

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BİR METRO İSTASYONUNDA KONFOR ŞARTLARINA PERON AYIRICI  
KAPI ETKİSİNİN SAYISAL ANALİZİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Ali Behlül SAMUR**

**Makina Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Isı-Akışkan Programı**

**HAZİRAN 2013**



**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BİR METRO İSTASYONUNDA KONFOR ŞARTLARINA PERON AYIRICI  
KAPI ETKİSİNİN SAYISAL ANALİZİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Ali Behlül SAMUR  
(503101100)**

**Makina Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Isı-Akışkan Programı**

**Tez Danışmanı: Prof. Dr. Nurdil ESKİN**

**HAZİRAN 2013**



İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 503101100 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Ali Behlül SAMUR**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**BİR METRO İSTASYONUNDA KONFOR ŞARTLARINA PERON AYIRICI KAPI ETKİSİNİN SAYISAL ANALİZİ**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

**Tez Danışmanı :**      **Prof. Dr. Nurdil ESKİN**      .....

İstanbul Teknik Üniversitesi

**Jüri Üyeleri :**      **Prof. Dr. Mesut GÜR**      .....

İstanbul Teknik Üniversitesi

**Doç. Dr. Özden AĞRA**      .....

Yıldız Teknik Üniversitesi

**Teslim Tarihi :**      **03 Mayıs 2013**

**Savunma Tarihi :**      **03 Haziran 2013**



## **ÖNSÖZ**

Bu tez çalışması süresince bilgi ve tecrübesini esirgemeyerek bana yol gösteren ve destek olan kıymetli tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Nurdil ESKİN'e, bu tezin tamamlanmasında fikirlerine danıştığım, teknik destek sağlayan ve her konuda yardımlarını esirgemeyen Dr. Yıldırım YEDİKARDEŞ'e, yüksek lisans eğitimim boyunca ve tez süresinde gösterdikleri anlayış ve destekten dolayı Sayın Orhan USTAOĞLU'na, Sayın Muhammet BÜYÜKKABA'ya ve Sayın İrfan İPŞİR'e; analiz süresince ve ölçümlerde yardımcı olan her daim fikir alışverişinde bulunduğum Bilal TİMUÇİN, Oğuzhan KURT ve Mehmet BAŞPINAR'a; yüksek lisans eğitimi tamamlamamda etkileri olan çalışma grubum Eren ÇAKIR ve Cem ÖZMEN'e; Tez süresince gösterdikleri sabırdan dolayı İ. Hakkı KAYSERİLİOĞLU, Selim DURMUŞ ve Elektromekanik şefliği çalışanlarına teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca yüksek lisans eğitimim boyunca manevi desteklerini esirgemeyen aileme teşekkür ederim.

Haziran 2013

Ali Behlül SAMUR  
(Makina Mühendisi)



## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
<b>ÖNSÖZ</b> .....	v
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	vii
<b>KISALTMALAR</b> .....	ix
<b>ÇİZELGE LİSTESİ</b> .....	xi
<b>ŞEKİL LİSTESİ</b> .....	xiii
<b>SİMGELER</b> .....	xvii
<b>ÖZET</b> .....	xix
<b>SUMMARY</b> .....	xxi
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
1.1 Tezin Amacı .....	2
1.2 Literatür Araştırması .....	3
1.3 Metro İstasyonlarında Havalandırma ve Yolcu Konfor Standartları .....	11
1.4 Metrolarda Peron Ayırıcı Kapı.....	14
1.5 Literatür Araştırması Sonucunda Çalışmaya İlişkin Kazanımlar.....	15
<b>2. İSTANBUL METROSU VE ŞİŞLİ İSTASYONU</b> .....	<b>17</b>
2.1 İstanbul Metrosu (M2 Şişhane – Hacıosman Hattı).....	17
2.2 Şişli İstasyonu .....	18
<b>3. ŞİŞLİ İSTASYONU ISIL YÜK HESAPLARI</b> .....	<b>21</b>
3.1 Araç Kaynaklı Isıl Yük Hesapları .....	21
3.1.1 Araç frenlemesi ile oluşan ısı yük hesabı .....	22
3.1.1.1 Hava direnci kaynaklı ısı kazancı .....	23
3.1.1.2 Mekanik sürtünme kaynaklı ısı kazancı.....	23
3.1.1.3 Motor kayıplarından kaynaklı ısı kazancı .....	23
3.1.1.4 Rezistörden kaynaklı ısı kazancı.....	24
3.1.2 Araç ivmelenmesi ile oluşan ısı yük hesabı.....	24
3.1.3 Araç klimasından gelen ısı yük hesabı.....	24
3.1.4 Araç kompresöründen gelen ısı yük hesabı .....	25
3.1.5 Araç-3.ray kaynaklı ısı yük hesabı.....	25
3.2 Tünel Kaynaklı Isıl Yük Hesapları .....	26
3.3 İstasyon Kaynaklı Isıl Yük Hesapları .....	26
3.3.1 İstasyon aydınlatması kaynaklı ısı kazancı .....	27
3.3.2 İstasyonda bulunan asansör ve yürüyen merdiven kaynaklı ısı kazancı ...	27
3.3.3 İstasyonda bulunan reklam ekranlarından kaynaklı ısı kazancı.....	28
3.3.4 İstasyonda iklimlendirme yapılan teknik oda kaynaklı ısı kazancı.....	28
3.3.5 Yolcu kaynaklı ısı kazancı .....	29
3.4 Kontrol Hacminde Yapılan Isıl Kazanç Hesap Sonuçları.....	31
<b>4. İSTASYON VE TÜNELLERİN 3 BOYUTLU MODELLENMESİ</b> .....	<b>33</b>
4.1 Şişli İstasyonu Model Optimizasyonu .....	34
<b>5. HAD ANALİZİ VE PROGRAM GİRDİLERİ</b> .....	<b>37</b>
5.1 Malzeme ve Malzeme Özelliklerinin Tanıtılması.....	37

5.2 Sınır Şartları .....	40
5.3 Başlangıç Şartları .....	42
5.4 Tren Hareketi.....	43
5.5 Çözüm Ağı Oluşturulması.....	44
5.6 Çözüm Yönteminin Belirlenmesi .....	45
<b>6. HAD ANALİZ SONUÇLARI .....</b>	<b>47</b>
6.1 Mevcut Durumun Normal İşletme Şartları Altındaki Sonuçları .....	47
6.1.1 Hava hızı sonuçları.....	49
6.1.2 Basınç değişim sonuçları.....	52
6.1.3 Sıcaklık değişim sonuçları .....	56
6.1.4 Hava debisi sonuçları .....	59
6.1.5 Tünel-istasyon hava karışım sonuçları .....	61
6.2 Mevcut Durumun Sıkışık İşletme Şartları Altındaki Sonuçları .....	61
6.2.1 Hava hızı sonuçları.....	62
6.2.2 Basınç değişim sonuçları.....	62
6.2.3 Sıcaklık değişim sonuçları .....	63
6.2.4 Hava debi sonuçları.....	64
6.3 Peron Ayırıcı Kapılı Durumun Normal İşletme Şartları Altındaki Sonuçları..	65
6.3.1 Hava hızı sonuçları.....	67
6.3.2 Basınç değişim sonuçları.....	69
6.3.3 Sıcaklık değişim sonuçları .....	72
6.3.4 Hava debi sonuçları .....	75
6.3.5 Tünel-istasyon hava karışım sonuçları .....	76
6.4 Peron Ayırıcı Kapılı Durumun Sıkışık İşletme Şartları Altındaki Sonuçları...	77
6.4.1 Sıcaklık değişim sonuçları .....	77
<b>7. ŞİŞLİ İSTASYONU ÖLÇÜM VERİLERİ .....</b>	<b>79</b>
7.1 Peronda Sıcaklık Ölçüm Sonuçları .....	80
7.2 Şişli İstasyonu Hava Hızı Ölçüm Sonuçları .....	80
<b>8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....</b>	<b>83</b>
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>85</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>87</b>

## **KISALTMALAR**

**HAD** : Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği

**PAK** : Peron Ayırıcı Kapı



## ÇİZELGE LİSTESİ

<b>Çizelge 1.1</b> : Yolcu konforu hava hızı tasarım parametreleri [17].....	13
<b>Çizelge 1.2</b> : Basınç değişiminin insan sağlığına etki sınırları [18].....	13
<b>Çizelge 1.3</b> : Yolcu ısı konforu tasarım parametreleri [17]. ....	14
<b>Çizelge 3.1</b> : Rotem metro tren verileri [21] .....	22
<b>Çizelge 3.2</b> : Tünel ile tren arasında yapılan hesaplama sonuçları .....	23
<b>Çizelge 3.3</b> : Rotem treni klima kapasite verileri .....	25
<b>Çizelge 3.4</b> : Rotem treni kompresör kapasite verileri .....	25
<b>Çizelge 3.5</b> : İstasyonda bulunan yürüyen merdiven ve asansör verileri.....	27
<b>Çizelge 3.6</b> : İstasyonda bulunan reklam ekranı verileri.....	28
<b>Çizelge 3.7</b> : Turnike verilerine göre 1 saatlik yolcu sayısı .....	30
<b>Çizelge 3.8</b> : Bir insandan gelen ısı değerleri .....	30
<b>Çizelge 3.9</b> : Hesaplamalar sonucu elde edilen veriler .....	31
<b>Çizelge 3.10</b> : Kontrol hacmine atılan ısı ve oranları .....	32
<b>Çizelge 6.1</b> : Kontrol hacmine giren-çıkan hava hacimleri .....	60
<b>Çizelge 6.2</b> : PAK modelde kontrol hacmine giren-çıkan hava hacimleri .....	76
<b>Çizelge 7.1</b> : Şişli istasyonu hava hızı ölçüm sonuçları.....	81



## ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1 : Metro istasyonlarında bulunan peron ayırıcı kapı .....	2
Şekil 1.2 : Tyne and Wear metro istasyonunun termal kamera ile görünümü .....	4
Şekil 1.3 : Seul metrosunda incelenen hava kanal tipleri.....	6
Şekil 1.4 : 1/20 ölçeğinde hazırlanan deney düzeneği.....	6
Şekil 1.5 : İncelenen farklı deney düzenekleri .....	7
Şekil 1.6 : Şaftın konumuna göre hazırlanan deney düzeneği.....	8
Şekil 1.7 : Şaftın konumuna göre hazırlanan deney düzeneği.....	9
Şekil 1.8 : Tianjin metrosunda analiz sonucu hız dağılımı .....	10
Şekil 1.9 : Taipe metrosu peron havalandırma şeması.....	11
Şekil 2.1 : M2 Şişhane – Hacıosman metrosu hat haritası .....	17
Şekil 2.2 : M2 Şişli istasyonu temsili görünümü.....	18
Şekil 2.3 : Piston etkisiyle havalandırma temsili görünümü.....	19
Şekil 3.1 : M2 metro hattında kullanılan Rotem metro aracı .....	21
Şekil 3.2 : İstasyonlar arası mesafe ve istasyon uzunluğu.....	22
Şekil 3.3 : Metro aracı çer motoru .....	23
Şekil 3.4 : Metro aracı fren resistörü.....	24
Şekil 3.5 : 3. Rayın pabuç ile temas görünümü .....	25
Şekil 3.6 : M2 metro hattı tünellerinden bir kesit.....	26
Şekil 3.7 : Şişli istasyonundan bir kesit.....	27
Şekil 3.8 : Metro istasyonu asansör ve yürüyen merdivenleri .....	28
Şekil 3.9 : Kamera ile yolcu sayım örneği.....	29
Şekil 3.10 : Şişli istasyonu anlık ortalama yolcu sayım verileri.....	29
Şekil 4.1 : Şişli istasyonu modelinin genel görünümü .....	33
Şekil 4.2 : Şişli istasyonunun kabuk katı model genel görünümü.....	33
Şekil 4.3 : Şişli istasyonunun kabuk katı model görünümü .....	34
Şekil 4.4 : Yürüyen merdivenlerin içeriden görünümü .....	34
Şekil 4.5 : Havalandırma bacasının parçalı görünümü .....	35
Şekil 4.6 : Tünellerin parçalı görünümü .....	35
Şekil 4.7 : Kontrol hacminin yandan görünümü .....	36
Şekil 4.8 : Peron ayırıcı kapı eklenmiş model görünümü .....	36

<b>Şekil 5.1</b> : CFdesign programında modelin görünümü .....	37
<b>Şekil 5.2</b> : Beton olarak tanımlanan hacimler .....	38
<b>Şekil 5.3</b> : 304 kalite paslanmaz çelik tanımlanan trenler .....	38
<b>Şekil 5.4</b> : Modellenmemiş şaft kısımların basınç kayıp modülü.....	38
<b>Şekil 5.5</b> : Uzunluk değeri tanımlanan tünel kısımlarına .....	39
<b>Şekil 5.6</b> : Yolculardan gelen ısı modülünün görünümü .....	39
<b>Şekil 5.7</b> : Sıkışık işletmede yolcu kaynaklı ısı üretiminin programa tanıtılma grafiği40	
<b>Şekil 5.8</b> : Sıkışık işletmede tren kaynaklı ısı üretiminin programa tanıtılma grafiği	40
<b>Şekil 5.9</b> : Aydınlatma ve iklimlendirme kaynaklı ısı yük tanımlanan tavan.....	41
<b>Şekil 5.10</b> : Yürüyen merdiven ve asansör kaynaklı ısı yük tanımlanan yüzeyler. .	41
<b>Şekil 5.11</b> : Hava hızı tanımlanan tünel giriş hacimleri. ....	42
<b>Şekil 5.12</b> : Başlangıç koşulu olarak kirli hava tanımlanan hacim.....	43
<b>Şekil 5.13</b> : Rotem treninin hız-zaman eğrisi.....	43
<b>Şekil 5.14</b> : Rotem treninin konum-zaman eğrisi.....	44
<b>Şekil 5.15</b> : Ağ yapısından genel görünüm.....	44
<b>Şekil 5.16</b> : Ağ yapısından bir kesit.....	45
<b>Şekil 5.17</b> : Çözüm adımlarının programa girdisi.....	45
<b>Şekil 5.18</b> : Akış özelliklerinin belirlenmesi.....	46
<b>Şekil 6.1</b> : Mevcut durum için yerleştirilen izleme noktaları .....	47
<b>Şekil 6.2</b> : Mevcut modelin veri toplama noktaları .....	48
<b>Şekil 6.3</b> : Mevcut modelin normal işletmeye göre hava hızının zamanla değişimi.	49
<b>Şekil 6.4</b> : Mevcut modeldeki tünellerde hava hızının zamanla değişimi .....	49
<b>Şekil 6.5</b> : Peron girişlerinde hava hızının zamanla değişimi.....	50
<b>Şekil 6.6</b> : Peronlarda hava hızının zamanla değişimi .....	50
<b>Şekil 6.7</b> : Cep geçiş bölgeleri hava hızının zamanla değişimi .....	51
<b>Şekil 6.8</b> : Şaftlardaki hızın zamanla değişimi .....	51
<b>Şekil 6.9</b> : Yürüyen merdivenlerdeki hızın zamanla değişimi.....	52
<b>Şekil 6.10</b> : Normal işletmeye göre basıncın zamanla değişimi.....	52
<b>Şekil 6.11</b> : Tünellerde basıncın zamanla değişimi .....	53
<b>Şekil 6.12</b> : Peron girişlerinde basıncın zamanla değişimi.....	53
<b>Şekil 6.13</b> : Peronlarda basıncın zamanla değişimi.....	54
<b>Şekil 6.14</b> : Cep geçiş bölgeleri basıncının zamanla değişimi .....	54
<b>Şekil 6.15</b> : Şaft basıncının zamanla değişimi.....	55
<b>Şekil 6.16</b> : Yürüyen merdiven basıncının zamanla değişimi .....	55
<b>Şekil 6.17</b> : Normal işletmeye göre sıcaklığın zamanla değişimi .....	56
<b>Şekil 6.18</b> : Tünellerde sıcaklığın zamanla değişimi.....	56

<b>Şekil 6.19</b> : Peron girişlerinde sıcaklığın zamanla değişimi .....	57
<b>Şekil 6.20</b> : Peronlarda sıcaklığın zamanla değişimi.....	57
<b>Şekil 6.21</b> : Cep geçiş bölgeleri sıcaklığın zamanla değişimi.....	58
<b>Şekil 6.22</b> : Yürüyen merdiven sıcaklığın zamanla değişimi .....	58
<b>Şekil 6.23</b> : Tünellerde hava debisinin zamanla değişimi.....	59
<b>Şekil 6.24</b> : Şaftlarda hava debisinin zamanla değişimi .....	59
<b>Şekil 6.25</b> : Giriş-çıkışlarda hava debisinin zamanla değişimi.....	60
<b>Şekil 6.26</b> : Tünel-istasyon hava karışımının zamana göre değişimi .....	61
<b>Şekil 6.27</b> : Tünellerde hava hızının zamanla değişimi .....	62
<b>Şekil 6.28</b> : Peronlarda basıncın zamanla değişimi .....	62
<b>Şekil 6.29</b> : Sıkışık işletmeye göre sıcaklığın zamanla değişimi .....	63
<b>Şekil 6.30</b> : Tünellerde sıcaklığın zamanla değişimi .....	63
<b>Şekil 6.31</b> : Peronlarda sıcaklığın zamanla değişimi.....	64
<b>Şekil 6.32</b> : Tünellerde hava debisinin zamanla değişimi.....	64
<b>Şekil 6.33</b> : Peron ayırıcı kapılı modelin veri toplama noktaları.....	66
<b>Şekil 6.34</b> : PAK modeldeki genel hava hızının değişimi .....	67
<b>Şekil 6.35</b> : PAK modeldeki tünellerde hava hızının değişimi .....	67
<b>Şekil 6.36</b> : PAK modeldeki peron girişinde hava hızının değişimi.....	68
<b>Şekil 6.37</b> : PAK modeldeki cep geçiş bölgelerinde hava hızının değişimi.....	68
<b>Şekil 6.38</b> : PAK modeldeki şaftlardaki hava hızının değişimi.....	69
<b>Şekil 6.39</b> : PAK modeldeki genel basınç değişimi .....	69
<b>Şekil 6.40</b> : PAK modeldeki tünellerde basıncın zamanla değişimi.....	70
<b>Şekil 6.41</b> : PAK modeldeki peron giriş basıncın zamanla değişimi.....	70
<b>Şekil 6.42</b> : PAK modeldeki cep geçiş bölgelerinde basıncın zamanla değişimi .....	71
<b>Şekil 6.43</b> : PAK modeldeki şaftlardaki basıncın zamanla değişimi .....	71
<b>Şekil 6.44</b> : PAK modeldeki normal işletme genel sıcaklık değişimi.....	72
<b>Şekil 6.45</b> : PAK modeldeki tünellerde sıcaklığın zamanla değişimi .....	73
<b>Şekil 6.46</b> : PAK modeldeki peron giriş sıcaklığının zamanla değişimi .....	73
<b>Şekil 6.47</b> : PAK modeldeki peron sıcaklığının zamanla değişimi.....	74
<b>Şekil 6.48</b> : PAK modeldeki cep geçiş bölgelerinde sıcaklığının zamanla değişimi.....	74
<b>Şekil 6.49</b> : PAK modeldeki tünellerde hava debisinin zamanla değişimi.....	75
<b>Şekil 6.50</b> : PAK modeldeki şaftlarda hava debisinin zamanla değişimi.....	75
<b>Şekil 6.51</b> : PAK modeldeki hava karışımının zamanla değişimi.....	76
<b>Şekil 6.52</b> : PAK modeldeki sıkışık işletme genel sıcaklık değişimi .....	77
<b>Şekil 6.53</b> : PAK modeldeki peronlarda sıcaklığın zamanla değişimi .....	78
<b>Şekil 7.1</b> : Şişli istasyonunda sıcaklık ölçümü için kullanılan data logger.....	79

<b>Şekil 7.2</b> : Şişli istasyonunda hava hızı ölçümü için kullanılan anemometre .....	79
<b>Şekil 7.3</b> : Şişli istasyonu mayıs ayı normal işletme altındaki sıcaklık değerleri.....	80
<b>Şekil 7.4</b> : Şişli istasyonu hava hızı ölçüm noktaları .....	81
<b>Şekil 7.5</b> : Şişli istasyonu hava hızı ölçümüne dair bir kesit.....	81

## SİMGELER

$A_{\text{önyüz}}$	: Trenin ön yüzey alanı [ $m^2$ ]
$C_d$	: Aerodinamik sürtünme katsayısı
$d_f$	: Maksimum hızdan durma mesafesi [m]
$d_i$	: Maksimum hıza ivmelenme mesafesi [m]
$f$	: Asansör ve yürüyen merdivenlerin işletme kullanım oranı
$F_d$	: Aerodinamik sürtünme kuvveti [N]
$F_{kf}$	: Motor kullanım faktörü
$F_s$	: Mekanik sürtünme kuvveti [N/kg]
$F_{yf}$	: Motor yük faktörü
$KE$	: Trenin kinetik enerjisi [W]
$n$	: Bir saatlik çift yönde gelen tren sayısı
$N$	: Trendeki vagon sayısı
$N_y$	: Bir saat boyunca istasyonda bulunan yolcu sayısı
$P$	: Yürüyen merdiven motorunun gücü [W]
$P_{\text{komp}}$	: Hava kompresörünün gücü [W]
$Q_{3r}$	: 3.ray kaynaklı ısı kazanımı [W]
$Q_{as}$	: Asansör kaynaklı ısı kazanımı [W]
$q_d$	: Bir yolcu duyulur ısısı [W]
$Q_d$	: Hava direnci kaynaklı ısı kazancı [W]
$Q_{ek}$	: Reklam ekranları kaynaklı ısı kazancı [W]
$q_g$	: Bir yolcu gizli ısısı [W]
$Q_k$	: Klima kompresörünün gücü [W]
$Q_{\text{klima}}$	: Araç klima sistemi kaynaklı ısı kazancı [W]
$Q_{\text{komp}}$	: Araç kompresörü kaynaklı ısı kazancı [W]
$Q_m$	: Motor kayıpları kaynaklı ısı kazancı [W]
$Q_r$	: Fren rezistörü kaynaklı ısı kazancı [W]
$Q_s$	: Mekanik sürtünme kaynaklı ısı kazancı [W]
$Q_{sk}$	: Trenin araç başı klima soğutma kapasitesi [W]
$Q_{\text{Tay}}$	: Tünel aydınlatmasından kaynaklı ısı kazancı [W]
$Q_{yd}$	: Yolculardan kaynaklı duyulur ısı [W]
$Q_{yg}$	: Yolculardan kaynaklı gizli ısı [W]
$Q_{ym}$	: Yürüyen merdiven kaynaklı ısı kazanımı [W]
$R$	: 3.ray elektrik direnci [ $m\Omega/m$ ]
$S$	: Nominal ekran boyu [mm]
$t_d$	: Frenleme zamanı [s]
$t_i$	: İvmelenme zamanı [s]
$t_{ort}$	: Tek bir yolcunun istasyonda ortalama geçirdiği süre [dk/saat]
$t_t$	: Trenin istasyonu baştan sona geçme süresi [s]
$V_{\text{maks}}$	: Trenin maksimum hızı [m/s]
$V_o$	: 3.ray gerilimi [Volt]
$V_{ort}$	: Frenleme boyunca ortalama hız [m/s]
$W$	: İstasyondaki armatürlerin toplam gücü [W]

$W_e$	: Tekbir vagonun eşdeğer ağırlığı [kg]
$W_{Tay}$	: Tünel aydınlatması toplam kurulu gücü [W]
$\varepsilon$	: Floresan lamba ısı verimi
$\varepsilon_m$	: Cer motoru verimliliği
$\rho_{hava}$	: Havanın yoğunluğu [kg/m <sup>3</sup> ]

## **BİR METRO İSTASYONUNDA KONFOR ŞARTLARINA PERON AYIRICI KAPI ETKİSİNİN SAYISAL ANALİZİ**

### **ÖZET**

Günümüzde ulaşım, kentlerin genişlemesiyle birlikte insan hayatının vazgeçilmezleri arasında yerini almıştır. Bu nedenle insanlar daha hızlı ulaşım araçlarını tercih etmeye başlamışlardır. Yerel yönetimlerde insanlara nasıl daha iyi ulaşım hizmeti verilebilir konusu üzerine yoğunlaşarak son zamanların gözde ulaşım yolu olan metroları yaygınlaştırmışlardır. Metrolar ulaşım sorununa her ne kadar çözüm olsa da bu sefer insanlar hızlı, konforlu ve güvenli ulaşımı talep etmişlerdir. Yerel yönetimlerde çalışmalarını bu yönde sürdürme eğilimine girmiştir. Metrolarda güvenli ve konforlu bir taşımacılık yapılabilmesi adına peron ayırıcı kapılar keşfedilmiş ve uygulanmıştır.

Bu çalışmada İstanbul metrosu olarak bilinen M2 Yenikapı-Hacıosman metro hattına bu kapıların uygulanması durumunda yolcu konforunun ne şekilde değişeceği incelenmiştir. Öncelikle bu sistemin dünyada uygulanmış olan metro hatlarına ait çalışmalar taranmış ve yol haritası oluşturulmuştur. Sonrasında ise bu hatta sürekliliği sağlanabilen ve yolcu yoğunluğu yüksek bir istasyon olan Şişli istasyonu seçilmiştir. Şişli istasyonunun 3 boyutlu ve birebir ölçüde modeli oluşturularak HAD analizi için uygun hale getirilmiştir. Isıl yüklerin belirlenmesi için trenden ve hattan bilgiler toplanarak toplam ısı yük hesaplanmıştır. Hesaplamalarda İstanbul ili mayıs ayı çevre sıcaklıkları baz alınmıştır. Elde edilen verilerle CFdesign programı kullanılarak sıkışık ve normal tren işletme şartlarına göre zamana bağlı olarak çözdürülmüş ve mevcut durumun analiz sonuçları istasyonda yapılan ölçümlerle karşılaştırılarak irdelenmiştir. Analiz sonuçlarına göre normal işletme şartlarında piston etkisinin yolcu konfor parametrelerini sağladığı görülürken, sıkışık işletmede bu durumun yetersiz kaldığı belirlenmiştir. Ölçümlerde ise her iki durumunda konfor şartlarında olduğu görülmüştür. Bunun sebebi olarak ise analizde peron havalandırmasının ihmal edilmesinden kaynaklandığı belirlenmiştir.

Analiz ile ölçümlerin tutarlı olduğu görülmesiyle birlikte model revize edilerek modele tam boy peron ayırıcı kapı eklenmiştir. Aynı işletme koşulları ile yapılan analizler neticesinde sonuçlar konfor standartlarıyla karşılaştırılarak uygunluğu sorgulanmıştır.

