

**METRO İSTASYON VE TÜNELLERİNDE HAVALANDIRMA  
SİSTEMİ TASARIMI**

**Pamukkale Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Yüksel Lisans Tezi  
Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı**

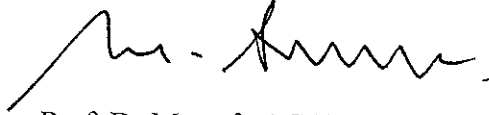
**Şadiye AKGÜL LALOĞLU**

**Danışman : Prof. Dr. Rasim KARABACAK**

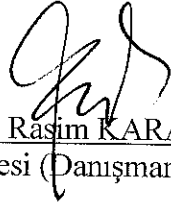
**Ocak,2010  
DENİZLİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ ONAY FORMU**

Şadiye AKGÜL LALOĞLU tarafından Prof. Dr. Rasim KARABACAK yönetiminde hazırlanan “**Metro istasyon ve tünellerinde havalandırma sistemi tasarımı**” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.



Prof. Dr. Mustafa ACAR  
Jüri Başkanı



Prof. Dr. Rasim KARABACAK  
Jüri Üyesi (Danışman)




Yard. Doç. Dr. M. Fevzi KÖSEOĞLU  
Jüri Üyesi

Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun  
.../.../ ..... tarih ve ..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

**Prof. Dr. Halil KARAHAN**  
Müdür

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmaların yapılması ve bulguların analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğini beyan ederim.

İmza :   
Öğrenci Adı Soyadı : Şadiye AKGÜL LALOĞLU

## TEŞEKKÜR

Tezin hazırlanması süresince sabrını ve hoşgörüsünü esirgemeyen, değerli tavsiyeleri ile beni yönlendiren danışman hocam Prof.Dr.Rasim Karabacak'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bilgi paylaşımlarından dolayı İstanbul Büyükşehir Belediyesi Ulaşım Planlama Müdürlüğü ve Ulaşım A.Ş çalışanlarına, her zaman yardım ve desteğini gördüğüm eşime teşekkürlerimi sunarım.

Şadiye AKGÜL LALOĞLU

## ÖZET

### METRO İSTASYON VE TÜNELLERİNDE HAVALANDIRMA SİSTEMİ TASARIMI

Akgül Laloğlu,Şadiye  
Yüksek Lisans Tezi, Makine Mühendisliği ABD  
Tez Yöneticisi: Prof. Dr. Rasim KARABACAK

Ocak 2010, 100 sayfa

Şehirlerin büyümesi ile birlikte oluşan şehir merkezlerindeki ulaşım talebindeki artış; metro, hafif metro veya raylı sistem olarak nitelenen ve genellikle yer altı güzergahı ve istasyonlarını kullanan raylı sistemleri zorunlu kılmaktadır.

Ülkemizde gecikmiş olsa da son yıllarda raylı sistem yatırımları giderek yoğunlaşmaya başlamıştır. İstanbul, Ankara ve İzmir başta olmak üzere çeşitli şehirlerimizde geliştirilmekte ve uygulanmakta olan raylı sistem projelerinde zamanında yerüstü raylı sistem güzergâhları planlanmamış olduğundan, çoğu kez yer altı seçeneği değerlendirilmektedir.

Yer altı metro istasyonlarının hem işlevlerini uygun şekilde getirmesi, hemde yolcuların ve personelin konforunu sağlamak için bir dizi ısıtma, havalandırma ve klima tesisatı gerekir. Bu çalışmada yer altı metro istasyon ve tünellerinde havalandırma tasarımında yararlanabilecek kriterler ve kullanılacak tesisat sistemi irdelenerek havalandırma hesabı yapılmış ve projelendirilmiştir.

Ayrıca örnek olarak alınan, yatırım bedeli 2.327.502.542 \$ olan projenin 17.yılda kendini amorti ettiği, iç verimlilik oranının özel kesim yatırımcılar için çekici bir değerde (%10,15) olduğu ve ekonomiklik analizinde ise iç verimliliğin % 28 çıktığı, sosyal fayda ile ekonomik maliyet sağlandığı ortaya çıkmıştır. Tüm bunlar projenin mali ve ekonomik yönden yapılabilir nitelikte olduğunu göstermiştir. Böylece bir metro sisteminin inşa edilme fikri temel olarak sadece geleneksel mali kriterlere göre değil ekonomik fayda odaklı hedeflere dönük olması sonucu çıkartılmıştır.

Çalışmanın ülkemizde planlanan metro projelerinin havalandırma tasarımı için önemli bir kaynak olacağı, zaman ve maliyet açısından önemli kazanımlar getireceği beklenilmektedir.

**Anahtar Kelimeler :** Raylı Sistem, metro, yer altı istasyonlar, havalandırma

Prof. Dr. Rasim KARABACAK  
Prof.Dr.Mustafa ACAR  
Yard. Doç. Dr.M. Fevzi KÖSEOğLU

**ABSTRACT****DESING OF THE VENTILATION SYSTEMS IN SUBWAY-STATIONS AND TUNNELS**

Akgül Laloğlu,Şadiye  
M.Sc.Thesis in Mechanical Engineering  
Supervisor: Prof. Dr. Rasim KARABACAK

January 2010, 100 pages

Increase in the demand of transportation at city centers enforces railway systems which generally use underground routes and station; named as metro, light rail transit or railway systems.

Despite being late in our country, the investments made on rail systems have been increasing rapidly. Due the railways over ground were not planned when the current railways that are developed and used in cities, especially Istanbul,Ankara and Izmir were made, underground option is often considered.

To function properly and also to provide comfort for passengers and staff, underground subway system stations should be equipped with a series of heating, ventilating and air conditioning installation. In this study, by analysing benefits from the criteria of ventilating design of underground subway station and available installation system, accounting of the ventiling system was calculated and designed.

Also taken as an example, the project that its investment value is \$ 2.327.502.542 amortizes itself at the 17th year, the rate of internal efficiency of the private sector attractive for investors in a value (10.15%) the economic analysis, as a result of internal efficiency of 28% out of social benefits and economic costs was provided to have emerged.All these have shown that the project is feasible both financially and economically. Thus, it has been concluded that the idea of building a subway system should be considered not only in terms of traditionally financial criteria, but also in terms of benefit oriented goals.

The study will be an important resource for the ventilation project of planned subway project in our country, and it is hoped that it will bring significant advantages in the terms of time and cost.

**Key Words** : Railway system, subway, undergorund stations,ventilating

Prof. Dr. Rasim KARABACAK  
Prof. Dr. Mustafa ACAR  
Yard. Doç. Dr. M. Fevzi KÖSEOĞLU

## İÇİNDEKİLER

	<b>Sayfa</b>
Yüksek Lisans Tez Onay Formu	i
Bilimsel Etik Sayfası	ii
Teşekkür	iii
Özet	iv
Abstract	v
İçindekiler	vi
Şekiller Dizini	viii
Tablolar Dizini	ix
Simge ve Kısaltmalar Dizini	x
1.GİRİŞ	1
2.RAYLI SİSTEMLER	3
2.1. Raylı Sistemlerin Tanımı	3
2.2. Raylı Sistemlerin Tarihi	4
2.3. Raylı Sistemlerin Sınıflandırılması ve Çeşitleri	6
2.3.1. Tramvay Sistemi	7
2.3.2. Hafif Raylı Sistemi	7
2.3.3.Metro Sistemi	7
3. METRO SİSTEMLERİ	9
3.1. Metro Sistemlerinin Tanımı ve Kavramları	10
3.2. Metro İstasyonlarının Tasarımı	11
3.3. Tünel Tasarımı	16
3.3.1.Tünel havalandırma sistemi	18
3.3.2. Tünel tipi tercihi	18
3.3.3. Tünel açma işlemi	20
3.3.4. Tünel kaplaması	21
4.METRO İSTASYON VE TÜNELLERİNDE HAVALANDIRMA SİSTEMİ TASARIMI	23
4.1.Tasarım Kriterleri	23
4.1.1.Dış ortam şartları	23
4.1.2.İstasyon Tasarım Şartları	24
4.1.2.1.Sıcaklık ve nem	24
4.1.2.2.Hava hızları	26
4.1.2.3.Hava kalitesi ve hava değişim katsayıları	27
4.1.2.4.Gürültü	29
4.2.Tasarım Sistemleri	30
4.2.1.Yolcuya açık alanlar havalandırma sistemi	30
4.2.2.Yardımcı alanlar havalandırma sistemi	31
4.2.3.Platform altı kirli hava egzost sistemi	34
4.2.4.Tünel havalandırma sistemi	34
4.2.4.1.Normal durum	34
4.2.4.2.Sıkışık durum	36
4.2.4.3.Acil durum	37

5. HAVALANDIRMA HESAPLARI	41
5.1. İstasyon Havalandırma Hesabı	41
5.2. Tünel Havalandırma Hesapları	42
5.2.1. Tünel ısı kazancı hesabı	43
5.2.2 Isı Kaybı	47
5.2.3.Hava debisi	47
5.2.4. Acil durum	48
6.ÖRNEK PROJE (HAVALANDIRMA SİSTEMİ) HESAPLARI	50
6.1.Tünel Havalandırma	53
6.1.1. Isı kazancı	53
6.1.1.1.Aracın frenleme esnasında ısı kazancı	53
6.1.1.2.Aracın ivmelenme esnasındaki ısı kazancı	57
6.1.1.3.Katener ve ray kayıpları	60
6.1.1.4.Tünel aydınlatmadan gelen ısı kazancı	62
6.1.1.5.Araç soğutmadan gelen ısı kazancı	62
6.1.1.6.Araç aksesuar motorlarından gelen ısı kazancı	63
6.1.1.7.İstasyondan gelen ısı kazancı	64
6.1.2. Isı Kaybı	66
6.2. İstasyon Mahallerinde Havalandırma	68
6.3. Acil Durum Havalandırma	72
7.MALİ ve EKONOMİK ANALİZ	74
7.1. Yatırım Maliyetleri	75
7.1.1.Yapım maliyetleri	75
7.1.1.1.Mekanik sistemlerin yatırım ve işletme maliyeti	77
7.1.2. Metro araçlarının yatırım maliyeti	80
7.1.3. İşletme ve bakım maliyeti	80
7.2. Ekonomik Kazanç	82
7.2.1. Ekonomik Fayda	82
7.2.2.İşletme Gelirleri	88
8.SONUÇ	91
9.KAYNAKLAR	93
EKLER	96
ÖZGEÇMİŞ	100



**ŞEKİLLER DİZİNİ**

	<b>Sayfa</b>
Şekil 4.1.Normal Durum Havalandırma Sistemi Çalışma Prensibi	35
Şekil 4.2.Trenin 1. İstasyona Yakın İken Yangın Çıkması Halinde	38
Şekil 4.3.Trenin 2. İstasyona Yakın İken Yangın Çıkması Halinde	39

## TABLOLAR DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Tablo 2.1 Tramvay,Hafif Raylı ve Metronun Genel Özellikleri	8
Tablo 4.1 Yalıtım parametresi	25
Tablo 4.2 Havalandırma etki parametresi	25
Tablo 4.3 İstasyon mahalleri ve tünelde iç ortam sıcaklıkları	26
Tablo 4.4 Tünelde ve istasyonlardaki hava hızları	27
Tablo 4.5 İstasyonda hava kalitesi	28
Tablo 4.6 Hava değişim katsayıları	28
Tablo 4.7 İstasyonda gürültü seviyeleri	29
Tablo 5.1 Frenlemeden oluşan ısının araç hızına göre dağılımı	47
Tablo 5.2 Araç soğutma ve aksesuarlarından oluşan ısının araç hızına göre dağılımı	47
Tablo 6.1 İstanbul için dış ortam şartları	51
Tablo 6.2 İstanbul için ortam (sıcaklık, basınç ve havalandırma) şartları	51
Tablo 6.3 Araç özellikleri	52
Tablo 6.4 Tasarımda esas alınacak ısı yükleri	53
Tablo 6.5 Araç frenlemesinden gelen ısı kazancı	56
Tablo 6.6 Araç ivmelenmesinden gelen ısı kazancı	60
Tablo 6.7 Toplam ısı kazancı	66
Tablo 6.8 Platform altı havalandırma ile ısı dağılımı	67
Tablo 6.9 Duvar yüzeylerinden ısı transferi	67
Tablo 6.10 Mevsimlere göre gerekli hava debisi	68
Tablo 6.11 İstasyon proje özellikleri ve gerekli/seçilen hava debi miktarları	69
Tablo 7.1 Metro sistemlerinin yapım maliyetleri (İstanbul için)	75
Tablo 7.2 Yatırım maliyeti tahmini (Üsküdar –Ümraniye metro projesi için)	76
Tablo 7.3 Mekanik tesisat maliyetleri (Üsküdar –Ümraniye metro projesi için)	77
Tablo 7.4 Birim işletme ve bakım maliyetleri (Üsküdar –Ümraniye metro projesi için)	80
Tablo 7.5 İşletme ve Bakım giderleri (Üsküdar –Ümraniye metro projesi için)	81
Tablo 7.6 Amortisman giderleri (Üsküdar –Ümraniye metro projesi için)	82
Tablo 7.7 Ortalama zaman değeri	83
Tablo 7.8 Yolculuk süresi tasarrufu (Üsküdar –Ümraniye metro projesi için)	85
Tablo 7.9 Ekonomik analiz sonuçları (Üsküdar –Ümraniye metro projesi için)	87
Tablo 7.10 İşletme gelirleri (Üsküdar –Ümraniye metro projesi için)	89
Tablo 7.11 Mali analiz (Üsküdar –Ümraniye metro projesi için kredili seçenek)	90

## SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ

a	Aracın ön yüzey alanı (m <sup>2</sup> )
A	Tünel kesit alanı (m <sup>2</sup> )
A <sub>1</sub>	Platform alanı (m <sup>2</sup> )
A <sub>2</sub>	Reklam panosu alanı (m <sup>2</sup> )
A <sub>m</sub>	Merdiven ağız alanı (m <sup>2</sup> )
A <sub>s</sub>	Platform kesit alanı (m <sup>2</sup> )
d <sub>a</sub>	aracın maksimum hıza ulaşma mesafesi (m)
d <sub>b</sub>	Aracın maksimum hızdan durma mesafesi (m)
C <sub>D</sub>	Aerodinamik sürtünme katsayısı
C <sub>p</sub>	Havanın özgül ısı katsayısı (J/kgK)
d <sub>a</sub>	Aracın maksimum hıza ulaşma mesafesi (m)
f	Yürüyen merdiven yükleme yüzdesi
F <sub>D</sub>	Aracın sürüklenme kuvveti (N)
F <sub>m</sub>	Mekanik direç kuvveti (N)
g	Yer çekim ivmesi (m/s <sup>2</sup> )
H	Tünel yüksekliği
K <sub>E</sub>	Aracın maksimum hızdaki kinetik enerjisi ((kj/h)
K <sub>g</sub>	Eğim düzeltme katsayısı
KW	Vagona ait hava kompresör motor gücü ( Watt )
L	Tünel uzunluğu (m)
n	Hava değişim katsayısı (değ/h)
n	Saatteki sefer sayısı
R	Katener ve Ray direnci toplamı ( milliohms/km)
R <sub>k</sub>	Katener direnci ( milliohms/km)
R <sub>r</sub>	Ray direnci ( milliohms/km)
r	İskonto oranı %
q <sub>AC</sub>	Araç soğutmadan gelen ısı kazancı ( Watt)
q <sub>AX</sub>	Araç aksesuar motorlarından gelen ısı kazancı (Watt)
q <sub>D</sub>	Aracın aerodinamik sürüklenmeden gelen ısı kazancı (Watt)
q <sub>m</sub>	Aracın motor kayıplarından gelen ısı kazancı (Watt)
q <sub>M</sub>	Aracın mekanik dirençlerden gelen ısı kazancı (Watt)
q <sub>SR</sub>	Aracın resistör dirençlerden gelen ısı kazancı (Watt)
Q	Yangın Yüğü (Watt)
Q <sub>fan</sub>	Fan Debisi (m <sup>3</sup> /s)
s	Tren sinyal adeti
t <sub>a</sub>	Aracın hızlanma zamanı(s)
T	Bir vagonun soğutma kapasitesi (Watt)
T <sub>f</sub>	Yangın bölgesi sıcaklığı (K)
U	Aracın ortalama hızı (m/s)
V <sub>c</sub>	Kritik Hız (m/s)
V <sub>0</sub>	3. Raydaki Voltaj (volt)
W	Vagon ağırlığı (ton)
W <sub>e</sub>	Vagonun yolcu dahil ağırlığı (ton)
W <sub>L</sub>	Tünel aydınlatma (Watt/m)
ρ	Havanın yoğunluğu (1,1581 kg/m <sup>3</sup> )
ε <sub>m</sub>	Tahrik motoru verimi
θ	Tünel eğimi(%)

**KISALTMALAR**

DLH	Demiryolları Limanlar ve Havameydanları
EXF	Egsoz Fanı
İBB	İstanbul Büyükşehir Belediyesi
İETT	İstanbul Elektrik Tramvay ve Tünel İşletmeleri
NATM	New Australian Tunnelling Method (yeni avusturalya tünel metodu)
NBD	Net Bugünkü Değer
NFPA	Yangından koruma kurumu (ABD)
TBM	Tunnel Boring Machine (Tünel delme makinası)
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
TVF	Tünel Havalandırma Fanı

## 1.GİRİŞ

Çağdaş kentlerde insanların çeşitli aktivitelerden yararlanabilmeleri için kolay, hızlı ve rahat ulaşım sağlanmalıdır. Bu da toplu taşıma sistemleri ile sağlanabilir. Buna karşılık kent ile otomobil zıt kavramlardır. Daha fazla karayolu daha fazla ulaşım talebini artırmaktadır. Yeni yollar, yine yeni talepleri doğuracağından kent içi ulaşım sorununun çözülmesinde yeterli olamamaktadır. Şehirlerdeki ulaşım problemlerine en etkin ve kalıcı çözüm getiren sistemlerin başında raylı sistemler gelir. Raylı sistemlerin, diğer sistemlere göre hız, güvenilirlik, konfor v.b. üstün özellikleri vardır. Bu nedenle kent içi ulaşım sorunlarının çözümünde “raylı sistemler” en iyi çözüm olarak geliştirilmeli ve uygulanmalıdır ( Köksal 2006).

Raylı sistemlerden biri olan metrolar, genellikle yeraltında tesis edilirler. Bunun nedeni ise kamulaştırma maliyetleri, yer üstünde diğer araçlarla kesişmesinden doğan sinyalizasyon ve zaman faktörü gibi unsurlardır.

Yer altı istasyonlarının, gerek işlevlerini uygun şekilde yerine getirmesi, gerekse yolcuların ve personelin konforunu sağlamak için; sistemin havalandırılması, iklimlendirilmesi, drenajı ve yangın güvenliğinin sağlanması gerekir. Havalandırma sistemi tasarımı tez kapsamında ana unsur olup, ele alınması büyük bir önem arz etmektedir. Çünkü metrolar da trenlerden, insanlardan ve ekipmanlardan açığa çıkan ısı, gerektiği gibi kontrol altına alınmadığı takdirde yolcuların konforsuz bir ortamda yolculuk etmelerine yol açacağı gibi, teçhizatın ömrünü de kısaltacak ve bakım işlerini artıracaktır. Bunun yanı sıra yolcunun güvenliğinin ve rahatlığının sağlanması ve ulaşım sisteminin başarısının yükseltilmesi için de etkin ve güvenilir bir havalandırma sistemi gereklidir. Sıcaklık, nem, trenlerin tünel içindeki hareketlerinin sonucu hava hızlarında ve basınçta meydana gelen farklılıklar sistemin performansını etkileyen unsurlardır.

Sıcaklık yolcunun konforunu ters orantılı olarak etkiler. Çok sıcak veya çok soğuk sıcaklıktaki bir sistem, yolcuya cazip gelmeyebilir. Belli bir limitin üzerine çıkan hava hızları ise tozun kalkmasına, saçların ve giysilerin uçuşmasına ve gürültü oluşumuna neden olacağından hem yolcular hem de çalışanlar için rahatsızlık vericidir. Ayrıca

yangın anında sistem, duman ve sıcak gazları içermeyen bir tahliye yolunu açarak yolcu güvenliği sağlanmalıdır.

Tüm bunlara karşın raylı sistem istasyonlarının havalandırma tasarımında kullanılacak kriterleri toplu olarak gösteren bir kaynak mevcut değildir bu maksatla, TSE, ASHRAE, NFPA Standartlarından yararlanarak hazırlanan ve ülkemizdeki bazı raylı sistem yer altı istasyonları tasarımlarında kullanılan veriler kullanılmaktadır. Tezin amaçlarından biride bu verileri toplamak ve uygulamaları irdelemektir.

Bu çalışmada yer altı metro sistemleri raylı sistemler kategorisinde yer aldığı için öncelikle raylı sistemler tanımı, tarifi sınıflandırılması ele alınarak konu tanıtılmak istenmiştir. Sonra istasyon ve tünel tasarım aşamalarına, değinilerek konu havalandırma tasarımına getirilmiştir. Mevcut fiziksel ve işletme verileri ile çevresel kriterler göz önüne alınarak, bir metro istasyon projesinin ısı kazancı ve havalandırma miktarları hesaplanmıştır.

Mali ve ekonomik analiz bölümünde ise; örnek metro projesinin, yatırım maliyetleri, işletme gelirleri ve ekonomik faydaları ile mali ve ekonomik yönden yapılabilirliğine bakılmış, metro uygulamalarının maliyetleri irdelenmiştir.

Ulaşım sorunlarının tek çözümü; konforlu, güvenli, çevre dostu ve düşük işletme maliyetli olması sebebiyle metro olduğu, sonucu vurgulanmıştır.

## **2.RAYLI SİSTEMLER**

### **2.1.Raylı Sistemlerin Tanımı**

“Raylı sistemler en genel tanımıyla, tek veya birleşik araçlarla sabit bir yola bağımlı olarak hareket eden yük ve yolcu taşıyan sistemlerdir. Zeminde, zemin altında yada zemin üstünde giden raylı sistemler bu tanım içinde yer almaktadır” (Paker 1992).

“Raylı taşıma sistemi, yolcuların gruplar halinde toplu olarak, sabit güzergahlarda, ray üzerinde veya raya asılarak, hızlı olarak taşındığı, elektrik enerjisi ile çalışan, genellikle yeraltında tesis edilmiş, demir tekerlekli, diğer trafikten ayrı, metro, hafif raylı, monoray, tramvay gibi türleri olan, istasyon ve tüm yan tesisleriyle bütün olan ulaşım sistemidir” (TS 12127 1997).

İnsanlar buldukları yerden ihtiyaçlarını gideremedikleri için hareket etme durumunda kalırlar. Çeşitli ihtiyaçlarını karşılamak istemelerinden dolayı kent içinde hareket edebilmeleri için ulaşım olanakları geliştirilmiştir. Toplu taşımanın gündeme gelmesiyle birlikte raylı taşıma sistemlerin, birçok metropol de olan ulaşım sorununa çözüm olması beklenilmektedir.

Raylı sistemlerin diğer ulaşım sistemlerine göre faydaları çoktur. Öncelikle günümüzde zamanın giderek artan öneminden dolayı hızlı olmasıyla insanlar kısa bir sürede gitmek istedikleri yerlere gidebileceklerdir. Sonra konforlu olmasıyla rahat bir yolculuk geçireceklerdir. Bir başka faydası sistematik özelliğinden ötürü yolcular düzenli bir yolculuk geçireceklerdir. Ayrıca enerji tüketiminden dolayı da yolculuk daha ekonomik olacaktır. Bunun yanında günümüzde gittikçe artan önemi ile çevreye karşıda duyarlı sistemlerdir. Ayrıca taşıma kapasiteleri de yüksektir. Bu üstün özelliklerinden dolayı kent içinde ulaşımın ana omurgası raylı sistemler olmalıdır.

## 2.2.Raylı Sistemlerin Tarihi

İnsanlar farklı ihtiyaçlarından dolayı yer değiştirmek durumunda kalırlar. Değişen ihtiyaçlara paralel olarak değişen teknoloji ile ulaştırma sistemleri tarihin ilk zamanlarından günümüze kadar gelişim ve değişim göstermiştir.

“18.y.y.’da İngiltere’de demir sanayicisi Reynold farkında olmaksızın arabalar için yol geliştirdi. Bu yolu demir lamaları kullanarak yapmıştır. 1687 yılında ise Denis Papin buharın etkisi gücünü bulmuştur. Bundan sonra ise James Watt tarafından da buhar makinesi bulunmuştur. Bir İngiliz mühendis olan Richard Trevithick ilk kez raylardan oluşan yol üzerinde, buharla işleyen arabayı hareket ettirmiştir. Daha sonra lokomotif daha da geliştirilmiştir. 1829’da Liverpool-Manchester arası için açılan yarışmada “Rocet” adı verilen tren, 13.2 tonluk yükü 22 km/saat hızla çekmiştir. Bu nedenle demiryolculuğun başlangıcı olarak 6 Ekim 1829 alınabilir” (Evren 2002).

Ulaşım sorunun çözmek amacıyla ilk “yeraltı demiryolu” projesi 1835’te İngiltere’de yapıldı. Ama Londra’nın kenar semtlerindeki iki demiryolu istasyonunu kentin merkezine bağlamayı amaçlayan bu proje düşsel bulunduğu için uygulanmadı. Demiryollarının, sokakların üzerinden değil altından geçirilmesinin yararlarını düşünebilen pek az kişi vardı. Geleceği görebilen birkaç parlamento üyesinin baskılarıyla 1860’ta Londra’da dünyanın ilk yer altı demiryolunun yapımına başlandı. 1863’te yer altı demiryolu “Metropolitan Railway” adı ile işletmeye açılmıştır. Bu isim 1871 yılında Paris için geliştirilmeye başlanan bir yer altı demiryolu projesine kelime kelime Fransızca ya çevrilerek “Chemin de fer métropolitain” olarak verildi. Bugün ülkemizde ve Fransa da kullanılan “Metro” ismi “Métropolitain” kelimesinin kısaltılmış halidir.6 km uzunluğundaki bu metro hattının yapımında “aç-kapa” yöntemi uygulandı. Metro hattının geçeceği yol boyunca derin bir hendek kazılıyor, hendeğin iki yanı duvarla örülüp üstü tuğla tonozla örtülerek tünel yapılıyor, sonra tünelin üstü toprakla doldurulup kapatılarak yol eski durumuna getiriliyordu. Bu yöntem günümüzde de uygulanmaktadır (Tunç 2007).

1900’de işletmeye açılan 192 kilometrelik Paris metrosunun yapımında da benzer bir yaklaşım benimsenmiştir. Yalnızca kent içi ulaşımın belkemiği olarak değil, aynı zamanda art nouveau (yeni sanat) üslubundaki iç süslemelerinin çekiciliğiyle de dikkate değer bir metro sistemi kurabilmek amacıyla, teknoloji ve sanat bir araya getirilmiştir.



Burada "aç - kapa" yönteminin değişik bir biçimi uygulanmış, belirli aralıklarla açılan 5 düşey çukurların arasında tavanı desteklerle sağlamlaştırılan tüneller açılmıştır.

Dünyanın diğer ünlü metroları; İngiltere'den sonra Avrupa'daki ilk metro 1896'da Macaristan'ın başkenti Budapeşte'de açıldı. Dünyanın en ünlü metrolarından biri olan Moskova metrosunun 197 kilometrelik toplam uzunluğunun 20 kilometrelik bir bölümü dışında tümü yeraltındadır ve 123 istasyonu vardır ve 1930'larda yapılmıştır.

1904'te açılan New York metrosu, her yıl 1 milyardan fazla yolcuyu taşıyan ve hemen hepsi 24 saat hizmet veren 23 hattıyla dünyanın en yoğun metrosudur. Bu metronun, 220,5 kilometresi yeraltında, 150,6 kilometresi yerüstünde olan toplam 371 kilometrelik hatlarında 456 istasyon vardır (Gökdağ1999).

