntemlerin Değişik Tünelcilik Metodları İçin Karşılaştırılması, *1. Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu*, 30-31 Ekim 2003 İstanbul: Yıldız Teknik Üniversitesi

EKLER

EK A.1: Trans-Avrupa Karayolu Tünelleri Minimum Güvenlik Gereksinimleri

- tüm tüneller için zorunludur
- ◇ zorunlu değildir
- * istisnalar ile zorunludur
- önerilmektedir

MINİMUM GEREKSİNİMLERİN ÖZETİ

| | Trafik ≤2000 taşıt/şerit | | Trafik >2000 taşıt/şerit | | Uygulama konusunda zorunlu ilave koşullar veya öneriler |
|-------------------------------|--|---------------------|--------------------------|--|--|
| | 500 - 1000 m | > 1000 m | 500 - 1000 m | > 1000 m | |
| Yapısal Önlemler | 2 veya daha fazla tüp Eğimler ≤ 5yüzde | § 2.1 | * | * | 15 yıllık trafik tahmini > 10000 taşıt/şerit ise zorunludur. |
| | Acil Yaya Yolu | § 2.3.1 § 2.3.2 | * | * | Coğrafi açıdan mümkün ise zorunludur. §2.3.1'deki şart ile ilgisi olmadıkça, acil durum şeridinin olmadığı yerlerde zorunludur. Mevcut tünellerde acil durum şeridi veya acil yaya yolu mevcut değilse ilave/çözümleyici önlemler alınacaktır. |
| | En az 500 m de Acil çıkışlar | § 2.3.3- § 2.3.9 | ◇ | * | Mevcut tünellerdeki güvenlik çıkışı uygulaması durum bazında değerlendirilecektir. |
| | Acil hizmetler için en az her 1500 m'de çapraz bağlantılar | § 2.4.1 | ◇ | ◇/● | 1500 m den uzun çift tüplerde zorunludur. |
| | Her bir tünel girişinin dışında refüj geçidi | § 2.4.2 | ● | ● | Coğrafi açıdan mümkün ise, çift tüp veya çok-tüplü tünellerin dışında zorunludur. |
| | En az her 1000 m'de cep | § 2.5 | ◇ | ◇/● | Acil durum şeridi bulunmayan 1500 m > yeni iki-yönlü tünellerde zorunludur. 1500 m > mevcut iki yönlü tünellerde: analize bağlıdır. Yeni ve mevcut tünellerin her ikisinde de, kullanılabilir ekstra tünel genişliğine bağlıdır. |
| | Yanıcı ve zehirli sıvılar için drenaj | § 2.6 | * | * | Tehlikeli madde taşımalarına izin verilen yerlerde zorunludur. |
| Yapıların ateşe dayanıklılığı | § 2.7 | ● | ● | Yerel bir çökmenin felaketi sonuçlar yaratabileceği yerlerde zorunludur. | |

Kaynak: Uhusal Veri Tabanı (UVT) (Trans-Avrupa Karayolu ağı üzerindeki tüneller için minimum güvenlik gereksinimleri)

- tüm tüneller için zorunludur
- ◇ zorunlu değildir
- * istisnalar ile zorunludur
- önerilmektedir

MINİMUM GEREKSİNİMLERİN ÖZETİ

| | Trafik ≤2000 taşıt/şerit | | Trafik >2000 taşıt/şerit | | | Uygulama konusunda zorunlu ilave koşullar veya öneriler |
|--------------------------------------|---|----------|--------------------------|--------------|----------|--|
| | 500 -1000 m | > 1000 m | 500 - 1000 m | 1000- 3000 m | > 3000 m | |
| Aydınlatma | Normal Aydınlatma | § 2.8.1 | ● | ● | ● | |
| | Güvenlik Aydınlatması | § 2.8.2 | ● | ● | ● | |
| | Tahliye Aydınlatması | § 2.8.3 | ● | ● | ● | |
| Havalandırma | Mekanik Havalandırma | § 2.9 | ◇ | ◇ | ● | |
| | (Kısmi-)Enine havalandırma için özel şartlar | § 2.9.5 | ◇ | ◇ | ● | Bir kontrol merkezinin bulunduğu iki yönlü tünellerde zorunludur. |
| Acil Hizmet İstasyonu | En az her 150 m de | § 2.10 | * | * | * | Telefon ve 2 adet yangın söndürme cihazı ile donanımlıdır. Mevcut tünellerde azami 250 m lik aralığa izin verilmektedir. |
| Su Ekipmanı | En az her 250 m de | § 2.11 | ● | ● | ● | Mevcut değil ise, başka türlü yeterli su temini zorunludur. |
| Yol İşaretleri | | § 2.12 | ● | ● | ● | Tüm tünel kullanıcıları için temin edilen güvenlik hizmetlerinin bütünü için (Ek III ' e bakınız.) |
| Kontrol Merkezi | | § 2.13 | ◇ | ◇ | ● | Birkaç tünelin izlenmesi tek bir kontrol merkezinde toplanabilir. |
| İzleme Sistemleri | Video | § 2.14 | ◇ | ◇ | ● | Kontrol merkezinin bulunduğu tünellerde zorunludur |
| | Otomatik kaza tespiti ve/veya yangın tespiti | § 2.14 | ● | ● | ● | Kontrol merkezinin bulunduğu tünellerde, iki sistemin en az bir tanesi zorunludur |
| Tüneli kapatmak için gerekli ekipman | Girişlerin önüne konulacak ışıklı trafik işaret cihazları | § 15.1 | ◇ | ◇ | ● | |
| | Tünel içinde en az her 1000 m de ışıklı trafik işaret cihazları | § 15.2 | ◇ | ◇ | ■ | Kontrol merkezi mevcut ise ve uzunluk 3000 m yi geçiyor ise önerilmektedir. |