Analiz sonuçlarına göre peron bölümünde sıcaklığın 48 °C ye kadar yükseldiği görülmüştür. Hava hızı ve basıncın da %30 oranda arttığı belirlenmiştir. Bu şartların

yolcu konforuna uygun olmadığı tespit edilerek bu durumun yolcu konforuna uygun hale nasıl getirilebileceği hakkında önerilerde bulunulmuştur.

# **STUDY AND NUMERICAL ANALYSIS OF PASSENGER COMFORT IN A SUBWAY STATION WITH PLATFORM SCREEN DOOR**

## **SUMMARY**

Nowadays Transportation is the one of the most important hallmarks of the human life with the expansion of the cities. That's why People started to prefer faster transportation vehicles. Local Governments concentrate on how better transportation services can be given so they generalize the subways which are the favorite transportation recently. Although subway is a solution of transportation problem, this time people started to demand faster, more comfortable and safer transportation. Local governments tended to continue work on this situation. In order to make a safe and comfortable transportation, platform screen doors explored and applied.

In this study, how the comfort of the passengers will change in the event of the application of these doors on M2 Haciosman – Taksim subway line which known as Istanbul Metro were investigated. Studies of this system that has been applied to the subway lines in the world primarily scanned and created a route. After that Sisli Station which provided continuity and high passenger density was selected. 3-D model of Sisli Station with exactly the same measures was created for the analysis of CFD. Datas from both train and line were collected for determining the heat loads. Calculations are based on ambient temperatures of May in Istanbul. Datas which are obtained from line and train were being solved according to the cramped and the normal train operating condition depending on time by using the CFDesign program and the actual results of the analysis with CFDesign were compared with the measurement in the station.

According to the result of the analysis obtained from normal operating scenario, it is seen that station temperature, wind speed and pressure distribution getting from the piston effect is provided the necessary passenger comfort. It is observed the big part of the air in the control volume is changed with the two trains movement at the same time in the Station. As a result of the measurement of temperature and air velocity at the Sisli station is compared and we can see that how the CFD analysis results close to the real measurements.

As a result of the CFD analysis with the same model obtained from the peak hour operating scenario, these datas are examined and it is seen that passenger comfort is partially provided. Air Speed and pressure distribution are not changed because the train speed and cross section of models are the same so comfort conditions are

provided. However in peak hour heat generation is increased due to the increased number of expedition per hour to the station and the rise in the number of passengers standing in the station thus temperatures increased. The thermal comfort condition is not provided because trains coming through the tunnel do not bring enough cool air.

According to analysis in the station, in peak hours the station temperature increases and it is determined that to make the platform ventilation fans work for bringing the suitable passenger comfort condition. Thus, in peak hour CFD analysis is seen that the state of analysis is in the consistent level.

After the CFD analysis results, we started to analyze the main purpose of this Project “Platform Screen Doors” models for the current system. The Full length Platform Screen doors are needed for both passenger safety and the prevention of tunnels and platform from the dust and contaminants. Because of this requirement, Sisli station model was revised and this model was analyzed in CFD according to the normal train operation and peak hour.

The air speed on the line is increased by 30% according to the result of the analysis of CFD in the normal operating condition. It is determined that air pressure is increased to 900 Pa in the platform rail line. The Station temperature which passengers are directly influenced increased approximately to 40 °C. This condition is far away from the enough comfort situations. As a result of the Air which is brought from trains through the tunnel and ventilation shafts, the analysis reveals the air completely changed on the rail line of the platform.

Air Speed and Pressure distribution are similar in the normal operating condition and peak hour condition according to the CFD analysis results for the Platform screen doors. The Station temperature increased to 48 °C with this operating scenario. It is obvious that the case could not be considered within the passenger comfort conditions.

Consequently, in the event of the application of the Platform screen doors with the full size, passenger comfort is moving away from the necessities and it is setting some environmental risks. Increasing air velocities and pressure over time is thought to be caused to the deformation of the tunnel equipment and doors are made. Because of the design of the station had changed significantly as a result of accepted values will bring fatigue of material. For this reason, at least in this platform doors must be made to withstand the pressure. In addition to pressure and air velocity in the tunnel will be exposed to this equipment should be checked and durable.

According to ventilation system in the Sisli Station emergency and peak hour operation the fresh air is provided from the ceiling and exhaust air is taken out from the culvert under the line. There will be able to change in operation scenario on the application of the Full size Platform screen doors. Therefore it is impossible that exhausting and supplying fresh air to the platform. This system is very difficult to achieve under the normal operation. Also a high cost and requires time.

If the applications of the full size Platform screen doors have to be necessary, positive pressure effect must be investigated for the only supplying fresh air. It must be determined that passenger comfort is suitable in the event of the only supplying fresh air to the platform. There will be needed in the case of failure to establish comfort conditions. As a result of the investigations a place was found in Sisli station air conditioning unit for cooling equipment. If the results of the analysis of the only supplying fresh air to the platform are shown that comfort condition was changed, this method can be followed. Ventilation filters can be placed between the full size platform screen doors and ceiling in order to balance the pressure between the line and platform. Thus dust from the line is kept away from the passenger and safety and comfort of the passenger is provided.



## 1. GİRİŞ

Yük taşımacılığı ve ulaşım, tekerleğin icadından günümüze kadar insan hayatının vazgeçilmezleri arasında yerini almıştır. Yeni yerleşim yerlerinin oluşmasıyla birlikte yeni ulaşım yolları açılmış olup yerleşim yerleri arasındaki mesafelerin artmasıyla birlikte sefer sürelerinin uzunluğu insanları yeni arayışlara sürüklemiştir.

Sanayi devriminden sonra ulaşımında buharla çalışan trenler kullanılarak insanoğlunu bir nebze rahatlatmış olsa da artan nüfus sebebiyle bu çözüm de zamanla yetersiz kalmıştır. İçten yanmalı motorun icadıyla da otomobiller ulaşımında önemli bir yer edinmiş fakat bu seferde artan araç sayısı ve karayollarının yetersiz oluşu trafik sorununu ortaya çıkarmıştır. Bu sebepten dolayı yerel yönetimler toplu ulaşım fikri üzerine yoğunlaşmış ve bu fikir üzerine çözümler üretmişlerdir. İlk olarak toplu ulaşım; düşük maliyet ve hızlı oluşum bakımından otobüsler ile sağlanmış ve günümüzde de devam etmiştir. Artan yolcu talebinin karşılanması adına otobüs sayıları artırılarak sık seferler düzenlenmiş fakat trafik sorununun yanı sıra egzoz gazlarının yapmış olduğu çevre kirliliği de göz önüne alınarak kent içi raylı sistemlere geçiş başlamıştır. Yatırım maliyetinin bir nebze olsun düşük olması sebebiyle tramvay hatları açılarak toplu ulaşımın rahatlaması sağlanmıştır.

Toplum nüfusunun hızla artmasıyla ve yerleşim alanlarının genişlemesiyle bazı büyük şehirlerde tramvaylarda yetersiz kalmıştır. Yeni tramvay güzergâhları ise gerek işletme hızının yetersiz kalması gerek kamulaştırma maliyetleri ve zorluğundan dolayı yerel yönetimlerin projeleri arasında yer almamıştır. Artan yolcu talebinin ancak metro sistemlerinin yaygınlaştırılmasıyla karşılanabileceği anlaşılmış ve şehir içi toplu ulaşım için metro hatları yapılarak insanların hizmetine açılmıştır.

Bulduğumuz zaman diliminde devreye alınan metro hatları ile ulaşım sorunu çözülmüş gibi görünse de söz konusu insan taşımacılığı olunca güvenlik ve konfor toplu taşımının başlıca araştırma konusu olmuştur.

Metro istasyonları genellikle yer altında olup birbirine yine yeraltında açılan tüneller vasıtasıyla bağlanmıştır. Dolayısıyla metro hatları açık havaya kapalı mahallerden oluşmaktadır. Bu durumda insanların toplu taşımada metroyu tercih etmeleri için istasyonun havalandırılması ve basınçlandırılması oldukça önemlidir. Bunun için istasyonlara HVAC sistemleri yapılarak konfor şartları sağlanmaktadır.

Konfor şartlarının yanı sıra yolcu güvenliği de metro hatlarında önem arz etmektedir. İstasyonda bekleyen yolcuların olası bir durumda ray hattına düşerek kazaya uğraması telafi edilemeyecek sonuçlar doğurabilmektedir. Bu tip kazaların önlenmesi için de şekil 1.1 de görüldüğü gibi istasyonlara peron ayırıcı kapı yapılmakta ve ray hattı ile istasyon birbirinden ayrılarak yolcunun güvenliğini sağlamaktadır.



**Şekil 1.1** : Metro istasyonlarında bulunan peron ayırıcı kapı

### **1.1 Tezin Amacı**

Bu tez çalışmasında İstanbul kent içi toplu taşımalarının bel kemiği olan M2 metro hattının Şişli istasyonuna tam boy peron ayırıcı kapı yapılması durumunda istasyon havasının sıcaklık, basınç ve hava hareketleri bakımından HAD analizi ile incelenmesi ve elde edilen bulguların yolcu konforu kapsamında irdelenmesi amaçlanmaktadır. Öncelikli olarak Şişli istasyonunun yolcu konfor standartlarına uygunluğunu belirlemek adına mevcut işletme şartları baz alınarak inceleme yapılacaktır. Bu kapsamda istasyon havasının sıcaklık, basınç ve hava hareketi bakımından HAD analizi yapılacak ve elde edilen veriler deneysel ölçümlerle karşılaştırılacaktır. Hesaplamalar ve analizler metro hattının sıkışık ve normal şartlar

altındaki durumlarına göre yapılarak sonuçlar kıyaslanacaktır. Son olarak ise tam boy peron ayırıcı kapıların mevcut sisteme entegre edilmesi durumunda aynı işletme koşulları ile HAD analizi yapılarak peron havasının yolcu konforuna uygunluğu sorgulanacak ve uygun olmaması durumunda uygun hale getirebilmek için çözümler sunulacaktır.

## **1.2 Literatür Araştırması**

Günümüzde tamamlanmış veya proje aşamasındaki metro hatları ile çeşitli amaçlar için kullanılan (karayolu, maden ocağı vb.) tüneller için hava hareketleri, ısı transferi ve piston etkisi üzerine çeşitli çalışmalar literatürde mevcuttur.

Londra'nın King Cross metro hattında yapılan çalışmada tünel ile tren arasındaki ısı transferi analitik olarak modellenmiştir. Tünel içindeki hava akışı için standart türbülans model kabulü yapılmış ve akış profili oluşturulmuştur. Çözüm sonucunda tünel havasının sıcaklık artışı deneysel verilerle karşılaştırılmıştır [1]. Bopp ve Hagenah tarafından Wienerwald, Koralm, Semmering Base, Granitztal, Brenner Base tünelleri incelenerek tünel tasarım kriterleri belirlenmiştir. Bu kriterler içinde tünel havalandırması, piston etkisi, tünel ve tren kesitleri, tren hızı, aerodinamik ve acil durum güvenliği gibi parametreler baz alınmıştır. Çözüm için kriterleri matematiksel olarak modelleyip HAD analizi ile optimum tünel tasarım kriterleri belirlenmiştir [2].

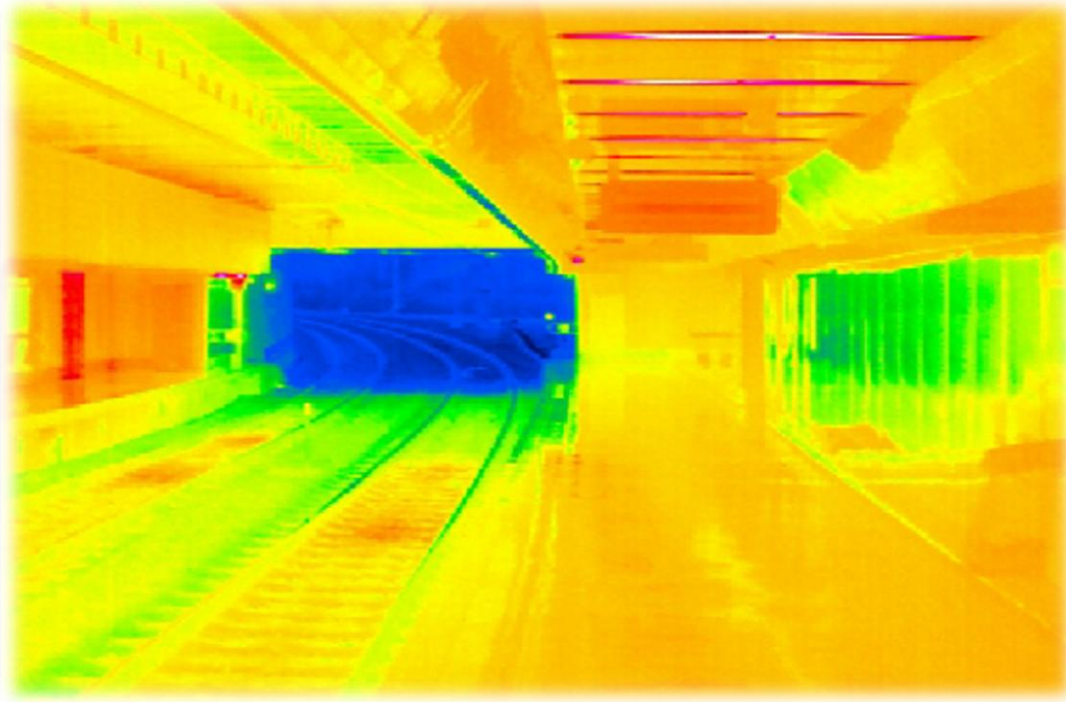
Thompson ve diğ. [3] tarafından, Londra metrosu kullanılarak metro istasyonlarının iklimlendirme sistemlerinde enerji optimizasyonu incelenmiştir. Bu kapsamda tünel ve istasyonlarda oluşan ısı yük kaynakları tespit edilmiş ve hesaplanmıştır. Subway environmental simulation (SES) programı kullanarak dinamik modelleme yapılmış ve sonuçlar ölçümlerle karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak demiryolu tünellerinde sürdürülebilir bir matematiksel modelin kurulamadığı ve bunun sebebi olarak da tünellerin ısı emici etkisinin modelde değişkenlik gösterdiği çıkarılmıştır.

Taiwan Taipe metrosundaki çalışmada ise piston etkisinin havalandırma şaft kesiti ile değişimi incelenmiştir. Öncelikle mevcut sistemde 20 m<sup>2</sup> olan şaft kesiti ile istasyon modeli oluşturulmuştur. Bu model SES programı yardımıyla simülasyonu çıkartılarak şafttan giren-çıkan hava debileri ile hızları elde edilmiştir. Bu kesitteki

sonuca göre hava hızı maksimum 2 m/s olarak bulunurken ortalama hava hızı ise 0.7 ile 1.1 m/s arasında belirlenmiştir. Analiz verileri yapılan ölçümlerle kıyaslanmış ve tutarlı bir sonuç göstermesinden dolayı çalışma tamamlanmıştır. Mevcut sistemin verileri alındıktan sonra şaft kesit alanı değiştirilerek yeni modeller elde edilmiştir. Şaft kesit alanları 10, 15, 25, 30 m<sup>2</sup> alınarak aynı şartlar altında SES programında analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre şaft kesit alanı daraldıkça hava hızları artış gösterirken hava debileri mevcut sisteme göre azaldığı gözlenmiştir.

Ayrıca daralan kesit etkisiyle gürültü oluşacağı öngörülmüştür. Şaft kesit alanı artırılması ile hava hızlarının azaldığı hava debilerinin ise kesit alanının artış oranından daha az arttığı sonucuna ulaşılmıştır. Tüm veriler incelendiğinde ise gerek piston etkisi gerek istasyon havalandırması bakımından optimize edildiğinde en uygun kesitin mevcut sistemde kullanılan kesit olduğu çıkarımı yapılmıştır [4].

Pflitsch ve diğ. [5] tarafından İngiltere'nin Tyne and Wear metro sistemi ele alınmıştır. Bu metro sisteminin havalandırılması doğal olarak yapıldığından tünel ile istasyonlarda sıcaklık ve hava hızı ölçümleri yapılarak gerek konfor gerek acil durum şartlarına uygunluğu irdelenmiştir. Çalışmaya ait ölçüm görseli şekil 1.2 de gösterilmiştir.



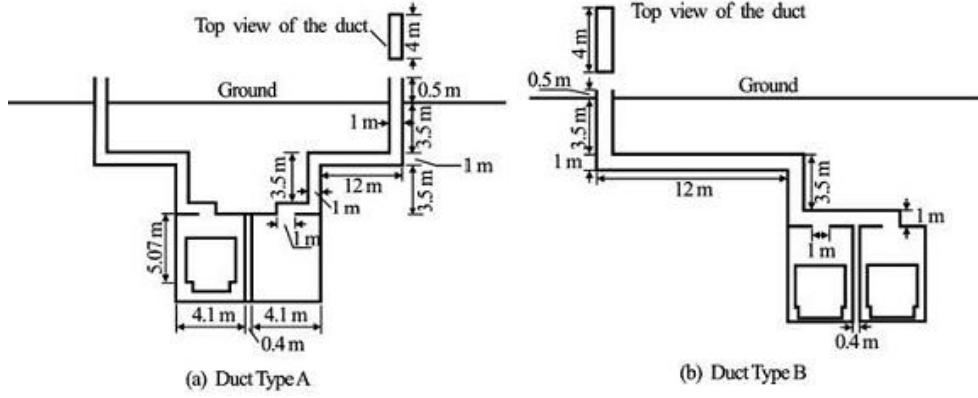
**Şekil 1.2 :** Tyne and Wear metro istasyonunun termal kamera ile görünümü

Sıcaklık ölçümleri belli zaman dilimlerinde termal kameralarla yapılarak istasyonun sıcaklık haritası çıkarılmıştır. Hava hızı ölçümleri ise ultrasonik akış ölçer ile çeşitli noktalara yerleştirilen anemometreler ile yapılmıştır. Ölçümler sonucunda hava sirkülasyonunun ortamı istenilen konfor şartlarına getirdiği görülmüş fakat hava akışının kontrol edilememesinden dolayı yangın, kimyasal gaz yayılımı gibi durumlara karşı havalandırma sisteminin kurulması sonucu çıkarılmıştır.

Taipe metrosunda yapılan bir diğer çalışmada ise işletme hızının ile shaft çap-uzunluk ilişkisinin istasyon sıcaklığına ve piston etkisine olan etkileri incelenmiştir. Tren hızları 20, 40, 60 ve 80 km/h alınarak modellenen istasyon ve tünel SES ve PHOENİCS HAD programları birleştirilerek çözülmüştür. Elde edilen sonuçlara göre 40 ve 60 km/h hızlarda oluşan sıcaklığın 80 km/h hızda oluşan sıcaklıktan 1-2 derece aşağıda olduğu ve 20 km/h hızda ise aşırı bir sıcaklık yükselmesi tespit edilmiştir. Aynı hızlar altında shaft çapı ve uzunlukları değiştirilerek piston etkisi incelenmiştir.

Şaft uzunluğu 40 metreden 100 metreye çıkarıldığında hava akımında %15-25 lik bir düşüş gözlenmiş ve shaft kesit alanının 15 m<sup>2</sup> den 30 m<sup>2</sup> ye çıkarılması durumunda ise hava akımında %40 lık bir artış gözlenmiştir. Ayrıca istasyona yerleştirilen peron ayırıcı kapı ile de trenin 80, 60 ve 55 km/h hızlarla giriş yapması durumları göz önüne alınmıştır. Yapılan çözümler sonucunda trenin 80 km/h hızda girmesi durumunda basınç 1727 Pa olduğu görülürken 60 ve 55 km/h hızlarda sırasıyla 1119 ve 782 Pa olduğu gözlenmiştir. Elde edilen verilere göre peron ayırıcı kapıların basınca dayanıklılık göstermesi için trenin perona giriş hızının optimum 55 km/h olduğu belirlenmiştir [6].

Seul metrosunda tünelde ve istasyonda farklı havalandırma stratejileri kullanılarak en verimli havalandırma sistemini belirlemeye yönelik çalışma yapılmıştır. Seul metro istasyonu peron ayırıcı kapılarla birlikte 3 boyutlu hali PHOENİCS HAD programı kullanılarak 75 saniyelik tek tren geçişi için modellenmiştir. Modelde iki tip hava kanalı kullanılmış ve bu kanallarla 3 farklı senaryo tasarlanarak kütleli hava debileri kıyaslanmıştır. Bu sonuçlara göre en etkili havalandırmanın şekil 1.3 de görüldüğü üzere A tipi hava kanallarıyla olduğu tespit edilmiştir [7].



Şekil 1.3 : Seoul metrosunda incelenen hava kanal tipleri

Londra metrosunda yapılan bir diğer çalışmada istasyon ve tünellere olan ısı yükleri belirlenip hesaplanmıştır. Bu kapsamda ısı yükü; trende bulunan yolcu ve elektronik ekipmanlar, tren frenlemesi ve ivmelenmesi, tünel aydınlatmaları ve istasyonda bulunan yolcular olarak belirlenmiştir. Yapılan hesap sonucunda en yüksek ısı yükü frenleme ve tren içindeki yolculardan dolayısıyla tren klimasından geldiği tespit edilmiştir. Elde edilen ısı yüklerine göre analitik çözüm yapıldığında istasyon şartları 27 °C ve %60 bağıl nem olarak bulunmuştur. Tren hareketinden dolayı ise sıcaklık düşümü 8-9 °C olarak öngörülmüştür [8].

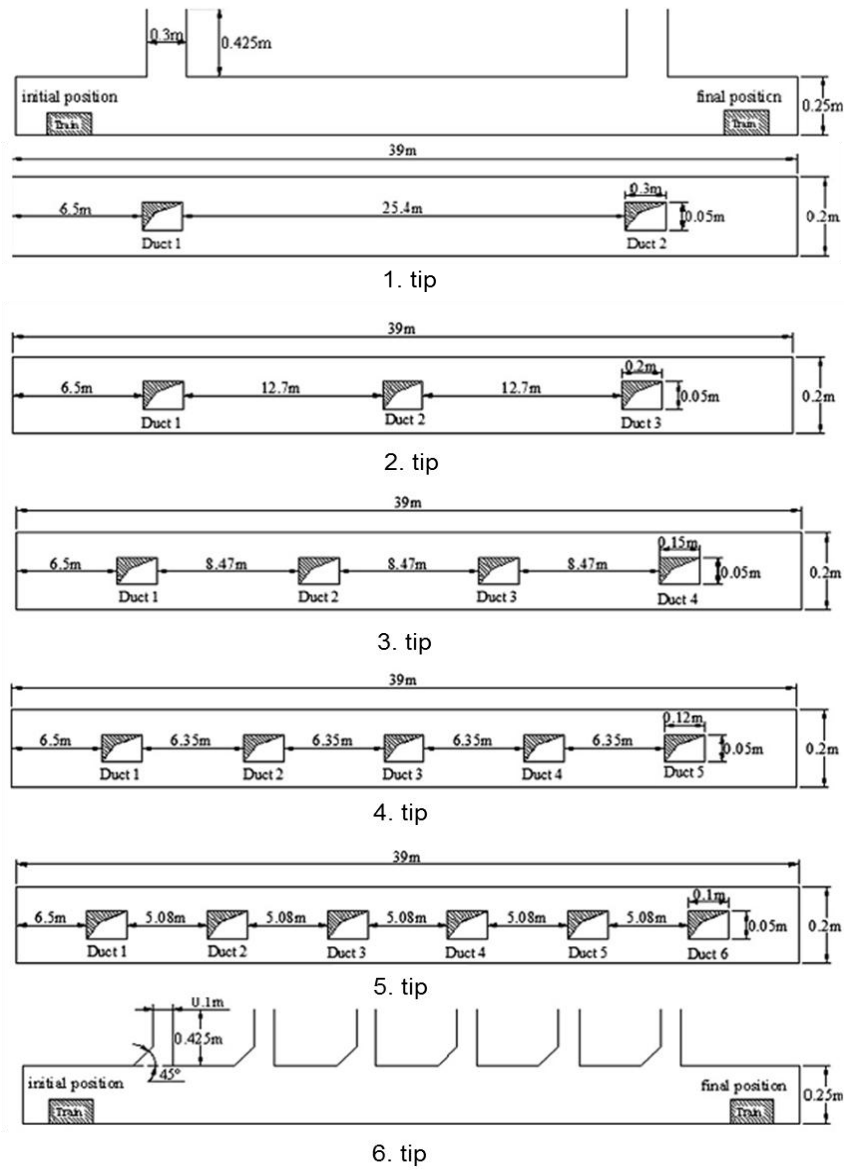
Metro sistemlerindeki hava hareketlerini incelemek üzere yapılan bir çalışmada 1/20 ölçeği sonucunda 39 m uzunluğunda, 21x25 cm ebatlarında tünel ve istasyon simule edilerek şekil 1.4 de görülen deney düzeneği hazırlanmıştır.



Şekil 1.4 : 1/20 ölçeğinde hazırlanan deney düzeneği

İstasyona peron ayırıcı kapı yapıldığı düşünülerek dizayn edilen deney düzeneği fiberglas malzeme kullanılarak oluşturulmuştur. Deneyde 22,5x15,6 cm kesitinde ve 3 m uzunluğunda tren kullanılmıştır. Trenin; 1 m/s<sup>2</sup> ivme ile hızlanıp 0,5 m/s<sup>2</sup> ivme ile yavaşlaması ve maksimum 3 m/s sabit hızla hareket ettiği hali göz önüne alınarak veriler toplanmıştır.

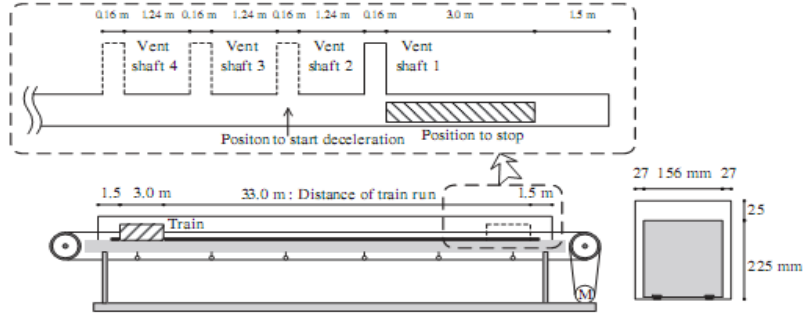
Bu deney düzeneğiyle ilk olarak shaft sayısı ve kesit tipine göre havalandırma oranları kıyaslanmıştır. Şekil 1.5 de görüldüğü gibi belirlenen 5 farklı sayıda shaft ile 2 farklı kesite sahip shaftın tünel havalandırması bakımından hem deney ile hem de fluent programında yapılan HAD analizi ile gözlenmiştir.