İngiltere ve Amerikada bunlar olurken, Henry Gavand isimli bir Fransız mühendis Galata'dan Pera'ya asansör gibi kayışla çekilen ve tren gibi raylar üzerine hareket eden bir taşıtı projelendirmiş ve Sultan Abdülaziz'den bu iş için tünel inşa etme iznini almıştır. 1869 yılının 6 kasım günü yapılan anlaşmaya göre, mühendis Gavand Pera ile Galata arasında bir yer altı demiryolu inşa edecek ve 42 yıl işletme imtiyazına sahip olacaktır. Mühendis Gavand Fransa'ya dönerek finansman sağlamak için Fransız hükümetine başvurur ancak bu projesi incelemeye bile değer bulunmaz, bunun üzerine İngiltere'ye yönelen Fransız mühendis, Londra'da "The Metropolitan Railway of Constantinople from Galata of Pera" isimli bir şirket kurar. Bunların ardından tünelin açılacağı bölgede istimlak işlemlerine başlanır ve inşaat için gerekli olan makine ve ekipman sipariş verilir. Nihayet 30 temmuz 1875 günü bir Fransız mühendis tarafından kurulan şirket kazıya başlar. 3 yıl süren kazı sonunda 570 metre boyundaki dünyanın 3. metrosunun inşaatı Aralık 1878 tarihinde tamamlanır. Sıra mini metronun deneme seferine gelmiştir. Tünelin resmen faaliyete geçmesi için padişahın "icazet" , Şeyhülislam'dan fetva almak gerekir. O günlerin padişahı 2. Abdülhamit yeraltında gidip gelen arabaların zararsız olduğu konusunda ikna edilir. Ama "toprak altında insan taşınamaz" diye fetva çıkartan Şeyhülislamın engeli bir türlü aşılamaz. Bunun üzerine şirket yetkilileri "madem insan taşıyamıyoruz öyleyse hayvan taşıyıp yaptığımız masrafı çıkartalım" düşüncesiyle hayvan nakline uygun, üstü açık vagonlar yaptırarak taşımacılığa girerler. Böylece dünyanın 3.metrosu ilk yolcularına hizmet etmeye başlamış olur. Bir süre sonra, yeraltında canlılara hiçbir zarar gelmediğini gören Şeyhülislam sonunda fetvasını değiştirir ve böylece beklenen izin çıkar. 1911 yılında

“Dersaadet Mülhakatından Galata ve Beyoğlu Beyminden Taktelarz Demiryolu T.A.Ş.” isimli şirket tünelin işletme hakkını İngilizlerden satın alır. Yapılan sözleşmeye göre Şirket 20 Temmuz 1923 günü Ankara Hükümeti ile bir sözleşme yaparak bu haklarını Türkiye Cumhuriyetine de onaylattırılmıştır. Aslında tünelin işletme imtiyazı bu şirketi bünyesinde bulunduran ve tramvay şirketinin de sahibi olan “Sofina” isimli bir kuruluşun eline geçmiş bulunmaktadır. Ancak Cumhuriyet hükümeti tramvay şirketi ile birlikte Tünel’in de işletmesini kamulaştırmaya kararlıdır. Bu amaçla “Sofina” isimli kuruluşun Türkiye’deki bütün menkul ve gayri menkullerini satın alır. Böylece 7 Şubat 1939 günü satın alınan Tünel işletmesi, 1 Mart 1939 gününden itibaren bir kamu işletmesi olur ve 16 Haziran 1939 tarihli ve 3645 sayılı yasa ile kurulan İ.E.T.T İşletmeleri Umum Müdürlüğü’ne devredilir. 2. Dünya savaşı yıllarında malzeme ikmali yapılamayan Tünel zorunlu olarak 20 Ağustos 1941 ile 6 Aralık 1941 tarihleri arasında işletme dışı kalır. 1971 yılında modern teknoloji ile yenilenen Tünel halen İstanbul’umuza hizmet vermektedir (Baser 1994).

Tünel’in hizmete girmesiyle İstanbul, Londra’dan sonra dünyanın ikinci metrosuna sahip olma özelliğini kazanmıştır. Tünel’in boyu 555,80 m, çapı 6,70 m, yüksekliği ise 4,90 m’dir. Tünelin içinden geçen demiryolunun uzunluğu ise 626 m’dir. Demiryolu çift hat olarak yapılmıştır. Demiryolunun profili düz değildir. Galata tarafının başlangıcında oldukça hafif bir rampa vardır. Bunun nedeni, vagonların daha sonraki yokuşu aşabilmeleri için yeterli hızı kazanmalarını sağlamaktır ([http:// www.iETT.gov.tr](http://www.iETT.gov.tr)).

Bugün Tünelin eski vagonları ve İstanbul’un eski ulaşım araçları İETT'nin Bağlarbaşı'nda ki Ulaşım Müzesi'nde sergilenmektedir.

### **2.3.Raylı Sistemlerin Sınıflandırılması ve Çeşitleri**

Raylı sistemler; yol ve hat özelliklerine, kullanılan taşıtların özelliklerine, işletme karakteristiklerine ve kapasitelerine göre sınıflandırılabilir.

Ulaşım etüdü başka bir ifade ile “ön fizibilite” bir raylı sistem toplu taşımının gerekliliği ortaya çıkarmışsa bunun hangi türden bir raylı sistem olacağı sosyo-ekonomik (yatırım maliyeti,işletme maliyeti,verimlilik,ömür vb.) ve teknolojik etkileri(konfor, hız, ileri teknoloji kullanımı,güvenlik) kriterleri ile belirlenir.

### **2.3.1. Tramvay sistemi**

Tramvay, kent içi toplu taşımacılıkta raylı sistemlerde en eski olma özelliğine sahiptirler. Genellikle hemzemin güzergâhlar da hareket ettikleri için hızları düşüktür. Yolcular daha çok yürüyerek duraklara geldiğinden duraklar arası mesafe azdır. Ayrıca hemzemin olmasından kaynaklanan sinyalizasyon problemlerinden dolayı düşük hızla işletilirler. Tramvay sistemi çoğunlukla yer üstünde tesis edilir. Bu nedenle daha az mekansal içeriğe sahiptirler ve genellikle maliyetleri diğer raylı sistemlerine göre daha azdır.

### **2.3.2. Hafif raylı sistem**

Sistem özellikleri bakımından tramvaydan daha yüksek, metrodan ise daha az gelişmiş özelliğe sahip hafif raylı sistem, hafif metro olarak da adlandırılır. Ana ulaşım sistemi olarak yolculuk taleplerinin fazla olduğu yerlerde tercih edilirler. Fakat metropoller de ise tali ulaşım sistemi olarak işletilmelidirler. Diğer kent içi raylı sistemlerle karşılaştırıldığında hafif raylı sistem yolculuk sayıları bakımından orta kapasitelidir.

### **2.3.3. Metro sistemi**

Dünyadaki birçok metropolde kentiçi ulaşımın omurgasını oluşturan metrolar gelişmiş ve çağdaş sistemlerdir. Ayrıca yolculuk sayıları yüksek kapasiteye sahiptir. Diğer toplu taşıma sistemleri tarafından beslenmesi gereklidir. Bunun yanında değişik hatlar arasında aktarma istasyonları yapılması yolculuk sayısını artırır. Kentteki önemli yapılar ve yerlerle uyum diğer bir deyişle entegre olması proje aşamasında dikkat edilmesi gereken unsurlar içinde yer alır. Kent merkezlerinde yer üstünde yapılaşmanın getirdiği alan sıkıntısı vardır. Bu nedenle, yeraltında kendi özel yolunda hızlı hareket etmesi düşünülerek yapılırlar.

Metrolar ve hafif raylı sistemler yollardaki trafik tıkanıklığına çözüm getirdiği gibi, öbür taşıma türlerinin sınırlı olduğu kentlerde ulaşım sorunun çözümüne de yardımcı olur. Günümüzde metronun bir vagonunda 250-400 kişi taşınabilmektedir. Aynı sayıda insanı karayolu ile taşımak için yaklaşık 6 otobüs ya da 100 otomobil gereklidir(Ana Britanica 1989).

Metro gibi büyük bir yatırımın giderlerini, satılacak metro biletlerinin geliriyle kısa sürede karşılama olanağı olmadığından, metro yapımı için gerekli parayı genellikle

hükümet ya da kent belediyesi sağlar. Bir kentte metro yapılması planlanırken, kentteki nüfus artışı, araba sayısı, insanların boş zamanlarını değerlendirme ve yolculuk alışkanlıkları, kentin cazibe ve iş merkezleri gibi etkenler de göz önüne alınır. Ayrıca metro sisteminin, kentler arası trenlerle, banliyö trenleriyle, karayolu, denizyolu ve havayolu ulaşım sistemleriyle bağlantısı da sağlanır. En başarılı modern metro sistemlerinde birbirine yakın istasyonlar arasında kısa aralıklarla hızlı trenler çalışır

**Tablo 2.1** Tramvay, Hafif Raylı ve Metronun Genel Özellikleri (Tunç 2007)

ÖZELLİK	TRAMVAY	HAFİF RAYLI	METRO
İSTASYON BOYU	En fazla 60 m	100 m civarında	200 m civarında
ARAÇ GENİŞLİĞİ	2200mm-2650mm	Genellikle 2650 mm	2650 mm- 3050 mm
RAY TİPİ	Rİ59 veya Rİ60 oluklu ray	S46 Vinyol (patenli) Ray	S49,UIC4 veya UIC60 Vinyol (patenli) ray
ENERJİ TEMİNİ	Katener	Katener,rijit katener veya 3.ray (bkz.bölüm 3.1)	Katener,rijit katener veya 3.ray
AKIM	750 volt DC	750 DC veya 1500 DC	750DC,1500DC veya 3000 DC
TİCARİ HIZ	18-20 km/saat	42-45 km/saat	42-48 km/saat
MAX.SEYİR HIZI	40 km/saat	80 km/saat	90 km/saat
SAATTEKİ MAX. YOLCU TAŞIMA	15.000 yolcu / yön	35.000 yolcu / yön	70.000 yolcu / yön
ARAÇ UZUNLUĞU	14 m- 20 m	20m – 33m	15m-23m
DURAK ARALIĞI	300m -500m	600m-1000m	1000m-1500m
MALİYET (İstanbul için km)	5-10 milyon dolar	15-20 milyon dolar	35-55 milyon dolar

### 3. METRO SİSTEMLERİ

Yeni yapılacak metro sistemlerinin kurulmasını üstlenmek konusunda uluslararası bir rekabet olmasına ve büyük taşımacılık şirketlerinin projelerini satmak için dış pazarlarda birbiriyle yarışmalarına karşın, sürekli ve bedava bilgi alışverişi dünyadaki bütün metroların yapım tekniklerinin ve işletme yöntemlerinin temelde aynı olması sonucunu doğurmuştur.

Modern sistemler genellikle iki demiryolu rayına paralel olarak uzanan bir enerji rayından alınan 625-825 voltluk doğru akımla çalışır. Ama bazı sistemlerde trenin üstünden geçen tellerden alınan 1.500 voltluk akım kullanılır. En gelişmiş sistemlerde elektrik enerjisi, enerji rayının üstünden değil altından alınır. Rayın üstünün ve yanlarının plastik kaplanarak yalıtılmasına olanak veren bu sistem hem daha güvenlidir, hem de kışın buzlanmadan doğabilecek sorunları azaltır.

Bazı çağdaş hatlardaki sürücüsüz otomatik trenlerin hareketi, trenlere yerleştirilen ve merkezi bir bilgisayara bağlı olan bilgisayarlarla denetlenir. Ama öbür metro sistemlerinin çoğundaki trenler sürücülüdür.

Metro trenlerinde kullanılan hareketli parçalar sağlam, ama az enerji tüketimine ve çabuk hızlanmaya olanak verecek kadar hafiftir. Vagonlar genellikle kaynaklanmış çelikten ya da çelik ve alüminyumdan yapılır. İç bölümlerinin yapımında ateşe dayanıklı maddeler kullanılır. Bir ya da iki bölümlü olan yolcu vagonları motorlu değildir. Hareketi sağlayan çekici birimler elektronik olarak denetlenen elektrik motorlarıyla donatılmıştır. Modern metro trenlerinde iki fren sistemi bulunur; bunlardan biri diskli frenler, öbürü de motorun içindeki elektromagnetik kuvvetlerle çalışan reostal frenlerdir. Metroların hızı saatte 30 km ile 80 km arasında değişir (Garip 1997).

Metro sistemlerinin en iyi güvenlik koşulları ve gelişmiş teknik özelliklerle donatılmış olmasının yanı sıra yolcular için çekici olmasına da çalışılır. Bu amaçla çağdaş metro sistemlerinde temiz ve iyi aydınlatılmış istasyonlar ile rahat koltuklu, havalandırılmalı yolcu vagonları yapımına yönelinmiştir.

### 3.1. Metro Sistemlerinde Tanım ve Kavramlar

İstasyon, raylı taşıma sistemini kullanan yolcuların, taşıma aracını beklediği, araca inip bindiği, yeraltı veya yer üstünde kurulan tesistir (TS 12127 1997).

Yeraltında tesis edilen istasyonlar gerek mekânsal içerik gerekse donanım olarak çok daha geniş bir yapıya sahiptirler ve hemen hemen bütün öğeleri yeraltında olan istasyondur.

Hat, raylı ulaşım sisteminde demir tekerlekli taşıtların (tren v.b.), üzerinde hareket ettiği; raylar ve rayları traverslerle birbirine bağlayan bağlantı malzemelerinin teşkil ettiği özel bir yoldur (TS 12127 1997).

Güzergah, büyük bir çoğunluğu yeraltından giden metrolar için hattın sürekliliği esasına dayalı istikamettir. Kurp, alıymnan, dever gibi bileşenlerin standartları çerçevesinde oluşturulurlar. Yolcuların en yüksek kullanımının olduğu alanlardan geçmesi gerekmektedir.

DLH Hafif Raylı Sistem Kriterlerinde; alıymnan, kurp ve dever aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır :

Alıymnan, doğrusal olarak ilerleyen hatta verilen isimdir. İstasyondan önce ve sonra en az 25 m kadarlık hat alıymnan olacak şekilde planlanmalıdır.

Kurp, hatların dairesel olarak geçmesine verilen isimdir. Minimum 230 m yarıçap olacak şekilde planlanmalıdır. Kurplarda istasyonun planlanması istenmeyen bir durumdur. Zorunlu hallerde inşa edilmesi durumunda minimum kurp yarıçapı 600 m olmalıdır.

Dever, kurplarda merkez kuvvetinin savurma etkisini elimine etmek amacıyla iki ray arasında oluşturulan kot farkı dever olarak adlandırılmaktadır.

Metro sistemlerinde enerji besleme katener, rijit katener veya 3.ray sistemi ile sağlanır.

Katener sistemi :Trafodan aldığı enerjiyi teller aracılığı ile araca ileten sisteme denir.

Rijit katener sistemi: Raylı sistemlerde enerji besleme sistemlerinden katener sisteminin tünellerde kullanılan versiyonudur.

3.ray sistemi: Araçların enerjisini alttan 3. bir raydan alması sistemidir

### **3.2.Metro İstasyonlarının Tasarımı**

Metro istasyonları tasarımı belirli bir organizasyonu gerektiren sistemlerdir. Bu organizasyondan dolayı çeşitli meslek gruplarının bir arada çalışmalarını gerektirir.

Metro istasyonları için önce güzergah etüdü yapılr. Yoğun yolculuk talebinin olduğu yerler ile insanların rağbet ettiği yerler göz önünde bulundurularak güzergah alternatifleri geliştirilir. Bu alternatifler geliştirilirken diğer toplu taşıma sistemleriyle entegre olacak şekilde güzergahlar şehrin bütünü ile ilişkisi de ele alınacak şekilde düzenlenir. Alınan projeksiyon yılına göre yolculuk tahminleri pik saatte her istasyon için inen ve binen yolcu sayıları belirlenerek, güzergah alternatifleri içinde en çok işleyen hat seçilir. Yeraltından gidecek olan metro güzergahında güzergah planı ve güzergah profili bir arada karşılıklı olarak çizilir. Plan çizilirken önemli olan metro trenin kurplarda uyumlu hareketini sağlaması göz önünde bulundurulması gerekir. Minimum kurp çapının 230 m olması sağlanmalıdır. Aliyman olarak tariflenen doğrusal güzergahlar ile kurpların uyumlu olması gerekmektedir. İstasyon peronları da hem güvenlik açısından hem de metro treninin hareketi açısından alinymanlarda yer alması gerekmektedir. Metro treninin tekerleği ile rayın metal olmasından dolayı sürtünme az olmaktadır. Trenin hareket standartları olup, ancak optimum iniş ve çıkış eğimi % 4 olmalıdır. Bu nedenle güzergah profili hazırlanırken standartlara dikkat edilmelidir. Ayrıca bazı istasyonlarda özellikle uç istasyonlarda “makas” yapılması trenin yön değiştirmesi bakımından gerekmektedir. Standartlara göre yaklaşık olarak her 5 km de bir makas yapılması gerekir. Makas eğer aç-kapa yapılıyorsa, makas ile zemin arasında kalan alan da değerlendirilerek, işlev verilebilir. Ayrıca “kuyruk hattı” veya diğer bir deyişle “geceleme hattı” uluslararası standarta göre de yaklaşık 8 km’de bir yapılması gerekir. Arızalanan trenin beklemesi için yapılması gereken özel hattır. Bu durumda kenar peronlu istasyon ortaya çıkabilir. Güzergah yeraltından gittiği için arazi yapısı da güzergahın şekillenmesinde başlıca unsurlardan biridir. Yerin oldukça altından giden hat başka bir yerde viyadükten de gidebilir. Bunun yanında zemin etüdülerinin de yapılması gerekmektedir. İnşaat tekniği olarak “aç-kapa” ve “delme tünel” yöntemleri

vardır. Zemin yapısı kaya gibi sert ve dayanıklı ise delme tünel yöntemi seçilerek uygulanır. Eğer yer üstünde yapılaşma için açık alan var ise açkapa yöntemi tercih edilir. İstasyonlar yaklaşık olarak 1 km aralarla yerleri belirlenmelidir. İstasyon tasarımında ilk önce tespit edilmesi gereken istasyon girişleri olmalıdır. Çünkü yapının biçimlenmesinde belirleyici unsurdur. Giriş yapıları yaya sirkülasyonunun yoğun olduğu yerlerde planlanır. İstanbul gibi yapılaşmanın yoğun olduğu yerlerde girişler refüjlere ve kaldırımların ortasına gelebilmektedir. Bu açıdan girişi istasyona bağlayan uzun yaya tünelleri ortaya çıkabilir. İstasyon tasarımda tespit edilmesi gereken unsurlardan biride malzeme ve havalandırma şaftlarının yerleridir (Tunç 2007).

İstasyonların tasarımında; maksimum güvenliğin, minimum yapım ve işletme maliyetinin ve optimum konfor düzeyinin sağlanması amaçlanmalıdır. İstasyonlar, bölge insanların yolculuk alışkanlıklarına en yakın yerlere yolcu erişimlerinin, talebi en iyi karşılayabileceği yerlerde yapılmalıdır.

Hat tasarım standartları oluşturulurken, fiziksel kısıtlardan doğan teknik gerekliliklerin yanı sıra yolcu konforu da dikkate alınmalıdır. Birbirini takip eden kurbullar arasındaki aliyman boyları, en düşük kurb yarıçapları ve uygulanan dever miktarları yolcu konforunu mümkün olduğunca en az etkileyecek şekilde tasarlanmalıdır(Tunç 2007).

İBB metro tasarım kriterlerinde yolculuk konforu, normal işletmelerde uzun süreli ivmelenme değeri max.  $1 \text{ m/s}^2$  ve sarsma (jerk) değeri max.  $1,1 \text{ m/s}^3$  alınmaktadır.

Hatlar arası mesafe hatlar çift tüp tünel kavramına göre projelendirilecekse tünel yapı güvenliği sınır değerleri, tek tüp veya havai yapı veya hemzemin olarak çift hat tasarlanacaksa araç gabarisi ve yapı açıklıkları dikkate alınarak hesaplanmalıdır.

İstasyonların maliyetinin azaltılması nihai amaçlardan biri olduğu için, tasarım sırasında istasyon içindeki mekanlar için, optimum alanlar oluşturulmalıdır.

İstasyonları yerlerinin seçiminde birçok faktör gözönüne alınmaktadır. Bunlar aşağıda sıralanmıştır:

- İstasyonların, güzergah üzerindeki en yoğun yerleşim, iş, eğitim, sağlık merkezlerinde planlanması.



- Yolcuların düşey erişimini kolay ve hızlıca sağlamak ve maliyeti düşürmek amacıyla yeraltı istasyon derinliğinin azaltılması.
- Diğer toplu taşıma sistemleriyle (tramvay, otobüs, minibüs) entegrasyon
- İstasyon ara mesafelerinin 0.8 - 1.2 km arasında tutulması
- İstasyon inşaat metodunun zemin şartlarına göre belirlenmesi

Yeraltı istasyonlarının inşaatında, istasyon derinliği, istasyonun konumu veya diğer bazı fiziksel kısıtlar göz önüne alınarak inşaat metodu aç kapa ve/veya delme tünel olabilir. Yapım ve işletme maliyetini azaltan seçenek tercih edilmelidir.

#### *İstasyon İçi Düzenlemesi:*

Bütün istasyonların genel alan dizaynı, estetik açıdan tatmin edici ve bu alanların istasyon olarak kolayca belirlenmesini sağlayacak nitelikte olmalı.

Ayrıca her istasyon, bulunduğu çevre, yakındaki kalıcı yapılar veya planlanan geliştirmeler ve içinde bulunduğu semt ile uyum halinde olmalıdır. Renk, doku ve malzeme seçiminde bu ilişkilerin göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Kullanışlı oldukları sürece, özel ve kalıcı topografik unsurlar ile çevrenin kültürel ve tarihi özellikleri dizayna dahil edilmelidir.

İstasyon kompleksinin belli başlı unsurları şunlardır:

- İstasyon girişi
- İstasyon konkorsu(Ücretsiz alan, Ücret Toplama ( Bilet gişesi) Ücretli alan, İşletme odaları (Güvenlik odası ve İstasyon kumanda odası)Bay/Bayan WC (Ücretli alan içinde) Elektro-mekanik Alanlar (Havalandırma ve Elektrik Odaları)
- Yatay ve Düşey Dolaşım Tesisleri
- Peronlar
- Yardımcı Mekanlar (İdari+Teknik+Ticari)

Konkors (insanların toplanma veya geçişleri için planlanmış açık geniş bölge) yapısında elektro-mekanik mekanlar için ihtiyaca göre tasarım yapılmalıdır. Her istasyonda iki adet tünel havalandırma fanı odası ve gerekli alan kadar havalandırma şaftları, en az bir adet egzoz temizleme fanı odası, en az bir adet taze havalandırma fanı odası ve gerekli alan kadar havalandırma şaftlarının tesis edilmesi düşünülmelidir.

Ayrıca istasyonların ihtiyacına göre yardımcı tesisler trafosu, hattın cer gücünün temin edeceği cer trafosu ve diğer ekipmanlar için elektrik odası tesis edilmelidir.

Peron alanları TS 12127'e göre kişi başına 0.50 m<sup>2</sup>-0.75 m<sup>2</sup> olmalı. İBB metro tasarım kriterinde; acil durumlar için kişi başına düşen miktar 0.37 m<sup>2</sup> alınmaktadır.

Yolcu akımında gereksiz ve şaşırtıcı dönüşler yapılmasından kaçınılmalı, takip edilecek yönler açıkça belirtilmelidir. Dizaynda mümkün olduğu kadar çıkmaz koridorlardan kaçınılmalıdır. Genel de dolaşım şekilleri ve istasyonların planları, yolcuların her an nerede olduklarını ve nereye gittiklerini bilmelerini sağlayacak şekilde olmalıdır. İstasyonun her yerindeki dolaşım dizaynı, yaşlı ve sakat kimselerin gidecekleri yere kolayca varmalarını sağlayacak şekilde yapılmalı. Bu amaç için, özel ışık, ses, renk ve yönlendirici kenarlar gibi unsurların kullanımı dikkate alınmalıdır.

Konkors alanı, yolcuların ücretsiz alana girmelerini sağlamak, ancak ücretli kısma geçişlerini de kontrol etmek üzere dizayn edilir. Çıkan yolcularda aynı alanı kullanacaklarından, yoğun saatlerde izdihama meydan vermemek için konkors alanının yeterli genişlikte olması sağlanmalıdır.

#### *Diğer Toplu Taşıma Sistemleri İle Entegrasyon*

Toplu taşıma sistemleri planlanmasında dikkat edilecek en önemli kriterlerden biri de planlanan sistemin o bölge halkının yolculuk talebi olan diğer sistemlerle entegrasyonun sağlanması gerekir. Bu yolcu entegrasyonun verimli olabilmesi için sistem tasarımı sırasında gereken kriterler aşağıda belirtilmiştir.

- Tasarımı yapılan sistemin istasyonu, entegre olunacak toplu taşıma sistemi istasyonuna / durağına / iskelesine kısa sürede ulaşabilmesi için yürüme mesafesi yakınlığında olmalıdır. ( Maksimum 500m )
- İki sistem arasında rahat bir yaya sirkülasyonu imkanı sağlanmalıdır.
- İki farklı toplu taşıma işletmesi arasındaki yolcu entegrasyonu sağlanması sırasında gerekebilecek işletme mekanlarına ve ekipmanlarına yeterli alan, sistem içinde tesis edilmelidir.

Yeraltı yapılarında havalandırma ve fan bacalarının bulunduğu yerlerde ve diğer gereken noktalarda yeryüzü ile temas sağlayacak giriş ve çıkışlar yapılır. Sistemde en çok 400 m de bir giriş veya çıkış bulunmalı. Acil çıkış sayılabilmesi için tüm geçitler ve

merdiven boşluklarının duvarları, minimum iki saat yangına dayanabilecek malzemeden yapılmalı. Yangın çıkışlarında merdivenler beton veya çelik olabilir. Merdiven genişlikleri, merdiven basamak yükseklikleri sahanlıklar, trabzanlar, ve aydınlatma yerel kodlara ve NFPA 130'a uygun olmalıdır.(Anonim 2006)

Yangın çıkış kapıları içeriden kilitlenmeyecek, dışarıdan da (zemin yüzey seviyesinde) anahtarla açılarak girilebilmeli. Yangın çıkışlarının geçit ve merdiven bölümlerinde trabzan bulunmalıdır. Yangın çıkış sisteminin bünyesinde kapı bulunması halinde, bu kapılar dışa doğru açılmalı. Kapıların kullanılabilen genişlikleri ve yükseklikleri yerel kodlara uygun olmalı. Kapılar yangına dayanıklı olacak ve panik halinde kolayca açılacak donanımı içermeli.

Hattın yağışa açık olduğu yerlerdeki drenaj elemanlarının ve kafa hendeklerinin boyutlandırılmasında 100 yıl tekerrürlü yağış şiddeti dikkate alınacak ve bu yağışta suyun rayların üzerinden aşmaması sağlanacak, konu ile ilgili hidrolik tahkikler yapılır. Hat içi hidrolik hesaplarda boru veya açık kanalların boyutlandırılmasında 100 yıl tekerrürlü yağış şiddeti dikkate alınması tavsiye edilmektedir. Hat içine gelen yağmur suyu, yangın suyu, yıkama suyu ve tünellerdeki sızma suyu debileri toplanarak yapılan hidrolik hesaplarda, suların rayların üzerinden aşmaması sağlanır.

Hatta doğru gelen veya paralel giden dere veya su yataklarının hattı tehdit edici bir pozisyonları varsa buralarda teşkil edilecek drenaj elemanları 500 yıl tekerrürlü yağış şiddetine göre boyutlandırılması tavsiye edilmektedir(Anonim 2006).

Sistemde depo ve bakım atölyeleri planlanmalıdır. Depo ile bakım atölyelerinin ana görevi, metro işletmesinin desteği, metro araçlarının bakımı ve işletim sistemi ile yardımcı tesislerinin bakımını sağlamaktır.

Depo ve bakım atölyelerinin tasarımında, aşağıdaki hususlar göz önünde bulundurulur.

- Metro araçlarının tasarımı
- İşletme şartları
- Vagon ve sabit tesislerin bakım şartları
- Bakım atölyeleri, hat boyu bakımı ve sabit tesislerin ekipman ihtiyacı

- Metro trenleri operatörleri, bakım atölye işçileri ve depo alanı işçileri için personel ihtiyaçları
- Ekipman ve personelin saha içinde emniyetli ve hızlı bir şekilde taşınabilmesi.

### 3.3.Tünel tasarımı

Yapılacak tünelin üzerindeki zemin kalınlığı en az o tünelin çapı kadar olmalıdır. Genelde aşırı yüklenme (mad-örtü), en az bir kat tünel çapında, makul yoğunluk ve katlıktaki maddeden yapılmış (Young's modülleri) tünel çatısının üzerinde olmalıdır. Ayrıca inşa nedenlerinden dolayı, tünelin dikey güzergahı, mümkün oldukça, farklı zemin katmanlarını kesmekten sakınılmalıdır. Örneğin, eğer güzergah geçirimsiz bir katmanın yanından geçirimli, su yatağı katmanına doğru yükselir ise inşa boyunca bir problem olabilir. Dahası, eğer güzergah farklı sertlikteki (rijitlikteki) farklı tabakalar etrafında salınım yapıyor (kararsızlık gösteriyor) ise bu problem olacaktır. TBM (Tünel Boring Machine/ Tünel Açma Makinası)'ler, eğer gevşek tabakalardan, çok katı ya da rijit tabakalara dalarsa ve bunun tersi içinde durum aynıdır, zor kumanda edilirler(Anonim 2007).

Bölge insanların yolculuk taleplerini, istekleri oranında karşılayabilmek için istasyon derinliklerinin minimum olmasına dikkat edilmelidir. İşletme ve bakım maliyetlerinin minimum olduğu, derinliği sığ olan istasyonlar tercih edilmelidir.

Genellikle, hat tüneli imalatı için iki tür imalat şekli vardır. Tek hat için olan her iki tünel de, çift tüp olarak iç çapı minimum 5.7 m olan TBM'le açılır ya da her iki hat bir tüpün içine, 9.2 m civarındaki bir alan içinde minimum çapla TBM'e yerleştirilir. Çaplar, araç gabarisine göre belirlenir (Anonim 2007).

Kablo kanalları, yangın ana boruları ve diğer faydalıların düzenlemesi, ikiz tünel ya da çift hatlı tünel olma durumuna göre farklı usuller ile ele alınmalıdır. TBM ile kazılmış çift hatlı tünel olma durumunda, hattın altında kablo ve diğer ekipman kanallarının yerleştirilmesi için yeterli boşluk olmalıdır.

Minimize edilmiş tek hatlı tünel en kesitlerinde, ayrılmış bir kablo kanalı düzenlemek zordur. Bu nedenle, dairesel biçimli tek hatlarda genel uygulama, kabloları ya yan duvarlara ya da eğer mevcutsa bir tür yürüme yolunun altına yerleştirilmelidir. Eğer işletme, ayrılmış kanallar ve oldukça konforlu yürüme yolları talep ederse tünel çapını bu sebepten dolayı artırmak gerekebilir.

Dolayısıyla Şu açık ki, güvenlik kavramı ve işletme gereksinimleri, tip en kesitleri üzerinde muazzam bir etkiye sahiptir.