Kaynak: Ulusal Veri Tabanı (UVT) (Trans-Avrupa Karayolu ağı üzerindeki tüneller için minimum güvenlik gereksinimleri)

- tüm tüneller için zorunludur
- ◇ zorunlu değildir
- * istisnalar ile zorunludur
- önerilmektedir

MİNİMUM GEREKSİNİMLERİN ÖZETİ

| | | Trafik ≤ 2000 taşıt/şerit | | Trafik > 2000 taşıt/şerit | | | Uygulama konusunda zorunlu ilave koşullar veya öneriler |
|-------------------------------|---|---------------------------|----------|---------------------------|--------------|----------|---|
| | | 500 -1000 m | > 1000 m | 500 - 1000 m | 1000- 3000 m | > 3000 m | |
| Haberleşme Sistemleri | Acil hizmet için radyo yayını | ◇ | ◇ | ◇ | ● | ● | |
| | Tünel kullanıcıları için acil Radyo mesajları | ● | ● | ● | ● | ● | Tünel kullanıcıları için radyo yayını olan yerlerde ve kontrol merkezinin bulunduğu yerlerde zorunludur. |
| | Sığınak ve çıkışlarda hoparlörler | ● | ● | ● | ● | ● | Tünel tahliye eden kullanıcıların dışarıya erişmelerinden önce beklemleri gereken yerde zorunludur. |
| Acil Güç Temini | | ● | ● | ● | ● | ● | En azından tünel kullanıcılarının tahliyesi esnasında, zorunlu güvenlik ekipmanının işlevselliğinin temin edilmesi. |
| Ekipmanın ateşe dayanıklılığı | | ● | ● | ● | ● | ● | Gerekli güvenlik işlevlerinin sürdürülmesini hedefleyecektir. |

Kaynak: Ulusal Veri Tabanı (UVT) (Trans-Avrupa Karayolu ağı üzerindeki tüneller için minimum güvenlik gereksinimleri)

ÖZGEÇMİŞ

1984 yılında İstanbul’ da doğdu. İlk ve ortaöğrenimini İstanbul’ da tamamladı. İlköğrenimini Dr. Reşit Galip İlköğretim Okulu ve Abdülhak Hamit Müfredat Laboratuvar İlköğretim Okulu’ nda tamamladı. Ortaöğrenimini 1998 – 2002 yılları arasında Şehremini Lisesi’ nde (Y.D.A.) tamamladı. 2002 – 2006 yılları arasında Balıkesir Üniversitesi Mühendislik – Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği bölümünü tamamladı. Üniversite öğrenim döneminde çeşitli yıllarda Türk Hava Yolları, Sisan Sanayi ve Ticaret Ltd. şirketinde ve King Pompa firmasında stajlarını tamamladı. 2006 – 2008 yılları arasında İzomer Mühendislik isimli firmada ısıtma-soğutma ve havalandırma üzerine çalıştı. 2008 yılında askerlik hizmetini tamamladıktan sonra askerlik dönüşü 2008 – 2010 yılları arasında İzomer Mühendislik’ deki işine devam etti. 2010 yılının Nisan ayında KPSS puanı ile İstanbul Büyükşehir Belediyesi – İtfaiye Daire Başkanlığına kamu personeli olarak atandı ve halen bu kurumda görevine devam etmektedir. Alınan 3 aylık Temel İtfaiye Eğitiminden sonra İtfaiye Eğitim Merkezi (İBİTEM) AR-GE biriminde Teknik Departmanda görev almaktadır. 2011 yılında Bahçeşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü – Kentsel Sistemler ve Ulaştırma Yönetimi programında yüksek lisans eğitimine başladı. 2012 yılında Türkiye – Amerika Dışişleri Bakanlıkları’ nın ortak yürüttüğü Young Turkey Young Amerika programı projesi kapsamında Amerika’ da Connecticut Üniversitesi’ nde eğitim programını başarı ile tamamladı. 2013 yılında Türkiye – Japonya Dışişleri Bakanlığı ortak projesi kapsamında Türkiye’yi temsilen “Afet Yönetimi Mühendisliği” programına katılmış, bu programı da başarı ile tamamlayarak Afet Yönetimi Mühendisi belgesini almıştır. Bunun üzerine yine 2013 yılı içerisinde Amerika’ daki projenin devamı niteliğinde yeni bir projeye imza atmış ve “Afet Gönüllüsü Kadınlar Yarına Işık Tutuyor” sloganı ile Japonya deneyimlerini Dışişleri Bakanlığı destekli Sakarya’ da seçilen pilot bölgede seminer yoluyla ve seçilen 40 kadına eğitim vererek devam ettirmiştir. Eğitim ardından yapılan panelde de yer almıştır. Projeye tüm hızıyla devam etmektedir. Yabancı dil olarak iyi seviyede İngilizce, orta seviyede Japonca ve Almanca bilmektedir.