Şekil 1.5 : İncelenen farklı deney düzenekleri

Elde edilen sonuçlara göre şaft sayısı arttıkça kütleli hava debisi artmış, giriş kesit alanı genişleyen şaftta ise hava sirkülasyonunda düzenli bir akış görülmüştür [9].

Aynı deney düzeneğine ait diğer çalışmada ise şaftın konumuna göre havalandırma debileri karşılaştırılmıştır. Şekil 1.6 da gösterilen konumlarda yapılan deneylere ve HAD analizlerine göre 3 numaralı şaftın en iyi debide hava değişimini sağladığı görülmüştür [10].



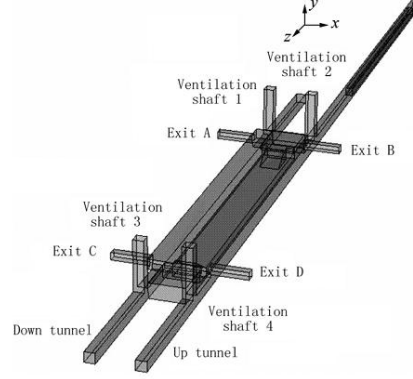
**Şekil 1.6 :** Şaftın konumuna göre hazırlanan deney düzeneği

Bu deney düzeneğine ait bir diğer çalışmada ise şafttan geçen havanın hızı ve basıncı incelenmiştir. Bu çalışma normal işletme ve tünel ağız çıkışının kapatılmasıyla oluşan işletmedeki hız ve basınç farkları gözlenmiştir. Deneysel verilerle HAD analizi ile elde edilen verilerin uyduğu gözlenmiştir. Sonuç olarak tünel çıkışına konan bariyerle piston etkisi artmış ve şaftta önemli derecede basınçlar oluştuğu görülmüştür [11].

Aynı deney düzeneğiyle yapılan son çalışmada ise trenin 20 saniyelik hareketi sonucunda tünel içindeki basınç dağılımı ve hava hızları sharp interface metodu kullanılarak belirlenmiştir. Bu çalışmada CFX programı kullanılarak sayısal olarak çözülmüş ve deneysel verilerle tutarlılığı kontrol edilmiştir. Sonuçlara göre tren ivmelenirken ön tarafında basınç yükselmekte, arka tarafında ise düşmektedir. En yüksek basınç düşümü ve yükselişi tren maksimum hıza ulaştığında görülmüştür. Tren sabit hızla ilerlerken basınç değişimi minimuma inmiştir. Tren yavaşlarken ise arka tarafındaki basıncın yeniden yükseldiği tespit edilmiştir [12].

Li Jia ve diğ. [13] tarafından yapılan çalışmada istasyonda, tren hareketi ile olan piston etkisi incelenmiştir. İstasyon, 4 x 4 m kesite sahip tüneller ile 150 m uzunluğunda çift peron olarak şekil 1.7 modellenmiştir. CFdesign programı

kullanılarak HAD analizi yapılan çalışmada 4 senaryo ele alınmıştır. Bu çalışma, tünellerin şaftlı ve şaftsız hali ile her bir modelin 19 ve 32,6 saniyelik tren geçişlerini kapsamaktadır. Analiz yaklaşık 500.000 çözüm ağı oluşturularak çözdürülmüştür.

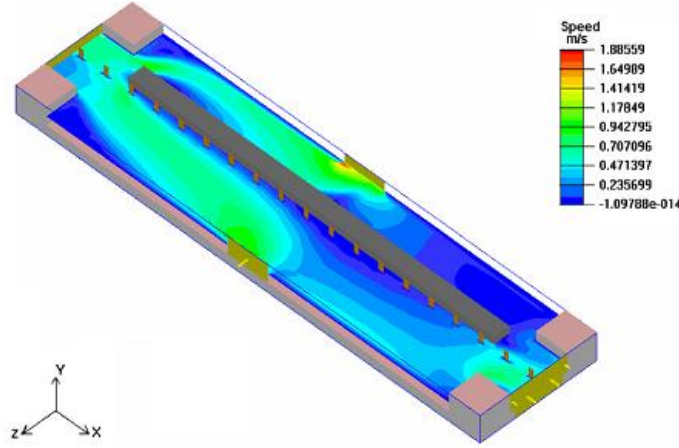


**Şekil 1.7 :** Şaftın konumuna göre hazırlanan deney düzeneği

İstasyonda havalandırmanın yapılmadığı durum ele alınmıştır. Analiz sonuçlarına göre tren 70 km/h hız ile ilerlediğinde hava hızı maksimum 7 m/s olarak görülmüştür. Piston etkisinden dolayı olan basınç ise 400 Pa olarak belirlenmiştir. Bu analize göre şaftların hava hızını ve piston etkisini azalttığı görülmüş ve bu durumun istasyonda sıcaklığı düşürücü etki yapacağı belirtilmiştir.

Tianjin metrosunda yapılan bir çalışmada istasyondaki mevcut şartlardaki hava hızı ve sıcaklığı incelenerek optimize ele alınmıştır. Optimize için yeni ölçülerle öngörü ile tasarlanan istasyon modeli kullanılmıştır. Her iki istasyon modellenerek Airpak HAD programında süreksiz türbülans modeli kullanılarak çözdürülmüştür. İstasyonda yapılan ölçümler neticesinde sıcaklık 24 °C hava hızı ise pasajlarda 2,25 m/s olduğu görülmüştür. Toplam ısı yükleri hesaplanarak analize işlenmiş ve sonuçlar mevcut sistemle kıyaslanmıştır. Şekil 1.8 de görüldüğü gibi optimize edilen sistemin daha homojen hız ve sıcaklık dağılımı olduğu belirlenmiştir. [14].

Taipei metrosunda yapılan bir çalışmada peron ayırıcı kapıların istasyon iklimlendirmesindeki enerji tüketimine etkisi incelenmiştir. Peron ayırıcı kapılı istasyonlardaki havalandırma sistemi ile normal istasyondaki havalandırma sistemi modellenmiştir.

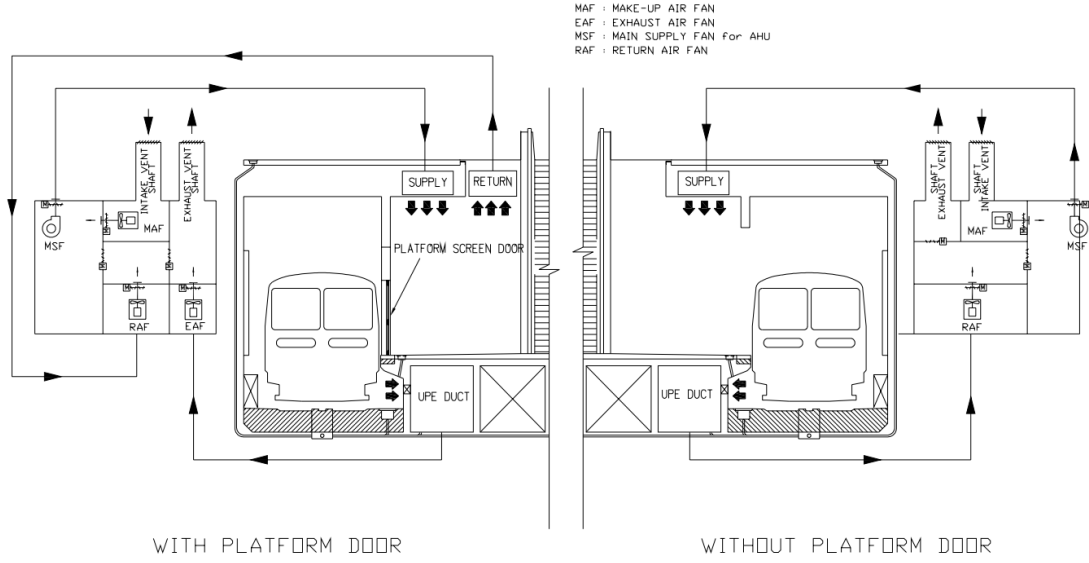


**Şekil 1.8 :** Tianjin metrosunda analiz sonucu hız dağılımı

Carrier E20-II programı ile ısı yükleri pik ve normal işletme baz alınarak hesaplanmıştır. Yolcu sayıları da her iki dakikada bir kaydedilen verilerle ortalama olarak çıkarılmıştır. Tüm veriler SES programı ile nümerik olarak analiz edilmiştir. Elde edilen verilere göre; peron ayırıcı kapılı durumda istasyon sıcaklığı 48,8 °C kadar yükseldiği görülmüştür. Bu durumda peron altı egzoz sisteminin istasyon sıcaklığını düşüren başlıca etkenlerden biri olduğu tespit edilmiştir. Temmuz ayında aynı saat diliminde yapılan karşılaştırmaya göre peron ayırıcı kapılı sistemde %50 oranında enerji tüketiminin azaldığı görülmüştür. Fakat yıllık olarak enerji tüketimine bakıldığında bu sistemin daha fazla enerji tükettiği tespit edilmiştir. Bu tüketimin sebebi ise kış aylarında yapılan ısıtma olarak belirlenmiştir [15].

Taipei metrosundaki bir diğer çalışmada çeşitli havalandırma senaryoları kullanılmış ve istasyonu en az enerji tüketimiyle yolcu konforuna uygun hale getiren senaryo belirlenmiştir. Taipei şehri tropikal iklime sahip olmasından dolayı istasyonu konfor şartlarında tutabilmek amacıyla peron ayırıcı kapı yapılmış ve bu durumla birlikte istasyonun havalandırma sistemi şekil 1.9 da görüldüğü gibi revize edilmiştir.

Yeni havalandırma sisteminde en az enerji tüketimi ile konfor şartlarının oluşturulması için peron altı egzoz emisyonları artırılırken soğutma yükü azaltılarak senaryolar oluşturulmuştur. İstasyondan ve trenden olan ısı yükleri hesaplanarak 120 ve 300 saniyelik tren seferlerine göre oluşturulan model SES programında analiz edilmiştir.



**Şekil 1.9 : Taipe metrosu peron havalandırma şeması**

Analiz sonuçlarına göre; tünel sıcaklığının 37 °C nin üzerinde bir dereceye indirilmesi durumunda her bir derecelik artış için 44,7 kW enerji tasarrufu sağlandığı bulunmuştur. 100 USRT soğutma gücü ile 30 m<sup>3</sup>/s hava emişi, 80 USRT soğutma gücü ile 40 m<sup>3</sup>/s hava emişi ve 50 USRT soğutma gücü ile 50 m<sup>3</sup>/s hava emişi senaryoları arasında en az enerji tüketimi 50 USRT soğutma gücü ile 50 m<sup>3</sup>/s hava emişi olarak belirlenmiştir. Yalnızca tren ile oluşan piston etkisi ele alındığında tünel sıcaklığı 37 °C nin çok üzerinde çıkmış ve bu değeri indirebilmek için ise 10 m<sup>3</sup>/s hava emişi yapılması gerektiği bulunmuştur. 120 saniyelik tren geçişi için tünel sıcaklığı 37 °C çok üzerinde olduğu görülmüş ve bu değeri tekrar 37 °C getirmek için 50 m<sup>3</sup>/s hava emişi yapılması gerektiği belirlenmiştir. 300 saniyelik tren geçişinde ise trenden gelen piston etkisi ortamı 37 °C de tutmak için yeterli olduğu görülmüştür [16].

### 1.3 Metro İstasyonlarında Havalandırma ve Yolcu Konfor Standartları

Dünyada kullanımını her geçen gün artan metroların, istasyonlarındaki ortam şartları yolcuların memnuniyetini karşılayacak seviyede olmak zorundadır. Metro ile yolculuğun ilk aşamasında yolcular, istasyon bilet holüne yürüyen merdiven veya asansörle ulaşmaktadır. Ardından tekrar aynı vasıtalarla peron katına inmekte ve 3-5 dk. gibi kısa bir süre trenin gelmesini beklemektedirler.

İstasyona girmesiyle trene binmesi 10 dakikayı geçmeyen yolcuların bu süre zarfında aşırı sıcak, nemli veya kötü kokulu bir istasyon havasıyla karşılaşmamları istenmektedir. Bu yüzden makul bir hava hızı ve ses seviyesine sahip havalandırma sistemi tesis edilmektedir. Kurulacak havalandırma sistemi; normal ve sıkışık zamanlarda istasyonlarda uygun konfor koşullarını sağlayacak ve yangın halinde ise istasyonlardan ve tünellerden yolcunun güvenle tahliye edileceği yolları oluşturacak şekilde tasarlanmaktadır. Tasarım esnasında istasyon ve tünellerde oluşacak ısının atılması da göz önüne alınmaktadır.

Trenin normal işletmesi sırasında istasyonlarda havalandırma, trenin piston etkisi ile sağlanmaktadır. Olağanüstü durumlar ve sıkışıklık esnasında ise tünel havalandırması cebri havalandırma sistemi devreye alınarak yapılmaktadır. Cebri havalandırma sağlamak için konkors (bilet holü) ve platform altı egzoz kirli hava sistemi, konkors ve platform taze hava sistemi kurulmaktadır.

Yaz ayları aşırı sıcak ve kış ayları da aşırı soğuk geçmeyen şehirlerde, yolcuya açık alanlarda hava şartlandırma işlemi (ısıtma veya soğutma) yapılmayıp sadece havalandırma yapılmaktadır. Hava şartlandırması yapılan şehirlerde ise şartlandırılan mevcut havanın muhafazası için tam boy peron ayırıcı kapı yapılmaktadır.

Isıl konforun yanı sıra hava hızı ve basınç yolcu doğrudan etkilemektedir. Almanya'nın Hamburg kentindeki metro istasyonunda bir grup kadın ve erkek üzerinde yapılan araştırmada 2,9 m/s üzerindeki hızlarda rahatsız edici bir ortam olduğu ve 5,38 m/s hızının üzerine çıkıldığında ise ortamda durulamadığı gözlenmiştir. Metrolarda bu durumun önüne geçilmesi için peronun her iki ucuna da hava boşaltma bacaları yapılmıştır. Bu bacalar tünel tarafına doğru yönlendirilerek trenin piston etkisiyle gelen pozitif basıncının buralardan dışarı atılmasını sağlamaktadır. Böylelikle istasyonda mümkün olduğunca düşük hava hızları oluşmaktadır. Metrolarda yolcu konforu için temel alınan hava hızı parametreleri çizelge 1.1 de gösterilmiştir.

**Çizelge 1.1 :** Yolcu konforu hava hızı tasarım parametreleri [17].

Mahal	Ortalama m/s	Azami m/s
Platform (yatay)	3	5
Merdiven ve yürüyen merdivenler	1,8	2,5
Tüneller (acil durumda)	2,5	12
İstasyon girişi		9
Havalandırma Bacaları	5	11
Kaldırım Menfezleri	2,5	5
Kaldırımdan 3m ve daha yüksekte menfezler	5	8

Sanfransisko hızlı taşımacılık sisteminde metro yolcuları üzerinde basınç değişimlerinin etkisi üzerine bir dizi testler yapılmıştır. Bu testler sırasında 83 Pa/s (Maks. 186 Pa/s) ortalama basınç değişimi gözlemlenmiş ancak bu değerin rahatsız edici olmadığı görülmüştür. Fakat 551 Pa/s (Maks. 965 Pa/s) ortalama basınç değişimlerinin insanlar üzerinde acı verdiği tespit edilmiştir. Bu teste göre basınç değişiminin insan sağlığına etkileri belirlenmiştir. İnsan sağlığına etkileri ve hava basınç değişim değerleri çizelge 1.2 de gösterilmiştir. [18].

**Çizelge 1.2 :** Basınç değişiminin insan sağlığına etki sınırları [18].

Kulak Belirtileri	Orta kulak ve dış ortam arasındaki basınç farkı Pa
Kulağın içerisinde hissedilebilen şişlik	413-690
Şişlik artımın hissedildiği seviye	690-1310
Ses duyma teneğinin azaldığı şişlik seviyesi	1310-2000
Kulağın rahat çalışmasını engelleyen hastalık belirtilerinin başladığı seviyeleri	2000-3999

Metro sistemlerinde ısıl yolcu konfor parametreleri çizelge 1.3 de gösterilmiştir.

**Çizelge 1.3 : Yolcu ısı konforu tasarım parametreleri [17].**

Mahal	Kış Asgari Sıcaklığı °C	Yaz Azami Sıcaklığı °C	Basınç	Hava Miktarı	Sistem
Platform, Konkors ve Yolculu Alanlar	2	32	-	8 değişim/saat	Egzos ve Besleme
Tüneller Normal Mod	2	32	-	Kritik hıza göre	Egzos ve Besleme
Tüneller Sıkışık Mod	2	34	-	Kritik hıza göre	Egzos ve Besleme
Tehlike Halinde Çıkış Geçitleri	-	50	-	-	-
Sinyalizasyon ve Haberleşme Odaları	18	25	Artı	6 değişim/saat	Egzos, Besleme ve Klima
Personel Odaları	22	25	Artı	6değişim/saat	Klima ve Besleme
Batarya Odaları	15	-	Eksi	15 değişim/saat	Egzos ve Besleme
Cer Gücü Trafo Merkezi	1	40	Artı	10 değişim/saat	Egzos ve Besleme
Asansör Makine Odası	15	40	Eksi	6 değişim/saat	Egzos
Elektrik Odaları	15	40	Artı	10 değişim/saat	Egzos ve Besleme
Mekanik Odaları	15	40	Eksi	6 değişim/saat	Egzos ve Besleme
Tuvaletler	2	32	Eksi	10 değişim/saat	Egzos

#### 1.4 Metrolarda Peron Ayırıcı Kapı

Peron ayırıcı kapılar raylı sistemlerde peron ile hat arasını emniyetli bir şekilde fiziksel olarak ayıran sistemlerdir. Bu kapıların gerek yolcuya gerek işletmeciye faydaları bulunmaktadır. İlk olarak yolcunun hatta girmesini veya düşmesini önlerken yolcuya ait cisimlerin atılmasını engellemektedir. Ayrıca istenmeyen durum olan intiharların önüne geçmektedir. İkinci olarak tren işletmesi sırasında tünelden

gelen tozu, gürültüyü ve piston etkisiyle olan rüzgârı önlemektedir. Ayrıca yolcuların tren kapısına sıkışmasını engelleyerek seferlerin hızlı yapılmasını sağlamaktadır. Son olarak ise şartlandırılmış peron havasının muhafazasını sağlayarak enerji israfının önüne geçmekte ve işletmeciye geri kazanım olarak dönmektedir. Çoğu metro istasyonunda peron ayırıcı kapı yüzeyleri reklam alanı olarak kullanılarak işletmeciye ekstra bir gelir kaynağı sağlamaktadır. Bu tip faydalar neticesinde son yıllarda metro istasyonlarına peron ayırıcı kapılar yapılmaktadır.

### **1.5 Literatür Araştırması Sonucunda Çalışmaya İlişkin Kazanımlar**

HAD uygulamaları ile bir metro istasyonunun konfor şartlarının iyi bir yaklaşıklıkla elde edilebileceği görülmüştür. İstasyon modellemesinde yerinde yapılan kabullerle analizin kolay ve hızlı bir şekilde yapılacağı tespit edilmiştir. İstasyon modelinin farklı sayılarda çözüm ağı oluşturulması sonucunda sonuçların ne derece değiştiği görülerek en uygun çözüm ağı sayısı belirlenmiştir.

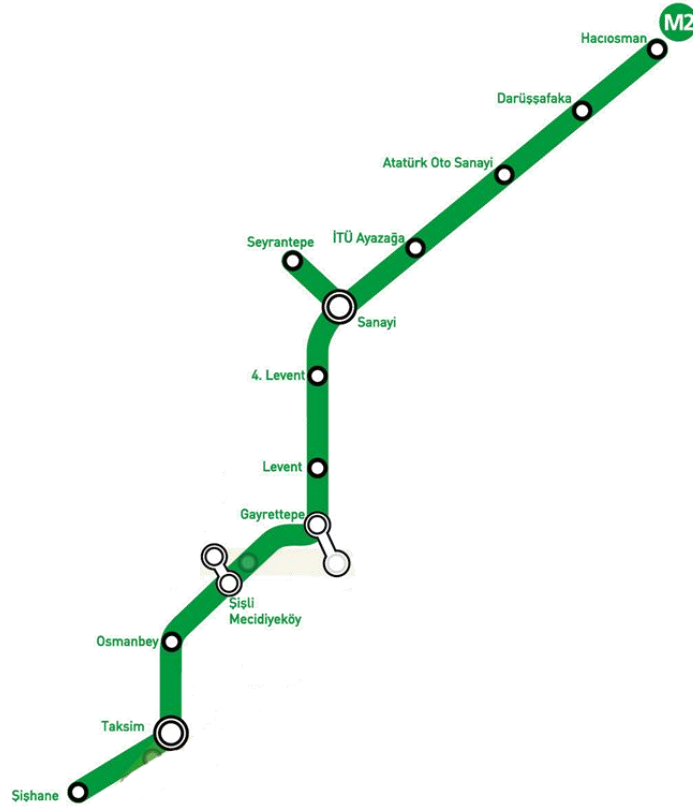
Kontrol hacmi içerisindeki ısı yük kaynaklarının neler olabileceği görülerek hesaplama yöntemleri hakkında fikir edinilmiştir. Bu çalışmaya ait sayısal veriler, benzer çalışmalarda elde edilen sayısal verilerin mertebeleri ile karşılaştırılarak doğruluğu gözlenmiştir.



## 2. İSTANBUL METROSU VE ŞİŞLİ İSTASYONU

### 2.1 İstanbul Metrosu (M2 Şişhane – Hacıosman Hattı)

Yapımına 1992 yılından başlanan İstanbul Metrosu 16 Eylül 2000 tarihinde hizmete açılmıştır. Günümüz itibariyle Şişhane-Hacıosman arası 13 istasyonla hizmet vermekte olup hat uzunluğu 16,5 km ve sefer süresi 27 dakikadır. İstanbul Ulaşım Aş. bünyesinde işletilen M2 hattında günlük ortalama 280.000 yolcu taşınmaktadır. Alstom ve Rotem firmalarına ait 124 adet araçla pik saatlerde 3,54 saniyede bir sefer düzenlenmektedir. 06.00-24.00 saatleri arası işletmeye açık olan M2 hattının tüm istasyonları yer altında olup Seyrantepe istasyonunda peron ayırıcı kapılar bulunmaktadır. M2 Şişhane – Hacıosman metrosu hat haritası şekil 2.1 de gösterilmiştir.



Şekil 2.1 : M2 Şişhane – Hacıosman metrosu hat haritası







### 3. ŞİŞLİ İSTASYONU ISIL YÜK HESAPLARI

Bir metro istasyonunda ısı yük hesapları; araç, tünel ve istasyon kaynaklı olmak üzere üç ana başlık altında toplanarak yapılmaktadır. Isıl kazanç hesapları Subway Environmental Design Handbook [19] ve ASHRAE [20] vasıtasıyla formüller SI birimine dönüştürülerek yapılmıştır.

#### 3.1 Araç Kaynaklı Isıl Yük Hesapları

Metro araçlarından kaynaklı ısı kazançları; trenin frenlemesi ve ivmelenmesi, araç kliması, üçüncü ray, araç kompresörü ve araç alt ekipmanları şeklinde belirlenerek hesaplamaları yapılmıştır. M2 hattında kullanılan Rotem metro treni şekil 3.1 de, istasyonlar arası mesafeler şekil 3.2 de gösterilmiştir.



Şekil 3.1 : M2 metro hattında kullanılan Rotem metro aracı



Şekil 3.2 : İstasyonlar arası mesafe ve istasyon uzunluğu

M2 metro hattında çalışan Rotem metro trenine ait fiziksel özellikler ile işletmesel tren verileri toplanarak çizelge 3.1 de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1 : Rotem metro tren verileri [21]

Trenin toplam uzunluğu ( 4 vagon )	86.28 m
Tren genişliği	3.05 m
Tren Yüksekliği	3.519 m
Tren ön yüz alanı	10.73 m <sup>2</sup>
Trenin maksimum hızı	80 km/sa
Tren sefer aralığı ( sıkışık işletme)	234 saniye
Tren sefer aralığı ( normal işletme)	276 saniye
Dizideki vagon sayısı	4
Tek bir vagonun boş ağırlığı	33575 kg
Tek bir vagondaki yolcuların toplam ağırlığı ( m <sup>2</sup> de 8 kişi)	22166 kg
Tek bir vagondaki yolcuların toplam ağırlığı ( m <sup>2</sup> de 4 kişi)	11083 kg
Trenin hızlanma ve yavaşlama ivmesi	1.1 m/s <sup>2</sup>
Trenin hızlanma ve yavaşlama modunda ortalama hızı	11.1 m/s
Üçüncü ray ve çalışan rayların toplam direnci	6.10 <sup>-3</sup> mΩ/m
Üçüncü ray gerilimi	750 volt
Cer motoru verimliliği	91.54%
Çift yönde bir saatlik sefer sayısı (sıkışık işletme)	30
Çift yönde bir saatlik sefer sayısı (normal işletme)	26

### 3.1.1 Araç frenlemesi ile oluşan ısı yük hesabı

İstasyon hacmine trenin frenlemesiyle üretilen ısı enerjisi; havanın direncinden, mekanik sürtünmeden, fren rezistörlerinden ve motor kayıplarından kaynaklı ısı kazançlarının toplamı şeklindedir. Hesaplamalarda kullanılacak bir takım değerler çizelge 3.2 de gösterilmiştir.