Tünel en kesit tasarımı aşağıdaki parametrelerden etkilenir:

- Demiryolu aracının tipi
- Demiryolu aracının geometrisi (ray açıklığı ayrıca boji mesafesine ve kurb yarıçapına bağlıdır)
- Trenin hızı ve yolun meyili
- Hat tipi (balastlı ya da doğrudan tespitli )
- Tren güç beslemesi
- Güvenlik yaklaŐımları-yürüme yolu tertipleri

Sonuç olarak, yukarıda bahsi geçenlerle ilgili olarak karar vermiŐ olmak, ön tasarım aşamasında çok önemlidir. İlave iş ve gider oluŐturmaksızın kararlar sonradan deėiŐtirilemezler. Demiryolu araç tipinin kararı, inşa işleri için yapım iÇinden önce verilmelidir. Araç tipindeki bir değişim, muhtemelen tünel çapını deėiŐtirecek ve bu da yeraltı yapıları için pek çok tasarım iÇi demektir. Yürüme yolları gereksinimi ve gereçlerin uygulanması için lüzumlu boŐluklar, sinyalizasyon ve diğer tünel ekipmanları bu paralellikte ele alınmalıdır.

### **3.3.1.Tünel havalandırma sistemi**

Dik tepeler ve zemin kotundan aşağıdaki oldukça derin profil olması durumunda, istasyonlar arası havalandırma Şaftlarının düzenlenmesinde zorluk çıkarmaktadır.

Bir yönde iŐletilen tek hatlı tüneller için, tren piston etkisi yeterli bir havalandırma sağlamaktadır. Bu istasyonlar arası havalandırma Őaftlarını gereksiz kılar. Diğer taraftan, platform sonlarında her iki tüpün arasındaki istasyon aç kapa yapısına ya da bağlantı tünellerine bitiŐik olan basınç geniŐleme Şaftları, platformdaki yüksek hava hızını engellemesi bakımından tavsiye edilmektedir.

Parçalı kazılı platform tünelleri söz konusu olduğunda, ilave havalandırma Şaftlarının, doğrudan platform sonlarına daldırılabilirliği ya da havalandırma kanallarının, dikey hava akıŐının zemin kotuna kadar elde edilebildiği yerlerde, merkezi Őafta doğru yerleŐtirilebilirliėi kontrol edilmelidir.

Epeyce geniş alanı ve kendine ait iki-yönlü trafiği olmasıyla çift hatlı tek tüp tüneller piston etkisini azaltmaktadır. Bunun için, basınç düşürmeye gerek olmayacaktır. Fakat, sonraki tasarım aşamalarında bu tür bir tünel tipi tercih edilmesi durumunda mekanik tünel havalandırmasına gerek olup olmadığı incelenmelidir.

### 3.2.2.2 Tünel tipi tercihi

Öncelikle aracın hatta tek tüp veya iki tüp içinde mi yol alacağını belirlenmesi gerekir. Tek tüp ve çift tüp tünellerin genel özellikleri şunlardır;

#### *Tek tüp çift hat tüneller*

- Daha düşük yatırım maliyet
- Geniş kesit alanı
- Tahliye için daha fazla zaman
- Önceden kestirilemeyen havalandırma yönü
- Uzun kaçış yolu
- Araçların raydan çıkması durumunda karşı hattan gelen trenle çarpışma riski

#### *Çift Tüp Tek hat Tüneller*

- Öngörülebilir havalandırma
- Kısa kaçış mesafesi
- Hatların tamamen ayrı olması
- Kötü zemine uygunluk
- Zemine daha yakın imalat
- Daha yüksek yatırım maliyeti
- Dar kesit
- Tahliye için daha az zaman

#### *Tüneller için uygulama örnekleri*

- Fransa- LGV Mediteranie ve marsilyayı kapsayan 7.8 km tünel tek tüp çift hat, Lyon ve Turin arasındaki yeni hat çift tüp tek hat.

- İngiltere- Channel Tunnel Rail link bir kaç tane tek tüp çift hat tünel içeriyor. Doğu Londra ve Thames bölgesindeki hatlar çift tüp tek hat tip tünellerden oluşuyor bağlantı mesafeleri ise 750m.
- İspanya-kapsamlı bir hızlı tren inşaatı programına sahiptir. Bazı çok uzun tüneller içeren hatlarda;
  - a) Guadarrama bölgesi (28.4 km çift tüp tek hat)
  - b) Avusturya Pajares Pass bağlantısı (25 km çift tüp tek hat)
  - c) Yüksek Hızlı tren hatlarında daha kısa tünellerde de çift tüp tek hat tipi tercih edilmiştir.
  - d) Kısa metro hatları tek tüp çift hat tünel tercih edilmiştir.
- İsviçre-Tünel modeli seçimi trafik düzeyine, uzunluğuna, zemin şartlarına ve ekonomik sebeplere dayandırılarak yapılmaktadır. Tek tüp çift hat tüneller yatırım maliyeti dolayısıyla tercih edilmektedir. Alplerdeki çift tüp tek hat olan Gotthard ve Löschberg tünelleri hariç.

Değişik ülkelerde çeşitli kullanımlar sözkonusu olduğu ve daha çok maliyete dayalı seçimler yapıldığı görülüyor. Tek tüp çift hat tüneller daha çok kısa hatlarda tercih edilmiş, çift tüp tüneller uzun hatlarda özellikle güvenliğin zor sağlanabileceği düşünülen hatlarda tercih edilmiş.

Raylı sistem tünellerinde tipik riskler;

- Yangın
- Çökme
- Çarpışma
- Raydan çıkma (derayman)dır.

Sonuç olarak ;

- Geçmişteki kaza tecrübeleri hangi tipin daha iyi sonuçlar verdiğini yeterli netlikte göstermemektedir
- En şiddetli kazaların bir kaçı dar kesitli tünellerde meydana önem arz etmektedir.
- Tren tahliye zamanını iyileştirecek önemler arz etmektedir.
- Çift tüp tüneller uzun hatlarda güvenlik açısından tercih edilmelidir.

Yukarıda anlatılan kriterlere göre çift tüp tünel sisteminin daha uygun olacağı görülmektedir.

### 3.3.3.Tünel açma işlemi

Tüneller, Tünel Delme Makinası ( TBM ) ve Yeni Avusturya Tünel Delme Metodu (NATM ) ile yapılmaktadır. TBM'in ileri hareketi montajı tamamlanmış kaplamanın ucundan destek alan pistonlar aracılığı ile sağlanmaktadır. Dolayısı ile, TBM'in sürüşü, özellikle bu bölgelerde deneyimli ve hünerli çalışanlarca yapılmalıdır.

TBM'in çalışması için tünel açma programında bir öğrenme süreci hesaba katılmalıdır. Ayrıca her bir başlangıç aktivitesi için TBM'in kurulma ve tekrar-kurulması işlemlerinde ek bir zamana ihtiyaç duyulacaktır. TBM istasyon bölgesini geçmeden önce, maliyet ve zaman kazanımı bakımından istasyon platform tünellerinin bitirilmif olması gerekmektedir. Ayrıca programa bakım vardiyalarını dahil etmek önemlidir.

Eğer aşağıda ifade edilen, önceden yapılması gerekli olanlar en azından yerine getirilirse,  nerilmif aşırı yükleme durumunda zemin kotunda hiç bir hasar beklenmemektedir.

- Tünel cephesi her zaman stabil olmalı veya edilmelidir.
- Uygun ilerleme olmaksızın, toprak işlenmemeli
- Makul imento harcı enjeksiyonu hem segment önlerine hem de sonlarına uygulanmalı

Yüzeysel aşırı yükleme olması durumunda, en baştan itibaren tünel açma boyunca bir  lme sistemi toprak hareketlerini kontrol etmelidir.

#### *TBM Tipi*

TBM tipi için yapılan tavsiyeler esasen makinanın maruz olacağı toprak ve kaya şartlarına dayanmaktadır. Kesme gereçleri her bir proje için bağımsız olarak tasarlanmalı ve kontrol edilmelidir. Su karşısında toprak davranışı ayrıca kontrol edilmelidir. Nihayetinde hafriyat, kesme yüzünden (cutting face) TBM'e ve hali hazırda zemin kotuna kadar kazılmış tünele ve hafriyat alanının ötesine kadar, tasarlanmalıdır. Detaylı bir toprak durumu incelemesinin TBM tedarikçisi tarafından yapılması ve tünel ekipmanlarının belirlenmesi, bir projede TBM tipi belirlenmeden önce gerekli bir



zorunluluktur. Bir hat için yapılmış zemin çalışmalarından gerekli doneler çıkarılabilir. Öncelikle, tabakalardaki toprak özelliklerinin ve değişimlerinin belirsizlik risk dağılımı iyi bir şekilde belirlenmelidir. Bununla beraber, seçilen güzergah boyunca temel parametrelerde mevcut olmalıdır. Bakım ve malzeme giderleri, tünel açma maliyetine farkedilir biçimde tesir edebilir.

Tünel açma türüne bağlı olarak kaya düşmesi riski, geoteknik uzmanlar tarafından değerlendirilmeli ya da tahmin edilmelidir. Her durumda, kuru hafriyat (mucking) tavsiye edilmektedir (Anonim 2006)

Ayrıca, TBM’de ilave uygulamalar (yüklemeler), faylardan gelebilecek su durumunda kesme odasını bloke edebilmek ya da toprak kaybına dayanabilmek için güvenlik sebeplerinden dolayı tavsiye edilmektedir.

### **3.3.4.Tünel kaplaması**

TBM tasarımı ve segmentli kaplama tasarımı, tünel inşaatı sırasında büyük problemlerin önüne geçebilmek için birbirine göre ayarlanmaktadır.

Oldukça basit su yalıtımıyla tek kabuk kaplaması, tünelin bir çok kesitinde yeterli bir çözüm olabilir. Bununla birlikte, NATM ile kazılan tünelin ilk kısımlarında yalıtımın neopran contalarca (neoprene gaskets) sağlanması gerekebilir.

Güzergah boyunca kısmen dar yarı çaplı bir çok kurb planlanacağından, uniform daralan ringlerin kullanılması tavsiye edilir. Segmentli ring öyle tasarlanmalıdır ki, TBM’in sürüleceği istikameti takip edebilmelidir. Tasarlanan güzergahtan TBM’in sapmalarını karşılayabilmek için doğrultma kurbaları hesaba alınmalıdır.

Segmentlerin uzunluğu, TBM’in ve segmentlerin daralması ve çapı birbiri ile uyumlu olmalıdır. Bu tür bir çap için genel uzunluk 1.0 ile 1.4 m aralığındadır. Tek kabuk kaplamalarında (single shell lining), 250 mm ile 300 mm aralığındaki segment kalınlığı bu çaplar için genellikle kullanılır. Segment kalınlığı, itme kuvvetlerinden kaynaklanan önemli hasarlardan kaçınmak için çok küçük alınmamalıdır. TBM’in tam olarak idare edilmesi de, tünel kaplamalarında iyi bir görüntü elde etmede çok gereklidir(Anonim 2006).

Segmentler ya çubuk takviyelerle ya da çelik fiberlerle güçlendirilmelidir. Çelik fiber uygulaması, bölgesel yapılabirliğe ve de çelik fiber takviyeli betonun ve segmentlerin üretimindeki lokal deneyime bağlıdır.

Merkezi ve radyal bağlantıların geçici olarak civatalanması da gerekmektedir. Dübelli eğrisel civatalar ya da doğrusal vidalar genel çözümlerdir. Komşu halkalar (adjacent rings), vida ya da civatalarla kalıcı olarak genellikle birleştirilmezler.

Eğer tek kabuk kaplaması uygulanırsa bağlantıların yalıtımı yapılmalıdır. Yalıtım biçimi, kıyı yakınındaki alüvyon içinde ilk kısımda ve tepelerdeki kaya formasyonunda farklı olabilir. Yalıtım malzemesinin, birçok kez ıslak ve kuru olma çevrimine (durumuna), şişme yeteneğini kaybetmeksizin dayanabilmesi gereklidir. Müsade edilebilir sızıntı oranı, güç besleme sisteminde verilen gerekliliklere de bağlı olacak şekilde belirlenmelidir.

## **4.METRO İSTASYON VE TÜNELLERİNDE HAVALANDIRMA SİSTEMİ TASARIMI**

Metro istasyonlarında elektrik enerjisi ile çalışan vagonların yaydığı ve iyi kontrol edilemeyen ısı enerjisi yolcular için konforsuz ortam yaratmanın yanı sıra ekipmanların ömrünü kısaltmakta, bakım-onarım gereksinimini artırmaktadır.

Sıcaklığa ilaveten, tünel tavanı ve duvarlarından sızan ve önlenemeyen zemin sularının neden olduğu nem, hava hızı, hava basınç değerlerindeki değişme de üzerinde durulması gereken diğer faktörlerdir.

Yolcu rahatlığı için çevresinin sıcaklığı, nemi, kokusu ve havalandırmanın neden olduğu hava akımının rahatsızlık vermeyecek düzeyde olası gerekir. Yolcuların konfor gereksinimleri dışında, istasyonda çalışan personelin ve ekipmanın gereksinimleri de ısıtma, havalandırma, klima tesisatı açısından üzerinde önemle durulması gereken diğer hususlardır.

Yine havalandırma tesisatı ile olası yangın durumunda; kaçış yollarındaki duman ve sıcaklık kontrolü sağlanır.

### **4.1.Tasarım Kriterleri**

Bir havalandırma sisteminin tasarımında ilk önemli adım, dış ortama ve tasarımı yapılacak sisteme ait iç şartların belirlenmesidir.

Raylı sistem istasyonlarının havalandırma tasarımında kullanılacak tüm kriterleri toplu olarak gösteren bir kaynak mevcut değildir. TS2164, TS 3419, TS 12127, ASHRAE, NFPA Standartlarından yararlanarak hazırlanan ve ülkemizdeki bazı raylı sistem yer altı istasyonları tasarımlarında kullanılan veriler mevcuttur.

#### **4.1.1.Dış ortam şartları**

Dış ortam şartları en soğuk ve en sıcak aylara ait ortalama sıcaklık dağılımından yararlanılarak tespit edilir.

Tasarım aşamasında doruk saatlerdeki ortam şartları da dikkate alınmalıdır.

#### 4.1.2.İç ortam şartları

##### 4.1.2.1.Sıcaklık ve nem

İstasyon içinde yolcunun konforu çeşitli parametrelere bağlıdır. Yolcunun konforu ortam sıcaklığına, hava hızına, nemine, yolcunun hareketlerine bağlıdır. Sıcaklığın, nemin, aktivitenin ve hava hızının yolcu konforu üzerindeki etkisi, ASHRAE tarafından açıklanan bir modele göre Bağlı Sıcaklı İndeksi (BSİ) ile tespit edilebilir.

Bağlı sıcaklık indeksi bu değişkenlerin yolcunun konforu üzerindeki etkilerini kısa zaman süreleri içinde tespit ettiğinden tasarım mühendisi bu verilere dayanarak en uygun istasyon tasarım sıcaklığını seçebilir. Seçilen bu sıcaklık yolcunun rejim halinde hissedeceği konfordan çok, anlık sürelerde hissettiği konfora dayandığı için daha gerçekçi bir sistem tasarımı yapmak da mümkündür.

Bir metro istasyonu için tasarım kriterlerinin tespitinde yolcuların içinde buldukları ortama kısa bir süre için maruz kalacakları dikkate alınmalıdır. Yolcuların taşıt aracı içinde kalma süreleri yolcu bünyesinin bu ortamda bir denge oluşturmasına yetecek kadar uzundur. Ayrıca yolcu dışarıda açık hava ortamından istasyona girdiği sırada açık hava ile bünyesel bir denge oluşturacak kadar uzun süre oluşur.

Yolcu konfor değerlendirilmesinde basınç değişimleri, kuru ve yaş termometre sıcaklıkları, ortalama yaygın ısı, hava hızları, metabolik değerler, kumaş yalıtımları ve yolcu konforunu etkileyebilecek diğer veriler elde edilir

Yolcunun aktivitesine bağlı olarak, giysilerin, toplam hava hızının, sıcaklığın ve bağlı nemin etkisi ile oluşan metabolik değişmeye göre hesaplanan BSİ değerleri yaz aylarında böyle bir geçiş ortamına ilişkin doğru bir fikir verecektir.

Klima tesisatı olmayan ve kuru termometre sıcaklığı 32 °C olan bir istasyonda bir yolcunun yaz günü BSİ değerleri aşağıdaki formülden hesaplanır.(Eskin 1993)

$$BSİ = \frac{Mx(I_c + I_a) + 3,58[(T_1 x 1,8) - 6I_a]}{234,3} \quad (4.1)$$

Bu formülde;

$I_c$  = Yolcunun giyiniklik durumuna bağlı parametre (Tablo 4.1)

$I_a$  = Ortamdaki hava akımına bağlı parametre (Tablo 4.2)

$T_1$  = Ortam sıcaklığını ( $^{\circ}\text{C}$ ) göstermektedir.

**Tablo 4.1** Yalıtım Parametresi ( $I_c$ )(SEDH 1985)

AKTİVİTE	$I_c$
1,2 m/s hızla yürürken	0,35
Durduktan 6 dk sonra (hava akımlı ortamda)	0,40
Durduktan 6 dk sonra (hava akımsız ortamda)	0,60

**Tablo 4.2** Havalandırma Etki Parametresi ( $I_a$ )(SEDH 1985)

AKTİVİTE	$I_a$
1,2 m/s hızla yürürken (rüzgar yönünde)	0,18
1,2 m/s hızla yürürken (rüzgara ters yönünde)	0,24
Durduktan hemen sonra (hava akımı varsa)	0,26
Durduktan hemen sonra (hava akımı yoksa)	0,32
Durduktan 6 dk sonra (hava akımı varsa)	0,40
Durduktan 6 dk sonra (hava akımı yoksa)	0,60
Otururken	0,54

BSİ insanların yaz şartları altında çevresindeki sıcaklığı algılaması bakımından fikir verir. BSİ 0 ile 0,5 arasında değişim gösterir ve 0,4 BSİ'de yolculardan %99'u daha serin bir ortam arzu ederken 0,1 BSİ'de yolculardan yaklaşık %10'u serin bir ortam ister (Eskin 1993)

İç ortam sıcaklıkları Tablo 4.3'de gösterildiği gibi alınabilir.

**Tablo 4.3** İstasyon Mahalleri ve Tünelde İç Ortam Sıcaklıkları (Özbakır 2007)

	Kış Sıcaklığı °C Min.	Yaz Sıcaklığı °C Max.
Platform	2	Dış hava +3
Konkors	2	Dış hava +3
Tüneller		
Normal İşletme	-	Dış hava +5
Sıkışık İşletme		45
Acil Durumlarda Çıkış Yollarında	60 (NFPA130)	60 (NFPA130)
Akü Odaları	15	40
Asansör Makine Daireleri	15	40
Yürüyen Merdiven Makine Odaları	15	40
Elektrik Odaları	15	40
Mekanik Alanlar	15	40

#### 4.1.2.2.Hava hızları

İstasyonlarda oluşan hava hızları tren hareketlerinden kaynaklanır. Trenin tünel içerisindeki hareketi “sızdıran bir piston”a benzer. Trenin hareketi ile trenin önünde ileri itilen havanın hızı tren hızına bağlıdır. Trenlerin hareketine bağlı olan istasyon ve tünellerdeki hava hızları sabit değildir ve istasyonların platformlarında geçici karakterli yüksek hava hızları meydana gelir. Genellikle normal işletme esnasında maksimum hava hızı 5 m/s olarak kabul edilmektedir. Tren zaman aralığı itibariyle ortalama hava hızı istasyon peronun rüzgar durumuna ilişkin diğer bir ölçüdür(Neccar 2007).

Tehlike hallerinde vantilatörlerin çalışması nedeniyle daha yüksek hava hızlarına müsaade edilebilir. Böyle durumlarda insanların tahliye edileceği geçidin herhangi bir noktasında hava hızı 11 m/s’den fazla olmamalıdır (Eralp 2003).

Tünel ve istasyonlardaki hava hızları Tablo 4.4’ de verilmiştir.

**Tablo 4.4.** Tünellerde ve İstasyonlardaki Hava Hızları (Neccar 2007)

Platform (yatay)	3.0 m/s ortalama 5.0 m/s max.
Merdiven ve yürüyen merdiven	1.8 m/s ortalama 2.5 m/s max.
Tüneller (tehlike hallerinde)	2.5 m/s ortalama 11.0 m/s max.
İstasyon girişi	6.0 m/s max.
Havalandırma bacaları	6.0 m/s ortalama 11.0 m/s max.
Kaldırım ızgaraları	2.5 m/s ortalama 5.0 m/s max.
Kaldırımdan 3 m ve daha yüksekte menfezler	5.0 m/s ortalama 8.0 m/s max.

#### 4.1.2.3 Hava kalitesi ve hava değişim katsayıları

Havada bulunan partikül maddenin insan sağlığına olumsuz etkisi vardır. Partikül maddenin metrolardaki başlıca kaynakları, raylar üzerinde tekerleklerin sürtünme ve fren yapması gibi raylarda aşınmaya sebep olan hareketler, yolcuların peron içindeki hareketleri ve dış ortamda trafikten kaynaklanan partiküllerin havalandırma esnasında metro tünellerine girmesidir

İBB metro tasarım kriterlerinde istenen, hava kalitesine ait maksimum değerler Tablo 4.5' de verilmiştir.

**Tablo 4.5** İstasyonda Hava Kalitesi (Anonim 2006)

Min.kişi başına alınacak taze hava miktarı	0.005 m <sup>3</sup> /s
Karbonmonoksit (CO)	50 ppm max.
Nitrojenoksit (NO)	5 ppm max.
Havadaki Asılı Partiküller	5 mg/m <sup>3</sup> max.
Nitrojendioksit (NO <sub>2</sub> )	800 µg/m <sup>3</sup>

ppm : milyonda parça sayısı

Metrolarda normal ve yangın durumunda sağlanması gereken hava değişimleri NFPA ve ASHARE standartları ile belirlenmiş ve Tablo 4.6'da verilmiştir.

**Tablo 4.6** Hava Değişim Katsayıları (n) (Özbakır 2007)

WC, Temizlik Odası	10 değ/h
Drenaj Pompa Odası	2 değ/h
Elektrik Odası	2 değ/h
İstasyon Kontrol Odası	2 değ/h
Platform ve İstasyon Holü	6-8 değ/h (ASHRAE Handbook 1991
İstasyon Holü (yangında)	10 değ/h (NFPA 204M 92A-92B
Acil Çıkış Merdiveni	15 değ/h (NFPA 204M 92A-92B
Asansör Boşluğu	15 değ/h (NFPA 204M 92A-92B)
Asansör Makine Dairesi	10 değ/h (Makina yüklerine göre)
Elektrik ve CER Gücü	2 değ/h (Kış Aylarında)
Akü Odası	2 değ/h (Kış Aylarında)
Bilet Gişeleri	100m <sup>3</sup> /h
Peron Altı	10 değ/h (ASHRAE Handbook 1991 Baskısı)



#### 4.1.2.4.Gürültü

Kent içi raylı sistemlerin en önemli çevresel etkilerinden biride gürültüdür. Demiryollarında tekerleğin ray üstünde yuvarlanmasından, darbe etkilerinden ve tekerlek düzleşmesi gibi ray-tekerlek yüzey pürüzlerinden dolayı gürültü meydana gelmektedir. Hem taşıt içindeki yolcuların hem de çevre sakinleri için rahatsız edici seviyedeki demiryolu gürültüsünü azaltmak için, işletme kurumlarının bir takım önlemler alması gereklidir. Bu önlemlerde öncelik yasal mevzuat ve standartların sınır değerlerini sağlamak hedeflenmelidir. Gürültü için standartlar her ülke için farklıdır. Ülkemiz de, hava ile iletilen gürültü 01.07.2005 tarih ve 25862 sayılı resmi gazetede yayımlanan Çevresel Gürültü Değerlendirmesi ve Yönetimi Yönetmeliği'ne göre raylı sistemler için çevresel gürültü düzeyi gündüz(07:00-19:00) 65 dBA ve gece (23:00-7:00) 55 dBA'yı geçmemelidir mevzuatı uygulanmaktadır.

İstanbul Büyükşehir Belediyesi metro tasarım kriterleri çerçevesinde çevre kontrol sistemi tesisatından kaynaklanan gürültü seviyelerinin Tablo 4.7' de verilen seviyeleri geçmemesini istemektedir.

**Tablo 4.7.** İstasyonda Gürültü Seviyeleri (Anonim 2007)

İstasyon konkors (bilet holü) ve platform (peron), Personel odalarında	55 dBA
Tehlike ve sıkışık trafik hallerinde ,havalandırma bacalarından 10 m mesafede platformda ve satıhdaki ölçümde	85 dBA
Normal şartlarda, havalandırma bacalarından 10 m mesafede ve satıhdaki ölçümler de	85 dBA
Konut bölgelerinde	50 dBA
Konut dışı bölgelerde	60 dBA
Endüstri kesiminde	65 dBA

## 4.2.Tasarım Sistemleri

İstasyonların ve tünellerin ortam şartlarını düzenleyen sistemlere ilişkin sistem tasarımı şu bölümlerden oluşmalıdır.

1. Yolcuya açık alanları havalandırma sistemi
2. Yardımcı alanlar havalandırma sistemi
3. Platform altı kirli hava egzost sistemi
4. Tünel havalandırma sistemi

### 4.2.1.Yolcuya açık alanları havalandırma sistemi

Peronlar, bilet holü ve ara katlardaki kontrollü ve kontrolsüz alanlar, iniş/çıkış merdivenleri ve geçitler bu başlık altında toplanabilir. Bu mahallerin ortak özelliği; vagonların yaydığı ısı ve partikül ile insanlardan ve aydınlatma tesisatından kaynaklanan ısı kazançlarının etkisindedir.

Bu mekânlar genellikle dış ortam havasının içeri alındığı ve iç ortam havasının dışarı atıldığı “doğal” yöntemle havalandırılmakta ve soğutulmaktadır. Yöntem trenlerin tünel içinde işletme sırasında yarattığı “piston etkisi” ne dayanmaktadır.

Genellikle istasyonların iki ucunda dış havaya açık ve yaklaşık tünel en kesit alanına sahip düşey şaftlar oluşturulmaktadır. İstasyona yaklaşan trenin önünde oluşan pozitif basınç; tünel ve istasyon içindeki sıcak ve kirli havayı yakın şaft, istasyon giriş/çıkışları ile diğer açıklıklardan dışarı atmaktadır. İstasyondan hareket eden trenin arkasında oluşan negatif basınç ise aynı açıklıklardan dış havanın içeri alınmasını sağlamaktadır.

Piston etkisi, tabii zeminin iki-üç kat altındaki peron mahallerini 5-6 dakika frekansla çalışan “normal işletme “ koşullarında yeterli hava gereksinmesini karşılayacak yeterliliktedir( Anonim 2006).

İşletme sorunları, tren gecikmeleri ve ani yolcu yığılmaları sonucunda “sıkışık işletme” durumu oluşabilir. Bu durumda trenler tünel içinde veya istasyonlarda, yolcularda tren içinde veya peronlarda kalabalık şekilde bekleyecektir. Bu koşullar havalandırma ve soğutma gereksinmesini sağlayacak piston etkisini büyük ölçüde

ortadan kaldıracaktır. Doğal havalandırmanın yetersizliği “ mekanik havalandırma” yı zorunlu kılacaktır.

İstasyonlarda “ acil durum işletmesi” ise genellikle tren yangınları sonucunda yolcuların güvenlikle tahliyelerini ve acil durum personelinin rahat müdahalesini sağlayabilmek amacıyla dumanın uzaklaştırılmasını kapsar. Dumanın uygun havalandırma shaftlarına yönlendirilmesi ve istasyon dışına atılması şüphesiz ki “mekanik havalandırma” yı tekrar gündeme getirmektedir.

Genel kabul gören tasarım yaklaşımına göre istasyonlarda “ sıkışık işletme” ve “ acil durum işletmesi” için iki ayrı mekanik havalandırma tesisatı yerine tek bir sistem kurulması daha ekonomik olacaktır. Bu yaklaşıma göre sistem daha büyük hava debisi gerektiren acil durum işletmesine göre tasarlanır ve fan değişken devirli seçilir. Sıkışık işletme durumu ortaya çıktığında fan devri düşürülerek aynı menfez ve hava kanalları peronun havalandırılması ve soğutulmasında kullanılır. Tünel fanları çift yönlü seçilerek acil durumda yangının yeri ve tahliye yönü dikkate alınarak üfleme veya egzost amaçlı çalıştırılır.

Yukarıdaki açıklamalar tren frekansının çok yüksek olmadığı ve sıcaklığında çok aşırı olmadığı ülkemiz ve daha kuzey enlemindeki ülkeler için geçerlidir. İki tren arasındaki sürenin 90 saniyelere düştüğü yoğun işletmelerde ve tropikal iklimlerde istasyonların dış hava ile soğutulması hemen hemen olanaksız olduğundan, istasyonlarda da klima tesisatı uygulaması ve bu nedenle de dış ortamdan alınacak hava miktarının temiz hava gereksinmesi miktarı ile sınırlandırılması gerekir.

#### **4.2.2. Yardımcı alanlar havalandırma sistemi**

Raylı sistem istasyonlarının işlevsel mahallerinin başında elektrik ve elektronik odalar gelir. Bu odalar yer altı istasyon yapılarını küçültmek ve inşaat maliyetlerini düşürmek için yerüstünde yapılmak istenir. Ancak çoğu kez güzergâhta bu amaca uygun yer bulamama, kamulaştırma ve görsel faktörler nedeniyle söz konusu mahaller istasyonların içinde ve genellikle zemine en yakın kotta düzenlenmeye çalışılır.

Trenlerin çalışması için gerekli enerji sağlayan redresör/cer trafoları, istasyon iç ihtiyaç trafoları, orta gerilim pano, orta gerilim kompanzasyon, alçak gerilim pano, akü ve bu odaların gazlı söndürme tüplerinin konulacağı yangın tüp odaları “elektriksel oda”lar olarak gruplandırılır.

Bu odaların içinde personel bulunmaz. Personel sadece bakım-onarım amacıyla bu odalara girer. Bu nedenle mahallerin temiz hava gereksinmesi yok kabul edilir. Adı geçen mahallerin ısıtma gereksinmesi de yoktur. Zira odalarda çalışırken ısı yayan elektrikli cihazlar mevcuttur ve sıcaklık hiçbir zaman kritik en düşük sıcaklık olan 5<sup>0</sup>C'nin altına düşmez. Bu odaların asıl sorunu tam tersine mahal sıcaklığının düşürülmesidir. Zira elektriksel cihazların çalışma sürekliliğinin sağlanabilmesi için ortam sıcaklığının 40<sup>0</sup>C'ın üstüne çıkmaması gerekir (Özbakır 2007).

Tropikal iklimlerde hava kanalsız klima cihazları ile soğutma uygun çözüm iken ülkemizde sadece havalandırma tesisatı ile soğutma ilk yatırım ve işletme giderleri açısından ekonomik olmaktadır.

Elektrik odaları havalandırma tesisatı dış ortamdan alınan temiz havanın bir kaba filtreden geçirilip vantilatörlerle basınçlandırılıp hava kanalları ve menfezlerle mahallere üflenmesi ve aynı mahallerden menfezler, hava kanalları ve aspiratörle emilen ısınmış havanın dış ortama atılmasından oluşabilir. Oda termostatları ile kumanda edilecek sistem herhangi bir odada mahal sıcaklığı 40<sup>0</sup>C'a çıktığında devreye girecek, sıcaklık 35<sup>0</sup>C' ye indiğinde duracaktır. Bu yaklaşımda o an soğutma gereksinmesi olmayan mahallere de hava üflenecek ve emilecektir, ancak elektrik tüketiminin kısmen artması dışında teknik bir sakınca söz konusu değildir.

Akü odası nötr, yangın tüp odası eksi basınçta tutulurken, diğer odalarda cüzi bir artı basınç yararlı olacaktır(Anonim 2007).

Büyük miktarda ısı yayan redresör/cer trafo ve iç ihtiyaç trafo odalarında temiz/soğuk havanın döşeme seviyesinden üflenmesi, kirli/ısınmış havanın tavan seviyesinden emilmesi tasarımda dikkate alınması gereken bir başka husus olarak belirtilebilir.

Fanlarda çıkabilecek, herhangi bir sorun işletmeyi durduracağından vantilatör ve aspiratörlerin birer asıl ve birer yedek olarak tesisi ve mahalli çalışma yanı sıra "scada" tarafından izlenme ve kumanda olanağı bulunması bir zorunluluktur.

İstasyonlarda haberleşme ve sinyalizasyon ekipmanlarının konulduğu mahaller ise "elektronik oda"lar olarak gruplanabilir. Bu odalarda bilgisayar sistem odaları

özelliğinde ısıtma, havalandırma, klima koşulları sağlanmalıdır. Yaz-kış sabit sıcaklık, nem kontrolü, artı basınç ve daha yüksek tozsuzluk belli başlı koşullardır.

Bu odalarda ortam şartları, dış ortamdaki alınan temiz havanın kaba ve ince filtrelerden geçirildikten sonra vantilatörle basınçlandırılıp hava kanalları ve menfezler yardımı ile mahallere üflenmesi, düşük miktardaki egzost havasının ise motorlu yangın damperli transfer menfezleri yardımı ile koridor vb. mahallere atılması ve mahallin split tip klima cihazları ile soğutulması ile sağlanabilir. Kış aylarında üflenen havanın ortam tasarım sıcaklığına kadar ısıtılabilmesi için oda termostat kontrollü elektrikli kanal tipi ısıtıcılar önerilebilir

Raylı sistem standart istasyonlarında görev yapacak personelin kullanacağı zorunlu odalar; istasyon kontrol, bilet gişesi, güvenlik personel ve personel (dinlenme, yemek) odalarıdır. Hattın başlangıç ve bitiş istasyonlarında ayrıca sürücüler için bekleme ve dinlenme odaları öngörülebilir. İstasyonlarda ayrıca yatırımcı beklentisi ve isteğine göre su, doğalgaz, vb belediye hizmetlerine ait başvuru, danışma ve satış mahalleri ile büfeler de bulunabilir.

Bu bölüm kapsamındaki odalarda konfor koşullarının sağlanması için ısıtma ve havalandırma tesisatı şarttır. Yakıt sorunu ve yangın riski nedeniyle mahal ısıtmada en uygun sistem elektrikli ısıtıcılardır. Oda tipi ve kendinden termostatlı duvar tipi sabit elektrikli ısıtıcılar en emniyetli ısıtıcılardır.

Öte yandan istasyonların temizliği için temizlik/paspas odaları ile personel yolcuların kullanımı için WC'ler düzenlemek zorunludur. WC'ler ve temizlik/paspas odaları gibi ıslak hacimlerde yalnız hava kanallı egzost sistemi yeterlidir.

Personel odalarında, personel sayısı, dış ortam koşulları ve bu odaların dış ortam havasından yararlanabilme faktörlerine bağlı olarak yalnız hava kanallı egzost sistemi veya hava kanallı egzost ve hava kanallı üfleme sistemleri kombinasyonu birlikte tasarlanabilir. Bu mahallerde klima tesisatı gereksinmesi; personel, aydınlatma, bilgisayar ve odaya giren hava yüklerine bağlıdır. Yaz aylarında dış ortam koşulları aşırı olumsuz ve bilgisayar/monitör sayısı fazla ise personel konforu ve verimliliği için klima tesisatı tasarlamakta yarar vardır.

### **4.2.3. Platform altı kirli hava egzost sistemi**

Normal faaliyette, istasyon teçhizatının yolcuların ve trenlerin oluşturduğu ısının giderilmesinde ve yangında duman kontrolü sağlamada yardımcı olmak üzere yer altı istasyonlarında platform altı boşaltma sistemi oluşturulur.

Platform altı kirli hava sistemi, sistem randımanının en az %60 nin karşılanmasına yeterli hava akışı sağlayacak, platform altındaki yerlerde her hat için hesap sonucu çıkacak kesitte kanallar bulunmalı. Kanalların bakımının yapılabilmesi için çıkarılabilir menfezler kullanılmalıdır(Anonim 2007).

### **4.2.4. Tünel havalandırma sistemi**

Tünel havalandırma sistemi normal, sıkışık ve acil (yangın duman tahliyesi) durumlarında tünel ortam şartlarını kontrol etmek üzere kullanılır.

Tünel havalandırma sistemi (yolcu bölümlerinde muhtemel yüksek hava debisine yol açan) yüksek hızlı tren hareketi ile (yüksek ısı yüklerine yol açan) yoğun trafiğin etkilerini kontrol edecek şekilde tasarımlanır.

Her tünel havalandırma şaftında bulunan mekanik teçhizat, fanlar, damperler, panjurlar ve susturuculardan oluşur. Fanlar, besleme ya da emme durumunda çalışabilen tamamen tersine çevrilebilir aksiyal akışa sahip seçilir. Şaftlardaki damperler ya fanların çalışması sırasında fanlar vasıtasıyla veya normal tren faaliyeti sırasında fandan by-pass yoluyla havanın yönlendirilmesini sağlayacaktır.

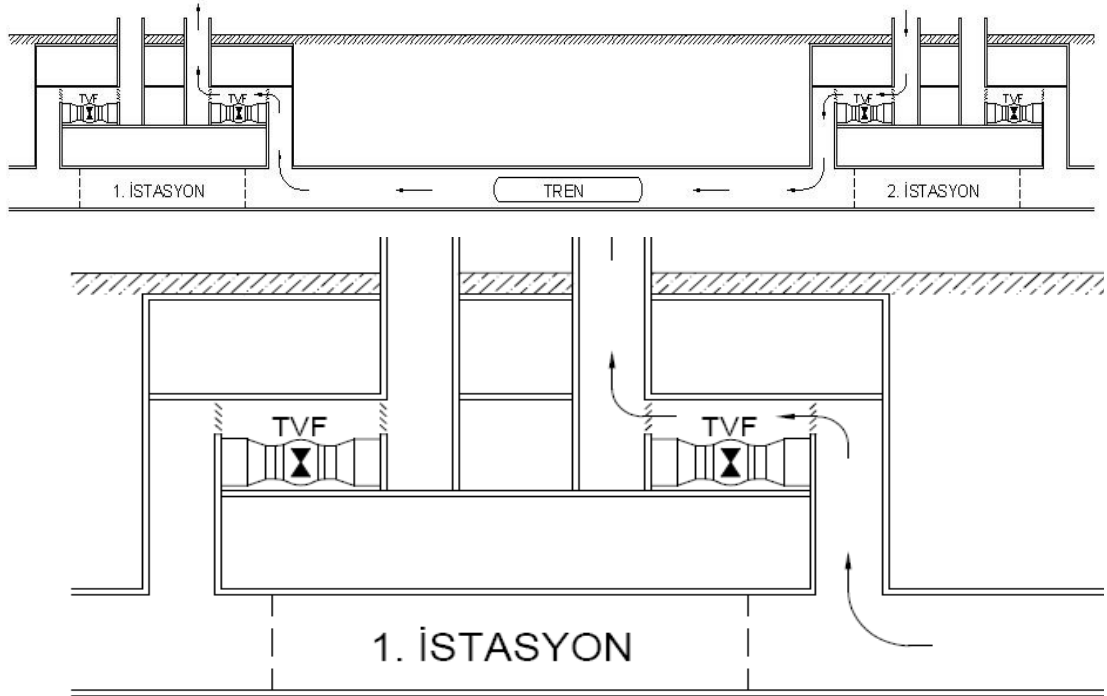
Her faaliyet durumuna uygun fan çalışmasına ve damper konumunu elde edebilmek için tünel havalandırma teçhizatı hem lokal (fan kontrol odasından), hem de kontrol merkezinden uzaktan kumanda ile kontrol edilebilir olmalıdır. Fanın durumunu ve damper konumunu kontrol merkezine geri gönderilecek sinyallerle gösterilmelidir.

#### **4.2.4.1.Normal durum**

Tren faaliyetinin tahmin edilen programa uyduğu normal şartlarda çevre koşullarının kontrolü, havalandırma şaft damperlerinin, tren piston hareketinin yolcu bölümlerinin tasarım kriterlerinde açıklanan konfor düzeyinde bulunmasını sağlamak üzere sıcak havanın tünellerden alınıp, taze havanın içeri çekilebileceği şekilde tasarımlanır.

Her ne kadar bu hava akımının büyük kısmı istasyon girişlerinde kullanılacaksa da ilave taze hava girişi ve tren ısının çıkışı için, havalandırma şaftları istasyonun her iki ucuna yerleştirilmelidir.

Sıcak havada istasyon ve tünellerdeki sıcaklık aşırı artarsa tren piston etkisinin oluşturduğu hava değişimlerini takviye etmek amacıyla dışarıdaki taze hava içeri çekilmesi ve sıcak havanın boşaltılması için tünel havalandırma fanları çalıştırılır.



### Tren Hareket Halinde

- TVF Fanları çalışmıyor
- Bay-pass damperleri açık

(TVF : Tünel Havalandırma Fanı)

**Şekil 4.1.**Normal Durum Havalandırma Sistemi Çalışma Prensibi (Neccar 2007)

#### 4.2.4.2.Sıkışık durum

Trenlerin önceden planlanmış ya da planlanmamış bir dönem için duraklamaya girmesi halinde normalde tren piston etkisiyle elde edilen hava akımını sağlamak için tünel havalandırma fanları çalıştırılır.

Yakındaki ilgili fanlar itme-çekme hareketiyle çalıştırılır, yani tünelin bir ucundaki fanlar boşaltma durumundayken diğer uçtakiler besleme durumunda çalıştırılarak, böylece besleme ucundan boşaltma ucuna hava akımı sağlanır. Bu çalışma tarzı, manuel olarak veya sinyal sistemiyle uzun bir süre tren geçmediği tespit edildiğinde de kirli hava otomatik olarak boşaltılabilmelidir.

İtme-çekme hareketi normal tren hareketi yönünde oluşacaktır. Bu düzen, tren durduktan sonra tüneldeki daimi hava hareketinden yararlanır ve tren harekete geçtiğinde hava basan fanındaki aşırı basıncı azaltır.

Tünel havalandırma sisteminin düzenlenmesinin başlıca unsurları şunlardır(Neccar 2007):

- İstasyonların her iki ucundaki hava çekiş şaftları, tren piston etkisi basıncına yardımcı olup, her hava şaftı hesap sonucu çıkacak belli bir alana sahiptir. Bu tür şaftlar, mümkün olduğu kadar kolay bir hava geçiş yolu sağlamalıdır.
- Her şaftta 2 adet tamamen tersine dönebilir fan ile by-pass ve yalıtım damperleri monte edilir, fanlar hem besleme hem de çekme bakımından eşit performansa sahip seçilir.
- By-pass damperleri, normal faaliyet sırasında demiryolu ile satıh arasında hava akımını sağlayacak şekilde yerleştirilmeli
- Yalıtım damperleri, olağanüstü durumda demiryolları arasında hava akımını tamamen önleyecek şekilde yerleştirilmeli.
- Tünel ısı ve duman detektörleri, tünelin hava ısını tespit etmek üzere istasyonların iki ucundan ve havalandırma şaftları ve binalarından yeterli açığa tesis edilmeli. Tünel ortalama hava sıcaklığı, tasarım sıcaklığını aştığı takdirde istasyonlardaki tünel havalandırma fanları, tünelin tasarım sıcaklığına kadar soğutmak üzere çalışmalı.



#### 4.2.4.3 Acil durum

Metro toplu taşıma sistemlerinin yoğun olarak kullanılması bu sistemlerde gerekli yolcu konforu ve güvenliğine verilmesi gereken önemi arttırmıştır. Güvenlik tedbiri alınması gerekli konulardan biri de trenlerde olası yangınlardır. Özellikle trenin tünel içinde hareketsiz kalarak yanması durumunda yolcuların, treni en kısa zamanda tahliye ederek güvenli bir bölgeye ulaşmaları gerekir. Bu durum “acil durum” olarak tanımlanmaktadır (Eralp 2003).

Tünel ve istasyonlara ilişkin aerodinamik, termodinamik ve duman dağılıma konularında analiz yapılmalıdır. Bu analiz aşırı çevre koşulları üzerinde özellikle durularak yol boyunca trenlerin normal, sıkışık ve olağanüstü faaliyetleri sırasında oluşacak tahmini sıcaklık derecelerini, bağıl nemleri, hava akımı hızlarını, duman dağılımını ve işleyen tünellerde ve yer altı istasyonlarında trenin oluşturduğu basıncıda kapsmalıdır.

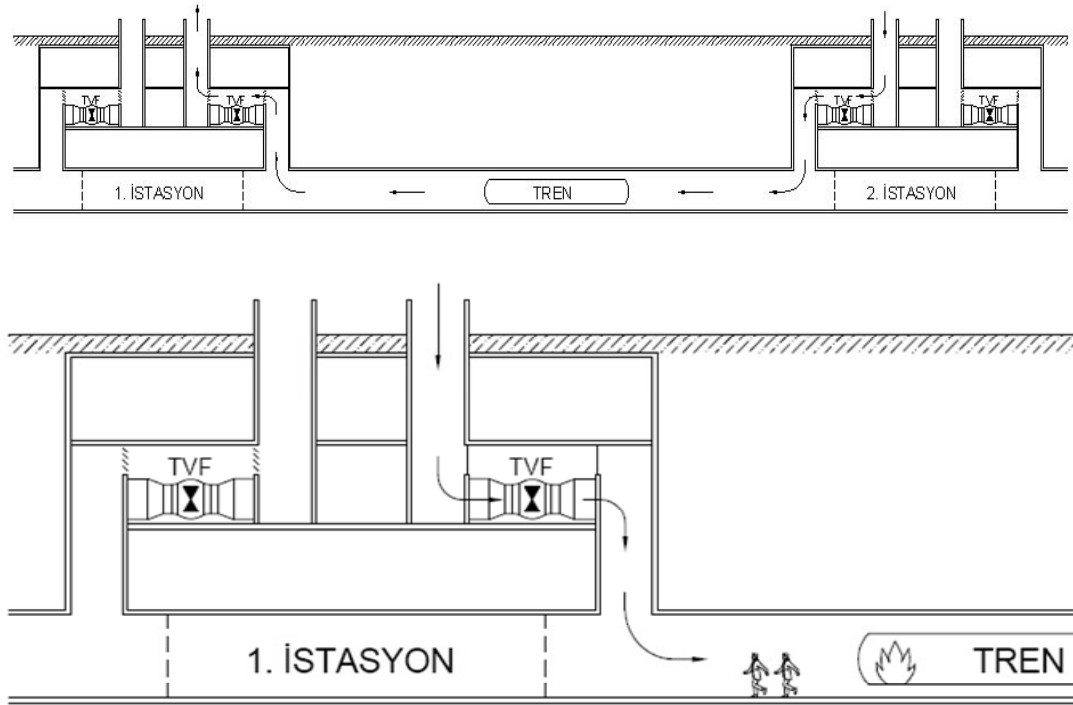
Yangının büyüklüğü tamamen yüklü bir vagonun ısı aktarımını esas alır. Ancak proje değerinde yangın büyüklüğü 18 MW’ den az olmamalıdır (Anonim 2006).

Sistemler, dumansız bir acil çıkış yolu sağlayabilecek, yolcuların ve personelin tahliye yolunda hava sıcaklığını azami 60°C düzeyinde tutabilmeli, tesisin çalışmaya başlamasından itibaren bir saat süreyle bu koşulları sağlayabilecek kapasitede olmalıdır(NFPA130).

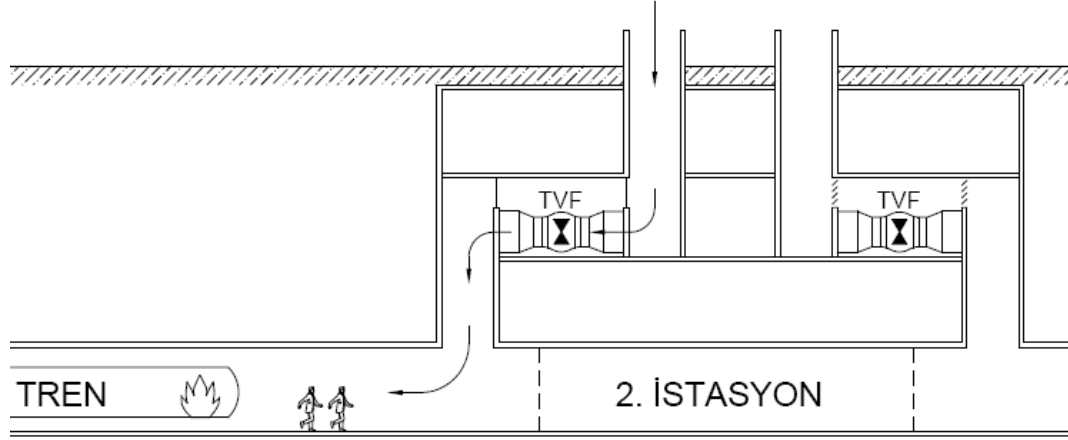
İstasyonlarla tünellerde kullanılan ve duman mücadelesinde gerekli olan tüm teçhizat bir saatlik süre ile 250 °C sıcaklık dayanıklılığına sahip olmalıdır (TS 12525).

Bir acil durumda, istasyonlarda ve tünellerdeki TVF ( Tünel Havalandırma Fanı) ve EXF ( Egzoz Fanı) fanları devreye girerek hem dumanın tahliyesini ve tünelin soğutulmasını, hem de dumanı yolcu tahliye yönünden aksi yöne iterek yolculara güvenli bir kaçış yolunu sağlanmalıdır. Başka bir deyişle, Şekil 4.2’te gösterildiği gibi örneğin tren 1, istasyona yakın iken, yangının çıkması halinde 1. İstasyonun TVF fanları devreye girerek tünele taze hava basmaya başlayacaktır. Taze hava tünel içerisine yayılan sıcak ve zehirli duman gazlarını 2.istasyon yönünde süpürülecek 2. İstasyonun TVF fanları da devreye girerek tüneldeki sıcak ve zehirli duman gazlarını egzoz edecektir. Dolayısı ile 1.istasyona doğru yolcuların tahliyesi için gerekli olan güvenli kaçış yolu sağlanacaktır. Şekil 4.3’te de tren 2. İstasyona yakın iken, yangının çıkması

halinde 2.İstasyonun TVF fanları devreye girerek tünele taze hava basmaya başlayacaktır. Taze hava tünel içerisine yayılan sıcak ve zehirli duman gazlarını 1. İstasyon yönünde süpürecek 1. İstasyonun TVF fanları devreye girerek tüneldeki sıcak ve zehirli duman gazlarını egzoz edecektir. Dolayısı ile 2.İstasyona doğru yolcuların tahliyesi için gerekli olan güvenli kaçış yolu sağlanacaktır. Buna göre havalandırma sistemlerinde kullanılması öngörülen fanların kapasiteleri de, tünel içerisinde daha önce belirtilen tasarım kriterlerine göre hava hızlarını sağlayacak bir biçimde sistem tasarlanmalıdır.



**Şekil 4.2** Trenin 1. İstasyona Yakın İken Yangın Çıkması Halinde (Neccar 2007)



**Şekil 4.3** Trenin 2.İstasyona Yakın İken Yangın Çıkması Hali (Neccar 2007)

Kapalı bir mekânda meydana gelen bir yangın incelendiğinde, yangının başlamasından tamamen sönmesine kadar 3 temel evrenin; gelişmekte olan yangın, tam gelişmiş yangın ve sönmekte olan yangın evrelerinin olduğu gözlenmektedir. Bu evrelerin süreleri ve bu evrelerde açığa çıkması beklenen ısı güç değerleri, tünel içerisinde yanmakta olan bir treni tahliye edecek olan yolcuların güvenliği açısından büyük önem taşımaktadır. Dolayısı ile bir yangın olayı 3 temel evreye ayrılabilir. Bu evreler gelişmekte olan yangın, tam gelişmiş yangın ve sönmekte olan yangın olarak tanımlanabilir. Düzenli bir yangın durumunda bu 3 evreninde gözlenmesi muhtemeldir ve bu evrelerde yangının davranış biçimi değiştiğinden her bir evre ayrı ayrı incelenmelidir. Bu evreleri incelemek için Yangın Simülasyon Programları mevcuttur. Bu Yangın Simülasyon Programları vasıtası ile gözlenmesi beklenen yangın evrelerinin süreleri ve bu evrelerde açığa çıkan ısı güçleri ile bir yangın sırasında tünel içerisinde gerekli olan en düşük hava hızı kriteri belirlenebilir ve tünel içerisindeki bir yangın durumunda TVF ve EXF havalandırma fanlarının belirlenen hava hızı kriterini sağlayabilmede yeterliliği saptanabilir, ayrıca tünel içerisindeki sıcaklık dağılımı da belirlenebilir. Bundan dolayı bir Yangın Simülasyon Programı ile sistemin yangın halindeki davranışları incelenerek ve sisteme tesis edilecek fanların hesaplanan kapasitenin yeterliliğine bakılmalıdır.

Yangın Simülasyon Programı ile farklı tünel kesit alanlarında, tünel eğimlerinde, yangın yüklerinde ve ortam sıcaklıklarında 2 farklı kesit alanı baz alınarak da bir çok kritik hız değeri hesaplanabilmektedir. Yapılan çalışmalar sonucunda aşağıdaki genel sonuçlar elde edilmiştir (Eralp 2003).

- 2 farklı uygulamada ortam sıcaklığı aynı kabul edilirse, yangın yükü daha fazla olan uygulamada, kritik hız değeri için, daha yüksek kritik hız değeri hesaplanmaktadır.
- 2 farklı uygulama için yangın yükü değerleri sabit kabul edilirse, ortam sıcaklığı daha yüksek seçilen uygulamada kritik hız değeri, diğer uygulamaya göre çok az farkla daha düşük çıkmaktadır. Fakat yangın bölgesinde sıcak hava sıcaklığında bir artış olduğundan, genellikle kritik olan durumun, yüksek ortam sıcaklığı olan uygulama olduğu ortaya çıkmaktadır.
- Yokuş aşağı yapılan havalandırma ile düz seviyede veya yokuş yukarı yapılan havalandırma durumları karşılaştırıldığında, daha önceden belirtildiği gibi, yokuş aşağı yapılacak olan havalandırma durumunda kritik hız değeri daha yüksek çıkmaktadır.
- 2 farklı uygulamada baz alınan kesit alanları farklı olarak düşünüldüğünde, net alan ile yapılan hesaplamalarda, tünelin kesit alanının tamamının alındığı çalışmaya göre daha yüksek kritik hız değerleri elde edilmektedir.

Bu bilgiler ışığında, tünel acil durum havalandırma sistemi, hareketsiz yanmakta olan trenin yer aldığı tünel için gerekli olan en düşük hava hızı kriterini; 2.5 m/s veya daha büyükse kritik hız olarak sağlamak zorundadır.

## 5. HAVALANDIRMA HESAPLARI

Sistem tasarımı için öncelikle istasyon içinde bulunan mahaller ve gereksinimleri ayrı ayrı tanımlanmalıdır. Daha sonra sıcaklık, nem, hava kalitesi, hava hızı gibi parametrelerini kabul edilebilir sınırlar içinde tutabilmek için gerekli tasarım kriterleri kullanılarak yatırım ve işletme için en ekonomik tesisat sistemi tasarlanarak uygulanmalıdır.

### 5.1.İstasyon Havalandırma Hesabı

Metro istasyonlarındaki hacimler için havalandırma debi miktarı hava değişim miktarına bağlı olarak 5.1 denklemi ile bulunabilir (Neccar 2007).

$$Q = n \cdot V \text{ (m}^3/\text{h)} \quad (5.1)$$

5.1 denklemindeki terimler

Q : Debi (m<sup>3</sup>/h)

V : Hacim (m<sup>3</sup>)

n: Hava değişim miktarı (değ/h)'nı ifade etmektedir.

Tablo 4.6'da metro istasyonlarında gerekli hava değişim miktarları verilmiştir.

Ofis bölümlerindeki hacimlerde %100 temiz hava sağlanıp, egsoz havası dışarı atılmalıdır.

Cer gücü trafo odaları, elektrik odaları ve makine odalarında ortam sıcaklığı 40<sup>0</sup>C'yi aşmaması içinde oda termostatu ile kontrol edilen taze hava ve egsoz fanları ile hava sirkülasyonu yapılmalıdır (Özbakır 2007).

Asansör makine daireleri akü odaları, WC'ler ve pis su pompa odalarından egsoz fanları ile ortamlar negatif basınçta bırakılarak odalara konulacak panjurlar vasıtası ile taze hava sağlanmalıdır.

## 5.2 Tünel Havalandırma Hesapları

### 5.2.1 Tünel ısı kazancı hesabı

Bir istasyon projesindeki ısı kazançları, trenlerin işletme hızında çalışmaları esnasında açığa çıkardıkları ısı, yavaşlama ve hızlanma esnasında trenden çevreye verilen ısı ile 3. Ray ve istasyon ile tren içindeki yolculardan kaynaklanan ısı kazançlarının toplamıdır. İstasyon projesinde trenlerin frenleme ve ivmelenmeleri esnasında açığa çıkan ısı enerjisi havanın direncinden, sürtünmeden, motor kayıplarından ve rezistörlerden kaynaklanan ısı kazançlarının sırasıyla frenleme yolu ve ivmelenme yoluna göre hesaplanması ile bulunur. Bu hesaplamalarda kullanılan denklemler şunlardır (SEDH 1985);

- *Aerodinamik sürüklenmeden açığa çıkan ısı kazancı ( $q_D$ ),*

$$q_D = 2,74 \cdot 10^{-4} \cdot F_D \cdot d_b \cdot n \quad (5.1)$$

denklemini ile hesaplanır ve bu denklemden

$F_D$  : Aerodinamik sürüklenme kuvveti (N)

olup, aşağıdaki (5.2) denklemden bulunur.

$$F_D = 4,96 \cdot 10^{-1} \cdot a \cdot \rho \cdot C_D \cdot U^2 \quad (5.2)$$

Denklemler 5.1' ve 5.2' deki terimler

$a$  : Trenin ön yüzey alanı ( $m^2$ )

$\rho$  : Havanın yoğunluğu ( $kg/m^3$ )

$C_D$  : Aerodinamik sürtünme katsayısı

$U$  : Trenin ortalama hızını (m/s)

ifade etmektedir.