**Çizelge 3.2 :** Tünel ile tren arasında yapılan hesaplama sonuçları

Trenin 80 km/sa hızdan durma mesafesi	224 m
Trenin 80 km/sa hız ivmelenme mesafesi	224 m
Trenin 80 km/sa hız ivmelenme süresi	20.2 s
Trenin ortalama ivme alma süresi	30 s

### 3.1.1.1 Hava direnci kaynaklı ısı kazancı

Tünel boyunca trenin etrafında olan hava akımının, aerodinamik sürtünme direnci nedeniyle oluşan ısı kazancıdır ve şu eşitliklerle hesaplanabilir.

$$F_d = 1,41 \cdot 10^{-5} \cdot A_{\text{önyüz}} \cdot \rho_{\text{hava}} \cdot C_d \cdot V_{\text{ort}}^2 \quad (3.1)$$

$$Q_d = F_d \cdot d_f \cdot n / 3600 \quad (3.2)$$

### 3.1.1.2 Mekanik sürtünme kaynaklı ısı kazancı

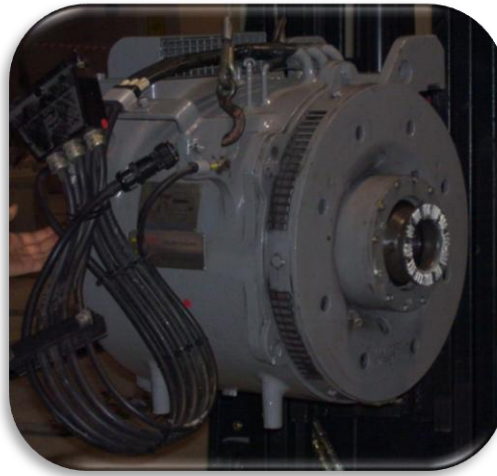
Sürtünme kuvvetinden kaynaklı ısı kazancı aşağıdaki eşitlikler kullanılarak hesaplanabilir.

$$F_s = 5,8 + \left( \frac{516000}{W_e} \right) + 7,4 \cdot 10^{-3} \cdot V_{\text{ort}} \quad (3.3)$$

$$Q_s = F_s \cdot d_f \cdot W_e \cdot N_{\text{vagon}} \cdot n / 3600 \quad (3.4)$$

### 3.1.1.3 Motor kayıplarından kaynaklı ısı kazancı

Cer motorundan olan ısı kayıpları aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanabilir. Cer motoru şekil 3.3 de gösterilmiştir.



**Şekil 3.3 :** Metro aracı cer motoru

$$Q_m = (KE + Q_d + Q_s) \cdot \left( \frac{1 - \varepsilon_m}{\varepsilon_m} \right) \quad (3.5)$$

#### 3.1.1.4 Rezistörden kaynaklı ısı kazancı

Yavaşlayan trenin kinetik enerjisi elektrik enerjisine dönüştürülerek fren rezistörlerinde ısı enerjisi olarak tünel ortamına salınmaktadır. Bu ısı kazancını hesaplamak için kullanılan eşitlik aşağıdaki bağıntı kullanılarak hesaplanabilir. Fren resistörü şekil 3.4 de gösterilmiştir.



Şekil 3.4 : Metro aracı fren resistörü

$$KE = 1,26 \cdot 10^{-4} \cdot W_e \cdot N_{vagon} \cdot n \cdot V_{maks}^2 \quad (3.6)$$

$$Q_r = KE - Q_s - Q_d - Q_m \quad (3.7)$$

#### 3.1.2 Araç ivmelenmesi ile oluşan ısı yük hesabı

Kullanılan trenin hızlanma ve yavaşlama ivmeleri aynı olması sebebiyle, trenin ivmelenmesiyle birlikte açığa çıkan ısı enerjisi hesabı frenleme sonucu açığa çıkan enerji hesaplarıyla aynı şekildedir. Tek farkları ivmelenme esnasında fren resistöründe hesaplanan ısı enerjisi dâhil edilmemektedir.

#### 3.1.3 Araç klimasından gelen ısı yük hesabı

Günümüzde kullanılan trenlerin çoğu araç içindeki ortamı kontrol etmek amacıyla klima teçhizatıyla donatılmıştır. Araç içerisindeki ısı çekilerek istasyon modülü ve tünellere atılmaktadır. Atılan ısının miktarı, klima sisteminin soğutma kapasitesine, klima kompresörüne ve kondenser fanlarının güçlerine bağlı olarak değişmektedir. Klima kapasite verileri çizelge 3.3 de gösterilmiştir.

**Çizelge 3.3 : Rotem treni klima kapasite verileri**

Tek bir vagonun klima soğutma kapasitesi	56 kW
Tek bir vagonun klima kompresörü motor gücü	23,4 kW
Klima sisteminin efektif çalışma oranı	0.3
Klima sistemi yük faktörü	0.8

$$Q_{klima} = (Q_{sk} + Q_k) \cdot N_{vagon} \cdot n \cdot F_{kf} \cdot F_{yf} \quad (3.8)$$

### 3.1.4 Araç kompresöründen gelen ısıl yük hesabı

M2 metro hattında kullanılan araçlarda pnömatik sistemlere hava sağlamak amacıyla 3 adet kompresör bulunmaktadır. Bu sistemde kaynaklı ısıl kazanç hesabı aşağıdaki bağıntı ile yapılabilir. Kompresör kapasite verileri çizelge 3.4 gösterilmiştir.

**Çizelge 3.4 : Rotem treni kompresör kapasite verileri**

Tek bir kompresör motor gücü	4,8 kW
Kompresör sayısı	3
Kompresör sisteminin efektif çalışma oranı	0.33
Trenin toplam hareket süresi	60,4 s

$$Q_{komp} = P_{komp} \cdot f \cdot N \cdot n \cdot t_t / 3600 \quad (3.9)$$

### 3.1.5 Araç-3.ray kaynaklı ısıl yük hesabı

M2 metro hattında araç hareketi için gerekli enerji şekil 3.5 de görülen 3. ray hattından sağlamaktadır. 750 volt, araçların yan taraflarında bulunan akım toplama pabuçları aracılığıyla raydan trene aktarılmaktadır. İvmelenme esnasında motorun akım gereksinimi en yüksek değerdedir, bu nedenle 3.ray kayıpları ivmelenme süresi kullanılarak hesaba dâhil edilir ve aşağıdaki eşitlikten hesaplanabilir.



**Şekil 3.5 : 3. Rayın pabuç ile temas görünümü**

$$Q_{3r} = 0,22 \cdot \frac{(KE + Q_d + Q_s + Q_m)^2 \cdot R \cdot 3600}{n \cdot t_i \cdot V o^2} \quad (3.10)$$

### 3.2 Tünel Kaynaklı Isıl Yük Hesapları

İstasyonları birbirine bağlayan tünellerde ısı kaynak olarak şekil 3.6 görülen tünel aydınlatmaları bulunmaktadır. Tünel aydınlatması floresan lambalar ile yapılmaktadır. Şişli istasyonunu diğer istasyonlara bağlayan ve hesaplamalar için kullanılan kontrol hacminde 543 adet floresan bulunmaktadır. Floresanlar 20,54 kW kurulu güce sahiptir. Floresan lambanın ışık verimi %85 olup aldığı enerjinin %15 ini ısıya dönüştürmektedir [22]. Tünel aydınlatmalarından gelen ısı kazanç hesabı aşağıdaki bağıntıyla hesaplanmaktadır.

$$Q_{Tay} = W_{Tay} \cdot \varepsilon \quad (3.11)$$



Şekil 3.6 : M2 metro hattı tünellerinden bir kesit

### 3.3 İstasyon Kaynaklı Isıl Yük Hesapları

Metro istasyonunda çeşitli ısı kaynakları mevcuttur. Bunlar asansörler, yürüyen merdivenler, istasyon aydınlatması, bilet makinaları, reklam ekranları, teknik oda klimaları ve yolcular şeklinde sıralanmaktadır. Şekil 3.7 de Şişli istasyonundan bir kesit görülmektedir.



**Şekil 3.7 :** Şişli istasyonundan bir kesit

### 3.3.1 İstasyon aydınlatması kaynaklı ısı kazancı

İstasyon aydınlatmasından gelen ısı kazanç hesabı, tünel aydınlatmasından gelen ısı kazanç hesabıyla aynı formül kullanılarak bulunmaktadır. Şişli istasyonunda konkors ve peron katı olmak üzere toplam 65,9 kW kurulu aydınlatma gücü bulunmaktadır. İstasyonlarda yine floresan lamba kullanılmakta olup verimi tünel aydınlatmasıyla aynı değerdedir.

### 3.3.2 İstasyonda bulunan asansör ve yürüyen merdiven kaynaklı ısı kazancı

Yürüyen merdiven ve asansörden olan ısı kazancı aşağıda belirtilen formülle hesaplanmaktadır. Yürüyen merdiven ve asansörlere ait veriler çizelge 3.5 de gösterilmiştir. Ayrıca şekil 3.8 de istasyonda bulunan yürüyen merdiven ve asansör görülmektedir.

$$Q_{as} = (P \cdot \varepsilon_m / 1 - \varepsilon_m) \cdot F_{kf} \cdot F_{yf} \quad (3.12)$$

**Çizelge 3.5 :** İstasyonda bulunan yürüyen merdiven ve asansör verileri

Yürüyen merdiven sayısı	14
Yürüyen merdivenlerin toplam motor gücü	351 kW
Yürüyen merdiven motor kullanım faktörü	1
Yürüyen merdiven motor yük faktörü	1
Yürüyen merdiven motor	90%
Asansör sayısı	2
Asansörlerin toplam motor gücü	33 kW
Asansör motor kullanım faktörü	0.5
Asansör motor yük faktörü	1
Asansör motor verimi	90%



**Şekil 3.8 :** Metro istasyonu asansör ve yürüyen merdivenleri

### 3.3.3 İstasyonda bulunan reklam ekranlarından kaynaklı ısı kazancı

İstasyonlarda gerek yolcu bilgilendirme gerek reklam amaçlı kullanılan lcd ekranlar bulunmaktadır. Bu ekranlarda buldukları ortama ısı vermektedir. Bu ekranların verdikleri ısı aşağıdaki bağıntı ile hesaplanabilir. Ekranlara ait boyutlar çizelge 3.6 gösterilmiştir.

$$Q_{ek} = (0,2.S - 20) \quad (3.13)$$

**Çizelge 3.6 :** İstasyonda bulunan reklam ekranı verileri

Reklam ekranlarının nominal boyu	1190 mm
Reklam ekranlarının adedi	10

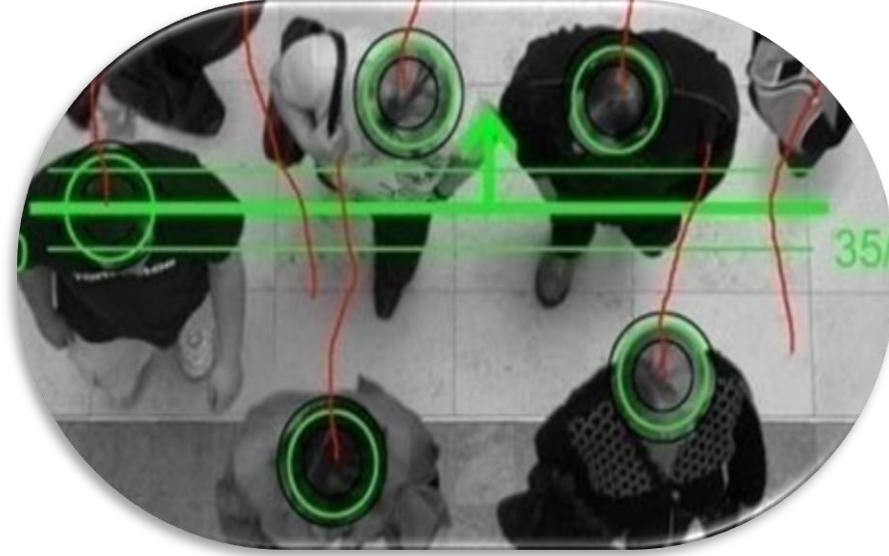
### 3.3.4 İstasyonda iklimlendirme yapılan teknik oda kaynaklı ısı kazancı

İstasyonlarda bulunan teknik odaların soğutulması sebebiyle bir miktar ısı üretimi olmakta ve bu ısı istasyon mahalline atılmaktadır. Atılan bu ısının hesap yöntemi araç klimasının hesap yöntemiyle benzerlik taşımaktadır.

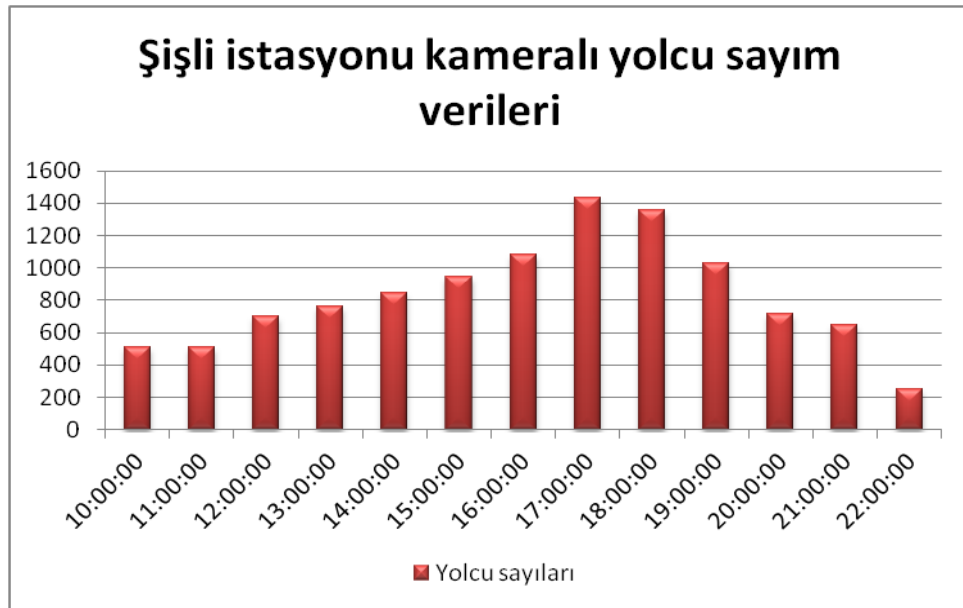
İstasyonda teknik odalarda toplam 18,9 kW gücünde soğutma yapılmaktadır.

### 3.3.5 Yolcu kaynaklı ısı kazancı

İstasyondan olan ısı kazancının büyük bir bölümü yolculardan gelmektedir. Şişli istasyonunda normal ve sıkışık işletmedeki yolcu sayıları iki yöntemle belirlenmiştir. Mayıs 2012 de yapılan ölçümde Şişli istasyonuna kamera yerleştirilmiş ve bu kamera ile 1 ay gün boyu yolcu sayıları anlık alınarak kaydedilmiştir. Yolcu sayımına ait örnek şekil 3.9 da gösterilmiştir. Sayıma ait yolcu verileri şekil 3.10 da verilmiştir.



Şekil 3.9 : Kamera ile yolcu sayım örneği



Şekil 3.10 : Şişli istasyonu anlık ortalama yolcu sayım verileri

Kamera ile yapılan yolcu sayımı anlık olarak yapıldığından insanlardan gelen ısı hesabında bir saatlik net yolcu sayısı anlaşılamamaktadır. Bu nedenle istasyonda bulunan giriş çıkış turnikelerinden 3 gün boyunca sıkışık ve normal saatlerde turnike verileri okunarak, çizelge 3.7 de istasyon kontrol hacminde bulunan bir saatlik yolcu sayısı elde edilmiştir.

**Çizelge 3.7 :** Turnike verilerine göre 1 saatlik yolcu sayısı

Bir saat boyunca istasyonda bulunan yolcu sayısı (sıkışık işletme)	12000
Bir saat boyunca istasyonda bulunan yolcu sayısı (normal işletme)	3000
Tek bir yolcunun istasyonda ortalama geçirdiği süre	4 dk

Yolculardan gelen ısı kazancı hesabı; subway environmental design handbook kaynağına göre saatlik bazda duyulur ve gizli ısı üretimi ayrı ayrı yapılmakta olup aşağıdaki formüllerle hesaplanmaktadır.

$$Q_{yd} = N_y \cdot t_{ort} \cdot q_d \quad (3.14)$$

$$Q_{yg} = N_y \cdot t_{ort} \cdot q_g \quad (3.15)$$

ASHRAE standartlarına göre yürüyen ve bekleyen insanların yaydığı duyulur ve gizli ısılar çizelge 3.8 de gösterilmiştir [20].

**Çizelge 3.8 :** Bir insandan gelen ısı değerleri

Bir insanın yaydığı duyulur ısı	75 W
Bir insanın yaydığı gizli ısı	70 W

### 3.4 Kontrol Hacminde Yapılan Isıl Kazanç Hesap Sonuçları

Elde edilen verilerin belirtilen formüller ile hesaplanması sonucu toplam ısı kazanımı bulunmuştur. Bu değerler çizelge 3.9 da gösterilmiştir.

Çizelge 3.9 : Hesaplamalar sonucu elde edilen veriler

Isı Kaynağı		Sıkışık İşletme		Normal İşletme	
		Kaybolan ısı [kW]	Kinetik enerjiye oranı	Kaybolan ısı [kW]	Kinetik enerjiye oranı
<b>Frenleme</b>					
	Hava direnci	21,1	0,055	18,29	0,055
	Mekanik direnç	11,3	0,029	9,79	0,029
	Motor kaybı	38,7	0,100	33,54	0,100
	Fren resistor	315,6	0,816	273,52	0,816
	<b>Toplam</b>	<b>386,7</b>	<b>1,000</b>	<b>335,14</b>	<b>1,000</b>
<b>İvmelenme</b>					
	Hava direnci	21,1	0,055	18,29	0,055
	Mekanik direnç	11,3	0,029	9,79	0,029
	Motor kaybı	38,7	0,100	33,54	0,100
	Fren resistor	0	0	0	0
	<b>Toplam</b>	<b>71,1</b>	<b>0,184</b>	<b>61,62</b>	<b>0,184</b>
<b>3.Ray</b>		2,92	0,008	2,53	0,008
<b>Tünel Aydınlatma</b>		3,1	0,008	3,10	0,009
<b>Yardımcı sistemler</b>					
	Kompresör	2,39	0,006	2,07	0,006
<b>Tren Klima</b>		2286	5,912	1981,20	5,912
<b>İstasyon kayıpları</b>					
	İstasyon aydınlatması	9,8	0,025	9,80	0,029
	Ekranlar	2,2	0,006	2,20	0,007
	Asansör	3,6	0,009	3,60	0,011
	Yürüyen Merdiven	39	0,101	39,00	0,116
	Yolcular	88	0,228	29,33	0,088
	Klima	11,34	0,029	11,34	0,034
	<b>Toplam</b>	<b>153,94</b>	<b>0,398</b>	<b>95,27</b>	<b>0,284</b>
<b>Genel Toplam</b>		<b>2906,15</b>	<b>7,515</b>	<b>2480,94</b>	<b>7,403</b>

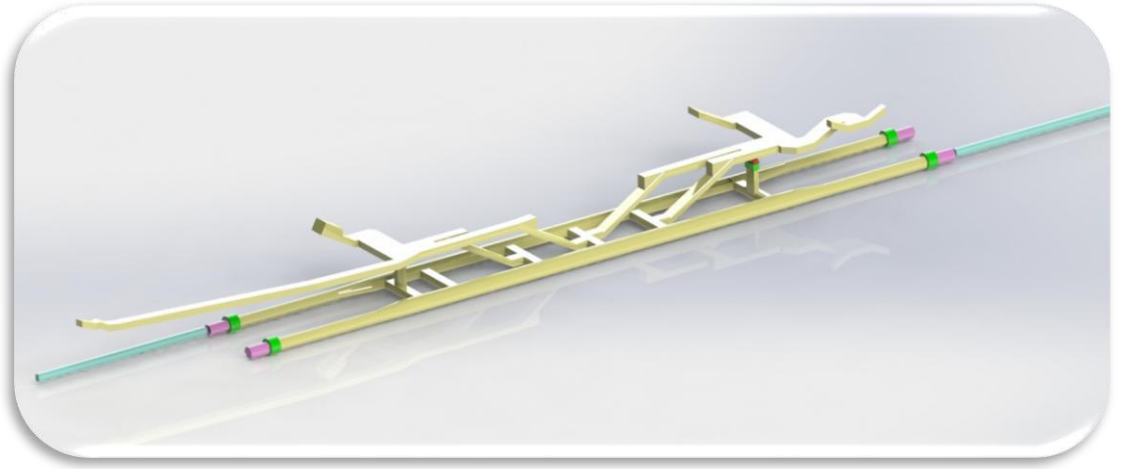
Hesaplama ile elde edilen toplam ısı kazanç değerleri; yaklaşım tüneli, istasyon ve ayrılma tüneli olarak belirlenen mahallere belli bir oranda dağıtılmaktadır. Bu oran subway environmental design handbook kaynağında belirtilen 80 km/h tren hızı için tablodan seçilerek dağılımı çizelge 3.10 da gösterilmiştir.

**Çizelge 3.10 : Kontrol hacmine atılan ısı ve oranları**

		Sıkışık İşletme		Normal İşletme	
Isı Atılan Mahaller		Kaybolan ısı [kW]	Toplam Oranı	Kaybolan ısı [kW]	Toplam Oranı
<b>Yaklaşım Tüneli</b>					
	Frenleme	26,68		23,12	
	Tünel Aydınlatma	1,55		1,55	
	Tren Klima	306,32		265,48	
	Kompresör	0,16		0,14	
	<b>Toplam</b>	<b>334,72</b>	<b>11,52</b>	<b>290,30</b>	<b>11,70</b>
<b>İstasyon</b>					
	Frenleme	252,52		218,85	
	Tren Klima	1371,60		1188,72	
	Kompresör	1,56		1,35	
	İstasyon kayıpları	153,9		95,27	
	<b>Toplam</b>	<b>1779,62</b>	<b>61,24</b>	<b>1504,19</b>	<b>60,63</b>
<b>Ayrılma Tüneli</b>					
	Frenleme	107,50		93,18	
	İvmelenme	71,10		61,62	
	3.Ray	2,92		2,53	
	Tünel Aydınlatma	1,55		1,55	
	Tren Klima	608,08		527,00	
	Kompresör	0,66		0,58	
	<b>Toplam</b>	<b>791,81</b>	<b>27,25</b>	<b>686,46</b>	<b>27,67</b>
<b>Genel Toplam</b>		<b>2906,15</b>	<b>100</b>	<b>2480,94</b>	<b>100</b>

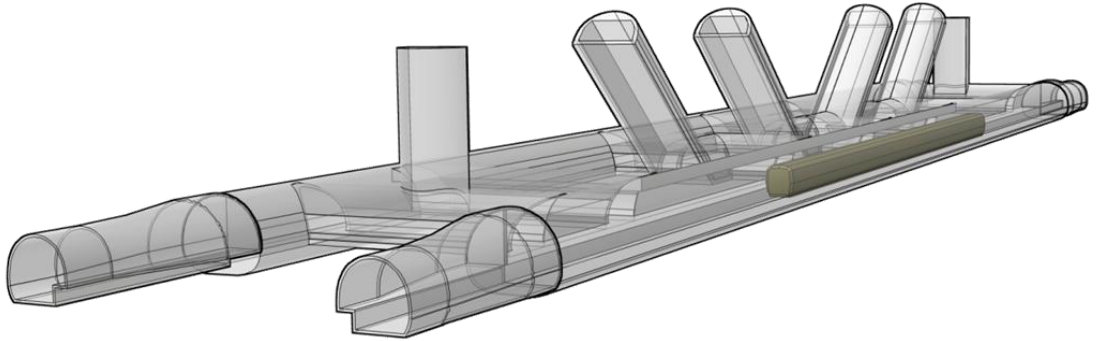
#### 4. İSTASYON VE TÜNELLERİN 3 BOYUTLU MODELLENMESİ

Şişli istasyonunun yolcu konfor şartlarını HAD analizi ile inceleyebilmek için istasyon şekil 4.1 deki gibi 3 boyutlu ve 1:1 ölçekli olarak modellenmiştir. İstasyon modeli Solidworks programı kullanılarak oluşturulmuştur. Model öncelikle kabuk halinde modellenmiş ve HAD analizi için hava hacimleri çıkartılmıştır.

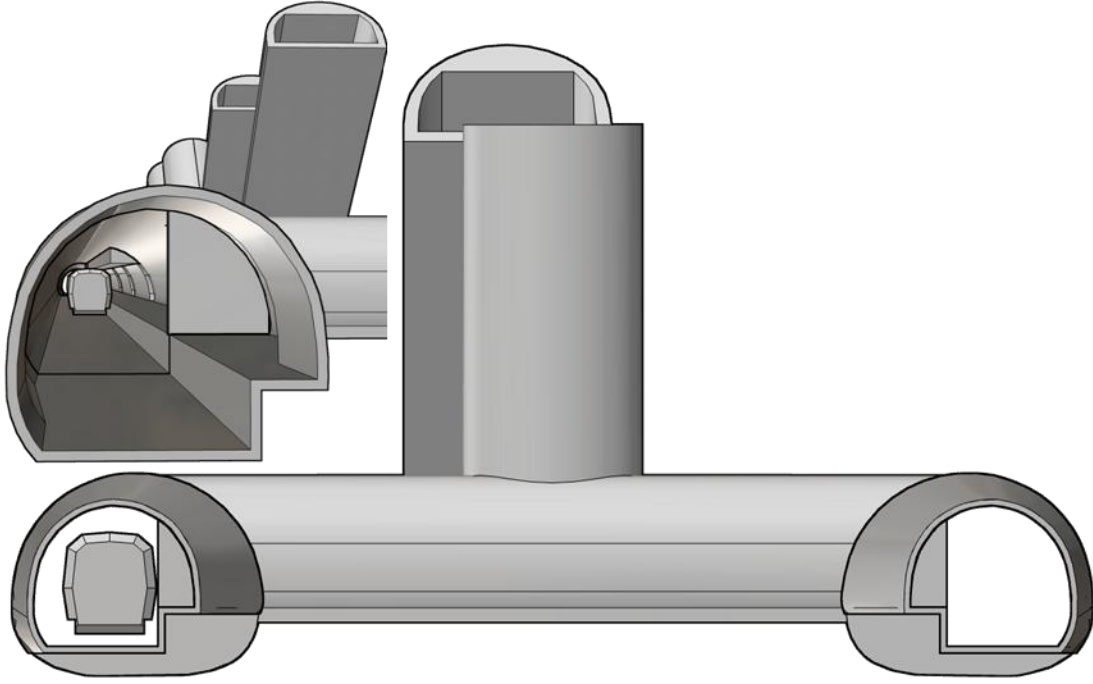


**Şekil 4.1** : Şişli istasyonu modelinin genel görünümü

Şişli istasyon modeli; 180 m uzunluğunda ve 3,4 m genişliğinde iki peron, 19 m yüksekliğinde 4 yürüyen merdiven holü, 2 havalandırma bacası, 5 istasyon çıkışı ve 6 pasaj geçiş bölgesinden oluşmaktadır. İstasyonun kabuk modeli şekil 4.2 ve şekil 4.3 de gösterilmiştir.



**Şekil 4.2** : Şişli istasyonunun kabuk katı model genel görünümü

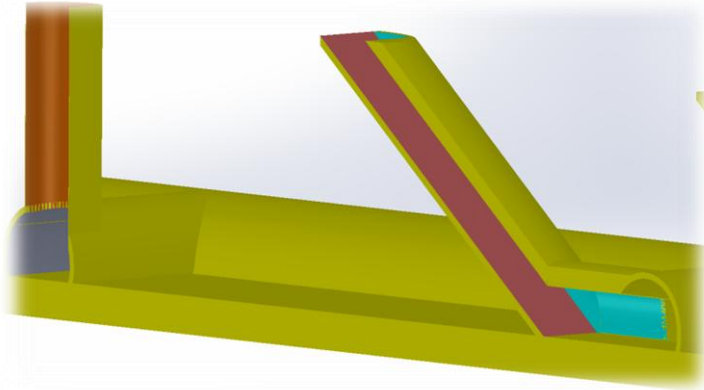


**Şekil 4.3 :** Şişli istasyonunun kabuk katı model görünümü

#### **4.1 Şişli İstasyonu Model Optimizasyonu**

Şişli istasyonunun katı modeli oluşturulurken HAD analizine çözüm kolaylığı sağlaması adına bir takım kabuller yapılmıştır. İstasyon ölçüleri birebir modellenirken detaylardan kaçınılmıştır.

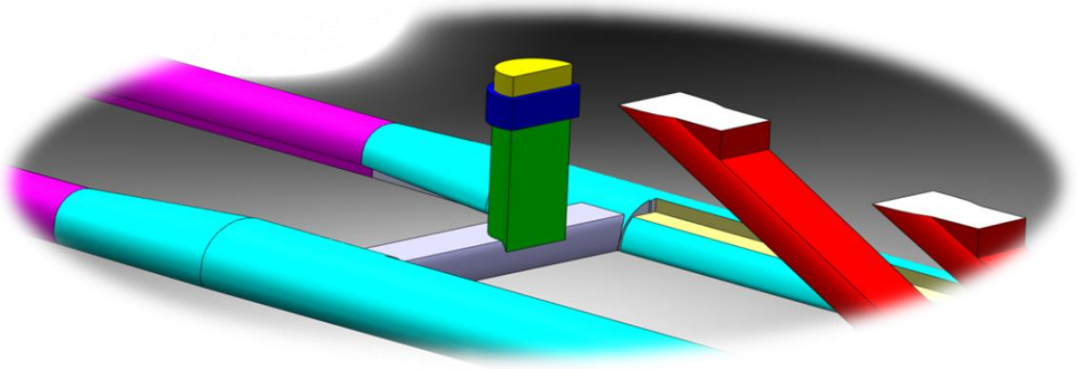
Yürüyen merdiven basamaklarının bulunduğu yüzey düz kabul edilerek modellenmiştir. Ayrıca bu hacimlerde bulunan tv ve reklam panolarının kapladığı hacim çizimde yer verilmemiştir. Bu alanlar şekil 4.4 de gösterilmiştir.



**Şekil 4.4 :** Yürüyen merdivenlerin içeriden görünümü

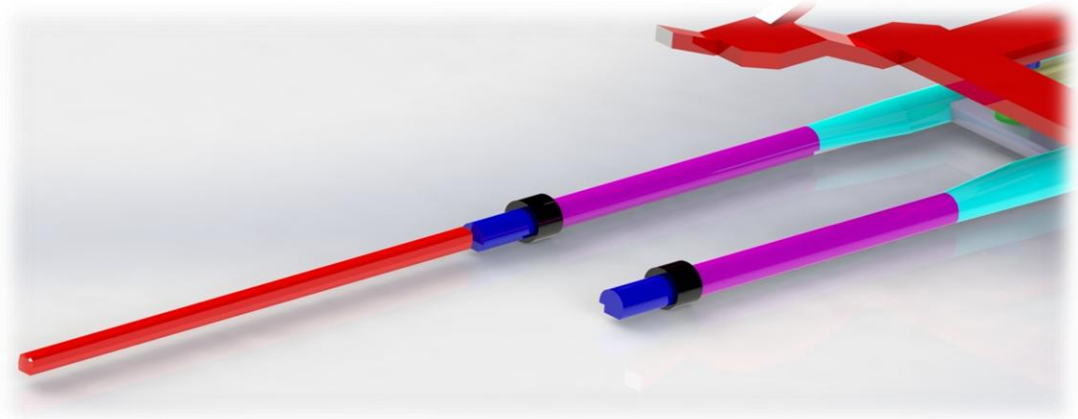
İstasyonda bulunan asma tavanların arasında kalan hava hacmi modelleme kolaylığı ve hava hızlarına etkisinin düşüklüğü sebebiyle ihmal edilerek modele devam edilmiştir.

İstasyon sonlarında bulunan havalandırma şaftları şekil 4.5 deki gibi parçalı ve düz bir şekilde modellenerek hacimlerin iç içe geçmesi engellenmiştir. Mevcut sistemle analiz sonuçlarının yakınsaması amacıyla istasyon; ihmal edilen bölgelerdeki baca uzunluğu ile damper, fan, emniyet ızgarası gibi elemanlardan kaynaklı basınç kayıplarının değeri HAD programına girilmesi düşünülerek modellenmiştir.



**Şekil 4.5 :** Havalandırma bacasının parçalı görünümü

İstasyon hacmi trenin hızlanma ve frenleme mesafeleri süresince analiz edileceğinden bu mesafeler istasyon bitimine tünel olarak eklenmesi düşünülmüştür. Fakat tünel uzunluklarının model çözümü için uzun olmasından dolayı tünel şekil 4.6 da ki gibi parçalı olarak modellenerek parçalardan birisine HAD programında yeterli mesafede uzunluk tanımlanması planlanmıştır.



**Şekil 4.6 :** Tünellerin parçalı görünümü



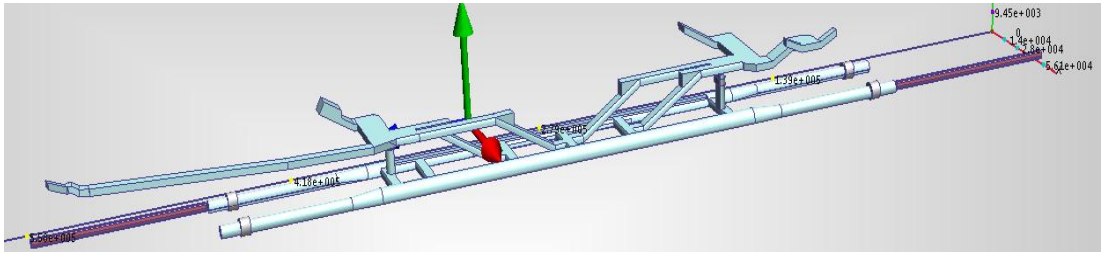
## 5. HAD ANALİZİ VE PROGRAM GİRDİLERİ

Bu kısımda istasyonun peron ayırıcı kapı ile mevcut durum modellerinin Autodesk Simulation CFD (CFDesign) programı kullanılarak HAD analizi için veri giriş işlemleri anlatılacaktır.

Solidworks programı kullanılarak tasarlanan model CFDesign programına tanıtılabilmesi için parasolid (x\_t) uzantılı olarak kaydedilmektedir. Model dolu hacimlerden oluşturulmuş ve tünel çeperi adyabatik olarak kabul edilmiştir. Dolayısıyla analizde, tünel dış duvarına taşınımla olan ısı geçişi ihmal edilerek tünel sıcaklığı sabit alınmıştır.

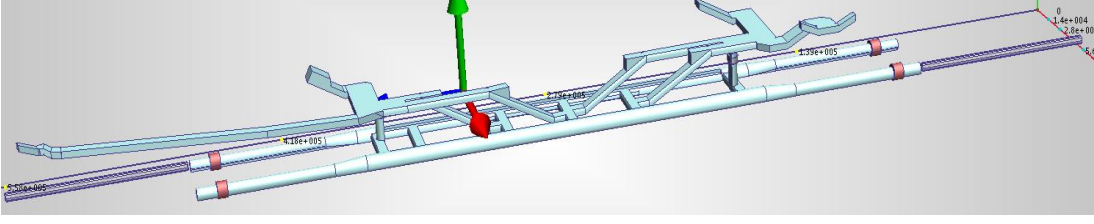
### 5.1 Malzeme ve Malzeme Özelliklerinin Tanıtılması

Programda ilk olarak modelde bulunan parçaların malzemeleri ve malzeme özellikleri tanımlanmıştır. Şekil 5.1 de modelin CFdesign programındaki görünümü yer almaktadır.



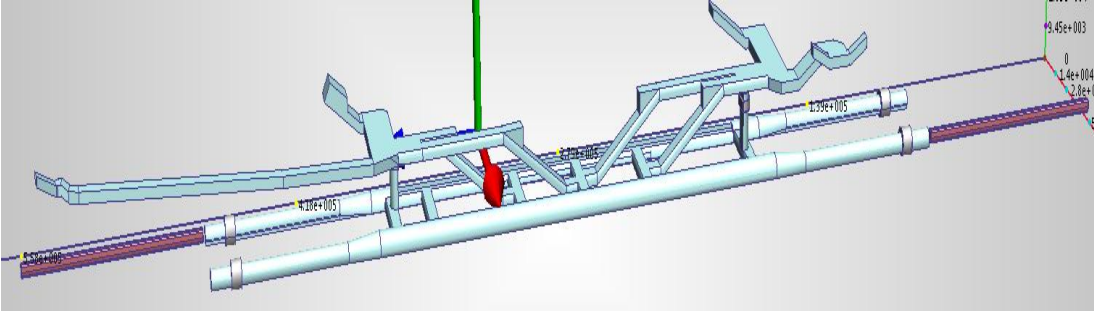
Şekil 5.1 : CFdesign programında modelin görünümü

Modelin büyük bir parçası hava hacminden oluştuğundan o parçalara standart özelliklere sahip hava tanımlanmıştır. Modelde istasyonlar arası tünellerin tamamı çözüm ve tasarım açısından kolaylık sağlaması adına çizilmemiş ve ek parça eklenmiştir. Bu nedenle programın ek parçaları tanıması için dış taraflarına şekil 5.2 deki gibi katı hacim çizilerek programda tünel yüzeyi yani beton olarak tanıtılmıştır. Beton olarak tanıtılan hacimler çözüm ağına dâhil edilmemesi için programda gizlenmiştir.



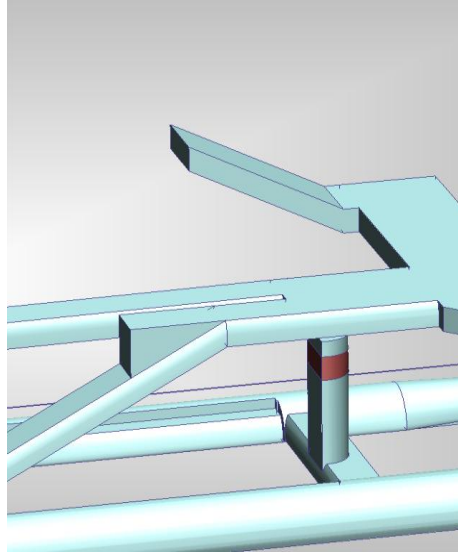
**Şekil 5.2 :** Beton olarak tanımlanan hacimler

Modelin çözümünde hava hareketini sağlayan ve şekil 5.3 de görülen trenlerimizi mevcut sistemde olduğu gibi standart 304 kalite paslanmaz çelik olarak tanımlanmıştır.



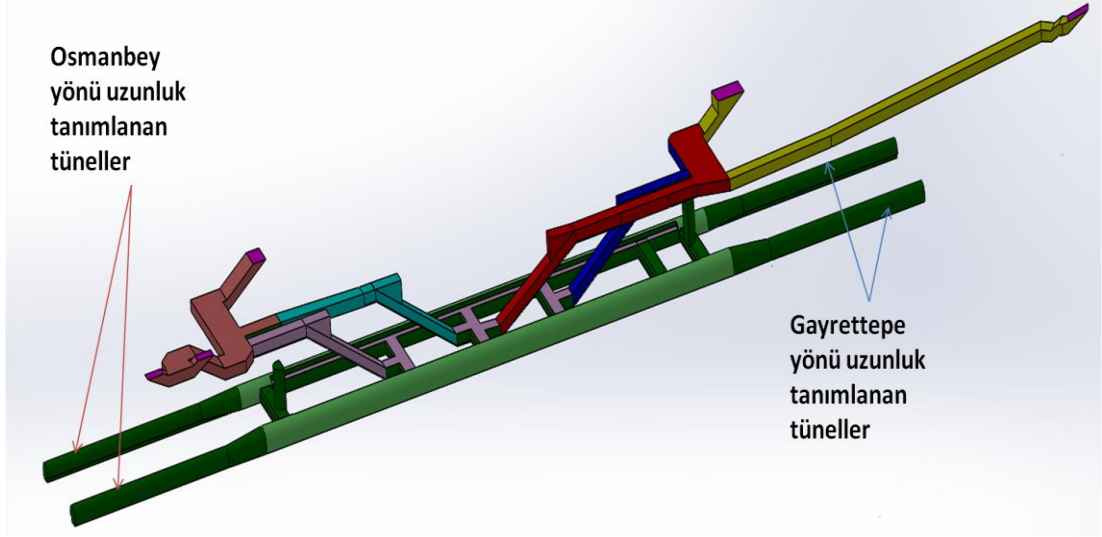
**Şekil 5.3 :** 304 kalite paslanmaz çelik tanımlanan trenler

Peron sonlarında bulunan havalandırma bacalarının mevcut sistemde çok dirsekli olması sebebiyle çözümü ve modelin tasarımını kolaylaştırmak adına düz ve parçalı olarak tasarlanmıştır. Tasarımda şekil 5.4 deki gibi çizilen parça, programda direnç olarak tanımlanmıştır ve bu dirence basınç kaybı olarak istasyonun kabul testlerinde belirtilen basınç değeri girilmiştir.



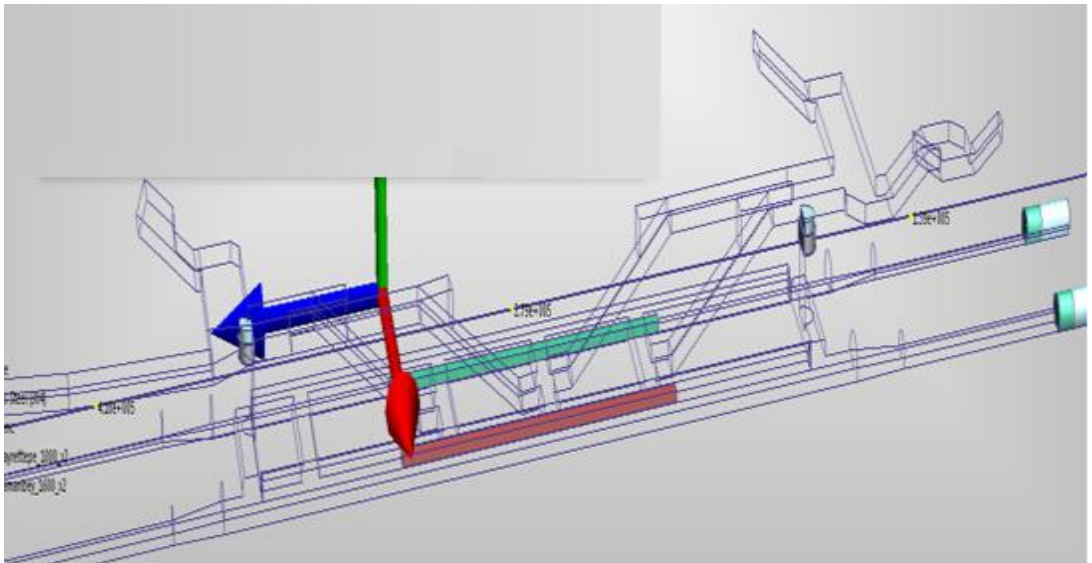
**Şekil 5.4 :** Modellenmemiş shaft kısımların basınç kayıp modülü

Şaft bölgelerinde uygulanan direnç bloğu uygulaması tren hareketi için gerekli olan tünel uzunluğu tanımlanmasında da kullanılmıştır. Şekil 5.5 deki gibi modellenen tünel parçaları Gayrettepe ve Osmanbey yönleri için ayrı ayrı uzunluk değerleri girilerek programa tanıtılmıştır.



**Şekil 5.5 :** Uzunluk değeri tanımlanan tünel kısımlarına

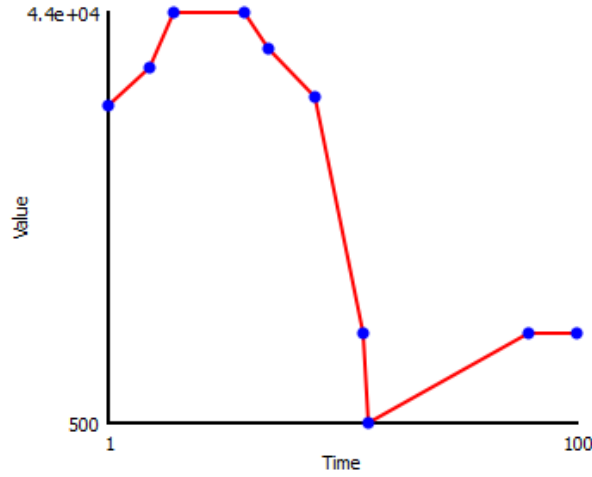
Son olarak yolculardan gelen ısıyı temsilen şekil 5.6 daki gibi modellenen parça, hava hareketlerini etkilememesi için programın direnç modülü kullanılarak tanımlanmıştır. Böylelikle bu parçanın içinden hava geçebilmekte ve havayı yönlendirmemektedir. Hava parçanın içinden geçerken de sanki insanların arasından geçiyormuş şeklinde olabilmesi için %20 oranında direnç tanımlanmıştır.



**Şekil 5.6 :** Yolculardan gelen ısı modülünün görünümü

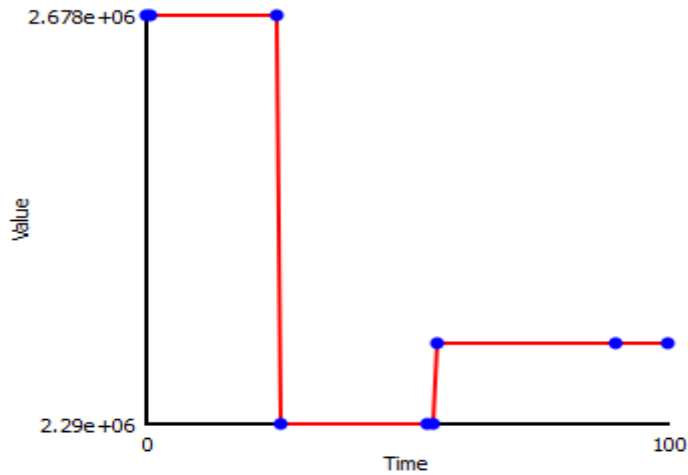
## 5.2 Sınır Şartları

Malzeme özellikleri tamamlanmasıyla modele sınır şartları tanımlanmıştır. İlk olarak yolcuları nitelendiren parçalara 3. bölümde hesaplanmış ısı üretim değeri girilmiştir. Bu değer zamana bağlı olarak şekil 5.7 de görüldüğü gibi girilmiştir. Grafiğe göre tren gelene kadar ısı üretim değeri artmakta, tren istasyona gelip yolcuları almasıyla birlikte istasyondaki ısı üretim değeri azalmakta ve bir süre sonra tekrar artma eğilimi göstermektedir.



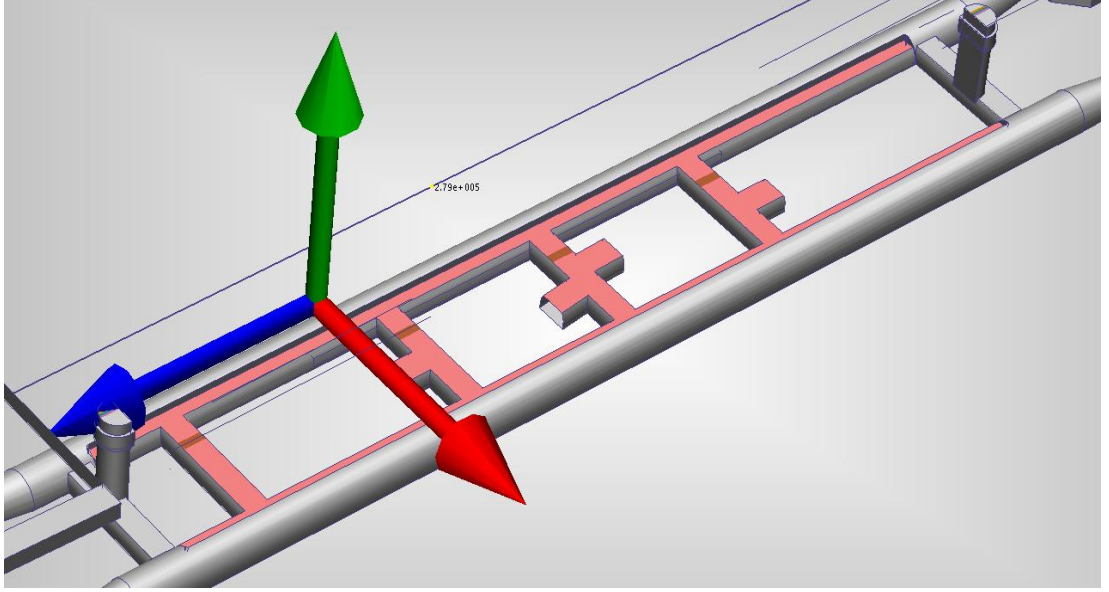
**Şekil 5.7 :** Sıkışık işletmede yolcu kaynaklı ısı üretiminin programa tanıtılma grafiği

Hareket halindeki tren modülüne de şekil 5.8 de gösterilen ve 3. bölümde hesaplanan değerler frenleme, duraklama ve ivmelenmedeki ısı üretim değerleri ayrı ayrı göz önüne alınarak programa tanıtılmıştır.



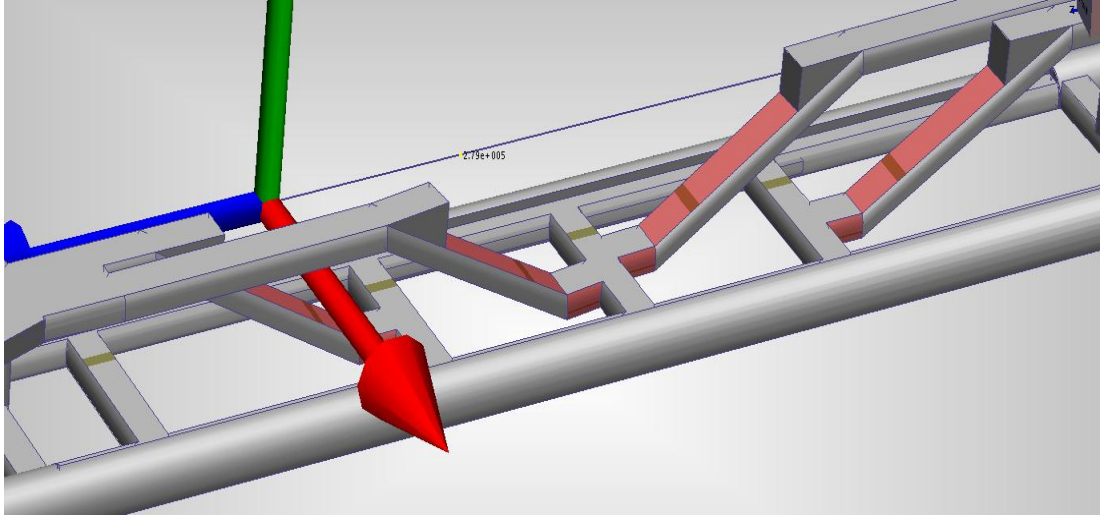
**Şekil 5.8 :** Sıkışık işletmede tren kaynaklı ısı üretiminin programa tanıtılma grafiği

Aydınlatmalardan ve teknik mahallerdeki iklimlendirme sonucu açığa çıkan ısı modelde şekil 5.9 da ki gibi tavan yüzeyine toplam ısı akısı şeklinde tanımlanmıştır.



**Şekil 5.9 :** Aydınlatma ve iklimlendirme kaynaklı ısı yük tanımlanan tavan

Yürüyen merdiven ve asansör gibi ekipmanlardan kaynaklı ısı yükler şekil 5.10 modelde gösterildiği gibi toplam ısı akısı şeklinde dağıtılarak girilmiştir.



**Şekil 5.10 :** Yürüyen merdiven ve asansör kaynaklı ısı yük tanımlanan yüzeyler.

Modelde tüm istasyon çıkışları açık hava basıncı tanımlanmış olup sıcaklık değeri de İstanbul ili için mayıs ayı ortalama en yüksek sıcaklık değeri olan 22.2 °C olarak tanımlanmıştır [23]. Ayrıca bu girişlere, tünel ve istasyon havalarının karışımını görmek amacıyla temiz hava olarak atanmıştır.

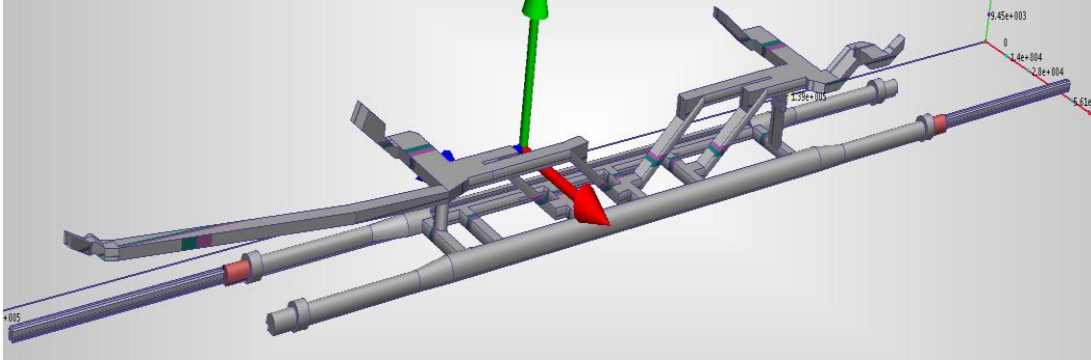
Şaft bölgelerinin çıkışları açık hava olarak tanımlanmış olup giren havanın sıcaklığı mayıs ayı içinde yapılan şaft sıcaklık ölçümleri sonucunda 20 °C olarak belirlenmiştir. Ayrıca bu bölgelerden gelen hava kalitesi de temiz hava olarak tanımlanmış olup dağılımının görülmesi sağlanmıştır.