- *Mekanik dirençlerden gelen ısı kazancı ( $q_M$ ),*

$$q_M = (2162 \cdot F_m \cdot d_b \cdot W \cdot N \cdot n) / 7.78 \cdot 10^{+6} \quad (5.3)$$

denklemini ile hesaplanır ve bu denklemden

$F_m$  : Mekanik direnç kuvveti (N/ton) olup, aşağıdaki (5.4) denklemi ile bulunur.

$$F_m = 1,3 + 116/W + (1.003 \cdot 10^{-1}) \cdot U \quad (5.4)$$

Denklem 5.3 ve 5.4' deki terimler

$d_b$  : Trenin maksimum hızdan durma mesafesi (m)

W: Yolcu dahil bir vagonun ağırlığı (ton)

N : Vagon sayısı (adet)

n : Saatteki sefer sayısı (ad/h)

U : Trenin ortalama hızını (m/s)

ifade etmektedir

- *Resistör dirençlerinden gelen ısı kazancı ( $q_{SR}$ ),*

$$q_{SR} = 0,555 \cdot K_E \cdot 1 / \varepsilon_m \quad (5.5)$$

denklemi ile hesaplanır ve bu denklemdeki

$K_E$ : Aracın maksimum hızdaki kinetik enerjisi (kj/hr) olup, aşağıdaki (5.6) denklemi ile bulunur.

$$K_E : 4.3 \cdot 10^{-3} \cdot W_e \cdot N \cdot n \cdot U^2 \quad (5.6)$$

Denklem 5.5 ve 5.6'daki terimler

$\varepsilon_m$  : Tahrik Motoru Verimi

$W_e$  : Yolcu dahil bir vagonun atalet momenti (ton)

N : Vagon sayısı (adet)

n : Saatteki sefer sayısını (adet)

U : Değişim hızı ilk adım için (m/s)

ifade etmektedir.

- *Motor kayıplarından gelen ısı kazancı ( $q_m$ ),*

$$q_m = [ (0,27 \cdot K_E) + q_D + q_M + q_{SR} ] \cdot \frac{1 - \varepsilon_m}{\varepsilon_m} \quad (5.7)$$

denklemden hesap edilir ve bu denklemdaki terimler

$q_D$ : Aerodinamik sürüklenmeden açığa çıkan ısı kazancı (Watt)

$q_M$ : Mekanik dirençlerden gelen ısı kazancı (Watt)

$q_{SR}$ : Resistör dirençlerinden gelen ısı kazancı (Watt),

$\varepsilon_m$ : Tahrik Motoru Verimini

ifade etmektedir.

- *Katener ve ray dirençlerinden gelen ısı kazancı ( $q_{SR}$ ),*

$$q_{SR} = 2,22 \times \frac{[(0,27 \cdot K_E) + q_D + q_m + q_M + q_{SR}]^2 \times R}{n x t_a x V_0^2} \quad (5.8)$$

denklemleri ile hesap edilir ve bu denklemdaki terimler

$K_E$ : Aracın maksimum hızdaki kinetik enerjisi (kJ/hr)

$q_D$ : Aerodinamik sürüklenmeden açığa çıkan ısı kazancı (Watt)

$q_M$ : Mekanik dirençlerden gelen ısı kazancı (Watt)

$q_{SR}$ : Resistör dirençlerinden gelen ısı kazancı (Watt),

$R$ : Katener ve ray direnci toplamı (milliohms/km)

$n$ : Saateki sefer sayısını (adet)

$t_a$ : Hızlanma zamanı (s)

$V_0$ : 3.raydaki voltajı (V)

ifade etmektedir.



- *Tünel aydınlatmadan gelen ısı kazancı ( $q_D$ ),*

$$q_D = W_L \cdot L \quad (5.9)$$

denklemi ile bulunur ve bu denklemdeki terimler

$W_L$ : Tünel aydınlatma (Watt/m)

$L$  : Tünel Uzunluğunu (m)

ifade etmektedir.

- *Araç soğutma dış ünitesinden gelen ısı kazancı ( $q_{AC}$ ),*

$$q_{AC} = 3,78 \cdot 10^4 \cdot T \cdot N \cdot n \cdot t_1 \quad (5.10)$$

denklemi ile hesaplanır ve bu denklemdeki terimler

$T$  : Bir vagonun soğutma kapasitesi (Watt)

$N$  : Vagon sayısı (adet)

$n$  : Saateki sefer sayısını (adet)

$t_1$ : İki istasyon arasındaki yolculuk süresini (s)

ifade etmektedir.

- *Araç aksesuar motorlarında gelen ısı kazancı( $q_{AX}$ ),*

$$q_{AX} = 0,277 \cdot KW \cdot f \cdot N \cdot n \cdot t_1 \quad (5.11)$$

denklemi ile hesaplanır ve bu denklemdeki terimler

$KW$ : Bir vagona ait hava kompresör gücü (Watt)

$f$  : Motor çalışma yüzdesi

$n$  : Saateki sefer sayısını (adet)

$t_1$ : İki istasyon arasındaki yolculuk süresi (s)

- *İstasyondan gelen ısı kazançları*

İstasyonda oluşan ısı kazancı; aydınlatma, reklam pano aydınlatma, sinyallerden, ve yürüyen merdivenlerden gelen ısı kazançlarının toplamı ile bulunur.

İstasyon aydınlatmasından gelen ısı kazancı,

$$q_{\text{istasyon}} = A_1 \cdot q \quad (5.12)$$

denklemini ile hesaplanır ve bu denklemdeki terimler

$A_1$  : Platform alanı ( $m^2$ )

$q$  : İstasyon aydınlatmadan gelen ısı ( $\text{Watt}/m^2$ )' yi ifade etmektedir.

Pano aydınlatmadan gelen ısı kazancı ,

$$q_{\text{pano}} = A_2 \cdot q \quad (5.13)$$

denklemini ile hesaplanır ve bu denklemdeki terimler

$A_2$  : Pano alanı ( $m^2$ )

$q$  : Pano aydınlatmadan gelen ısı ( $\text{Watt}/m^2$ )' yi ifade etmektedir.

Sinyalden gelen ısı kazancı,

$$q_{\text{sinyal}} = q \cdot n \quad (5.14)$$

denklemini ile hesaplanır ve bu denklemdeki terimler

$q$  : Araç sinyalizasyon gücü (Watt)

$n$  : Araç sinyal adetini ifade etmektedir.

Yürüyen merdivenlerden gelen ısı kazancı,

$$q_{\text{merdiven}} = KW \cdot n \cdot f \quad (5.15)$$

denklemini ile hesaplanır ve bu denklemdeki terimler

$KW$ : Yürüyen merdiven motor gücü (Watt)

n :Yürüyen merdiven adeti

f : Yürüyen merdiven yükleme yüzdesini ifade etmektedir.

Bulunan ısı toplam ısı kazancının istasyon ve tünellerdeki dağılımı Tablo 5.1 ve Tablo 5.2'den yararlanılarak bulunur.

**Tablo 5.1** Frenlemeden oluşan ısının araç hızına göre dağılımı (SEDH 1985)

Tasarlanan araç hızı (km/h)	Yaklaşma tüneline ısı dağılımı (%)	İstasyonda ısı dağılımı (%)	Uzaklaşma tüneline ısı dağılımı (%)
65	4,0	69,9	26,1
80	6,9	65,3	27,8
95	10,9	61,9	27,2
110	15,3	58,9	25,8
130	22,3	54,7	23

**Tablo 5.2** Araç soğutma ve aksesuarlarından oluşan ısının araç hızına göre dağılımı (SEDH 1985)

Tasarlanan araç hızı (km/h)	Yaklaşma tüneline ısı dağılımı (%)	İstasyonda ısı dağılımı (%)	Uzaklaşma tüneline ısı dağılımı (%)
65	10,0	70,0	20,0
80	13,4	60,0	26,6
95	15,8	52,5	31,7
110	17,8	46,6	35,6
130	19,4	42,0	38,6

### 5.2.2 Isı Kaybı

- Platform altında emiş yapan havalandırma tesisatı istasyonda ısı kaybına sebep olacaktır. Platformaltı havalandırma en az %60-65 verimlilikle çalışmalıdır (SEDH 1985).
- Toprak temaslı duvarlardan ısı transfer olacaktır.

### 5.2.3 Hava debisi

Isı kazancı hesabı yapılan istasyonu soğutmak için gerekli hava debisi denklemi (Neccar 2007).

$$Q = (3.27 \times q) / (1.15 \times \Delta t) \quad (5.16)$$

olup buradaki

Q : Hava debisi (m<sup>3</sup>/h)

q : Toplam ısı kazancı (Watt)

Δt : Müsaade edilebilir sıcaklık farkı (°C)' nı gösterir.

#### 5.2.4.Acil durum

Kritik hız hesabı;

Dumanın toplanmasını önlemek ve sıcak dumanı istenen yönde akmaya zorlama için gerekli minimum hava hızına “kritik hız” denir.

Metro sistemlerinde, olası bir yangın durumunda tünel içerisinde olması gereken hava hızı değerleri, NFPA (National Fire Protection Association) 130 kurallarına bağlı olarak belirlenmelidir. NFPA -130 kurallarına göre olası bir yangın durumunda tünel içerisinde olması beklenen en düşük hava hızı 2.5 m/s'dir. Bu değer yapılan çalışmalar ışığında, insanların hava akımını hissedebileceği en düşük hava hızı olarak belirlenmesi sonucunda elde edilmiştir. Ayrıca insanların, hızı en fazla 11 m/s olan hava akımına karşı yürüyebilecek olmalarından dolayı, acil bir durumda tünel içerisinde olması gereken en yüksek hava hızı değeri 11 m/s olarak tayin edilmiştir(Eralp2003).

Tünel içerisinde hareketsiz kalmış, yanmakta olan bir trenden sıcak ve zehirli gazlar tüm tünele yayılacak şekilde açığa çıkmaktadır. Eğer tünel acil durum havalandırması bu sıcak ve zehirli gazları, tünel içerisinde bir yöne doğru yönlendirmede yeterli olamazsa bu gazlar tüm tüneli sararak yolcuların güvenliği tehdit edilmektedir. Kritik hız, trenden yayılmakta olan sıcak ve zehirli gazları, tünel içerisinden bir yöne doğru yönlendirmek için, dolayısıyla diğer yönde yolcular için güvenli bir kaçış yolu sağlamak için, gerekli en düşük hava hızı değeridir. Kritik hız değeri, yangın yükü, ortam sıcaklığı, tünel kesit alanı, tünel eğimi, tünel yüksekliği gibi birçok parametreye bağlıdır. Kritik hız değeri, kritik hız ve yangın bölgesi sıcaklığı denklemlerinin çözülmesi sonucu elde edilir.Bu denklemler (Eralp 2003);

$$V_c = K_1 \cdot K_g \left( \frac{gHQ}{\rho C_p A T_f} \right)^{1/3} \quad (5.17)$$

$$T_f = \frac{Q}{\rho C_p A V_c} + T \quad (5.18)$$

$$K_g = 1 + 0.0374 (gr)^{0.8} \quad (5.19)$$

olup, bulunan kritik hızda fan debisi aşağıdaki 5.20 denklemi ile bulunur.

$$Q_{\text{Fan}} = AxV_c \quad (5.20)$$

denklemlerde ki terimler;

$V_c$  : Kritik hız (m/s)

$Q$  : Yangın yükü (W)

$T_f$  : Yangın bölgesi sıcak hava sıcaklığı (K)

$T$  : Ortam sıcaklığı (K)

$A$  : Tünel kesit alanını ( $m^2$ )

$\rho$  : Havanın yoğunluğu ( $kg/m^3$ )

$c_p$ : Sabit basınçlı havanın özgül ısı katsayısı (J/kg.K)

$H$  : Tünel yüksekliği (m)

$K_1$ : Birimsiz sabit = 0.61

$K_g$  : Eğim düzeltme katsayısı

$\theta$ = tünelin eğimi (%)

$K_g$  değerinin kullanılması ile ilgili olarak dikkat edilmesi gereken nokta, eğer tünel içerisinde yangın olan bölgede havalandırma yönü yokuş yukarı veya düz ise  $K_g$  değeri 1 olarak alınır, eğer havalandırma yönü yokuş aşağı ise  $K_g$  değeri için verilen denklem kullanılarak değer 1 den büyük bulunur. Bunun gerekçesi, sıcak gazların tünelin tavanına doğru yükselecek olması, hatta eğimli olan tünellerde daha fazla yükselecek şekilde eğimi kullanarak yayılmasıdır. Dolayısıyla yokuş aşağı yapılacak olan havalandırma durumunda, yükselen sıcak gazları da yokuş aşağı süpürmek için daha yüksek havalandırma hızına ihtiyaç duyulmaktadır, bu da kritik hız için daha yüksek bir değer hesaplanmasını gerektirmektedir. Kritik hız değeri, 2 farklı kesit alan baz alınarak hesaplanabilir. Bunlardan ilki tünelin boş kesit alanına göre, ikincisi ise tünelin kesitinde trenin de var olduğunu düşünülerek, tünel kesit alanından tren kesit alanının çıkarılması ile elde edilen net alan baz alınarak hesaplama yapılmasıdır.

## 6.ÖRNEK PROJE (HAVALANDIRMA SİSTEMİ) HESAPLARI

Bu bölümde havalandırma sistemi hesabı yapılacak olan proje, İstanbul Büyükşehir Belediyesi'nin üzerinde çalışma yaptığı projeden alınan bir istasyondur. Hesaplamalarda İstanbul Büyükşehir Belediyesi tarafından proje için belirlenen işletme kriterleri ve proje özellikleri kullanılmış olup, bu veriler aşağıda verilmiştir.

- Yolcu rahatlığı, emniyet ve ana hatlar için 80 km/ saat ve hizmet hattı için 40 km/saatlik bir azami ticari hız,
- Dizideki araç sayısı 6 adet
- Ray tipi S49
- Peron boyu 140 m
- Bir dizinin boyu 128.640 mm
- Saatteki sefer sayısı 40 adet
- İstasyonda bekleme süresi (30 s)
- Tünelin uzunluğu 1400 m,  
Yüksekliği 4,9 m ve  
Kesit alanı 22 m<sup>2</sup>  
Kesitinin çevre uzunluğu 18,5 m
- Yürüyen merdiven özellikleri  
Motor gücü : 19.000 Watt  
Adet : 4  
Yükleme yüzdesi : 0,75

Tasarım için,

- Dış ortam şartları Tablo 6.1'den
- İç ortam şartlarını Tablo 6.2'den
- Hava hızları Tablo 4.4'den
- Araç özellikleri Tablo 6.3'den
- Isı yükleri Tablo 6.4'den den alınabilir.

**Tablo 6.1** İstanbul İçin Dış Ortam Şartları (Neccar 2007)

Yaz Şartları	Dış hava sıcaklığı (kuru termometre)	33 °C
	Dış hava sıcaklığı (yaş termometre)	24 °C
	Bağıl nem	% 48
	Günlük sıcaklık farkı	10.5 °C
	Nem miktarı	15 gr/kg
	Entalpi	17.2 kcal/h
Kış Şartları	Dış hava sıcaklığı (kuru termometre)	-3 °C
	Bağıl nem	%90

**Tablo 6.2** İstanbul İçin Metro İç Ortam( Sıcaklık, Basınç ve Havalandırma) Şartları (Neccar 2007)

Yer	Kış °C Asgari	Yaz °C Asgari	Basınç	HAVALANDIRMA		Sistem Türü
				Hava değ. miktarı	Taze Hava Miktarı	
Yer altı umuma açık alanlar						
Platform (Peron)	2	32	nötr	6-8 değ/h	%100(D.H)	E & B
Konkors(Bilet Holü)	2	32		6-8 değ/h	%100(D.H.)	E & B
Tüneller						
Normal Durum	2	32	nötr	Kritik hıza göre	%100(D.H)	E & B
Sıkışık Durum	2	34	nötr		%100(D.H.)	E & B
Tehlike halinde çıkış geçitleri	-	60	nötr	-	-	-
Tren sinyalizasyon ve haberleşme odaları	18	25	P	6 değ/h	%100 D.H.	K&E&B
Ofisler	22	25	P	6 değ/h	%100(D.H.)	K&B
Kulübeler	22	25	P	6 değ/h	%100(D.H.)	K&B
Batarya odaları	15	-	N	15 değ/h	%100(D.H.)	E & B
Asansör makine odası	15	40	N	6 değ/h	%100(D.H.)	E & B
Elektrik odaları	15	40	P	10 değ/h	%100(D.H.)	E & B
Mekanik Odalar	15	40	N	6 değ/h	%100(D.H.)	E & B
Tuvaletler	2	32	N	10 değ/h	%100(D.H.)	E

D.H : Dış Hava

E : Emici

P : Hafif Artı

B : Besleyici

N : Hafif Eksi

K : Klima (İklimlendirme)

Proje hesaplarında kullanılacak araç özellikleri ve ısı yükleri Ulaşım A.Ş den alınmış olup Tablo 6.3 ve Tablo 6.4’de gösterilmiştir.

**Tablo 6.3** Araç Özellikleri (Anonim 2007)

Bir dizideki araç sayısı	6 adet
Araç yüzey alanı	11 m <sup>2</sup>
Araç boyu	21.600 mm
Araç genişliği	3.050 mm
Ortalama araç yolcu kapasitesi	290 kişi( m <sup>2</sup> de 6 kişi)
1 dizi yolcu kapasitesi	1.740 kişi
Ortalama aracın boş ağırlığı	31.650 kg
Ortalama aracın dolu ağırlığı	49.710 kg
Dolu aracın döndürme ataleti	54,68 ton
Besleme voltajı	1.500 VDC
Besleme sistemi	Rijit katener
Motor gücü	152 kw
Aracın hızlanma zamanı	40 s
Aracın azami hızı	80 km/h
Aracın ortalama hızı	22,3 m/s
Aracın değişim hızı (ilk adım için)	4,5 m/s
Aracın maksimum hızdan durma mesafesi	250 m
Aracın maksimum hıza ulaşma mesafesi	350 m
Tahrik motor verimi	%85
Hızlanma ivmesi	1,03 m /s <sup>2</sup>
Frenleme ivmesi	1,04 m/s <sup>2</sup>
Aracın aerodinamik sürtünme katsayısı	4,4
Eğim	%4
3.Raydaki Voltaj	1.100 V
Bir vagonun soğutma kapasitesi	50.000 Watt
Bir vagona ait hava kompresör motor gücü	5.000 Watt
Araç sinyalizasyon gücü	200 Watt
Sinyal adeti	6
Katener direnci	13.70 milliohms
Ray direnci	15,00 milliohms



**Tablo 6.4** Tasarımda esas alınacak ısı yükleri (Anonim 2007)

Kişi başına alınacak taze hava miktarı	10 l/s
Ofis ortamlarında insanlardan gelen duyulur ısı	71,8 Watt
Ofis ortamlarında insanlardan gelen gizli ısı	61 Watt
Tünel aydınlatmadan gelen ısı	10 W/m <sup>2</sup>
İstasyon aydınlatmadan gelen ısı	25 W/m <sup>2</sup>
Max. bağıl nem	%60

T.M.M.O.B. Makine Mühendisleri Odasının 2003/352 no'lu yayını kalorifer tesisatına göre toprak sıcaklığı 3<sup>0</sup>C dir.

İstasyon ve tünellerde toprak temaslı duvarların ısı transfer oranı yazın 22 W/m<sup>2</sup> , kışın 4,7 W/m<sup>2</sup>'dir (Neccar 2007)

## 6.1. Tünel Havalandırma

### 6.1.1. Isı kazancı

#### 6.1.1.1. Aracın frenleme esnasında ısı kazancı :

Aracın frenleme esnasındaki aerodinamik sürüklenmeden gelen ısı kazancı (5.1) ve (5.2) denklemleri ile hesaplanabilir. Bu denklemler;

$$q_D = 2,74 \cdot 10^{-4} \cdot F_D \cdot d_b \cdot n \text{ ve}$$

$$F_D = 4,96 \cdot 10^{-1} \cdot a \cdot \rho \cdot C_D \cdot U^2 \quad \text{olup buradaki terimler,}$$

$$U = 22,3 \text{ m/s} \quad (\text{Aracın Ortalama Hızı, Tablo 6.3'den})$$

$$\rho = 1,1581 \text{ kg/m}^3 \quad (\text{Havanın yoğunluğu})$$

$$C_D = 4,4 \quad (\text{Aracın aerodinamik sürtünme katsayısı Tablo 6.3'den})$$

$$a = 11 \text{ m}^2 \quad (\text{Aracın ön yüzey alanı Tablo 6.3'den})$$

$$d_b = 250 \text{ m} \quad (\text{Aracın maksimum hızdan durma mesafesi Tablo 6.3 den})$$

$$n = 40 \text{ ad/h} \quad (\text{Saatteki sefer sayısı "işletme verilerinden"})$$

alınarak,

Aerodinamik sürüklenme kuvveti;

$$F_D = 4,96 \cdot 10^{-1} \cdot a \cdot \delta \cdot C_D \cdot U^2$$

$$F_D = 4,96 \cdot 10^{-1} \cdot 11,1 \cdot 1,1581 \cdot 4,4 \cdot 22,3^2$$

$F_D = 13.852,07$  N bulunur ve aracın frenleme esnasındaki aerodinamik sürüklenmeden gelen ısı kazancı,

$$q_D = 2,74 \cdot 10^{-4} \cdot F_D \cdot d_b \cdot n$$

$$q_D = 2,74 \cdot 10^{-4} \cdot 13.852,07 \cdot 250 \cdot 40$$

$q_D = 38.082,11$  Watt olarak hesaplanır.

Aracın frenleme esnasındaki mekanik dirençlerden gelen ısı kazancı (5.3) ve (5.4) denklemleri ile hesaplanır. Bu denklemler;

$$q_M = (2162 \cdot F_m \cdot d_b \cdot W \cdot N \cdot n) / 7.78 \cdot 10^{+6}$$

$$F_m = 1,3 + 116/W + (1.003 \cdot 10^{-1}) \cdot U$$

olup, bu denklemlerdeki terimler,

$$U = 22,3 \text{ m/sn} \quad (\text{Trenin ortalama hızı Tablo 6.3'den})$$

$$W = 49,71 \text{ ton} \quad (\text{Yolcu dahil bir vagonun ağırlığı Tablo 6.3'den})$$

$$N = 6 \text{ ad} \quad (\text{Vagon sayısı Tablo 6.3'den})$$

$$d_b = 250 \text{ m} \quad (\text{Trenin maksimum hızdan durma mesafesi Tablo 6.3'den})$$

$$n = 40 \text{ ad/h} \quad (\text{saatteki sefer sayısı "işletme verilerinden"})$$

alınarak mekanik direnç kuvveti:

$$F_m = 1,3 + 116/W + (1.003 \cdot 10^{-1}) \cdot U$$

$$F_m = 1,3 + 116/49,71 + (1.003 \cdot 10^{-1}) \cdot 22,3$$

$F_m = 26,12 \text{ N/ton}$  hesaplanır ve mekanik dirençlerden gelen ısı kazancı denkleminde yerine konulursa;

$$q_M = (2162 \cdot F_m \cdot d_b \cdot W \cdot N \cdot n) / 7.78 \cdot 10^{+6}$$

$$q_M = (2162 \cdot 26,12 \cdot 250,49,71 \cdot 6,40) / 7.78 \cdot 10^{+6}$$

$$q_M = 21.650,42 \text{ Watt hesap edilir.}$$

Aracın frenleme esnasındaki resistor dirençlerden gelen ısı kazancı (5.5) ve (5.6) nolu denklemleri ile hesaplanabilir. Bu denklemler;

$$q_{SR} = 0,555 \cdot K_E \cdot 1 / \epsilon_m$$

$$K_E = 4.3 \cdot 10^{-3} \cdot W_e \cdot N \cdot n \cdot U^2$$

olup bu denklemlerdeki terimler ;

$$U = 22,3 \text{ m/sn} \quad (\text{Trenin ortalama hızı Tablo 6.3' den})$$

$$W = 49,71 \text{ ton} \quad (\text{Yolcu dahil bir vagonun ağırlığı, Tablo 6.3'den})$$

$$W_e = 54,68 \text{ ton} \quad (\text{Yolcu dahil bir vagonun atalet momenti Tablo 6.3'den})$$

$$N = 6 \text{ ad} \quad (\text{Vagon sayısı Tablo 6.3 den})$$

$$\epsilon_m = 0,85 \quad (\text{Tahrik Motoru Verimi Tablo 6.3 den})$$

$$n = 40 \text{ ad/h} \quad (\text{Saatteki sefer sayısı "işletme verilerinden"})$$

olduğundan, aracın maksimum hızdaki kinetik enerjisi

$$K_E = 4.3 \cdot 10^{-3} \cdot W_e \cdot N \cdot n \cdot U^2$$

$$K_E = 4.3 \cdot 10^{-3} \cdot 54,68 \cdot 6 \cdot 40 \cdot 22,3^2$$

$$K_E = 2.961.601 \text{ kJ/hr} \quad \text{bulunur ve resistor dirençlerinden gelen ısı kazancı;}$$

$$q_{SR} = 0,555 \cdot K_E \cdot 1 / \epsilon_m$$

$$q_{SR} = 0,555 \cdot 2.961.601 \cdot 1 / 0,85$$

$q_{SR} = 1.935.668$  Watt bulunur.

Aracın frenleme esnasındaki motor kayıplarından gelen ısı kazancı (5.7) denklemi ile hesaplanabilir. Bu denklem;

$$q_m = [ (0,27.K_E) + q_D + q_M + q_{SR} ] \times \frac{1-\varepsilon_m}{\varepsilon_m}$$

olup, buradaki terimler

$$K_E = 2.961.601 \text{ kJ/hr} \quad (\text{Aracın maksimum hızdaki kinetik enerjisi})$$

$$q_D = 38.082,11 \text{ Watt} \quad (\text{Aerodinamik sürtünmeden gelen ısı kazancı})$$

$$q_M = 21.650,42 \text{ Watt} \quad (\text{Mekanik dirençlerden gelen ısı kazancı})$$

$$q_{SR} = 1.935.668 \text{ Watt} \quad (\text{Resistor dirençlerinden gelen ısı kazancı})$$

olarak hesaplanmıştı ve

$$\varepsilon_m = 0,85 \quad (\text{Tahrik motoru verimi Tablo 6.3'den})$$

alınarak 5.7 denklemde yerine konulunca motor kayıplarından gelen ısı kazancı;

$$q_m = [ (0,27.K_E) + q_D + q_M + q_{SR} ] \times \frac{1-\varepsilon_m}{\varepsilon_m}$$

$$q_m = [ (0,27 \times 2.961.601) + 38.082,11 + 21.650,42 + 1.935.668 ] \times \frac{1-0,85}{0,85}$$

$q_m = 497.302$  Watt bulunur.

Aracın frenlemesi durumunda bulunan ısı kazançları Tablo 6.5'de gösterilmiştir.

**Tablo 6.5** Araç frenlemesinden gelen ısı kazancı

	Frenlemeden Gelen Isı Kazancı
Aerodinamik Sürüklenme	38.082 Watt
Mekanik Dirençler	21.650 Watt
Resistor Dirençleri	1.935.668 Watt
Motor Kayıpları	497,307 Watt
Toplam	2.492.702 Watt

### 6.1.1.2. Aracın ivmelenme esnasındaki ısı kazancı

Aracın ivmelenme esnasındaki aerodinamik sürüklenmeden gelen ısı kazancı (5.1) ve (5.2) denklemleri ile hesaplanabilir. Bu denklemler;

$$q_D = 2,74 \cdot 10^{-4} \cdot F_D \cdot d_a \cdot n$$

$$F_D = 4,96 \cdot 10^{-1} \cdot a \cdot \delta \cdot C_D \cdot U^2$$

olup bu denklemlerdeki terimler,

$$U = 22,3 \text{ m/sn} \quad (\text{Trenin Ortalama Hızı Tablo 6.3'den})$$

$$\rho = 1,1581 \text{ kg/m}^3 \quad (\text{Havanın Yoğunluğu})$$

$$C_D = 4,4 \quad (\text{Aerodinamik sürtünme katsayısı Tablo 6.3'den})$$

$$a = 11 \text{ m}^2 \quad (\text{Trenin Ön Yüzey Alanı Tablo 6.3'den})$$

$$d_a = 550 \text{ m} \quad (\text{Trenin maksimum hıza ulaşma mesafesi Tablo 6.3'den})$$

$$n = 40 \text{ ad/h} \quad (\text{Saatteki sefer sayısı "işletme verilerinden"} \text{ alınarak,})$$

Aerodinamik sürüklenme kuvveti,

$$F_D = 4,96 \cdot 10^{-1} \cdot a \cdot \delta \cdot C_D \cdot U^2$$

$$F_D = 4,96 \cdot 10^{-1} \cdot 11 \cdot 1,1581 \cdot 4,4 \cdot 22,3^2$$

$F_D = 13.852,07 \text{ N}$  olarak hesap edilir ve ivmelenme esnasında aerodinamik sürtünmeden gelen ısı kazancı;

$$q_D = 2,74 \cdot 10^{-4} \cdot F_D \cdot d_a \cdot n$$

$$q_D = 2,74 \cdot 10^{-4} \cdot 13.852,07 \cdot 550 \cdot 40$$

$$q_D = 83.780,65 \text{ Watt}$$

bulunur.