Tünel giriş ve çıkışları açık hava olarak tanımlanmış olup tünelden gelen havanın sıcaklığı yapılan sıcaklık ölçümleri neticesinde 18 °C olarak belirlenmiştir. Tünelden gelen havanın da istasyon havasında ne kadar dağıldığını görmek amacıyla temiz hava olarak tanımlanmıştır.

### 5.3 Başlangıç Şartları

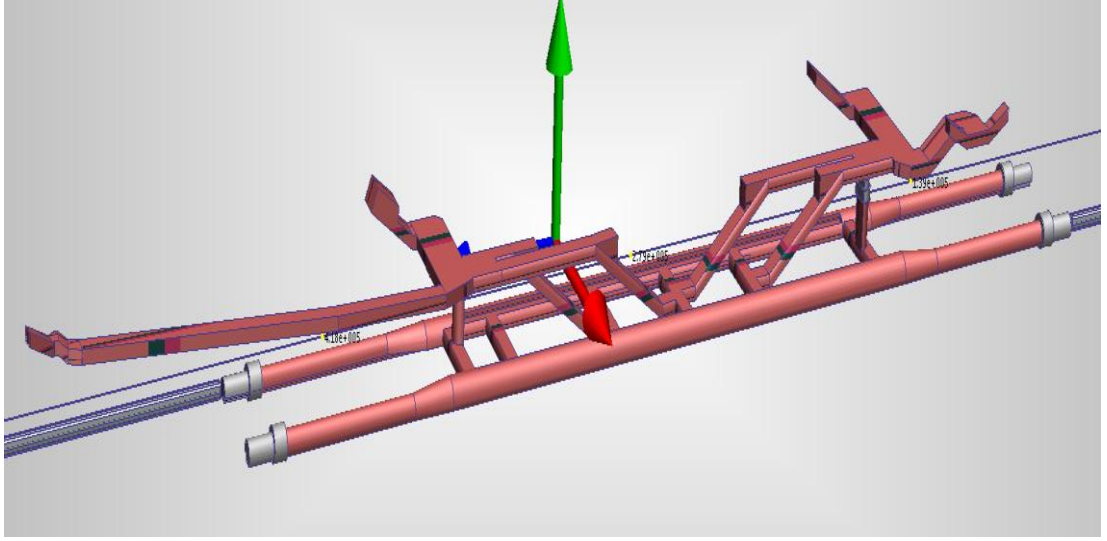
İstasyon modelinin çözümünde çözüm optimizasyonunun yanı sıra istasyon bölgesinin ilk açılış şartları programa tanıtılmıştır.

İlk olarak trenlerin şekil 5.11 de giriş yaptıkları tünel bölgesine trenin gidiş yönüne göre 8 m/s hava hızı verilmiştir. Bu kabul trenin duran bir havaya çarpmasını ve dolayısıyla analiz sonuçlarında uygun olmayan değerlerin alınmasını önlemektir. Trenin 80 km/sa hızla hareket ettiği göz önüne alındığında tünel içine tanımlanan 8 m/s hava hızının uygun bir değer olduğu görülmektedir. Bu tünellere 18 °C sıcaklık değeri verilmiştir.



Şekil 5.11 : Hava hızı tanımlanan tünel giriş hacimleri.

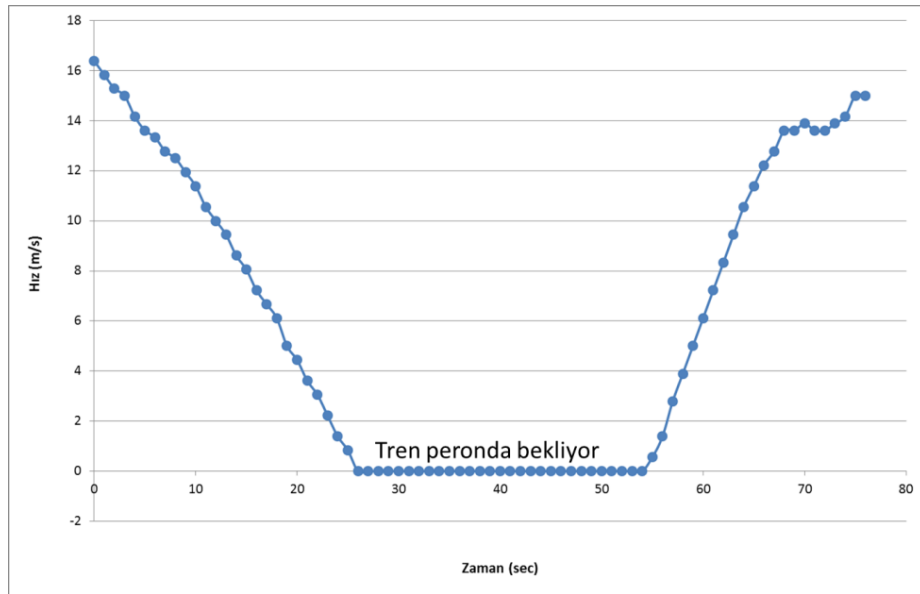
Bir diğer başlangıç koşulu olan istasyon hacminin sıcaklık değeri yapılan ölçümler sonucunda 18 °C olarak girilmiştir. Ayrıca istasyon hacmine tünellerden ve şaft bölgelerinden gelen havanın dağılımını görmek adına şekil 5.12 deki gibi istasyon hacmi kirli hava olarak tanımlanmıştır.



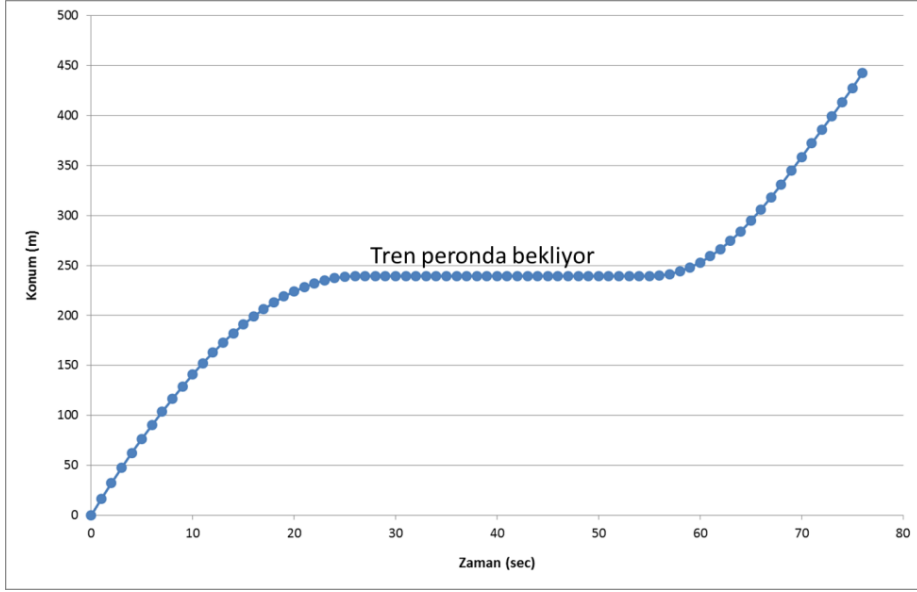
Şekil 5.12 : Başlangıç koşulu olarak kirli hava tanımlanan hacim.

#### 5.4 Tren Hareketi

M2 metro hattında çalışan Rotem trenlerinden alınan datalara göre tren hareketinin hız-zaman ve konum-zaman grafiği çıkartılarak programa tanıtılmıştır. Bu datalar gerçeğe uygun şekilde Gayrettepe-Şişli-Osmanbey istasyonları arasındaki tren hareketi gözlemlenerek alınmıştır. Rotem treninin hız-zaman eğrisi ve konum-zaman eğrisi şekil 5.13 ve şekil 5.14 de gösterilmiştir.



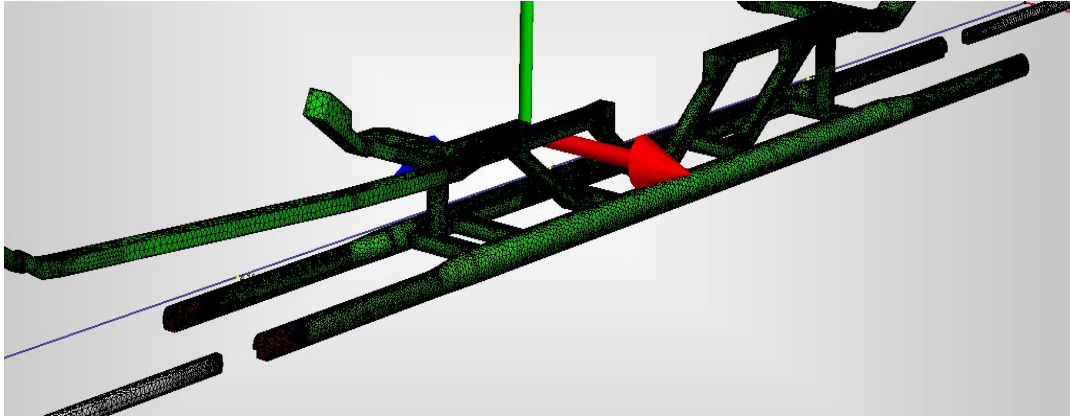
Şekil 5.13 : Rotem treninin hız-zaman eğrisi.



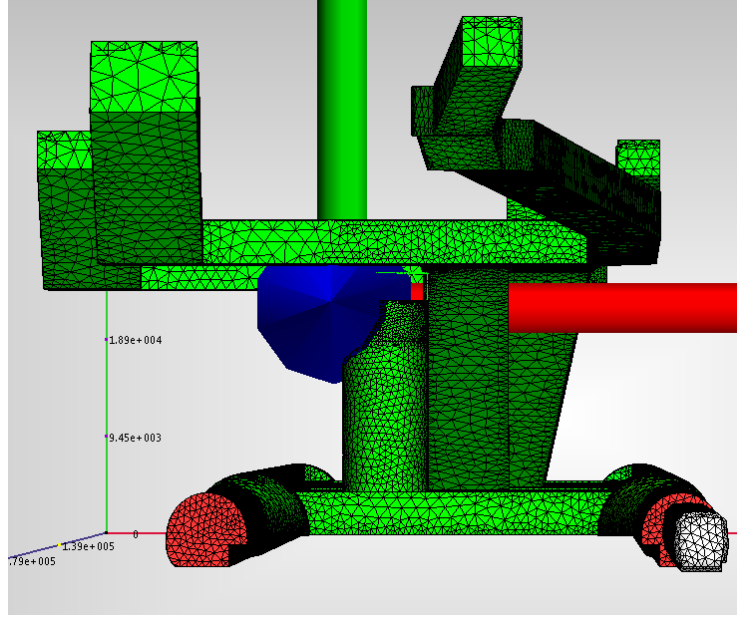
Şekil 5.14 : Rotem treninin konum-zaman eğrisi.

### 5.5 Çözüm Ağı Oluşturulması

İstasyon modelinde verilen sınır şartları ve tanımlamalara göre doğru sonuçla çözebilmesi için istasyon hacminin mümkün olduğunca küçük hacimlere bölünmesi gerekmektedir. Bu nedenle program aracılığıyla otomatik atılan ağ yapısı gözden geçirilerek hatalı yada düzgün olarak bölünememiş yüzeyler ve hacimler yeniden ölçeklendirilerek en uygun çözüm ağı elde edilmiştir. Ayrıca sonuç açısından önem teşkil eden yerlerin ağ yapısı yoğunlaştırılmıştır. Peron ayırıcı kapı ile mevcut durumun ağ sayısı 2 ile 3 milyon arasında değişmektedir. Bu ağ sayısı ile sağlıklı bir çözüm alınacağı yapılan literatür araştırmasıyla elde edilmiştir. Modelin ağ görünümü şekil 5.15 ve şekil 5.16 daki gibidir.



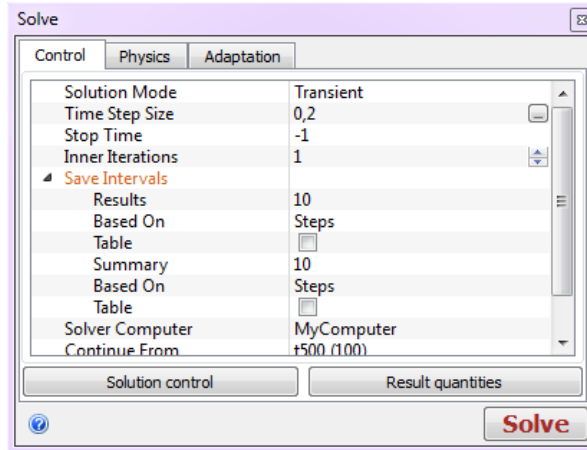
Şekil 5.15 : Ağ yapısından genel görünüm.



Şekil 5.16 : Ağ yapısından bir kesit

## 5.6 Çözüm Yönteminin Belirlenmesi

İstasyon modelinin çözüm ağı tamamlanarak çözüm yönteminin girdileri şekil 5.17 deki gibi belirlenmiştir. Öncelikle 2 trenin aynı anda istasyona girdiği düşünülerek hazırlanan model, 100 saniyelik zaman dilimini kapsamaktadır. Dolayısıyla analiz, programa zamana bağlı olarak tanıtılmıştır. Her bir saniyeyi 0,2 zaman adımıyla kat edileceği belirlenerek 500 çözüm adımıyla tamamlanması planlanmıştır.



Şekil 5.17 : Çözüm adımlarının programa girdisi

Analiz çözümü için k-epsilon türbülans modeli seçilmiştir. Ayrıca modele süreklilik, momentum ve enerji denklemlerinin çözülmesi gerektiği tanımlanmıştır. Böylelikle sonuç verilerinde hava hızı, sıcaklık ve basınç verilerinin değişimi görülebilecektir.

Hava akışının, sıkıştırılmaz hava akışı kabulü yapılarak çözüm yöntemine girilmiştir.

Süreklilik denklemi;

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla(\rho \vec{V}) = 0 \quad (5.1)$$

Bu denklem tünel içerisindeki 3 boyutlu, sıkıştırılmaz akış ve sabit yoğunluk için ifade edilirse;

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (5.2)$$

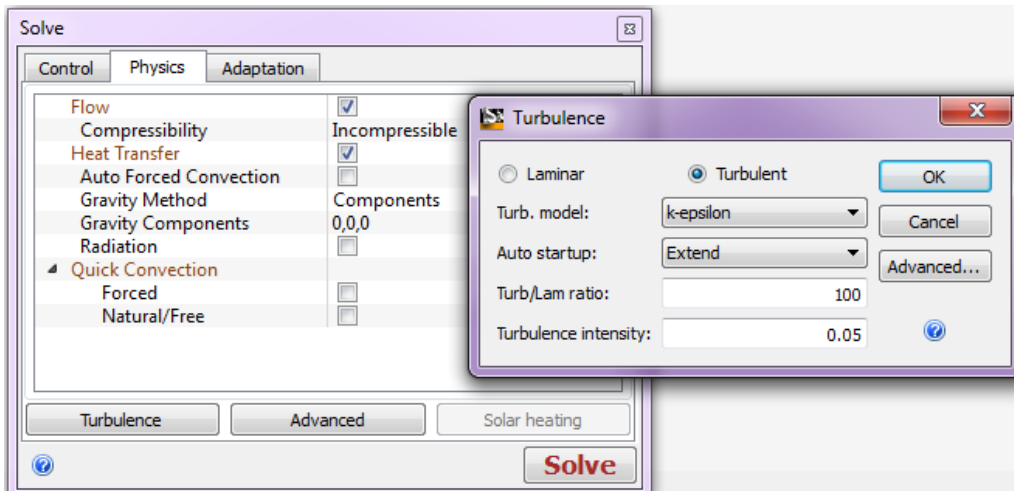
Momentum denklemi genel olarak ifade edildiğinde;

$$\rho \frac{\partial(\vec{V})}{\partial t} + \rho(\vec{V} \cdot \nabla)\vec{V} = -\nabla p + \mu \nabla^2(\vec{V}) + \rho g \quad (5.3)$$

Enerji denklemi genel olarak ifade edildiğinde;

$$\rho c_p \frac{\partial(T)}{\partial t} + \rho c_p \vec{V} \cdot \nabla(T) = k \nabla^2(T) + \phi \quad (5.4)$$

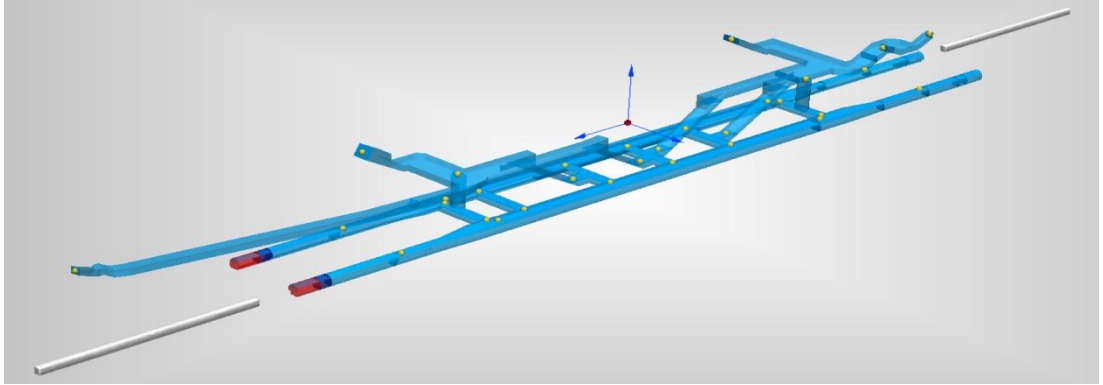
Bu denklemler temel alınarak çözümlenmeler yapılmaktadır. Ayrıca bu denklemlerle birlikte belirlenen türbülans modelleri de birleştirilerek matematiksel model oluşturulmaktadır. Son olarak çözüm verilerinin sağlıklı bir şekilde incelenebilmesi için her 10 çözüm adımında bir sonuç kaydı alınarak program modelin çözümü için hazır hale getirilmiştir. Şekil 5.18 de akış özellikleri görülmektedir.



Şekil 5.18 : Akış özelliklerinin belirlenmesi

## 6. HAD ANALİZ SONUÇLARI

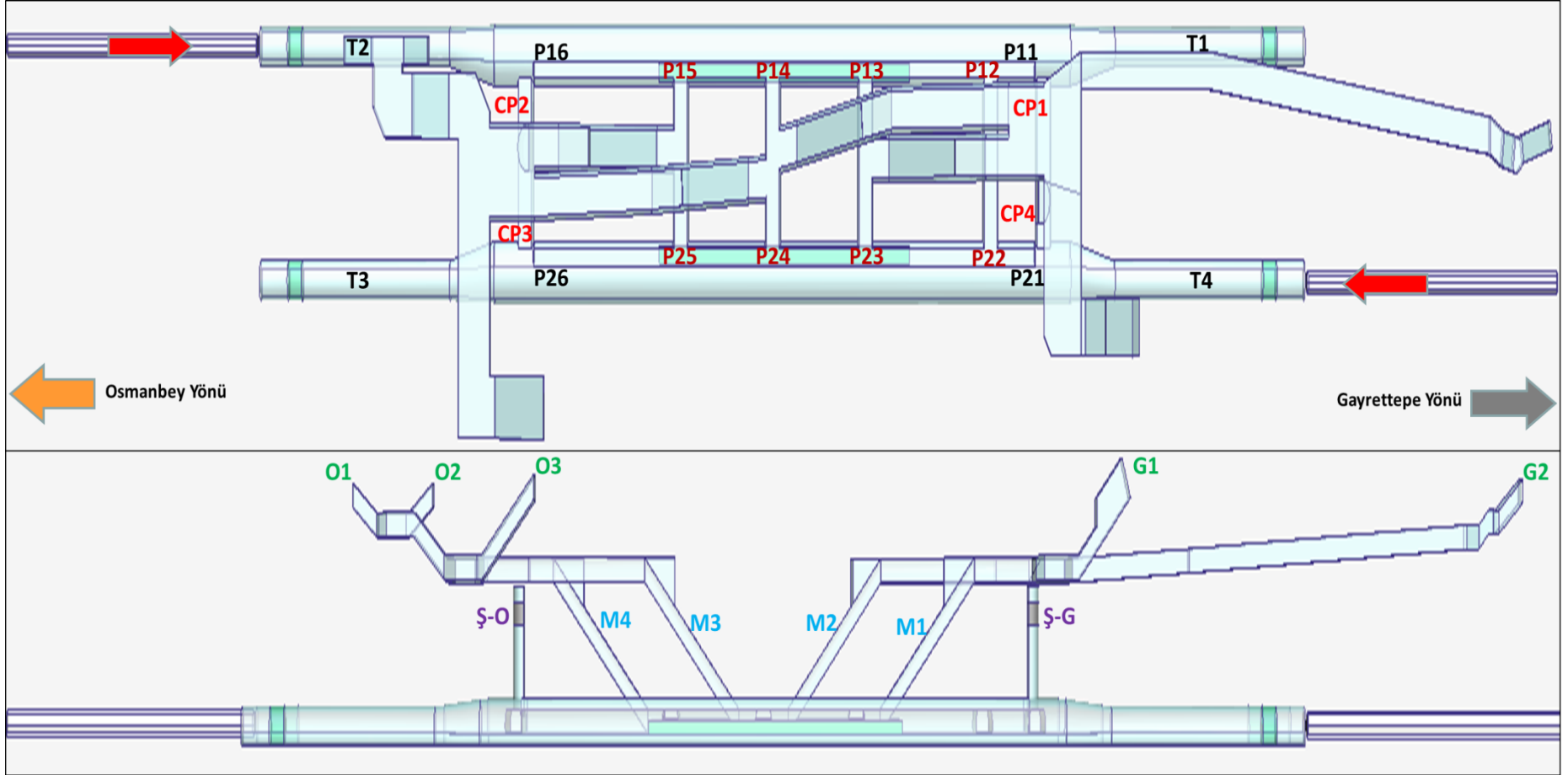
Şişli istasyon modeli, mevcut durum ile peron ayırıcı kapı eklenmesiyle oluşan durumun; normal ve sıkışık işletme verilerine göre toplam 4 farklı senaryo olmak üzere çözdürülerek sonuçları toplanmıştır. Birebir modellenen Şişli istasyonuna aynı anda iki yönden gelen trenin girmesini içeren ve tüm senaryolardaki verilerle yapılan HAD analiz sonuçlarını görmek için modelde şekil 6.1 deki gibi çeşitli yerlere izleme noktaları yerleştirilmiştir. Bu noktalar, konfor şartlarının gözlemleneceği ve peron ayırıcı kapının yerleştirilmesiyle oluşan değişimin getirdiği etkinin görüleceği yerlere yerleştirilmiştir. Her bir noktanın zamana bağlı olarak hava hızı, basınç ve sıcaklık verileri ile tüm giriş ve çıkışların hava debi verileri toplanarak grafik halinde aşağıda sunulmuştur.



Şekil 6.1 : Mevcut durum için yerleştirilen izleme noktaları

### 6.1 Mevcut Durumun Normal İşletme Şartları Altındaki Sonuçları

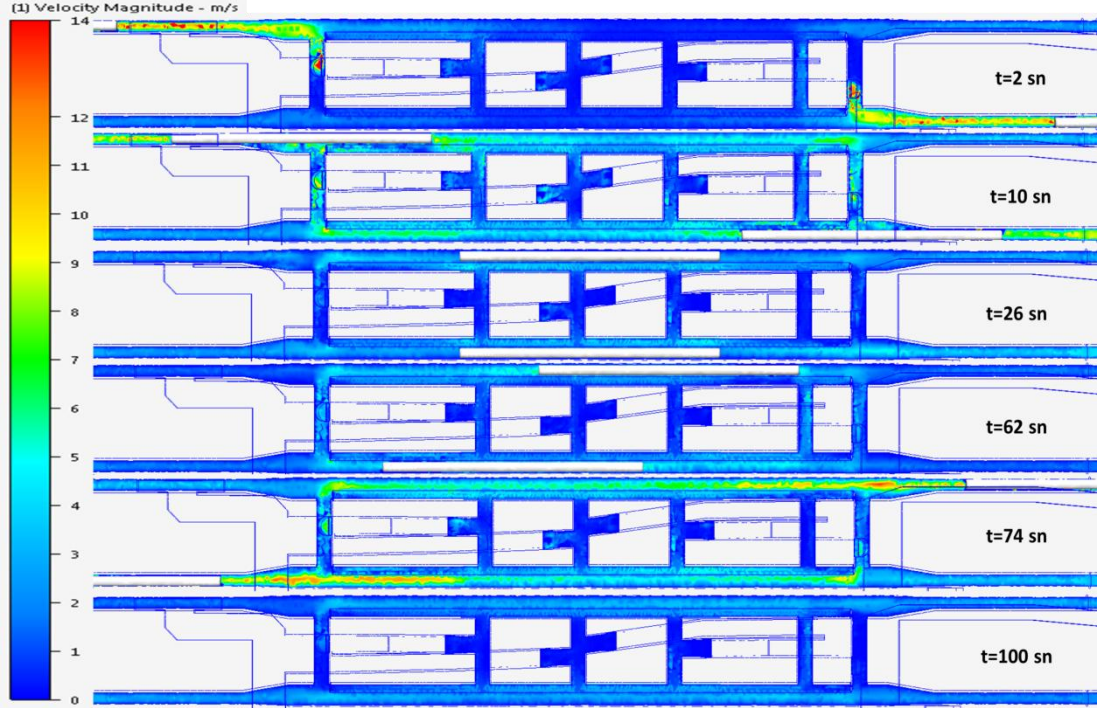
Mevcut istasyon modelinin 2.464.633 adet çözüm ağı oluşturularak yapılan HAD analiz sonuçları, benzer noktalar aynı grafik içinde gösterilerek sınıflandırılmıştır. Bu sınıflandırma; tüneller, peronlar, peron girişleri, shaft çıkışları, yürüyen merdivenler, istasyon çıkışları ve cep geçiş bölgeleri olmak üzere yapılmıştır. Sınıflandırılan bölgelerin sonuçlarını görmek amacıyla yerleştirilen veri toplama noktalarının yeri şekil 6.2 de gösterildiği gibidir. Grafikler bu noktalarda belirtilen kısa kodlara göre çizilmiştir.