Aracın ivmelenme esnasındaki mekanik dirençlerden gelen ısı kazancı (5.3) ve (5.4) denklemleri ile hesaplanabilir. Bu denklemler;

$$q_M = (2162 \cdot F_m \cdot d_b \cdot W \cdot N \cdot n) / 7.78 \cdot 10^{+6} \text{ ve}$$

$$F_m = 1,3 + 116/W + (1.003 \cdot 10^{-1}) \cdot U$$

olup, bu denklemlerdeki terimler

$$U = 22,3 \text{ m/sn} \quad (\text{Trenin ortalama hızı Tablo 6.3'den})$$

$$W = 49,71 \text{ ton} \quad (\text{Yolcu dahil bir vagonun ağırlığı Tablo 6.3'den})$$

$$N = 6 \text{ ad} \quad (\text{Vagon sayısı Tablo 6.3'den})$$

$$d_a = 550 \text{ m} \quad (\text{Trenin maksimum hıza ulaşma mesafesi Tablo 6.3'den})$$

$$n = 40 \text{ ad/h} \quad (\text{Saatteki sefer sayısı "işletme verilerinden"})$$

alınarak, aracın ivmelenmesi esnasındaki mekanik direnç kuvveti,

$$F_m = 1,3 + 116/W + (1.003 \cdot 10^{-1}) \cdot U$$

$$F_m = 1,3 + 116/49,71 + (1.003 \cdot 10^{-1}) \cdot 22,3$$

$$F_m = 26,12 \text{ N/ton bulunur.}$$

Aracın ivmelenmesi esnasındaki mekanik dirençlerden gelen ısı kazancı ise

$$q_M = (2162 \cdot F_m \cdot d_b \cdot W \cdot N \cdot n) / 7.78 \cdot 10^{+6}$$

$$q_M = (2162 \cdot 26,12 \cdot 550 \cdot 49,71 \cdot 6 \cdot 40) / 7.78 \cdot 10^{+6}$$

$$q_M = 47.630,93 \text{ Watt bulunur.}$$

Aracın ivmelenme esnasındaki resistor dirençlerden gelen ısı kazancı (5.5) ve (5.6) denklemleri ile hesaplanabilir. Bu denklemler;

$$q_{SR} = 0,555 \cdot K_E \cdot I / \epsilon_m$$

$$K_E = 4.3.10^{-3} \cdot W_e \cdot N \cdot n \cdot U^2$$

olup, bu denklemlerdeki terimler

$$U = 4,5 \text{ m/sn} \quad (\text{Değişim hızı ilk adım İçin Tablo 6.3'den})$$

$$W = 49,71 \text{ ton} \quad (\text{Yolcu dahil bir vagonun ağırlığı Tablo 6.3'den})$$

$$W_e = 54,68 \text{ ton} \quad (\text{Yolcu dahil bir vagonun Tablo 6.3'den})$$

$$N = 6 \text{ ad} \quad (\text{Vagon sayısı Tablo 6.3'den})$$

$$\varepsilon_m = 0,85 \quad (\text{Tahrik motoru Verimi Tablo 6.3'den})$$

$$n = 40 \text{ ad/s} \quad (\text{Saatteki sefer sayısı "işletme verilerinden"} \text{ alınarak,})$$

aracın maksimum hızdaki kinetik enerjisi,

$$K_E = 4.3.10^{-3} \cdot W_e \cdot N \cdot n \cdot U^2$$

$$K_E = 4.3.10^{-3} \cdot 54,68 \cdot 6 \cdot 40 \cdot 4,5^2$$

$$K_E = 120.598 \text{ kJ/hr}$$

bulunur. Aracın ivmelenme esnasındaki resistor dirençlerden gelen ısı kazancı,

$$q_{SR} = 0,555 \cdot K_E \cdot 1 / \varepsilon_m$$

$$q_{SR} = 0,555 \cdot 120.598 \cdot 1 / 0,85$$

$$q_{SR} = 78.822 \text{ Watt} \quad \text{hesap edilir.}$$

Aracın ivmelenme esnasındaki motor kayıplarından gelen ısı kazancı (5.7) denkleminde hesaplanabilir. Bu denklem;

$$q_m = [ (0,27 \cdot K_E) + q_D + q_M + q_{SR} ] \times \frac{1 - \varepsilon_m}{\varepsilon_m}$$

olup, buradaki terimlerden

$$K_E = 120.598 \text{ kJ/hr} \quad (\text{Trenin maksimum hızdaki kinetik enerjisi})$$

$$q_D = 38.082,11 \text{ Watt} \quad (\text{Aerodinamik sürtünmeden gelen ısı kazancı})$$

$$q_M = 21.650,42 \text{ Watt} \quad (\text{Mekanik dirençlerden gelen ısı kazancı})$$

$$q_{SR} = 1.935.668 \text{ Watt} \quad (\text{Resistor dirençlerinden gelen ısı kazancı})$$

hesaplanmıştır ve

$$\varepsilon_m = 0,85 \quad (\text{Tahrik Motoru Verimi Tablo 6.3' den ) dir.}$$

alınarak 5.7 denkleminde yerine konulması ile aracın ivmelenme esnasındaki motor kayıplarından gelen ısı kazancı,

$$q_m = [ (0,27 \cdot K_E) + q_D + q_M + q_{SR} ] \times \frac{1-\varepsilon_m}{\varepsilon_m}$$

$$q_m = [ (0,27 \cdot 120.598 ) + 38.082,11 + 21.650,42 + 1.935.668 ] \times \frac{1-0,85}{0,85}$$

$$q_m = 182.272 \text{ Watt bulunur.}$$

Aracın ivmelenmesi durumunda oluşan ısı kazancı Tablo 6.6'de gösterilmiştir.

**Tablo 6.6** Aracın ivmelenmesinden gelen ısı kazancı

	İvmelenmeden gelen ısı kazancı
Aerodinamik Sürüklenme	83.781 Watt
Mekanik Dirençler	47.631 Watt
Resistor Dirençleri	78.822Watt
Motor Kayıpları	182.272 Watt
Ara Toplam	392.506 Watt

### 6.1.1.3.Katener ve ray kayıpları

Katener ve ray kayıpları 5.8 nolu denklem ile hesaplanır. Bu denklem,

$$q_{SR} = 2,22 \times \frac{[(0,27 \cdot K_E) + q_D + q_m + q_M + q_{SR}]^2 \cdot R}{n \cdot x \cdot a \cdot v_0^2}$$

olup, bu denklemdeki



$$K_E = 2.961.601 \text{ kJ/hr} \quad (\text{Aracın maksimum hızdaki kinetik enerjisi})$$

$q_D$  : Frenleme (Tablo 6.5) ve ivmelenme (Tablo 6.6 ) durumundaki aerodinamik sürtünmeden gelen toplam ısı kazancısıdır ve

$$q_D = 38.082 + 83.780,65$$

$$q_D = 121.863 \text{ Watt bulunur.}$$

$q_m$  : Frenleme (Tablo 6.5) ve ivmelenme (Tablo 6.6 ) durumundaki motor kayıplarından gelen toplam ısı kazancısıdır ve

$$q_m = 497.302 \text{ Watt} + 182.272 = 679.574 \text{ Watt bulunur}$$

$q_M$  : Frenleme (Tablo 6.5) ve ivmelenme (Tablo 6.6 ) durumundaki mekanik dirençlerden gelen toplam ısı kazancısıdır ve

$$q_M = 21.650,42 + 47.631 = 69.281 \text{ Watt bulunur.}$$

$q_{SR}$  : Frenleme (Tablo 6.5) ve ivmelenme (Tablo 6.6 ) durumundaki resistor dirençlerinden gelen toplam ısı kazancısıdır ve

$$q_{SR} = 1.935.668 + 78.822 = 2.014.490 \text{ Watt bulunur.}$$

$R$  = Katener ve ray direnci toplamı (milliohms/km) olup,

Katener direnci Tablo 6.3'den

$$R_k = 13,70 \text{ milliohms}$$

Ray direnci Tablo 6.3'den

$$R_r = 15,00 \text{ milliohms ,} \quad \text{alınarak katener ve ray direnci toplamı}$$

$$R = R_k + R_r = 13,70 + 15,00 = 28,70 \text{ milliohms/km bulunur.}$$

ve,

$$n = 40 \text{ ad/h} \quad (\text{Saatteki sefer sayısı "işletme verilerinden"})$$

$$t_a = 40 \text{ s} \quad (\text{Hızlanma zamanı Tablo 6.3'den})$$

$$V_0 = 1.100 \text{ volt} \quad (3.\text{Raydaki Voltaj Tablo 6.3'den})$$

$$d_a = 550 \text{ m} \quad (\text{Trenin maksimum hıza ulaşma mesafesi Tablo 6.3'den})$$

alınarak, katener ve ray dirençlerinden gelen ısı kazancı ,

$$q_{SR} = 2,22x \frac{[(0,27.KE)+qD + qM + qSR]^2 \times R}{nxt_a x V_0^2}$$

$$q_{SR} = 2,22x \frac{[(0,27x2.961.601)+121.863 + 69.281+ 679.574]^2 \times 28,70}{40x40x1.100^2} = 248.822 \text{ Watt}$$

hesaplanır.

#### 6.1.1.4 Tünel aydınlatmadan gelen ısı kazancı

Tünel aydınlatmadan gelen ısı kazancı 5.9 denkleminde hesaplanır. Bu denklem

$$q_D = W_L \cdot L$$

olup, bu denklemdeki terimler,

$$W_L = 10 \text{ Watt/m} \quad (\text{Tünel aydınlatma Tablo 6.2'den})$$

$$L = 1.400 \text{ m} \quad (\text{Tünel uzunluğu işletme verilerinden})$$

alınarak, tünel aydınlatmadan gelen ısı kazancı

$$q_D = W_L \cdot L = 14.000 \text{ Watt}$$

olarak hesap edilir.

#### 6.1.1.5.Araç soğutmadan gelen ısı kazancı

Araç soğutmadan gelen ısı kazancı (6.10) nolu denklemden hesaplanabilir. Bu denklem,

$$q_{AC} = 3,78 \cdot 10^4 \cdot T \cdot N \cdot n \cdot t_1$$

olup, bu denklemdeki;

$$T = 50.000 \text{ Watt} \quad (\text{Bir vagonun soğutma kapasitesi Tablo 6.3})$$

$$t_1 = 120 \text{ s} \quad (\text{iki istasyon arası yolculuk süresi})$$

(İstasyonda bekleme süresi 30s ve tren hızı 80km/h olup, 1400m uzunluğundaki tünelde yolculuk süresi 90 s olacağından, 2 istasyon arası yolculuk süresi 90+30 =120 s bulunur.)

$$N = 6 \text{ ad} \quad (\text{vagon sayısı Tablo 6.3'den})$$

$$n = 40 \text{ ad/h} \quad (\text{Saatteki sefer sayısı "işletme verilerinden"}) \text{ alınarak,}$$

araç soğutmadan gelen ısı kazancı,

$$q_{AC} = 3,78.10^4.T.N.n.t_1$$

$$q_{AC} = 3,78.10^4.50.000.6.40.120$$

$$q_{AC} = 541.440 \text{ Watt bulunur}$$

#### **6.1.1.6.Araç aksesuar motorlarından gelen ısı kazancı:**

Araç aksesuar motorlarından gelen ısı kazancı (6.11) nolu denklemden hesaplanabilir. Bu denklem,

$$q_{AX} = 0,277.KW.f.N.n.t_1$$

olup buradaki terimleri,

$$KW = 5.000 \text{ Watt} \quad (\text{Bir vagona ait hava kompresör motor gücü Tablo 6.3'den})$$

$$t_1 = 120 \text{ s} \quad (\text{iki istasyon arası yolculuk süresi})$$

$$N = 6 \text{ ad} \quad (\text{vagon sayısı Tablo 6.3'den})$$

$$n = 40 \text{ ad/h} \quad (\text{saatteki sefer sayısı})$$

$$f = 0,25 \quad (\text{Motor çalışma yüzdesi Tablo 6.3'den})$$

olarak, araç aksesuar motorlarından gelen ısı kazancı,

$$q_{AX} = 0,277.KW.f.N.n.t_1$$

$$q_{AX} = 0,277.5.000.0,25.6.40.120$$

$$q_{AX} = 10.000 \text{ Watt hesaplanır.}$$

### 6.1.1.7.İstasyondan gelen ısı kazancı

İstasyon aydınlatmasından gelen ısı kazancı 5.12 ve 5.13 denklemleri ile bulunur. Bu denklemler,

$$q_{\text{istasyon}} = A_1 \cdot q$$

$$q_{\text{pano}} = A_2 \cdot q$$

olup, denklemlerdeki terimler

$$q = 25.0 \text{ Watt/m}^2 \quad (\text{İstasyon aydınlatma Tablo 6. 2'den})$$

$$q = 220.0 \text{ Watt/m}^2 \quad (\text{Pano aydınlatma Tablo 6.2'den})$$

$$A_1 = 3.500 \text{ m}^2 \quad (\text{Platform alanı projeden})$$

$$A_2 = 250 \text{ m}^2 \quad (\text{Reklam panosu alanı işletme verilerinden) alınarak}$$

İstasyon aydınlatmadan gelen ısı kazancı,

$$q_{\text{istasyon}} = A_1 \cdot q$$

$$q_{\text{istasyon}} = 3.500 \times 25 = 87.500 \text{ Watt} \quad \text{bulunur.}$$

Pano aydınlatmadan gelen ısı kazancı ise,

$$q_{\text{pano}} = A_2 \cdot q$$

$$q_{\text{pano}} = 250 \times 220 = 55.000 \text{ Watt} \quad \text{bulunur.}$$

Sinyalden gelen ısı kazancı 5.13 denkleminde bulunur, bu denklem

$$q_{\text{sinyal}} = q \cdot s$$

olup, denklemden terimler

$$q = 200 \text{ Watt} \quad (\text{Araç sinyalizasyon gücü Tablo 6.3'den})$$

$$s = 6 \text{ ad} \quad (\text{Araç sinyali adedi Tablo 6.3'den) alınarak}$$

sinyalden gelen ısı kazancı,

$$q_{\text{sinyal}} = q \cdot S$$

$$q_{\text{sinyal}} = 200 \times 6 = 1.200 \text{ Watt hesaplanır.}$$

Yürüyen merdivenlerden gelen ısı kazancı 5.14 denklemini ile bulunur, bu denklem

$$q_{\text{merdiven}} = KW \cdot n \cdot f \quad \text{olup bu denklemdeki terimleri işletme verilerinden;}$$

$$KW = 19.000 \text{ Watt} \quad (\text{Yürüyen merdiven motor gücü})$$

$$n = 4 \quad (\text{Yürüyen merdiven adeti})$$

$$f = 0,75 \quad (\text{Yürüyen merdiven Yükleme Yüzdesi})$$

olarak, yürüyen merdivenlerden gelen ısı kazancı

$$q_{\text{merdiven}} = KW \cdot n \cdot f$$

$$q_{\text{merdiven}} = 19.000 \times 4 \times 0,75$$

$$q_{\text{merdiven}} = 57.000 \text{ Watt bulunur.}$$

İstasyondan gelen ısı kazancı yürüyen merdiven, sinyallerden, pano ve istasyon aydınlatmasından gelen ısı kazançlarının toplamı olduğundan, istasyondan gelen toplam ısı kazancı,

$$q_{\text{toplam}} = q_{\text{merdiven}} + q_{\text{sinyal}} + q_{\text{pano}} + q_{\text{istasyon}}$$

$$q_{\text{toplam}} = 57.000 + 1.200 + 55.000 + 87.500 = 200.700 \text{ Watt olarak bulunur.}$$

Böylece havalandırma yapılacak metro sistemine ait toplam ısı kazançları bulunmuş ve Tablo 6.7'da gösterilmiştir.

**Tablo 6.7** Toplam Isı Kazancı

	Isı Kazançları
Frenleme	2.492.702 Watt
İvmelenme	392.506 Watt
Katener ve Ray Kayıpları	248.822 Watt
Tünel Aydınlatma	14.000 Watt
Araç Soğutma	541.440Watt
Araç Aksesuar Motorları	10.000 Watt
İstasyondan Gelen	200.700Watt
Toplam	3.900.170 Watt

**6.1.2. Isı kaybı**

Platform altında en az %60 verimlilikte emiş yapılacak havalandırma tasarlanması gerektiğinden istasyonda ısı kaybı olacaktır. Bu ısı kaybını bulmak için ilk önce istasyonda ısı kazancı dağılımını hesaplamak gerekir.

İstasyondan gelen ısı kazançlarına ilaveten 80 km/h hızında tasarlanan araç için; Tablo5.2'e göre frenlemeden kaynaklanan ısı kazancının %65,3'ü, Tablo 5.3'e göre araç soğutma ve araç aksesuarlarında toplam gelen ısı kazancının %60'ı eklenir.

İstasyon ısı kazancı;

$$q_{\text{istasyon}} = q_{\text{toplam}} + q_{\text{frenleme}} \times \%65,3 + q_{\text{AC}} \times \%60 + q_{\text{AX}} \%60$$

$$q_{\text{istasyon}} = 200.700 + 2.492.702 \times \%65,3 + 541.440 \times \%60 + 10.000 \times \%60 = 2.159.298 \text{ Watt}$$

hesaplanır.

İstasyonda platformaltı havalandırmadan oluşan ısı kaybı,

$$\text{İstasyonda ısı kaybı} = q_{\text{istasyon}} \times \%60 = 2.159.298 \times \%60 = 1.295.578 \text{ Watt bulunur.}$$

$$\text{İstasyonda kalan ısı kazancı} = 2.159.298 - 1.295.578 = 862.720 \text{ Watt bulunur.}$$

Hesaplanan istasyon ve tüneldeki ısı kazancı dağılımı Tablo 6.8'de gösterilmiştir.

**Tablo 6.8** Platform altı havalandırma ile ısı dağılımı

	Isı kazancı Watt	Platform altı havalandırma (%60 verim) Watt	Net ısı kazancı Watt
İstasyon	2.317.998	1.295.578	862.720
Tünel	1.582.172	-	1.582.172
Toplam	3.900.170		2.444.892

Toprak temaslı duvar yüzey alanlarından ısı kayıpları;

Tünel toprak temaslı duvar yüzey alanı = kesit çevresi x tünel uzunluğu

$$= 22 \times 1400 = 25.900 \text{ m}^2$$

Platform alanı  $3.500 \text{ m}^2$  olduğuna göre tavan ve taban da istasyonda toprak temaslı duvar yüzey alanı  $3500 \times 2 = 7.000 \text{ m}^2$  olacaktır.

Ulaşım A.Ş'den İstanbul metrolarının toprak temaslı duvarların ısı transfer oranı yazın  $22 \text{ W/m}^2$ , kışın  $4,7 \text{ W/m}^2$  olduğu verileri alınmıştır.

Tablo 6.8'de toprak temaslı duvar yüzeylerinden oluşan ısı transferi verilmiştir.

**Tablo 6.9** Toprak temaslı duvar yüzeylerinden ısı transferi

	Yaz ( $33^{\circ}\text{C}$ )	Kış ( $-3^{\circ}\text{C}$ )
Tünel toprak temaslı yüzey alanı ( $\text{m}^2$ )	25.900	25.900
İstasyon toprak temaslı yüzey alanı ( $\text{m}^2$ )	-	7.000
Toplam toprak temaslı yüzey alanı	25.900	32.900
Isı transfer oranı ( $\text{Watt/m}^2$ )	22	4,7
Isı transferi (Watt)	601.766	154.630

Isı kayıplarından sonra yaz ve kış mevsimleri için ısı kazancı,

$$q_{\text{kış}} = 2.444.892 - 154.630 = 2.290.262 \text{ Watt} \text{ ve}$$

$$q_{\text{yaz}} = 2.444.892 - 601.766 = 1.843.126 \text{ Watt} \text{ bulunur.}$$

Yazın istasyon modülünü soğutmak için gerekli hava debisi (5.18) nolu bağıntı ile,

$$Q = (3.27 \times q) / (1.15 \times \Delta t)$$

$$\Delta t = t_1 - t_d$$

$t_1 : 60^{\circ}\text{C}$  (Tablo 6.2'den Tehlike halinde çıkış geçitlerinde max. sıcaklık)

$t_d : 33^{\circ}\text{C}$  (Tablo 6.1'den yaz dış ortam sıcaklığı)

$\Delta t = 60 - 33 = 27^{\circ}\text{C}$  olduğundan

$Q = (3,27 \times 1.843.126) / (1,15 \times 27) = 194.106 \text{ m}^3/\text{h}$  bulunur.

Kışın istasyon modülünü soğutmak için gerekli hava debisi,

$Q = (3,27 \times q) / (1,15 \times \Delta t)$

$\Delta t = t_1 - t_d$

$t_1 : 60^{\circ}\text{C}$  (Tablo 6.2'den Tehlike halinde çıkış geçitlerinde max. sıcaklık)

$t_d : -3^{\circ}\text{C}$  (Tablo 6.1'den kış dış ortam sıcaklığı)

$\Delta t = 60 - (-3) = 63^{\circ}\text{C}$  olduğundan

$Q = (3,27 \times 2.290.262) / (1,15 \times 63) = 103.374 \text{ m}^3/\text{h}$  hesap edilir.

Mevsimplere göre bulunan gerekli hava debileri Tablo 6.10da gösterilmiştir.

**Tablo 6.10** Mevsimlere göre gerekli hava debisi

MEVSİM	Dış ortam sıcaklığı ( $^{\circ}\text{C}$ )	Hava debisi ( $\text{m}^3/\text{h}$ )
Yaz ayları	33	194.106
Kış ayları	-3	103.374

## 6.2.İstasyon Mahallerinde Havalandırma

Örnek istasyon üç katlı ve gömülü bir yapıdır. Üçüncü kat teknik hacim katı olup çok amaçlı alan, elektrik ve havalandırma fan odalarından oluşmaktadır. İkinci kat gişe katıdır Bu katta bilet gişeleri, personel odası, wc, havalandırma fan odaları, istasyon kontrol ve sinyalizasyon odaları ile tesisin yangın tesisatı için ihtiyacı olan su deposu bulunmaktadır. Birinci kat ise platform katıdır, depo, temizlik ve drenaj ve odaları bulunmaktadır. Ek olarak verilen istasyon projesinin, mahallerinin mimari özellikleri ve gerekli/seçilen hava debi miktarları Tablo 6.11'de verilmiştir.



**Tablo 6.11** İstasyon proje özellikleri ve gerekli/seçilen hava debi miktarları

	Alan (A) m <sup>2</sup>	Yükseklik h (m)	Hacim (V) m <sup>3</sup>	Hava Değişim Katsayısı (n)	Gerekli Hava Debisi Q (m <sup>3</sup> /h) (Q=V.n)	Açıklama
Platform katı	3.500	4,6	16.100	6	96.600	Q = 98.000 m <sup>3</sup> /h debili taze hava fanı ve 3500 m <sup>3</sup> /h debili 28 adet 60x60 menfez seçildi.
Giriş katı	1.361	4,6	6.125	8	49.000	Q = 50.000 m <sup>3</sup> /h debili taze hava fanı ve 3125 m <sup>3</sup> /h debili 16 adet 60x60 menfez seçilmiştir.
Peron altı	210	10,2	21.600	10	21.600	Q = 21.600 m <sup>3</sup> /h debili egsoz fanı ve 600 m <sup>3</sup> /h debili 36 adet 40x25 menfez seçildi.
Acil Çıkış Merdiveni (M1)	24,79	15,5	385	15	5.775	Q = 6.000 m <sup>3</sup> /h debili fan seçildi ( acil durumlarda çalışacak).
Acil Çıkış Merdiveni (M2)	24,79	24	595	15	8.925	Q = 9.000 m <sup>3</sup> /h debili fan seçildi ( acil durumlarda çalışacak).
Özürlü Asansörü 1	6,25	17	107	15	1.605	Q = 1.750 m <sup>3</sup> /h debili fan seçildi ( acil durumlarda çalışacak).
Özürlü Asansörü 2	6,25	12,2	77	15	1.155	Q = 1.250 m <sup>3</sup> /h debili fan seçilmiştir ( acil durumlarda çalışacak).
Elektrik ve Cer Gücü Temin Odası (T101)	196,05	5	980,25	15	14.703	Havalandırma cihazı ile hacime verilecek olan hava miktarı Q= 15.000 m <sup>3</sup> /h seçildi.
Elektrik Odası (T106)	26,60	4,1	110	2	220	Egsoz hava miktarı 220 m <sup>3</sup> / h seçildi.
Gazlı Söndürme Odası (T107)	23,17	4,1	95	2	190	Egsoz hava miktarı 210 m <sup>3</sup> / h
Elektrik Odası (T111)	12,45	5,3	66	2	132	Egsoz hava miktarı 150 m <sup>3</sup> / h seçildi.
Çok Amaçlı Salon (T112)	462,45	4,5	2100	2	4200	Taze hava miktarı 4250 m <sup>3</sup> / h seçildi.
Personel Odası (G114)	22,65	3,5	79	2	158	Egsoz hava miktarı 175 m <sup>3</sup> / h seçildi.

	Alan (A) m <sup>2</sup>	Yükseklik h (m)	Hacim (V) m <sup>3</sup>	Hava Değişim Katsayısı (n)	Gerekli Hava Debisi Q (m <sup>3</sup> /h) (Q=V.n)	Açıklama
Kadın WC (G115)	16,72	3,5	60	10	600	Egsoz hava miktarı 600 m <sup>3</sup> / h seçildi.
Kadın Soyunma (G116)	11,69	3,5	40	10	400	Egsoz hava miktarı 400 m <sup>3</sup> / h seçildi.
Erkek WC (G117)	17,08	3,5	60	10	600	Egsoz hava miktarı 600 m <sup>3</sup> / h seçildi.
Erkek Soyunma (G118)	11,69	3,5	40	10	400	Egsoz hava miktarı 400 m <sup>3</sup> / h seçildi.
Temizlik Odası (G119)	17,23	4	70	10	700	Egsoz hava miktarı 700 m <sup>3</sup> / h seçildi.
Güvenlik Odası (G120)	16,50	3,5	58	2	116	Egsoz hava miktarı 125 m <sup>3</sup> / h seçildi.
Bilet Satış ve Kontrol Odası (G121)	11,30	3,5	40	2	80	Egsoz hava miktarı 100 m <sup>3</sup> / h seçildi.
İstasyon Kontrol Odası (G122)	52,85	3,8	200	2	400	Egsoz hava miktarı 400 m <sup>3</sup> / h seçildi.
Pompa Odası (G125)	35,77	5	180	2	360	Egsoz hava miktarı 360 m <sup>3</sup> / h seçildi.
Telefon Reglet Odası (G126)	8,38	4,8	40	2	80	Egsoz hava miktarı 80 m <sup>3</sup> / h seçildi.
Yedek Odası (G128)	14,40	5	75	2	150	Egsoz hava miktarı 150 m <sup>3</sup> / h seçildi.
Elektrik Odası (G129)	25,85	5	130	2	260	Egsoz hava miktarı 260 m <sup>3</sup> / h seçildi.
Sinyalizasyon Odası (G130)	54,200	5	275	2	550	Egsoz hava miktarı 550 m <sup>3</sup> / h seçildi.
Engelli WC(G138)	4,5	3,5	16	10	160	Egsoz hava miktarı 160 m <sup>3</sup> / h seçildi.
Kadın WC (G139)	14	3,5	50	10	500	Egsoz hava miktarı 500 m <sup>3</sup> / h seçildi.
Erkek WC (G140)	15,30	4	60	10	600	Egsoz hava miktarı 600 m <sup>3</sup> / h seçildi.

	Alan (A) m <sup>2</sup>	Yüksekl k h (m)	Hacim (V) m <sup>3</sup>	Hava Değişim Katsayısı (n)	Gerekli Hava Debisi Q (m <sup>3</sup> /h) (Q=V.n)	Açıklama
Pompa Odası (G141)	7	5	35	2	70	Egsoz hava miktarı 70 m <sup>3</sup> /h seçildi.
Makine Odası (G142)	5,31	5	27	10	270	Egsoz hava miktarı 270 m <sup>3</sup> /h seçildi.
Güvenlik (G143)	5,74	3,5	20	2	40	Egsoz hava miktarı 75 m <sup>3</sup> /h seçildi.
Drenaj Odası (P104)	22	2,8	50	2	100	Egsoz hava miktarı 100 m <sup>3</sup> /h seçildi.
Temizlik Odası (P105)	22	1,7	35	10	350	Egsoz hava miktarı 350 m <sup>3</sup> /h seçildi.
Elektrik Pano Odası (P106)	11,60	3,8	45	2	90	Egsoz hava miktarı 100 m <sup>3</sup> /h seçildi.
Depo 1 ( P107 )	11,60	4,3	50	2	100	Egsoz hava miktarı 100 m <sup>3</sup> /h seçildi.
Makine Odası (P110)	4,4	5	22	10	220	Egsoz hava miktarı 220 m <sup>3</sup> /h seçildi.
Depo 2 (P111)	11,60	3,5	40	2	80	Egsoz hava miktarı 100 m <sup>3</sup> /h seçildi.
Depo 3 (P112)	11,60	3,2	37,5	2	75	Egsoz hava miktarı 100 m <sup>3</sup> /h seçildi.
Depo 4 (P113)	11,60	3,2	37,5	2	75	Egsoz hava miktarı 100 m <sup>3</sup> /h seçildi.
Depo 5 (P114)	11,60	3,6	42,5	2	85	Egsoz hava miktarı 100 m <sup>3</sup> /h seçildi.

### 6.3 Acil Durum Havalandırma

Tünelde boş kesit alanına göre kritik hız hesabı denklem (5.17) ile ve yangın bölgesi sıcak hava sıcaklığı (5.18) denklemini ile hesaplanır. Bu denklemler,

$$V_c = K_1 \cdot K_g \left( \frac{gHQ}{\rho C_p A T_f} \right)^{1/3}$$

$$T_f = \frac{Q}{\rho C_p A V_c} + T$$

olup buradaki terimler,

$V_c$ : 2,5 m/s min.kritik hız (m/s) (Tablo 4.4)

$Q$ : 18.000 Yangın yükü (W) (İBB metro uygulaması teknik şartname)

$T_f$ : Yangın bölgesi sıcak hava sıcaklığı (K)

$T$ : 303 K Ortam sıcaklığı (K) ( Tablo 6.2)

$A$ : 22 m<sup>2</sup> Tünel kesit alanını (m<sup>2</sup>) (Proje verilerinden)

$\rho$ : 1,143 kg/m<sup>3</sup> Havanın yoğunluğu (kg/m<sup>3</sup>)

$c_p$ : 1.005 J/ kg.K Sabit basınçlı havanın özgül ısı katsayısı (J/kg.K)

$H$ : 4,9 m Tünel yüksekliği (m) (Proje verilerinden)

$g$ : 9,81 m/s<sup>2</sup> (Yer Çekimi İvmesi)

$K_1$ : 0.61 Birimsiz sabittir.

$K_g$ : Eğim düzeltme katsayısını ise denklem 5.19 ile

$$K_g = 1 + 0.0374 (\Theta)^{0,8} \text{ ve}$$

bağıntıdaki ( $\Theta$ ) tünel eğimi % 4 ( Tablo 6.3 den) alınarak

$$K_g = 1 + 0.0374 (\Theta)^{0,8} = 1,0031 \text{ bulunur.}$$

$T_f = \frac{Q}{\rho C_p A V_c} + T$  denkleminde değerler yerine konulursa,

$$T_f = \frac{18000}{1,143 \times 1,005 \times 22 \times 2,5} + 303 = 587 \text{ K ( Yangın Duman Sıcaklığı) bulunur.}$$

Kritik hız ise,

$$V_c = K_1 \cdot K_g \left( \frac{gHQ}{\rho C_p A T_f} \right)^{1/3}$$

$$V_c = 0,61 \cdot 1,0031 \cdot \left( \frac{9,81 \cdot 4,9 \cdot 18.000}{1,143 \cdot 1,005 \cdot 22 \cdot 587} \right)^{1/3}$$

$V_c = 2,75$  m/s bulunur. Tablo 4.4' e göre tehlike hallerinde tünellerde hava hızı,

$V = 2,5$  m/s olmalıdır.

$V < V_c$  şartını sağlamaktadır.

Acil durumda çalıştırılacak olan tünel fanın debisi denklem 5.20'den

$$Q_{fan} = A \cdot V_c$$

$$Q_{fan} = 22 \times 2,75 \times 3600$$

$$Q_{fan} = 217.800 \text{ m}^3/\text{h}$$

%20 emniyet faktörü ile (Neccar 2007)

$Q_{min} = 260.000 \text{ m}^3/\text{h}$  bulunarak ve istasyon giriş ve çıkış noktasına birer asıl birer yedek olmak üzere 4 adet çift yönlü ve  $400^\circ\text{C}$  sıcaklığa 2 saat dayanıklı fan seçimi yapılmıştır.

Tünelde dolu kesit alanına göre (yangın anında aracın tünelde olması durumu) hava hızı kontrolü yapılmak istenirse,

$$A_{net} = \text{Tünelin net kesit alanı} - \text{tren kesit alanı} = 22 - 11 = 11 \text{ m}^2$$

Seçilen fanın saatteki debisi  $Q = 260.000 \text{ m}^3/\text{h}$  olduğundan

Kaçış yollarındaki hava hızı  $= Q_{fan}/A_{net} = 260.000/(11 \times 3600) = 6,56$  m/s bulunur.

Tablo (4.4) göre tehlike hallerinde kaçış yolunda max. hava hızı 11 m/s olduğundan, fanın debisi uygundur.

Belirlenen fan kapasitelerin yeterliliğine yangın simülasyon program ile bakılmalıdır.

## 7. MALİ VE EKONOMİK ANALİZ

Metro sistemleri yüksek yatırımlar gerektiren ağır altyapılardır. Bunun için uygulama öncesi mali fizibilite çalışması yapılmalıdır. Mali fizibilite çalışmasında sosyo-ekonomik( yatırım maliyeti , işletme maliyeti ,verimlilik, ömür vb.) ve teknolojik etkileri ( konfor,hız, ileri teknoloji,güvenlik,çevreye uyum) kriterleri incelenir. Çıkan sonuca göre mali yapılabilirliğine karar verilmelidir. Projenin finansmanının özkaynak ve uygun (düşük faiz ve uzun vade, geri ödemesiz süre gibi) koşulları bulunan kredi kullanılarak projenin mali yapılabilirliği artırılabilir.

Metro sistemlerin yatırım maliyetleri; yapım işleri, araçların maliyetleri ile işletme ve bakım maliyetlerini kapsar.

Projenin uygulanması durumunda mali ve ekonomik kazançlar; ekonomik faydalar ve işletme gelirleridir.

Metro projelerinin uygulanması durumunda, bu projeyi etkileyebilecek maliyet – gider – gelir akışına göre projenin iç verimlilik oranı pozitif çıkması projenin mali-ekonomik yapılabilir özellikte olduğunu gösterir.

Projenin net bugünkü değeri (NBD) herhangi bir “i” yılında aşağıdaki bağıntıdan bulunur (Demirbugan 2008).

$$NBD = \sum_{i=0}^n \frac{Bi - Gi}{(1+r)^i} \quad (7.1)$$

Bi :Gelir

Gi : Gider

r : İskonto oranını göstermektedir.

NBD = 0 olması durumunda “r “ iç verimlilik oranını (yatırımdan beklenen verim) vermektedir. Yatırım ile yatırımın sağlayacağı getirilerin bugün ki değerinin eşit olduğu zamanki iskonto oranına iç verim oranı denir.

## 7.1.Yatırım Maliyetleri

### 7.1.1.Yapım maliyetleri

Metro projesinin yapım maliyeti; inşaat ve elektrik-mekanik maliyetleri kapsamaktadır. Yapım maliyetleri, projenin yapılacağı il, çevre düzeni, tünel yapım şekli, istasyonların yer altı, hemzemin veya viyadük olması durumu gibi faktörlere bağlıdır. Tablo 7.1'de İstanbul'da yapılan metro projeleri için ortalama yapım maliyetleri verilmiştir.

**Tablo7.1.Metro Sistemlerinin Yapım Maliyetleri (İstanbul İçin)(İBB-Ulaşım Planlama Müdürlüğü)**

İşin adı	Birim	Birim fiyat (\$)
Uygulama Projeleri	m	600
Toprak işleri,drenaj,zemin etütleri	m	150
İstasyon inşaat işleri	m <sup>2</sup>	800
Aç-kapa inşaat işleri	m	22.000
İstinatlı yarma ve dolgu inşaat	m	10.000
Depo sahası inşaat işleri	Adet	20.000.000
Trafo inşaat işleri	Adet	200.000
İstasyon ince inşaat işleri	m <sup>2</sup>	500
Trafo ince inşaat işleri	Adet	100.000
Delme tünel	m	20.000
Viyadükler	m	30.000
Demiryolu işleri	m	2.200
Güç temini ve cer gücü	Adet	3.500.000
Sinyalizasyon	m	3.000
Haberleşme	m	2.000
Çevre ve kontrol sistemi	Adet	3.500.000
İstasyon yardımcı tesisler	Adet	1.000.000
Scada	Adet	10.000.000
Muhtelif	m	1.500
Kamulaştırma		
Arazi	m <sup>2</sup>	100
Bina	adet (daire)	80.000

Tablo 7.2'de ise İBB tarafından yapılması planlanan Üsküdar –Ümraniye Metro Projesinin tahmini yapım maliyeti verilmiştir. Bu proje 16,5 km uzunluğunda, tamamı yer altı 16 adet istasyon ve 1 adet bakım alanı vardır. Diziler 6 araçlı trenler halinde işletileceği ve başlangıç olarak 35,000 yolcu/saat/yön kapasitede olacağı, trenlerin servis aralığı ortalama 2,5 dakika olacağı yapılan fizibilitenin sonuçlarıdır.

**Tablo 7.2** Yatırım Maliyeti (USD)( Üsküdar –Ümraniye Metro Projesi İçin)

Gider Türü		Birim	Adet	Birim Fiyat	Maliyet
İnşaat	Hat (demiryolu dahil)	km	16,5	13.350.000	220.275.000
	İstasyon (komple)	adet	16	20.000.000	320.000.000
	Bakım Alanı ve Tesisi	adet	1	18.000.000	18.000.000
	Toplam				558.275.000
Elektrik – Mekanik	Asansör ve Yürüyen merdiven	adet	210	120.000	25.200.000
	Güç temini ve Dağıtım	km	16,5	3.000.000	49.500.000
	Sinyalizasyon	Km	16,5	2.000.000	33.000.000
	Haberleşme	-	1	28.200.000	28.200.000
	Atölye Ekipmanı	-	1	8.000.000	8.000.000
	Çevresel Kontrol Sistemi	-	1	33.125.000	33.125.000
	İstasyon Yardımcı Tesisi	-	1	15.312.500	15.312.500
	Toplam				192.337.500
	Araç	adet	126	1.800.000	226.800.000
Genel Giderler (%10)					97.741.250
Genel Toplam					1.075.153.750



### 7.1.1.1 Mekanik sistemlerin yatırım ve işletme maliyeti

Maliyet hesapları yapılırken mekanik sistemler şu ana başlıklar altında toplanabilir. Bu başlıklar ;

- Isıtma ve Soğutma Tesisatı,
- Havalandırma ve Duman Egzoz Sistemi,
- Yangın Tesisatı,
- Sıhhi Tesisat,
- Basınçlı Hava Tesisatı,
- Yürüyen Merdiven ve Asansörler

olarak toplanabilir. Tablo 7.3'de yine Üsküdar – Ümraniye metrosu için ana kıstaslara göre yapılan, 16,5 km metro projesinde, 16 istasyon ve metro araçlarının bakım atölyesine göre tahmini mekanik tesisat maliyetleri verilmiştir.

**Tablo 7.3** Mekanik Tesisat Maliyeti ( Üsküdar –Ümraniye Metro Projesi İçin)

No	Açıklama	İlk Yatırım Maliyeti	Yıllık bakım Giderleri	Yıllık İşletme Giderleri
1	Isıtma ve Soğutma Tesisatı	2.250.000 \$	7.500 \$	265.000 \$
2	Havalandırma ve Duman Egzoz Sistemi	37.500.000 \$	12.000 \$	375.000 \$
3	Yangın Tesisatı	12.000.000 \$	15.000 \$	7.500 \$
4	Sıhhi Tesisat	6.000.000 \$	25.000 \$	210.000 \$
5	Basınçlı Hava Tesisatı	1.250.000 \$	7.500 \$	75.000 \$
6	Yüreyen Merdiven ve Asansörler	52.000.000 \$	1.350.000 \$	900.000 \$
	<b>TOPLAM</b>	<b>111.000.000\$</b>	<b>13.945.000 \$</b>	<b>1.832.500 \$</b>

#### *Isıtma Soğutma Tesisatı*

Bu bölümde, ofislerde konfor maksatlı değişken gaz debili VRV (Variable Refrigerant Volume /Değişken Soğutucu Debili Sistem) sistemi düşünülmüş olup, taze hava için ısı geri kazanım üniteleri ve bu sistemlere ait izoleli bakır borulama, izoleli boru bağlantı parçaları, ve aksesuarları için maliyetler çıkartılmıştır.

VRV sisteminin yanı sıra sinyalizasyon odası, tren kontrol ve haberleşme odalarında hava soğutmalı kondenserli %100 yedekli hassas klima cihazları ve bu cihazlarda

kullanılmak üzere SMACNA'ya (American Sheet Metal and Air Conditioning National Association) uygun flanşlı dikdörtgen ve/veya dairesel kesitli hava kanalları ve diğer aksesuarları (örn. menfezler, damperler) için maliyetler çıkartılmıştır.

VRV ve Hassas klima sistemleri için gerekli otomasyon sistemlerinin maliyetleri de bu bölüme dahil edilmiştir. Veriler Tablo 7.3 de verilmiştir.

#### *Havalandırma ve Duman Egzoz Sistemi :*

Bu bölüm duman egzoz sistemi ve genel havalandırma sistemi olarak iki ana başlık altında toplanmıştır.

Duman Egzoz sisteminde tünel, konkors ve platform 250 °C sıcaklık ve 1 saat yangına dayanıklı, duman egzozunda kullanılacak direkt akuple motorlu, aksiyal tip frekans kontrollü Tünel Havalandırma Fanlarını (TVF), Egzoz Fanlarını (EXF) ve bu fanların aksesuarlarını (örn. susturucular, flexible bağlantıları, motor kontrol paneli, anti vibrasyon bağlantı kitleri vb.), Duman egzozunda kullanılacak B1 sınıfı yanmaz izoleli SMACNA'ya (American Sheet Metal and Air Conditioning National Association) uygun flanşlı, dikdörtgen ve/veya dairesel kesitli havalandırma kanalları ve kanal aksesuarları (örn. Yangın damperleri, pnömatik kontrollü damperler, menfezler vb.) için maliyetler çıkartılmıştır.

Bunun dışında kalan genel havalandırma sisteminde kullanılacak diğer tüm santrifüj (Hücreli radyal fan) veya kanal tipi radyal fanlar (örn. Taze Hava Fanları – FAF, W.C. Egzoz fanları vb.) ve aksesuarları (örn. susturucular,ısıtıcılar,filtreler, flexible bağlantıları, motor kontrol panelleri veya hız anahtarları vb.), SMACNA'ya (American Sheet Metal and Air Conditioning National Association) uygun flanşlı dikdörtgen ve/veya dairesel kesitli havalandırma kanalları ve kanal aksesuarları (örn. Yangın damperleri, pnömatik kontrollü damperler, menfezler vb.) için maliyetler çıkartılmıştır.

Havalandırma ve duman egzoz sistemleri için gerekli otomasyon sistemlerinin maliyetleri de Tablo 7.3'de verilmiştir.

#### *Yangın Tesisatı :*

Bu bölüm sulu yangın söndürme sistemleri ve gazlı söndürme sistemleri olarak iki ana başlık altında toplanmıştır. Sulu söndürme sisteminde NFPA 20'ye uygun UL listeli FM onaylı yangın pompası ve power transfer switch'i üzerinde bulunan elektrik panosu

ve vana grupları (örn. Kuru Alarm vanası, Yükselen milli vana, izleme anahtarlı kelebek vana, İtfaiye bağlantı vanası vb.) , Sprinkler tesisatı, Yangın dolabı tesisatı, Hidrant tesisatı için maliyetler çıkartılmıştır. Tüm yangın tesisatında yüksek basınca dayanıklı olmasından dolayı kaplin bağlantılı galvanizli boru düşünülmüştür.

Gazlı söndürme sistemi jeneratör binaları, sinyalizasyon, haberleşme ve elektrik odaları için düşünülmüş olup bu sistemde söndürücü gaz olarak FM200 gazı pahalı olmasından dolayı CO<sub>2</sub> gazı için maliyetler çıkarılmıştır. Elde edilen bulgularda Tablo 7.3'de gösterilmiştir.

#### *Sıhhi Tesisat :*

Bu bölüm temiz su tesisatı, pissu tesisatı, drenaj sistemi, temiz su tesisatı kapsamında kullanma suyu hidroforu, elektrikli su ısıtıcıları, sıva üstü borulama için kauçuk izolasyonlu galvaniz boru, sıva altı için polipropilen boru düşünülmüştür.

Pis su tesisatında pis su pompaları, pis su borulaması için pis su çukurlarına kadar olan hatlarda santrifüj pik döküm pis su borusu, pis su pompasından ana rogar hattına kadar kalan kısım için galvanizli kaplin bağlantılı boru düşünülmüştür.

Drenaj sisteminde dalgıç tip pompalar ve aksesuarları, borulamasında kaplin bağlantılı galvaniz boru için maliyetler çıkartılmıştır.

Sistemlere ilişkin gerekli otomasyon sistemlerinin maliyetleri de bu bölüme dahil edilmiştir. Bulgular Tablo 7.3'de verilmiştir.

#### *Basınçlı Hava Tesisat :*

Bu bölümde, yangın tesisatı ve havalandırma sistemindeki pnömatik kontrollü damperleri beslemek için gerekli kompresör, hava kurutucusu, hava tankları, galvaniz borulama ve diğer aksesuarları için maliyetler çıkartılmıştır.

Sistemlere ilişkin gerekli otomasyon sistemlerinin maliyetleri de bu bölüme dahil edilmiştir. Buna ilişkin giderlerde Tablo 7.3' de verilmiştir.

#### *Yürüyen Merdiven ve Asansörler :*

Bu bölümde, metro sisteminde kullanılmak üzere tasarlanmış ve EN115 normlarına uygun 30 ° eğim açılı 3 düz basamak sayılı çift hızlı yürüyen merdivenler

düşünülmüştür. Engelli asansörlerinde hidrolik tip asansörler için maliyetler çıkartılmıştır. Bu bulgularda Tablo 7.3’de verilmiştir.

### 7.1.2.Metro araçlarının yatırım maliyeti

Raylı sistem tasarımlarında araç seçimi sıradan bir iş olarak görülmemeli. Araç-yol-terminal(istasyon)-yolcu sayısı etkileşimini gözeterek planlama çalışmalarının başlangıcında araç karakteristikleri belirlenmeli.

Planlanan metro projesi için doruk saatlerdeki yolculuk talebini karşılayacak araç sayısı, yolculuk talebi ile istasyon özelliğine bağlı olarak 4, 6 veya 8 araçlı dizi olmasına karar verilir.

Ulaşım A.Ş. verilerine göre günümüzde 6 dizili bir metro treninin tanesi 1.800.000 ABD\$ olup araç ömrü 25 yıl ve kalan değeri yatırım maliyetinin %10’udur.

### 7.1.3. İşletme ve bakım maliyeti

Metro sisteminin işletmesinden ve bakımından sorumlu personel sayısının diğer toplu taşıma sistemlerinde aynı sayıda yolcu taşımak için gerekli personel sayısından düşüktür. Buda personel maliyetini düşürmektedir (Gökdağ 1999).

Araçların hafif ve ağır bakımları, ray ve katener bakımları işletme tarafından belirli periyotlar da yapılmalıdır.

Tablo 7.4’de İstanbul metrolarının işletmesi ve bakımından sorumlu Ulaşım A.Ş.’den alınan İstanbul metroları için geçerli birim işletme ve bakım maliyetleri verilmiştir.

**Tablo 7.4** Birim İşletme ve Bakım Maliyetleri (Ulaşım A.Ş )

Cer gücü enerji (USD/Araç-km)	0,52
Hat bakım (USD/km)	10.275
Araç Bakım/Onarım Giderleri USD/Araç - km	0,04
İdari personel giderleri (USD/Araç-km)	0,096
Diğer Giderler (USD/km) (kiral ve genel giderler)	513.135

Örnek olarak Tablo 7.5’de Üsküdar - Ümraniye metro projesi için hazırlanmış işletme ve bakım maliyeti, amortisman giderleri de Tablo 7.6’de verilmiş olup, projenin 5 yıl yapımı süreceği, 6. yılda hizmete girmesi planlanmaktadır. 20 yıl hizmet verilmesi durumunda işletme ve bakım maliyetleri toplamı 797.106.882 \$ olacağı öngörülmektedir.

**Tablo 7.5** İşletme ve Bakım Giderleri Tahmini (Üsküdar-Ümraniye Metro Projesi İçin)

Yıl	Araç –km	Enerji (\$)	Araç bakım (\$)	Yol bakım (\$)	Personel (\$)	Diğer (\$)	Toplam (\$)
1.	16.278.124	8.421.537	708.126	171.799	15.152.945	2.445.441	26.899.847
2.	16.278.124	8.589.968	722.289	175.235	15.456.004	2.494.349	27.437.844
3.	18.161.532	9.775.519	821.976	178.739	17.532.244	2.830.848	31.139.326
4.	18.161.532	9.971.030	838.415	182.314	17.882.889	2.887.465	31.762.113
5.	18.161.532	10.170.450	855.184	185.960	18.240.547	2.945.214	32.397.355
6.	18.161.532	10.373.859	957.806	189.679	18.605.358	3.012.670	33.139.372
7.	18.161.532	10.581.336	1.082.320	193.473	18.977.465	3.083.459	33.918.054
8.	18.161.532	10.792.963	1.223.022	197.343	19.357.014	3.157.034	34.727.376
9.	18.161.532	11.008.822	1.382.015	201.289	19.744.155	3.233.628	35.569.909
10.	19.417.137	12.005.320	1.561.677	205.315	22.168.904	3.594.122	39.535.338
11.	19.417.137	12.245.427	1.999.188	209.421	22.612.282	3.706.632	40.772.951
12.	19.417.137	12.490.335	2.039.172	213.610	23.064.528	3.780.765	41.588.410
13.	19.417.137	12.740.142	2.079.956	217.882	23.525.818	3.856.380	42.420.178
14.	19.417.137	12.994.945	2.121.555	222.240	23.996.335	3.933.507	43.268.581
15.	20.973.702	14.317.412	2.337.461	226.685	26.717.398	4.359.895	47.958.850
16.	20.973.702	14.603.760	2.384.210	231.218	27.251.746	4.447.093	48.918.027
17.	20.973.702	14.895.835	2.431.894	235.843	27.796.780	4.536.035	49.896.388
18.	20.973.702	15.193.752	2.480.532	240.559	28.352.716	4.626.756	50.894.315
19.	20.973.702	15.497.627	2.530.143	245.371	28.919.770	4.719.291	51.912.202
20.	20.973.702	15.807.579	2.580.745	250.278	29.498.166	4.813.677	52.950.446
TOPLAM		242.477.618	33.137.686	4.174.253	444.853.064	72.464.261	797.106.882

**Tablo 7.6** Amortisman Giderleri Tahmini (Üsküdar-Ümraniye Metro Projesi İçin)

	İş kalemleri	Maliyet	Artık değer%	Ekonomik ömür	Artık değer (25 yıl sonra)	Yıllık amortisman
İnşaat	Hat	220.275.000	10	70	22.027.500	7.929.900
	İstasyon	320.000.000	0	70	205.714.286	4.571.429
	Bakım alanı ve tesisi	18.000.000	10	50	900.000	684.000
	Toplam	558.275.000			227.741.786	13.185.329
Elektrik – mekanik	Asansör, yürüyen merdiven	25.200.000	5	20	1.260.000	957.600
	Katener ve cer gücü	49.500.000	0	50	24.750.000	990.000
	Sinyalizasyon	33.000.000	0	30	5.500.000	1.100.000
	Haberleşme	28.200.000	0	25	0	1.128.000
	Çevresel kontrol sistemleri	33.125.000	5	25	1.656.250	1.258.750
	İstasyon yardımcı tesisleri	15.312.500	0	25	0	612.500
	Atölye ekipmanı	8.000.000	10	25	800.000	288.000
	Araç	226.800.000	10	25	22.680.000	8.164.800
	Toplam	419.137.500			55.386.250	13.542.050
	Genel toplam	977.412.500			283.128.036	14.226.050

## 7.2.Ekonomik Kazanç

### 7.2.1 Ekonomik fayda

Başlangıçta metro projelerinin uygulama maliyetleri yüksek görünse de zamanla ekonomik fayda ile geri dönüşümü de yüksektir

Metro Projelerinin ekonomik faydaları i şunlardır:

- Ulaşım süresi maliyeti tasarrufları
- Karayolu ve araçların işletim maliyeti tasarrufları
- Otobüs ve minibüs yatırımlarındaki azalma ile bakım maliyet tasarrufları
- Karayolu kazaları maliyet tasarrufları

Yolcuların zaman maliyetlerinde azalma, ulaşım modeli kullanılarak, projenin yapılması ve yapılmaması durumlarında, toplam yolcu-saatler arasındaki fark olarak

hesaplanıp, projenin yapılması ile yolculuk başına kazanılacak ortalama yolculuk süresi hesaplanır. Örneğin; Üsküdar – Ümraniye metro projesinin yapılması durumunda kişi başına kazanılacak ortalama yolculuk süresi 23.0 dakika,20 yıl sonra ise 47.0 dakika olarak hesaplanmıştır.

Yolculuk zamanının ekonomik değerinin hesaplanmasında, Devlet Enstitüsü'nün "Hane halkı gelir dağılımı" verileri kullanılabilir (Tablo 7.7).

**Tablo 7.7** Ortalama Zaman Değeri -2004

	Özel araç kullanıcısı	Toplu taşıma kullanıcısı	Ortalama
Kişi başına GSYİH (USD)	7.066	4.162	6065
Çalışan kişi başına GSYİH (USD)	23,553	13,874	20.217
Çalışma Saati Başına Zaman Değeri (USD/Saat)	11,06	6,51	9,49
Çalışma Saati Dışında Zaman Değeri (USD/Saat)	2,76	1,63	2,37
Ortalama Zaman Değeri	6,91	4,07	5,93

Yıllık ortalama çalışma günü sayısı :

365-52 (Pazar günleri)-30 (yıllık izin)-17 (tatiller ve diğer izinler) = 266 bulunur.

Çalışma saati ise 2130 olarak alınabilir (Anonim 2007).

Bazı ekonomistler iş amaçlı yolculuklar dışındaki yolculuklar için bir zaman değerinin göz önüne alınmamasını savunmuşlardır. Dünya Bankası gibi bazı analizciler ise bu yolculukların zaman değerinin iş yolculukları için hesaplanan değer % 25-30'u kadar olduğunu öngörmüştür(Anonim 2006).

Üsküdar-Ümraniye metro projesi için, çalışma dışındaki zaman değeri çalışma zamanının %25'i olarak alınmış ve projenin yapılmasıyla ortaya çıkacak zaman kazançlarının ekonomik değeri Tablo 7.8'de gösterilmiştir.

Ulaştırma sistemi kullananlar için seyahat süresi, metro sistemlerin olduğu ve olmadığı durumlardaki seyahat süreleri farkı olarak hesaplanır. Tasarruf edilen seyahat süresi de, metro sistemlerin ortalama hızı (bekleme ve indibindi sürelerini de içerecek şekilde 37 km/h) ve otobüslerin ortalama günlük hızları ile karşılaştırılarak hesaplanabilir.

Tablo 7.8, Üsküdar-Ümraniye metro projesi için hazırlanmış yıllık toplam tasarruf edilen yolculuk süreleri miktarını göstermektedir. Tasarruf edilen yolculuk süreleri toplamının yıllık ekonomik değeri ise 5,93 USD olarak kabul edilen ortalama zaman değeri yardımıyla hesaplanmıştır.



**Tablo 7.8** Yolculuk Süresi Tasarrufu ( USD) ( Üsküdar –Ümraniye Metro Projesi İçin)

Yıl (1-5. yıl yapım)	Otobüs ve Minibüs Ticari Hızlar (Km/Saat)	Yolculuk Başına Tasarruf Edilen Süre (Dakika)	Günlük Tasarruf Edilen Süre (Saat)	Yıllık Tasarruf Edilen Süre (Saat)	Tasarruf Edilen Seyahat Süresi Değeri (USD)
6.	20,0	23	251.049	91.632.996	543.383.669
7.	19,6	24	271.941	99.258.421	354.352.562
8.	19,2	25	293.902	107.274.409	382.969.641
9.	18,8	27	316.965	115.692.096	413.020.783
10.	18,4	28	341.159	124.522.907	444.546.778
11.	18,1	29	366.517	133.778.566	477.589.482
12.	17,7	30	393.072	143.471.106	512.191.848
13.	17,4	31	420.857	153.612.871	548.397.948
14.	17,0	32	449.908	164.216.528	586.253.004
15.	16,7	33	480.260	175.295.075	625.803.417
16.	16,3	35	511.950	186.861.847	667.096.794
17.	16,0	36	545.015	198.930.527	710.181.980
18.	15,7	37	579.494	211.515.150	755.109.085
19.	15,4	38	616.391	224.982.609	803.187.914
20.	15,1	40	654.848	239.019.357	853.299.104
21.	14,8	41	694.908	253.641.290	905.499.404
22.	14,5	42	736.616	268.864.715	959.847.031
23.	14,2	44	780.017	284.706.361	1.016.401.710
24.	13,9	45	825.160	301.183.391	1.075.224.706
25.	13,6	47	872.092	318.313.409	1.136.378.870

Metro yolcu taşıma sistemleri diğer sistemlere kıyasla daha az enerji tüketmektedir. Ankara belediyesinin şehir içinde çalıştırdığı toplu taşıma sistemlerinde yapılan bir araştırmada enerji verimliliği yönünden taşınan yolcu sayısı ve tüketilen enerji miktarlarından yola çıkılarak, metro yolcu taşıma sisteminde tüketilen enerji 398 kcal/yolcu , otobüs yolcu taşıma sisteminde tüketilen enerji 1439 kcal/yolcu değerleri bulunmuştur (Gökdağ 1999).

Metro taşıma sisteminin kurulmasında arazi kullanımı diğer taşıma sistemlerine göre daha azdır. Nüfusu yoğun şehirlerde bir saatte 50.000 yolcu bir yere götürmek için metronun 9 m genişliğinde ayrılmış geçiş hakkı olan bir yola, bir otobüsün 35 m genişliğinde bir yola ve arabaların 175 m genişliğinde bir yola gereksinim duymaktadır ([http:// www.uitp.org](http://www.uitp.org)).

Yine Üsküdar-Ümraniye metro projesi için, Otobüs ve minibüslerin ortalama işletme giderleri İ.E.T.T ile İstanbul Demiryolu ve Tünel İşletmeleri'nin 1987 yılında hazırladığı ve 1998 yılında güncellediği, Boğaz Raylı Sistem Tünel Geçişi ile İstanbul Metro Sistemi Projesi Fizibilite Çalışmaları ve Avan Projeleri adlı çalışmadan elde edilmiş ve otobüs ve minibüslerin ortalama işletme giderleri km başına 0,678 ve 0,275 USD olarak hesaplanmış ve raylı sistemin uygulanması halinde, otobüs-minibüs işletme tasarrufu, otobüs minibüs yatırım ihtiyacı azalması, otobüs – minibüs yatırımlarının azalması ile oluşan yol bakım tasarrufu, otobüs ve minibüslerde oluşan kaza maliyetleri tasarrufu Tablo 7.9'de gösterilmiştir.