Şekil 6.2 : Mevcut modelin veri toplama noktaları

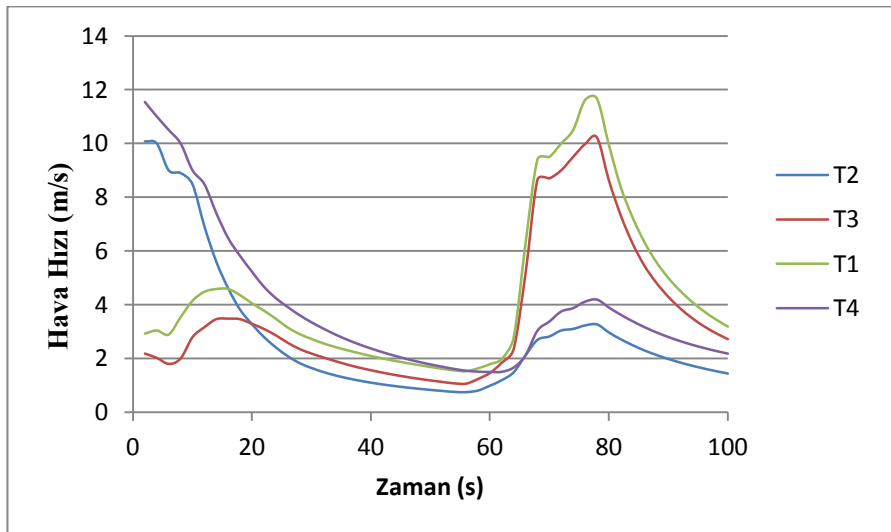
### 6.1.1 Hava hızı sonuçları

Yapılan analiz sonucunda istasyondaki hız dağılımı şekil 6.3 de görüldüğü gibi elde edilmiştir. Bu sonuçlara göre hava hızı tünellerde yüksek iken peron bölgelerinde hacmin genişlemesiyle ve trenin yavaşlamasıyla azalmış ve durgunlaşmıştır. Trenin ivmelenmesiyle birlikte hava hızı tekrar yükselişe geçmiştir.



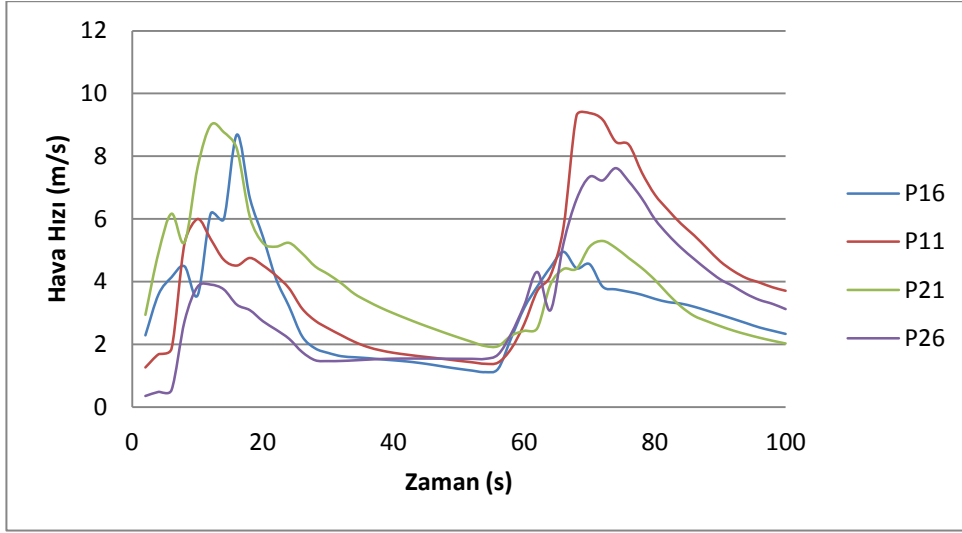
Şekil 6.3 : Mevcut modelin normal işletmeye göre hava hızının zamanla değişimi

Tünelde trenin 56 km/saat hızla geçtiği noktadan alınan verilere göre hava hızı şekil 6.4 gösterilmiştir. Bu grafiğe göre en yüksek hava 12 m/s seviyelerindedir.



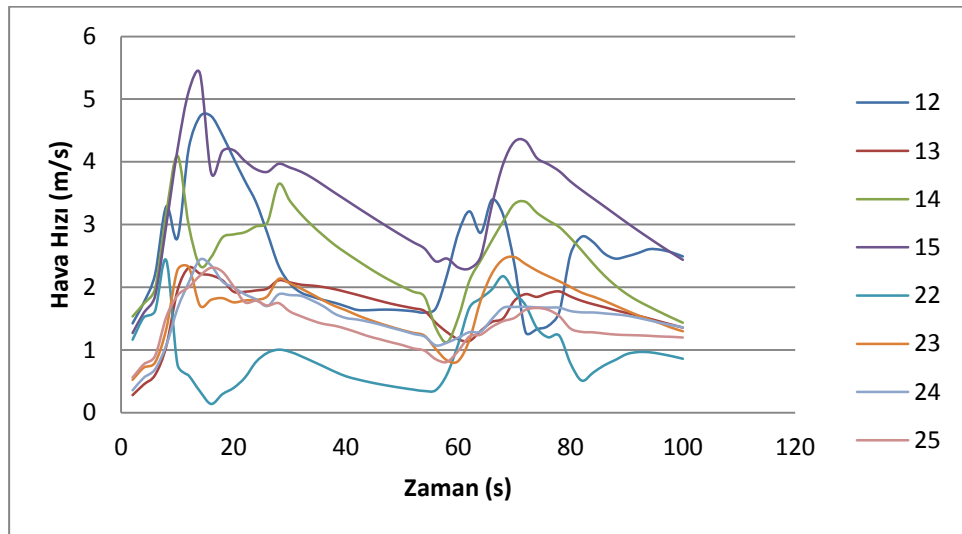
Şekil 6.4 : Mevcut modeldeki tünellerde hava hızının zamanla değişimi

Trenin perona 50 km/saat hızla girdiği yerlerden alınan hava hızı verileri şekil 6.5 de gösterilmiştir. Tren peron girişine gelene kadar hava hızı artmakta ve peron girişi geçtikten sonra trenin yavaşlamasıyla birlikte azalmaktadır. Tren 56. saniyeden itibaren hareket geçmesiyle hava hızı artma eğilimi göstermektedir. Trenin tamamı perondan ayrıldıktan sonra hava hızı maksimum değerine ulaşip ve trenin uzaklaşmasıyla düşme eğilimine girmektedir.



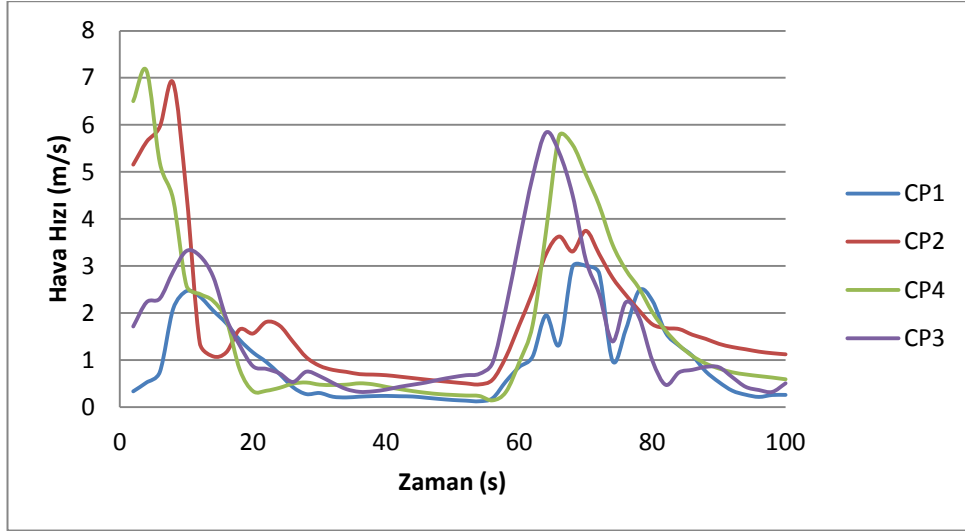
Şekil 6.5 : Peron girişlerinde hava hızının zamanla değişimi

Peronlardan insan boyunu temsilen 1.7 m yükseklikten alınan hava hızı verileri şekil 6.6 gösterilmiştir. Bu verilere göre hava hızının en yüksek değeri trenin perona girişinde 5.4 m/s mertebelerinde görülmektedir. Bu durum konfor şartlarında belirtilen değer olan 5 m/s değerini aşmaktadır. Perona yerleştirilen diğer noktalarda ise hava hızları, konfor şartları sınırlarının içinde kaldığı görülmektedir.



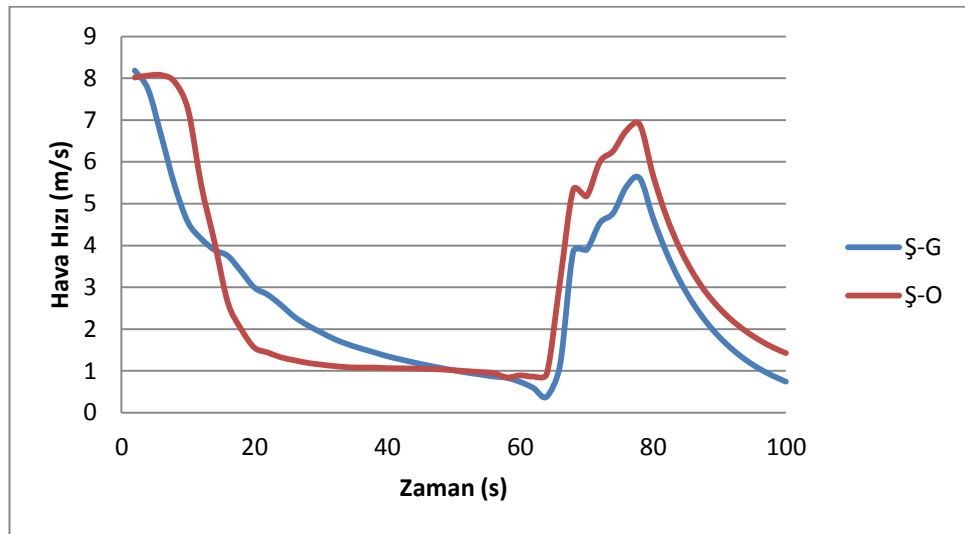
Şekil 6.6 : Peronlarda hava hızının zamanla değişimi

Havalandırma şaftlarının kolları niteliğindeki hatta dik olarak uzanan cep geçiş bölgesinin girişindeki hava hızlarının değişimi şekil 6.7 de gösterilmiştir. Tren cep bölgesine yaklaşırken hava hızı en yüksek değerinde olmakta ve trenin perona girmesiyle birlikte hava hızının yönü değişerek azalmaktadır. Trenlerin ivmelenmesiyle birlikte zıt yönlerden olan hava hareketi noktalarındaki hızın yükselmesine sebebiyet vermektedir.



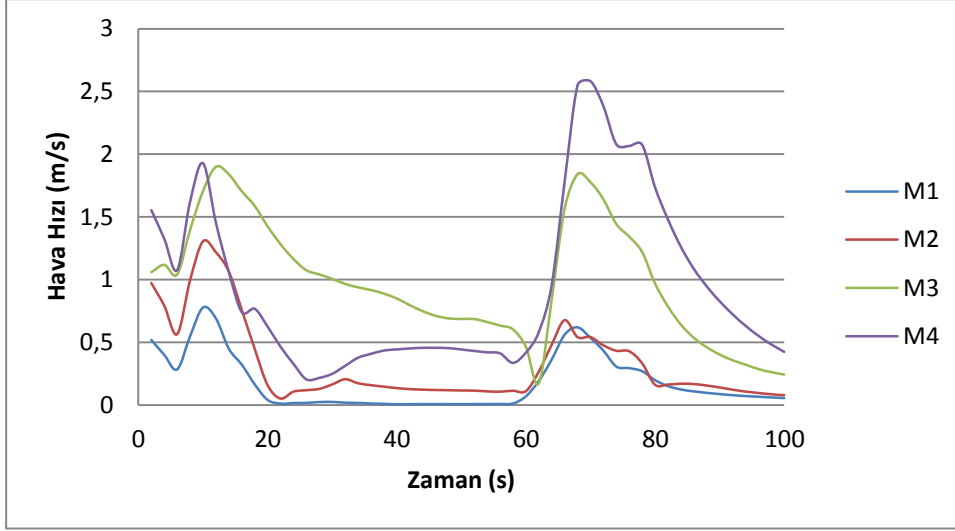
**Şekil 6.7 :** Cep geçiş bölgeleri hava hızının zamanla değişimi

Peronların baş taraflarında bulunan havalandırma şaftlarındaki hava hızının değişimi şekil 6.8 de gösterilmiştir. Veriler havalandırma şaftının çıkışını temsil etmektedir. Her iki şaftında tren hareketine bağlı hava hızları, karakteristik olarak aynı özellikleri taşıdığı görülmüştür. Cep bölgesinde görülen ters yöndeki hava hareketi şaftlarda da hava hızını düşürücü etki yapmaktadır.



**Şekil 6.8 :** Şaftlardaki hızın zamanla değişimi

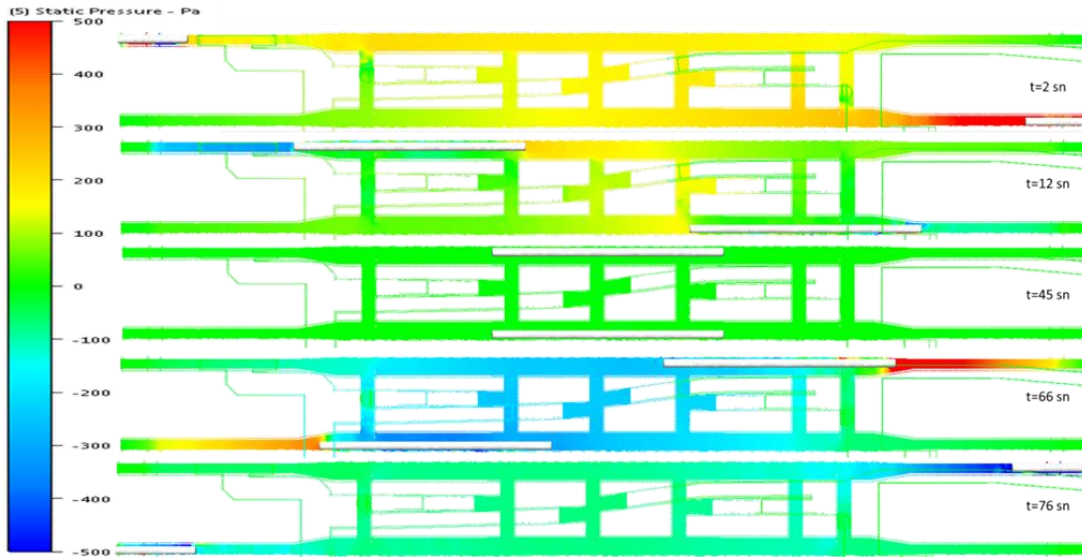
Trenin piston etkisi sonucu perona getirdiği hava istasyona yayılmaktadır. Bu havanın bir kısmı yürüyen merdivenlere yönelmektedir. Yürüyen merdivenlere yönelen havanın hız değişimi şekil 6.9 da gösterilmiştir. Bu grafiğe göre hava hızlarının konfor şartları verilerine uyduğu gözlenmiştir.



Şekil 6.9 : Yürüyen merdivenlerdeki hızın zamanla değişimi

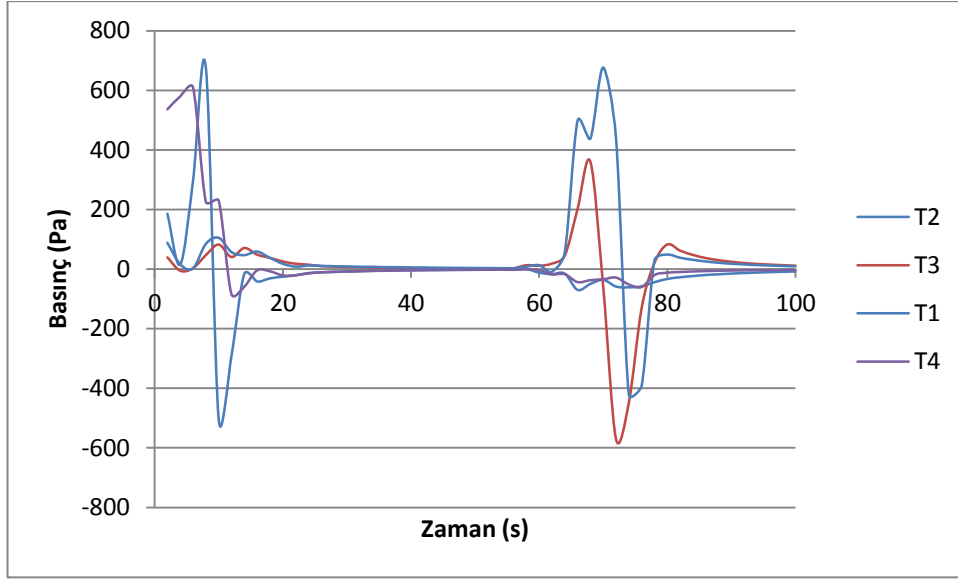
### 6.1.2 Basınç değişim sonuçları

Trenin hareketi sonucunda havada belli bir basınç oluşmaktadır. Bu basıncın istasyonda ve tünellerdeki dağılımı şekil 6.10 da gösterilmiştir. Bu verilere göre tren perona gelirken ortamda pozitif basınç hissedilirken trenin peronu terk etmesiyle birlikte negatif basıncın oluştuğu gözlenmiştir.



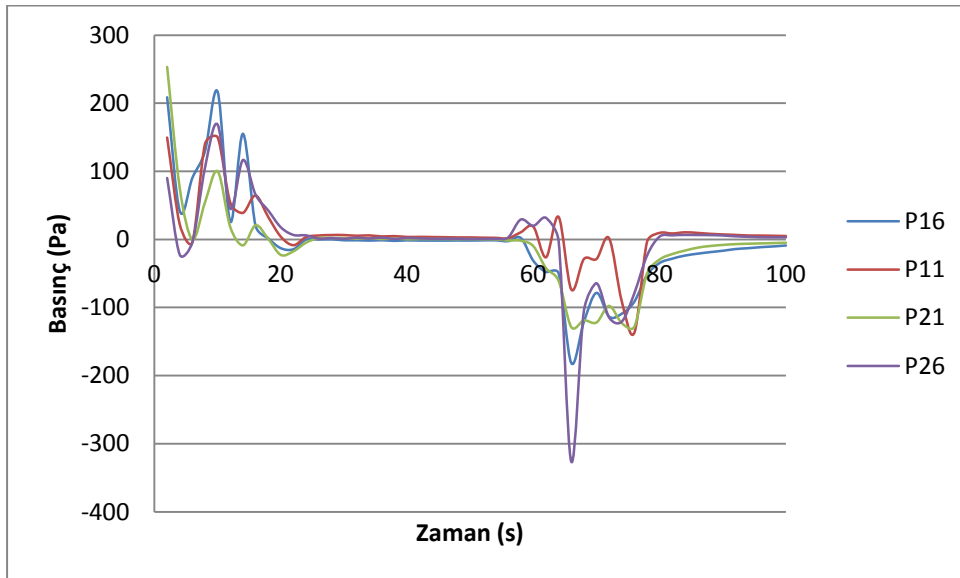
Şekil 6.10 : Normal işletmeye göre basıncın zamanla değişimi

Tünellerde tren hareketiyle oluşan basınç değişimi şekil 6.11 de gösterilmiştir. Bu verilere göre maksimum pozitif basınç 600 Pa seviyesinde olurken minimum negatif basınç -600 Pa seviyelerinde olduğu görülmektedir.



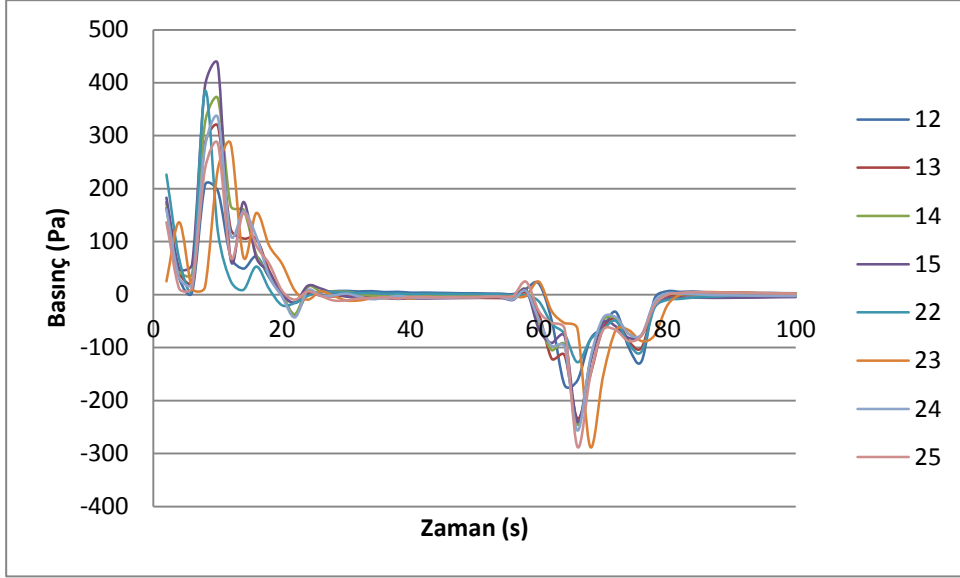
**Şekil 6.11** : Tünellerde basınç zamanla değişimi

Trenin peron girişinde yapmış olduğu basınç değişimi şekil 6.12 de gösterilmiştir. Bu verilere göre tren hareketi süresince tüm peron giriş ve çıkışları aynı basınç karakteristiğinde +200, -200 Pa seviyelerinde olduğu görülmektedir. 26 nolu noktada ise en yüksek negatif basınç görülmesi istasyonun o bölümündeki geçiş bölgesinin olmamasından kaynaklanmaktadır.



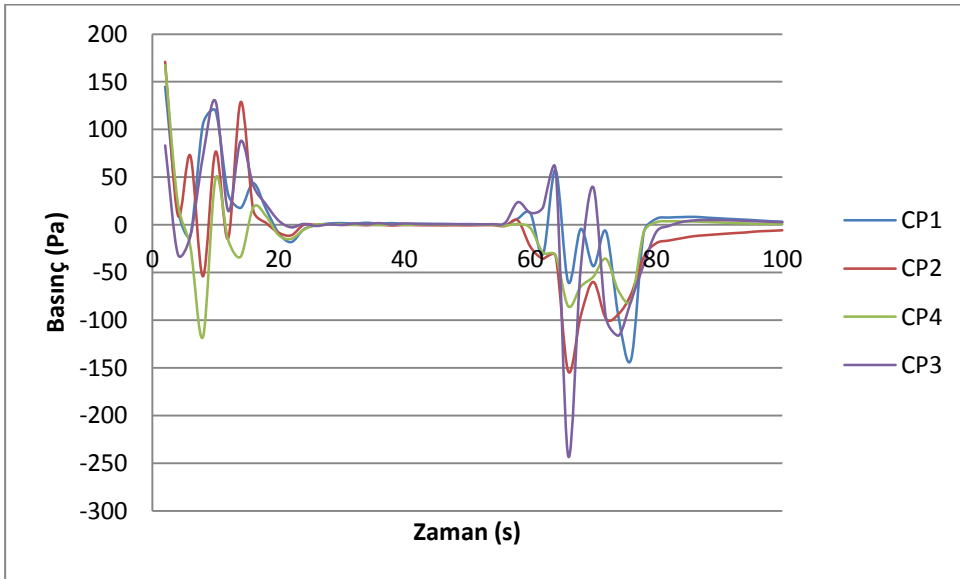
**Şekil 6.12** : Peron girişlerinde basınç zamanla değişimi

Trenin perona girişinden itibaren peron bölgesi 1.7 m yükseklikteki basınç dağılımı şekil 6.13 te görülmektedir. Bu değerlere göre en yüksek basınç trenin perona girişinde görülmekte olup 400 Pa mertebesindedir. Bu değer yolcu konfor standartlarının sınırları içerisinde bulunmaktadır. Trenin ivmelenmesiyle birlikte peronlarda negatif basınç hissedilmektedir.



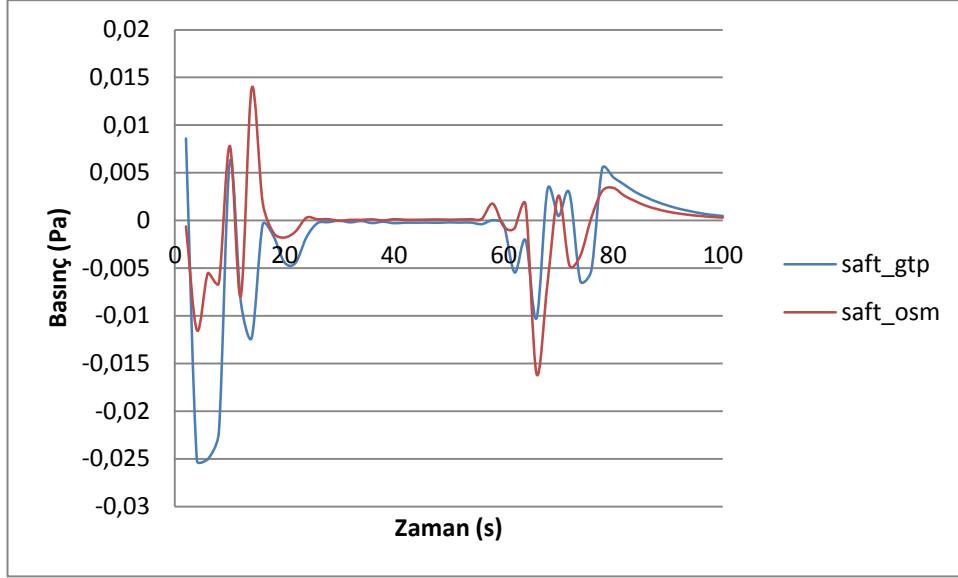
**Şekil 6.13** : Peronlarda basıncın zamanla değişimi

Cep geçiş bölgelerine ait zamana bağlı basınç dağılımı şekil 6.14 te görülmektedir. Bu bölgedeki basıncın peron girişinden daha düşük olduğu gözlenmiştir. Bunun sebebi olarak cep bölgesi veri toplama noktalarının peron giriş noktalarına oranla tren hareketine doğrudan maruz kalmamasından kaynaklandığı düşünülmektedir.