Tablo 7.9'de Üsküdar-Ümraniye metro projesinin ekonomik maliyet ve faydaların akışı verilmiş ve %12 iskonto oranı kullanılarak hesaplanan maliyet ve faydaları zamanın yüksek değeri senaryosu için (zaman değerinin ortalama 5,93 \$ alınıp ) özetlenmiş ve bilet gelirleri için yıllık %2 oranında enflasyon artışı öngörülmüş. Projenin ekonomik faktörlerin değerleri aşağıdaki gibi,

$$\text{Fayda/maliyet oranı} = 15.124.035.802/1.969.460.632 = 7,68$$

$$\text{Net şimdiki değeri} = 1.720.762.650 \$$$

İç verimlilik oranı % 28 çıkmaktadır.

Bu değerler göstermektedir ki “Üsküdar –Ümraniye Metro Projesi” ekonomik olarak yapılabilir özelliklere sahiptir.

**Tablo 7.9** Ekonomik Analiz Sonuçları ( Üsküdar –Ümraniye Metro Projesi İçin)

YIL	MALİYETLER (\$)				FAYDALAR (\$)					NET FAYDA (\$)		
	İNŞAAT MALİYETLERİ	TRAMVAY ARAÇLARI	İŞLETME VE BAKIM MALİYETLERİ	TOPLAM MALİYETLER	YOLCULUK SÜRESİ TASARRUFU	OTOBÜS&MİN. İŞLETME TASARRUFU	OTOBÜS&MİN. YATIRIM İHTİYACI	OTOBÜS&MİN. YOL BAKIM TASARRUFLARI	OTOBÜS&MİN. KAZA MALİYETİ TASARRUFLARI	TOPLAM FAYDALAR	NET FAYDA	KÜMÜLA TİF TOPLAM
1.	127.603.250	0		127.603.250							-	-127.603.250
2.	188.830.750	56.700.000		245.530.750							-	-373.134.000
3.	188.830.750	56.700.000		245.530.750							-	-618.664.750
4.	151.298.250	56.700.000		207.998.250							-	-826.663.000
5.	191.790.750	56.700.000		248.490.750							-	-1.075.153.750
6.	0	0	26.899.847	26.899.847	543.383.669	36.205.354	57.450.000	6.981.129	314.435	644.334.585,70	617.434.738,62	-457.719.011
7.	0	0	27.437.844	27.437.844	354.352.562	37.581.687	2.175.000	7.247.772	326.450	401.683.470,09	374.245.626,07	-83.473.385
8.	0	32.400.000	31.139.326	63.539.326	382.969.641	38.958.020	2.175.000	7.514.416	338.465	431.955.540,63	368.416.214,23	284.942.829
9.	0	0	31.762.113	31.762.113	413.020.783	40.334.352	2.175.000	7.781.059	350.479	463.661.673,93	431.899.561,00	716.842.390
10.	0	0	32.397.355	32.397.355	444.546.778	41.710.685	2.175.000	8.047.703	362.494	496.842.659,71	464.445.304,52	1.181.287.69
11.	0	0	33.139.372	33.139.372	477.589.482	43.087.018	2.175.000	8.314.346	374.509	531.540.355,30	498.400.982,81	1.679.688.67
12.	0	0	33.918.054	33.918.054	512.191.848	44.463.351	2.175.000	8.580.989	386.524	567.797.712,21	533.879.657,79	2.213.568.33
13.	0	0	34.727.376	34.727.376	548.397.948	45.839.684	2.175.000	8.847.633	398.539	605.658.803,41	570.931.427,13	2.784.499.76
14.	0	0	35.569.909	35.569.909	586.253.004	47.216.017	2.175.000	9.114.276	410.554	645.168.851,13	609.598.941,66	3.394.098.70
15.	0	32.400.000	39.535.338	71.935.338	625.803.417	48.592.350	2.175.000	9.380.920	422.569	686.374.255,51	614.438.917,51	4.008.537.62
16.	0	0	40.772.951	40.772.951	667.096.794	49.968.683	2.175.000	9.647.563	434.584	729.322.623,75	688.549.673,20	4.697.087.29
17.	0	0	41.588.410	41.588.410	710.181.980	51.345.015	2.175.000	9.914.207	446.598	774.062.800,13	732.474.390,57	5.429.561.68
18.	0	0	42.420.178	42.420.178	755.109.085	52.721.348	2.175.000	10.180.850	458.613	820.644.896,63	778.224.718,88	6.207.786.40
19.	0	0	43.268.581	43.268.581	803.187.914	54.184.920	2.315.000	10.464.094	471.375	870.623.302,52	827.354.721,22	7.035.141.12
20.	0	32.400.000	47.958.850	80.358.850	853.299.104	55.648.491	2.315.000	10.747.337	484.137	922.494.069,83	842.135.219,87	7.877.276.34
21.	0	0	48.918.027	48.918.027	905.499.404	57.112.063	59.765.000	11.030.581	496.898	1.033.903.946,56	984.985.919,60	8.862.262.26
22.	0	0	49.896.388	49.896.388	959.847.031	58.575.634	4.490.000	11.313.825	509.660	1.034.736.150,50	984.839.763,00	9.847.102.02
23.	0	0	50.894.315	50.894.315	1.016.401.710	60.039.206	4.490.000	11.597.068	522.422	1.093.050.405,58	1.042.156.090,33	10.889.258.1
24.	0	0	51.912.202	51.912.202	1.075.224.706	61.502.777	4.490.000	11.880.312	535.183	1.153.632.979,09	1.101.720.777,53	11.990.978.8
25.	0	0	52.950.446	52.950.446	1.136.378.870	62.966.349	4.490.000	12.163.556	547.945	1.216.546.719,80	1.163.596.274,21	13.154.575.1
	848.353.750	324.000.000	797.106.882	1.969.460.632						15.124.035.802,0		

### 7.2.2 İşletme gelirleri

İşletme gelirleri, yolcu sayısına bağlı bilet ve reklam panolarından alınan ücretlerdir. Ayrıca istasyonlarda bulunabilecek çok amaçlı salon ve dükkânlardan gelir sağlanabilir.

**Tablo 7.10** İşletme Gelirleri (\$) (Üsküdar – Ümraniye Metro Projesi İçin)

Yıl	Metro yolcu sayısı	Reklam gelirleri	İşletme gelirleri
1.	234.481.742	5.000.000	122.240.871
2.	243.503.530	5.000.000	130.404.318
3.	252.525.318	5.000.000	138.952.055
4.	261.547.107	5.000.000	147.899.793
5.	270.568.895	5.000.000	157.263.838
6.	279.590.684	5.000.000	167.061.115
7.	288.612.472	5.000.000	177.309.192
8.	297.634.260	5.000.000	188.026.299
9.	306.656.049	5.000.000	199.231.354
10.	315.677.837	5.000.000	210.943.988
11.	324.699.625	5.000.000	223.184.573
12.	333.721.414	5.000.000	235.974.242
13.	342.743.202	5.000.000	249.334.926
14.	352.316.982	5.000.000	263.694.683
15.	361.890.762	5.000.000	278.696.124
16.	371.464.543	5.000.000	294.364.827
17.	381.038.323	5.000.000	310.727.325
18.	390.612.103	5.000.000	327.811.145
19.	400.185.883	5.000.000	345.644.839
20.	409.759.663	5.000.000	364.258.025
	<b>TOPLAM GELİR</b>	<b>100.000.000</b>	<b>4.533.023.532</b>

Örnek olarak, Tablo 7.7’de Üsküdar – Ümraniye metro projesi için bilet değeri 0,5\$ olduğu durumda yıllık gelirler gösterilmiş, bilet gelirleri için %2 oranında enflasyon artışı öngörülmüş.

İşletme gelirlerine göre yapılan kredili mali analizde, yapım için 516.878.750 \$ kredi kullanılması ve kredi (iş bankası ticari kredi şartları )koşulları ,

Kredi faizi : % 6,80

Taahhüt komisyon ve masraflar : % 0,27

Yönetim komisyonu % 1,00

Kredi kullanımı : inşaat süresi (5 yıl)

Geri ödemesiz süre : inşaatın başlamasından itibaren 5 yıl

Geri ödeme süre : 20 yıl

Ödeme biçimi : yıllık eşit ödemeler halinde olmasına göre

Kredi geri ödeme miktarı 874.920.660 \$ olup,

20 yıllık işletme ve bakım giderleri ile projenin maliyeti 2.327.502.542 \$'a çıkmaktadır (Tablo 7.11). İşletmenin gelirleri ile 17 yılda kar etmeye başlaması ve iç verimlilik oranının %10,15 çıkması bu projenin mali anlamda yapılabilir bir proje olduğunu göstermektedir.

**Tablo 7.11** Mali Analiz (USD) – (Üsküdar-Ümraniye Metrosu için Kredili Seçenek)

Yıl	Hat ve Tesis	Taşıt Yatırımları	İşletme Giderleri	Vergi+Harç giderleri	Kredi Geri Ödemesi	Toplam Giderler	İşletme Gelirleri	Nakit Akışı	Net Nakit Akışı	Kümülatif Nakit Akışı
1	108.055.00			0	13.593.911	121.648.911		-	-	
2	169.282.50	516.878.750		0	14.059.102	183.341.602		-	-	-304.990.513
3	169.282.50			0	21.088.653	190.371.153		-	-	-495.361.666
4	57.627.500			0	28.118.204	85.745.704		-	-	-581.107.370
5	54.027.500			0	35.147.755	89.175.255		-	-	-670.282.625
6			26.899.847	5.896.352	67.263.155	94.163.002	122.240.87	28.077.869	22.181.517	-648.101.109
7			27.437.844	7.989.766	64.919.971	92.357.815	130.404.31	38.046.503	30.056.737	-618.044.371
8		32.400.000	31.139.326	2.695.548	62.576.787	126.116.114	138.952.05	12.835.941	10.140.394	-607.903.978
9			31.762.113	11.739.856	60.233.604	91.995.717	147.899.79	55.904.076	44.164.220	-563.739.757
10			32.397.355	14.064.973	57.890.420	90.287.775	157.263.83	66.976.062	52.911.089	-510.828.668
11			33.139.372	16.458.646	55.547.236	88.686.609	167.061.11	78.374.507	61.915.860	-448.912.808
12			33.918.054	18.939.288	53.204.053	87.122.107	177.309.19	90.187.085	71.247.797	-377.665.011
13			34.727.376	21.511.991	50.860.869	85.588.245	188.026.29	102.438.054	80.926.063	-296.738.948
14			35.569.909	24.180.189	48.517.685	84.087.595	199.231.35	115.143.759	90.963.570	-205.775.378
15		32.400.000	39.535.338	19.495.171	46.174.502	118.109.840	210.943.98	92.834.149	73.338.977	-132.436.401
<b>16</b>			<b>40.772.951</b>	<b>29.101.864</b>	<b>43.831.318</b>	<b>84.604.269</b>	<b>223.184.57</b>	<b>138.580.304</b>	<b>109.478.440</b>	<b>-22.957.961</b>
17			41.588.410	32.108.517	41.488.134	83.076.544	235.974.24	152.897.698	120.789.182	97.831.221
18			42.420.178	35.231.657	39.144.951	81.565.128	249.334.92	167.769.798	132.538.140	230.369.361
19			43.268.581	38.561.110	36.801.767	80.070.348	263.694.68	183.624.335	145.063.225	375.432.585
20		32.400.000	47.958.850	34.414.525	34.458.583	114.817.433	278.696.12	163.878.691	129.464.166	504.896.751
21			48.918.027	51.543.828		48.918.027	294.364.82	245.446.800	193.902.972	698.799.723
22			49.896.388	54.774.497		49.896.388	310.727.32	260.830.937	206.056.441	904.856.164
23			50.894.315	58.152.534		50.894.315	327.811.14	276.916.829	218.764.295	1.123.620.459
24			51.912.202	61.683.854		51.912.202	345.644.83	293.732.637	232.048.783	1.355.669.243
25			52.950.446	65.374.592		52.950.446	364.258.02	311.307.579	245.932.987	1.601.602.230
<b>Topl</b>	<b>558.275.000</b>	<b>614.078.750</b>	<b>797.106.882</b>	<b>603.918.758</b>	<b>874.920.660</b>	<b>2.327.502.542</b>	<b>4.533.023.531</b>	<b>2.205.520.989</b>	<b>1.601.602.230</b>	

İç verimlilik oranı = % 10,15

## 8.SONUÇ

Raylı sistemler, bugün hızlı ve plansız gelişen kentlerimizde ulaştırma sorununun çözülmesinde en önemli planlama aracı olarak kabul edilmelidir.

Metro sistem ağının kurulduğu büyük şehirlerde; taşınan yolcu sayısı yüksek rakamlarda olacağı için lastik tekerlekli araçlara olan talebin düşmesini sağlayacak, böylece çevre kirliliği azalacaktır. Aynı zamanda modern, hızlı, konforlu ve güvenli olmasından dolayı tercih edebilecek dolayısı ile şehir içi trafik probleminin çözümü yönünde olumlu katkıda bulunacaktır.

Başlangıçta büyük şehirlerdeki kentsel trafik sıkışıklığı ile mücadele etmek üzere tasarlanmış olan metro sistemleri artık sadece taşımacılık altyapıları sağlama rolünü üstlenmemektedir. Günümüzde metro sistemleri, üzerinden taşımacılık politikasının geliştirildiği ve yaşam kalitesini iyileştirmede temel faktör haline gelen kentsel bir yapılandırma aracı olma yolunda olduğu görülmektedir.

Metrolar ile kaliteli ve hızlı yolculuk imkânının sunulması yolculuk talebini artıracaktır. Yolculara konforlu bir ortam sunmanın yanında, yangın anında duman kontrolü ve kaçış yollarında sıcaklığın belirli bir sıcaklıkta olması havalandırma tesisatı ile sağlanacağından havalandırma sisteminin metroya özel olması sonucu çıkartılmıştır. Tüm bunlara karşın raylı sistem istasyonlarının havalandırma tasarımında kullanılacak kriterleri toplu olarak gösteren bir kaynak mevcut değildir bu maksatla, TSE, ASHRAE, NFPA Standartlarından yararlanarak hazırlanan ve ülkemizdeki bazı raylı sistem yer altı istasyonları tasarımlarında kullanılan veriler kullanılmaktadır. Yapılan bu çalışmada bu veriler araştırılarak örnek projenin havalandırma sistemi hesapları yapılmıştır.

Metro uygulamaları, büyük bir titizlikle şehrin gereksinimleri doğrultusunda, teknolojik ve ekonomik uygulanması gerekmektedir. Metroyu yaygınlaştıracamız diye yeterli araştırma yapılmadan inşası kararı kaynakların heba edilmesine yol açacağından bu hususta hassas olunması şarttır. Metro sistemi maliyeti en aza indiren, buna karşılık sosyal yararı en fazla olacak şekilde tasarlanmalıdır. Bunun için, 7. Bölümde metro

uygulamalarının mali ve ekonomik yönlerine değinilmiştir. Örnek olarak alınan, ilk yatırım maliyeti 1.075.153.750 \$ olan metro projesinin, mali analizinde 516.878.750 \$ kredi kullanılması durumu incelendiğinde yatırım ve kredi maliyetini 17 yılda ödeyebildiği, iç verimlilik oranının özel kesim yatırımcılar için çekici bir değerde (%10,15)olduğu, ekonomik analiz sonucunda iç verimliliğın % 28 çıktığı sosyal fayda ile ekonomik maliyet sağlandığı ortaya çıkmış ve projenin mali ve ekonomik yönden yapılabilir nitelikte olduğunu görölmüştür.

Ülkemizde raylı sistemler kapsamına giren tramvay, hafif metro ve metro uygulamaların çoğunluğu belediyeler tarafından yapılmaktadır. Fakat her belediye kendine özel sistem tasarlamakta en verimli sistemin kendilerinki olduğunu iddia etmektedir. Her siyasi dönem, teknolojininde değişmesi ile farklı projeler uygulama yolunu seçmektedir. Bu özellikle raylı sistem araçlarında çeşitliliğe sebep olmakta, bir sistemde çalışan araç diğer sistemlerde çalışamadığından kesişen raylı sistem hatlarında problemlere sebep olmaktadır. Ülke ekonomisi için, raylı sistem (tramvay,hafif raylı,metro) uygulamalarının genel tasarımlarında standartlaşmaya gidilmelidir.

Bir metro sisteminin inşa edilme fikri temel olarak sadece geleneksel mali kriterlere göre değil kamu menfaati odaklı hedeflere dönük olması gerekir.

Tüm bunlar göz önüne alındığında büyük veya büyümekte olan kentler için ulaşım ağı ekonomik, çevre dostu, güvenli, konforlu olması sebeplerinden metro olmalıdır ve düşük kapasiteli, besleyicili sistemlerin metro taşıma sistemleri ile ortak bir şekilde çalışması sağlanmalıdır.



## 9.KAYNAKLAR

- Alkaşı S.veAçıkbaş S.**,(2006) “Şehiriçi Raylı Ulaşımında Gerilim Seviyeleri ve Enerji İletim Sistemleri”,*Uluslararası Demiryolu Sempozyumu*,İstanbul
- Ana Britannica**, (1989) Metro, 16, 5.
- Anonim** (2006) Metro İstasyonları Tasarım Kriterleri, *Tekfen Mühendislik*, İstanbul
- Anonim** (2007) Metro İstasyonları Tasarım Kriterleri, *Ulaşım A.Ş.*,İstanbul
- ASHRAE**(2003) Handbook,HVAC Applications,ASHRAE,
- Asiloğulları E. Ve Mollamahmutoğlu M.** (1999) Raylı Sistem İşletmeciliği” **II.Ulaşım ve Trafik Kongresi**, Ankara, s.401-406
- Baser, Ş.T.** (1994) Yer altı Faaliyetleri Tarihçesi,*İstanbul*
- Baykal, E.**, (1997)Metro Sisteminin Aydınlatılması, *Yüksek Lisans Tezi*, İTÜ *Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Bozdoğan R.**,(2004) Transportation System of Turkey (Present and Future), Raylı Sistemler Tanıtım Sunusu,**İBB Ulaşım Daire Başkanlığı**,İstanbul
- Çetindağ, B.** (2002) Metro İstasyonları Tasarım Kriterleri İstanbul Metro su ve Londra Tottenham Court Road İstasyonu Örnekleri, Yüksek Lisans Tezi, *İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Çobanoğlu, H.** (2003) New York Subway, YGS Yayınları
- Demirbugan,M.A.** (2008) Yatırım projelerinin net bugünkü değer ve iç karlılık yöntemlerinin karşılaştırılması **Afyonkocatepe Üniversitesi İ.İ.B.F.Dergisi**
- DLH**-Hafif Raylı Sistem Kriterleri, Demiryolları Limanlar Havayolları
- Eralp, O.C.** (2003) Yer altı Toplu Taşıma Sistemlerinde Acil Durum Havalandırması, *IV. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi*, İstanbul
- Eralp, O.C.** (2007) Yer altı Taşıma Sistemleri İstasyonlarında Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Yöntemiyle Yangın ve Havalandırma Simülasyonu”, *VII. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, İstanbul, s.65-68
- Eskin,N.**(1993) Bir Metro İstasyon Modülünün Havalandırma Sistemi Tasarımı,*Tesisat Mühendisliği Dergisi* 8.Sayı, s.60-64
- Evren, G.** (2002) Demiryolu, *Birsen Yayınevi*, İstanbul
- Evren, G.ve Öğüt, K.S.** (2006) Türkiye’de Kentsel Raylı Sistemlerin Gerekliliği ve Uygulamada Dikkat Edilecek Konular” *Uluslararası Demiryolu Sempozyumu*, İstanbul
- Garip, M.** (1997) Türkiyedeki Raylı Ulaşım Sistemlerinin İncelenmesi”Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, s.70-82

- Gökdağ M.**(1999) Kentsel Ulaşımında Karayolu ve Raylı Taşıma Sistemlerinin Bazı Önemli Faktörlere Göre Karşılaştırılması” **II.Ulaşım ve Trafik Kongresi**, Ankara, s.394-400
- İBB Ulaşım Planlama Müdürlüğü**, (2007) Üsküdar-Ümraniye Metro Projesi *Fizibilite Raporu*, İstanbul
- İBB Ulaşım Planlama Müdürlüğü**, (2007) Üsküdar-Ümraniye Metro Projesi *Teknik Şartname*, İstanbul
- Kayserioğlu, R.S**, (2001) Dersaadet’ten İstanbul’a Tren,*İETT Genel Müdürlüğü Yayınları*,İstanbul
- Neccar Ö.**(2007) Üsküdar-Ümraniye Metro Projesi Mekanik Hesap Raporu *7A Mühendislik* s.30-43,İstanbul
- NFPA**, NFPA130- Standart for Fixed Guideway Transit System,National Fire Protection Association, 2003 Edition
- OCAK, İ.,MANİSALI E.**,(2006) Kentsel Raylı Taşıma Üzerine Bir İnceleme (İstanbul Örneği),*SAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 10.Cilt* s.51-59
- Özbakır, E.**,(2007) Yer Altı Raylı Sistem İstasyonlarında Isıtma,Havalandırma,Klima Tesisatı, *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, sayı :97, s.375-382
- Paker, N.**, (1992) Mimari Tasarımda Biçim Grameri: Metro İstasyon Tasarımı,Yüksek Lisans Tezi, *İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Pektaş,A.G.**, (1997)Metro İstasyonlarında Yolcu Sirkülasyonunun Değerlendirilmesi İçin Bir Uzman Sistem Önerisi, Yüksek Lisans Tezi, *İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Sevdi,A.**, (1992) Mimari Tasarımda Bina Total Performansı Kavramı: Metro İstasyonlarında Değerlendirme, Yüksek Lisans Tezi, *İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- SEDH** (1985) Subway Environmental Desing Handbook,V.1,Principals and Appllications,2nd Edititon, *U.S. Department of Transportation*,
- Toprak R.**,(2005) Raylı Ulaşım Sistemlerinin Çevresel Etkileri,*Raylı Sistemler Bülteni*,İstanbul s.25-31
- TS-12186**, (1997) Şehiriçi Yollar-Raylı Taşıma Sistemleri-Yer Üstü İstasyon Tesisleri Tasarım Kuralları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- TS-12127**, (1997) Şehiriçi Yollar-Raylı Taşıma Sistemleri Bölüm 1:Yeraltı İstasyon Tesisleri Tasarım Kuralları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara
- TS- 12460**, (1998) Şehiriçi Yollar-Raylı Taşıma Sistemleri Bölüm 5:Özürü ve Yaşlılar İçin Tesislerde Tasarım Kuralları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- TS- 12525**, ( 1999) Yangın Önleme-Metro ve Hafif Raylı Sistemler-İstasyonlar Genel, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.

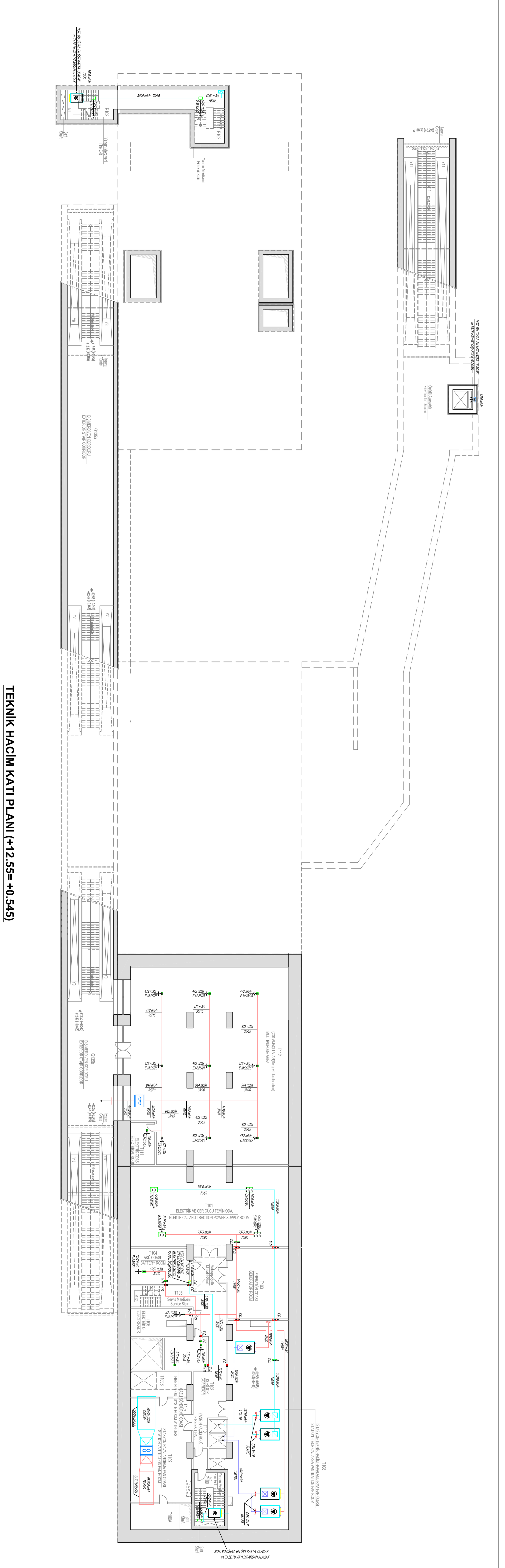
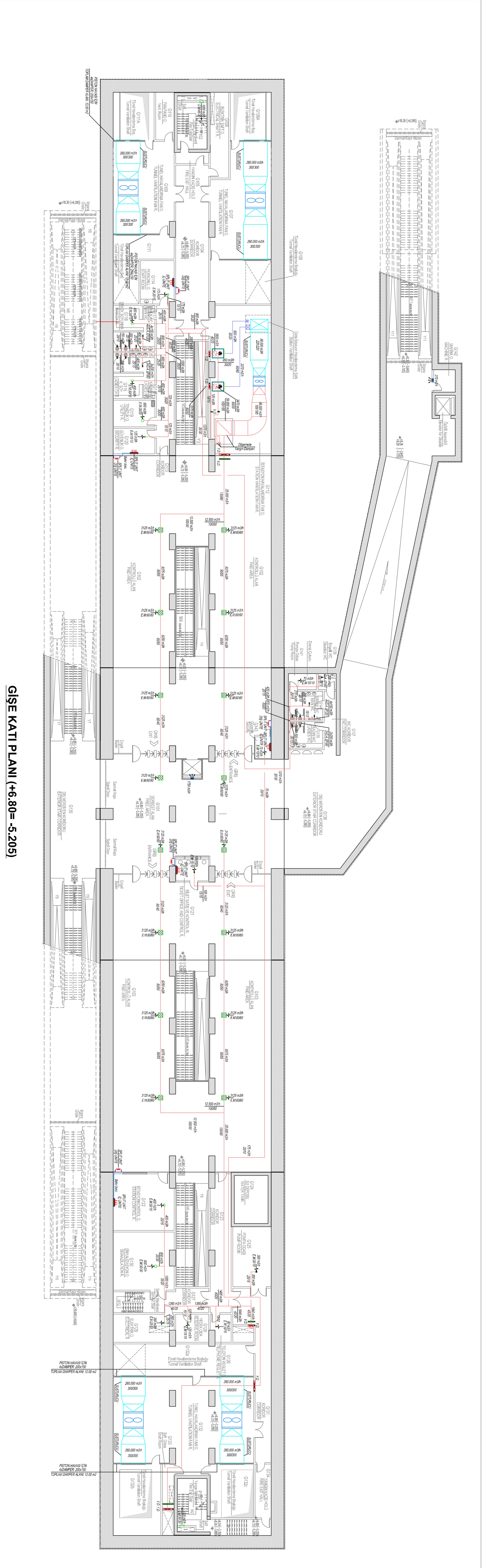
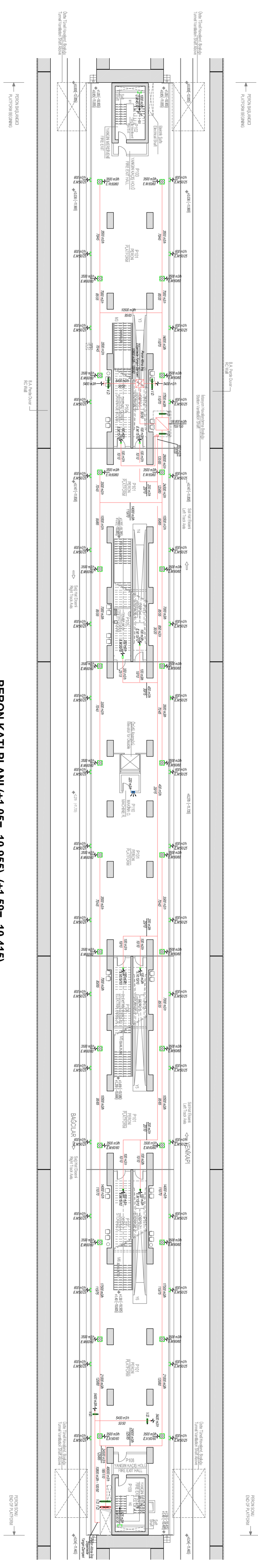
**TUNÇ, H.**, (2007) Yer altı Metro İstasyonlarında Algısal Faktörlerin İrdelenmesi: Taksim Metro İstasyonu,*Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.

**WEB\_1** : <http://www.iett.gov.tr/>

**WEB\_2** : <http://www.istanbul-ulasim.com.tr/>

**WEB\_3** : <http://www.uitp.org>

## **EKLER**



## ÖZGEÇMİŞ

Şadiye AKGÜL LALOĞLU, 1978 yılında Bucak'ta doğdu. 1995 yılında girdiği Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliğinden 1999 yılında mezun oldu. 1999-2002 yılları arasında özel sektörde, 2002-2004 yılları arasında Erzurum, 2004-2005 yılları arasında İstanbul Köy Hizmetlerinde çalışmış ve 2005 yılından beri İstanbul Büyükşehir Belediyesinde çalışmaktadır.