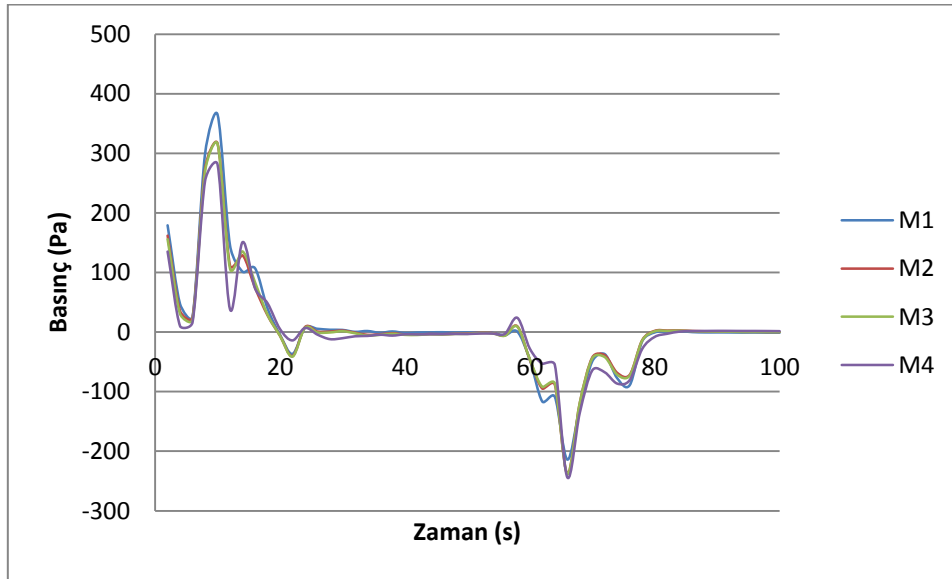
**Şekil 6.14** : Cep geçiş bölgeleri basıncının zamanla değişimi

Şaft bölgesinin çıkış yüzeyine yerleştirilen veri toplama noktasına ait basınç değişim grafiği şekil 6.15 de görüldüğü gibidir. Şaft çıkışının açık hava basıncı tanımlanmasından dolayı basınç değerleri açık hava basıncı mertebesinde olduğu gözlenmiştir. Basınçta oluşan dalgalanmalar hava hareketinin bir göstergesidir. Böylelikle şafttan içeri ve dışarı hava aktarımı olduğu görülmektedir.



**Şekil 6.15 :** Şaft basıncının zamanla değişimi

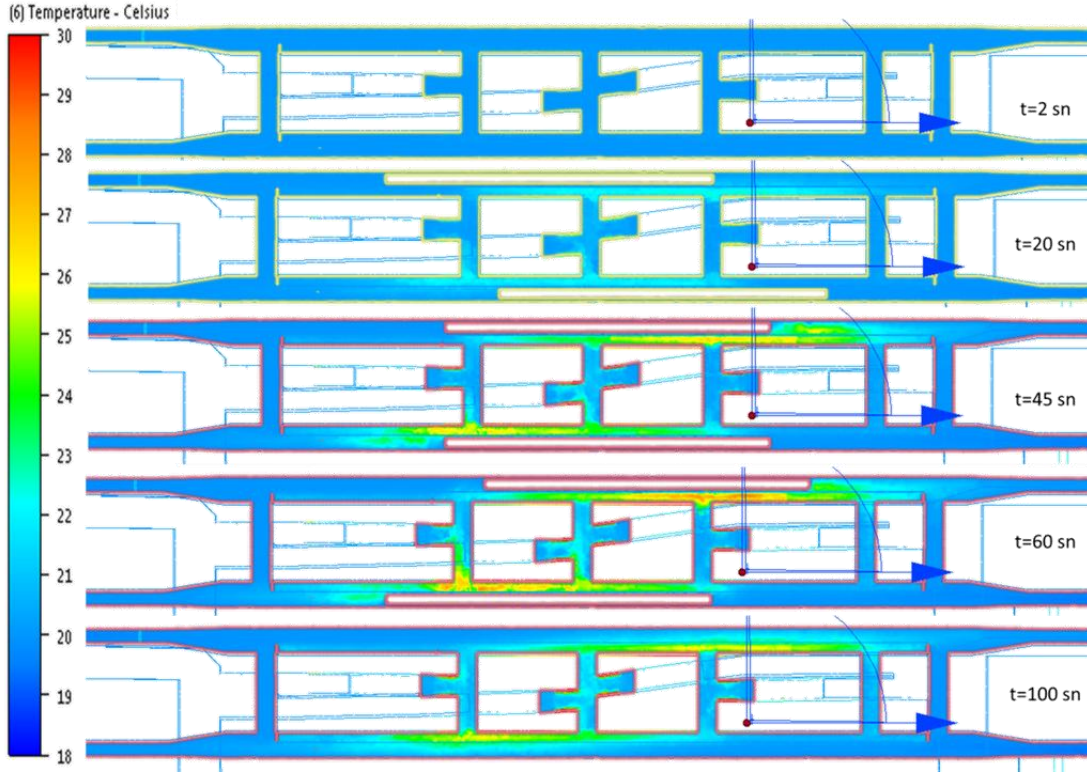
Trenin getirdiği hava debisinin bir bölümü yürüyen merdivenlere yönelmektedir. Dolayısıyla bu alanlarda bir basınç oluşmaktadır. Bu basınç dağılımı şekil 6.16 gösterilmiştir. Grafikten görüldüğü üzere oluşan basınçlar konfor şartları sınırları içinde kalmaktadır.



**Şekil 6.16 :** Yürüyen merdiven basıncının zamanla değişimi

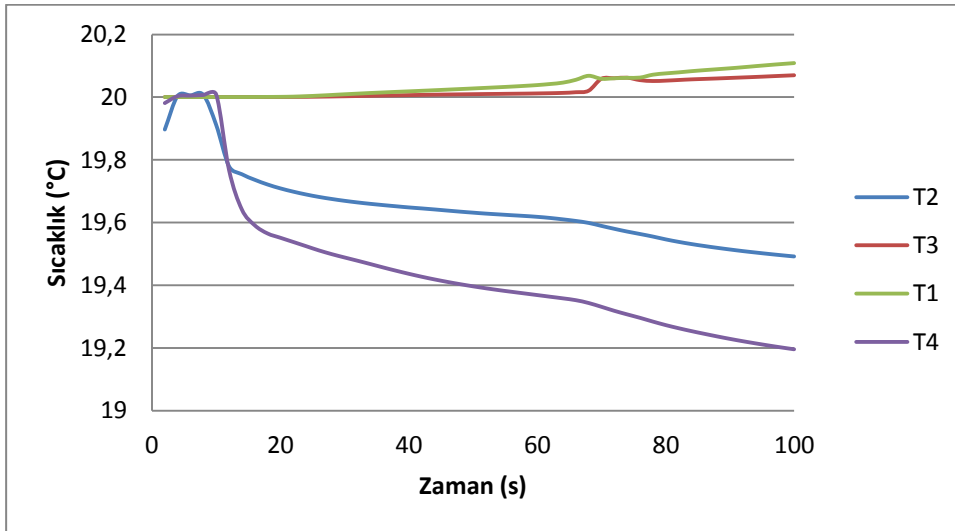
### 6.1.3 Sıcaklık değişim sonuçları

Normal işletme şartları altında hesaplanan ısı kazançları sonucunda oluşan istasyondaki sıcaklık dağılımı şekil 6.17 de gösterilmiştir. Bu değerlere göre yükselen sıcaklık trenin getirdiği hava ile düştüğü görülmektedir.



Şekil 6.17 : Normal işletmeye göre sıcaklığın zamanla değişimi

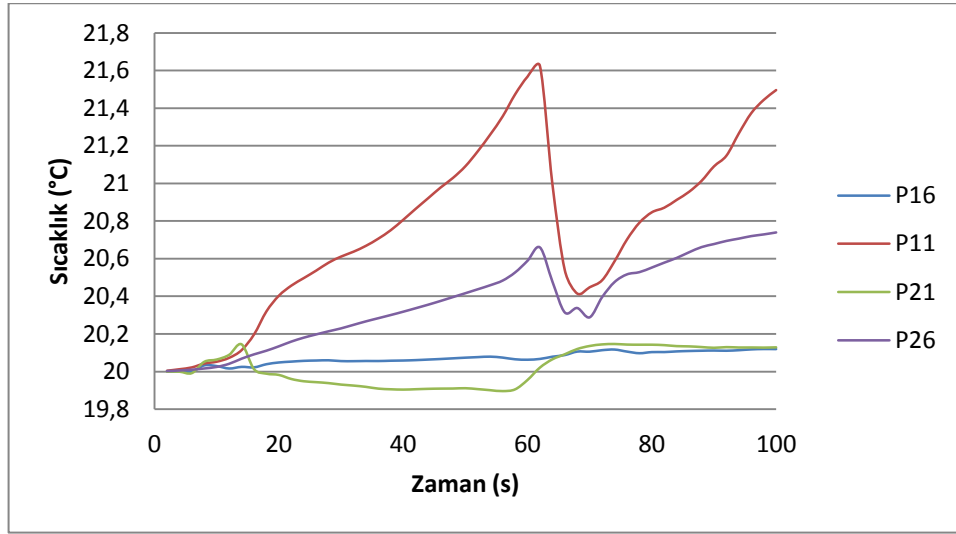
Trenin tünellerdeki hareketi neticesinde oluşan sıcaklık dağılımı şekil 6.18 de gösterilmiştir.



Şekil 6.18 : Tünellerde sıcaklığın zamanla değişimi

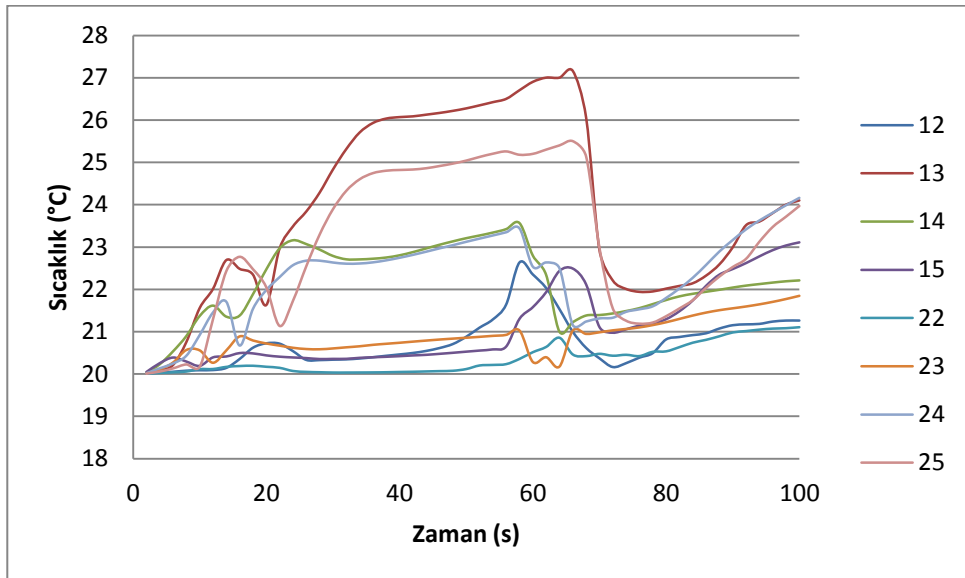
Buna göre tren istasyon yönünde ilerlerken tünelden getirdiği 18 °C lik hava ile veri toplama noktasının sıcaklığı 20 °C den aniden düşerken trenin geçmesiyle birlikte trenin yaydığı ısı ile bu düşüş azalım göstermiştir. Peron çıkışlarında ise sıcaklık istasyondan gelen sıcak hava neticesinde yükseldiği görülmektedir.

Peronun giriş ve çıkış noktalarına ait sıcaklık dağılımı şekil 6.19 da gösterilmiştir. P11 ve P26 nolu noktalarda trenin perondan ittiği hava nedeniyle ısınmış daha sonra trenin o noktaların yanından geçmesiyle soğuma eğilimine girmiştir. Daha sonra tren arkasından getirdiği sıcak hava ile sıcaklığı yeniden yükselmiştir.



**Şekil 6.19 :** Peron girişlerinde sıcaklığın zamanla değişimi

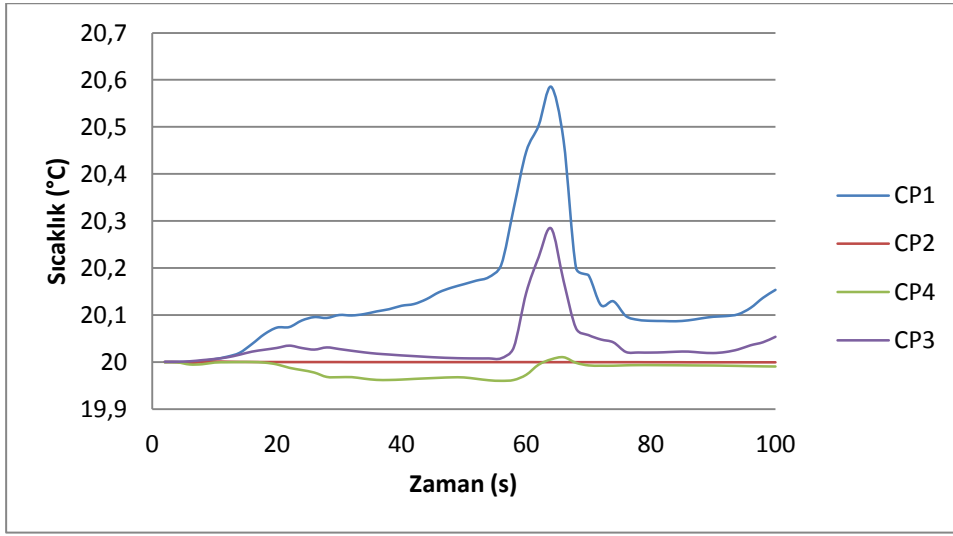
Yolcu konforunu doğrudan etkileyen peron sıcaklığının zamana bağlı değişimi şekil 6.20 de gösterilmiştir.



**Şekil 6.20 :** Peronlarda sıcaklığın zamanla değişimi

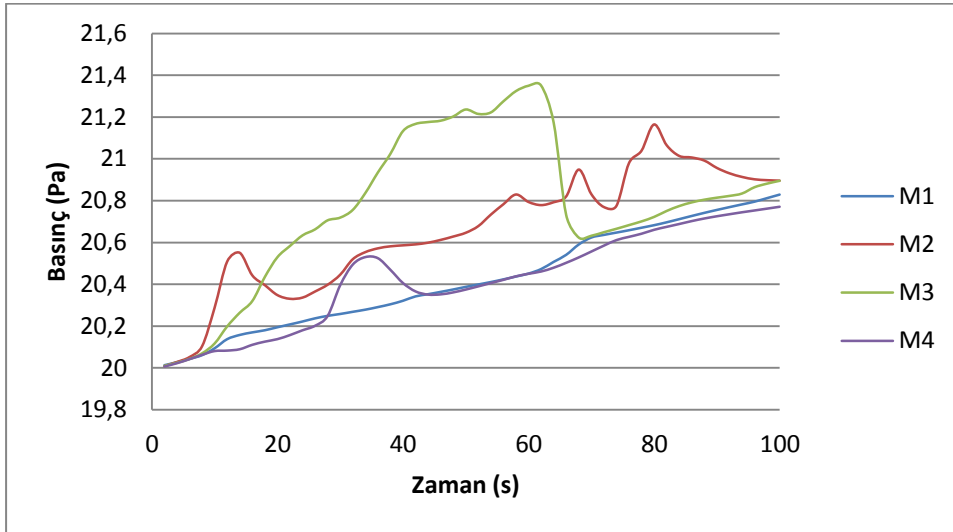
Peronda 1.7 metre yükseklikteki noktalardan alınan verilere göre sıcaklık ısı kazançlarından ve peronda bekleyen yolculardan dolayı artmakta ve trenin hareketiyle birlikte tüneldən çekilen havanın etkisiyle sıcaklık düşmektedir. Normal işletme şartları altında peron sıcaklığı konfor sınırları içinde olduğu gözlemlenmektedir.

Cep bölgelerinin girişindeki sıcaklık değişimi şekil 6.21 de gösterilmiştir. Burada da peron girişinde olduğu gibi gelen sıcak havanın etkisiyle sıcaklık önce yükselmekte tren geçişiyle birlikte düşmektedir.



Şekil 6.21 : Cep geçiş bölgeleri sıcaklığın zamanla değişimi

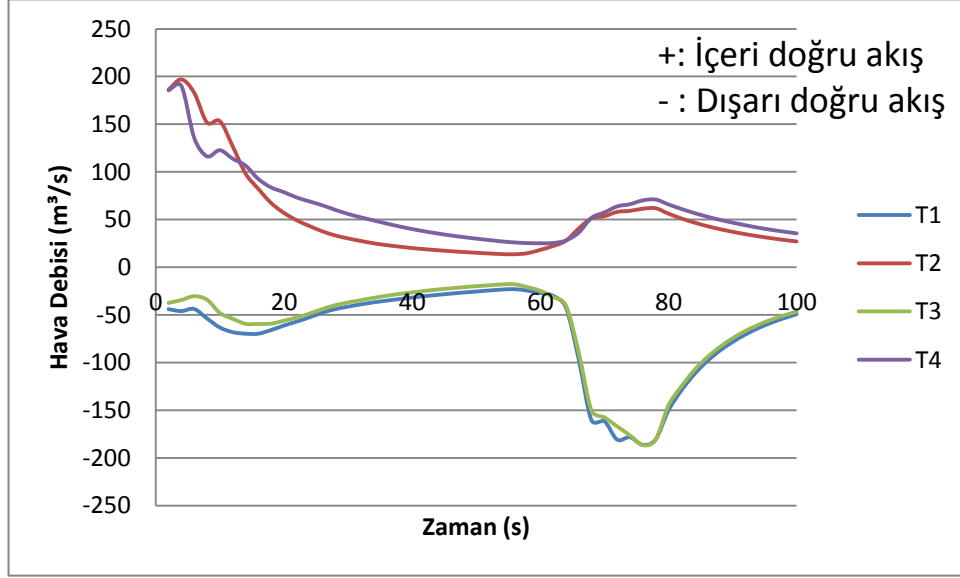
Yürüyen merdivenlerdeki havanın sıcaklığı şekil 6.22 de gösterilmiştir. Görülen sıcaklık aralığı konfor sınırları içerisinde kalmaktadır.



Şekil 6.22 : Yürüyen merdiven sıcaklığın zamanla değişimi

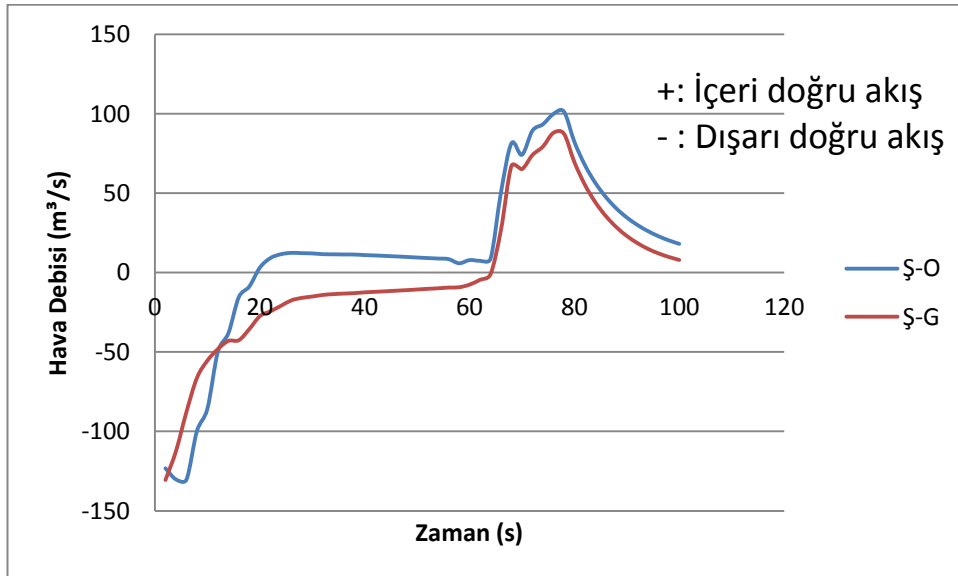
#### 6.1.4 Hava debisi sonuçları

Trenin hareketi sonucunda istasyonda, şaftlarda ve tünellerde hava değişimi olmaktadır. Tünellerin giriş çıkış kısımlarına ait hava debisinin değişimi şekil 6.23 de gösterilmiştir. İstasyon mahalline doğru olan hava akışının içeri ve pozitif kabul edersek trenin geliş yönleri olan T2 ve T4 nolu tünellerden hava içeri girmektedir. T1 ve T3 nolu tünellerden ise hava hep dışarı doğru akmaktadır.



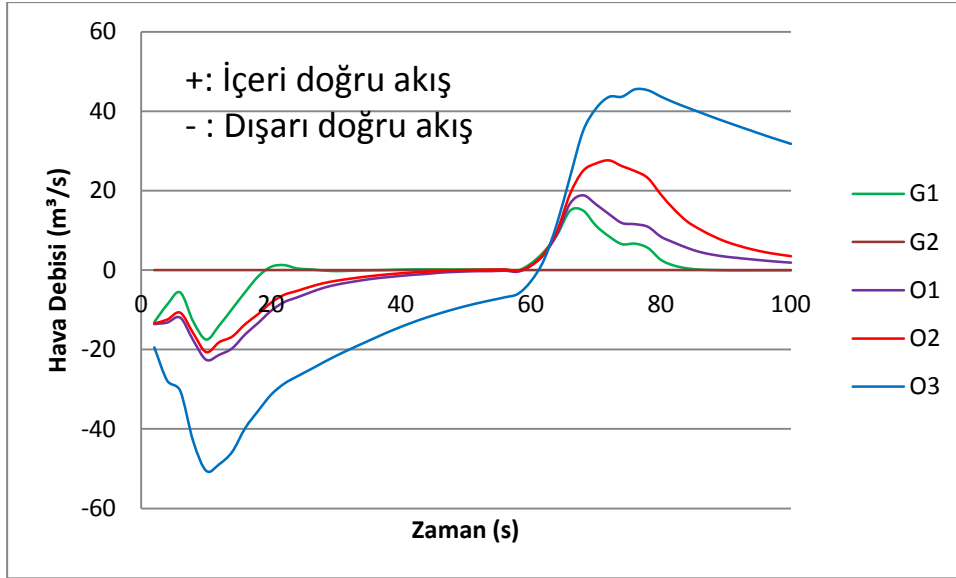
Şekil 6.23 : Tünellerde hava debisinin zamanla değişimi

Şaftlardan olan hava debilerinin zamanla değişimi şekil 6.24 de gösterilmiştir. Buna göre trenler perona girerken aiftlerden dışarı hava çıkmakta ve perona girdikten sonra şaftlardan içeri taze hava girmektedir.



Şekil 6.24 : Şaftlarda hava debisinin zamanla değişimi

İstasyonların yeryüzüne olan çıkışları da tren hareketinden azda olsa etkilenmektedir. Çıkışlara ait hava debisinin değişimi şekil 6.25 de gösterilmiştir.



Şekil 6.25 : Giriş-çıkışlarda hava debisinin zamanla değişimi

İncelenen 100 saniye sonucunda tüm giriş ve çıkışlardan gelen toplam hava hacmi miktarları çizelge 6.1 de gösterilmiştir. Modelin 38243 m<sup>3</sup> hava hacminden oluştuğu bilindiğine göre bu değişimin tüm modeldeki havayı kapsamadığı görülmektedir. İstasyon hacminin 21500 m<sup>3</sup> olduğu göz önüne alındığında ise peron havasının büyük çoğunluğunun değişmiş olduğu görülmektedir. Giren ve çıkan toplam hava hacmi arasında %0,48 fark bulunmaktadır. Bu değer analiz sonucunda ihmal edilebilir bir büyüklüktedir.

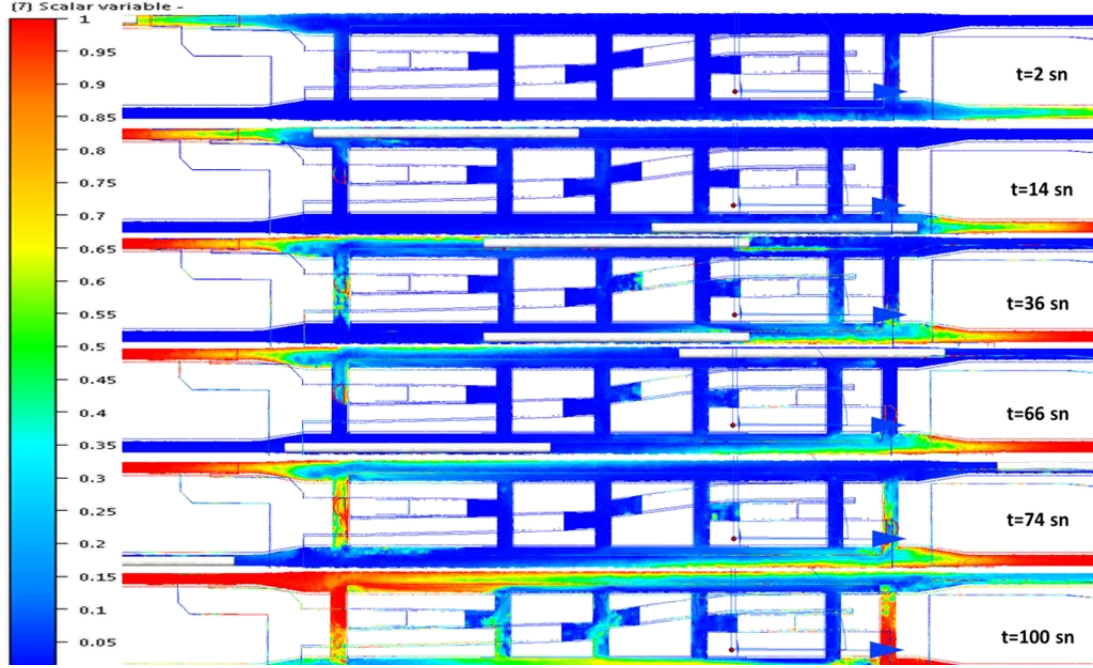
Havanın en çok tünellerden gelip yine tünellerden gittiği görülmektedir. Şaft bölgelerinde ise toplam havanın yaklaşık %10'u mertebelerinde değişim yapıldığı belirlenmiştir. İstasyon çıkışlarında toplam hava giriş çıkışları %2-3 seviyelerindedir. Mecidiyeköy meydan çıkışında (G2) hiçbir hava hareketinin olmadığı gözlenmiştir. G2 çıkışına giden yolda hava basıncı kayıpları yenemeyecek seviyede olduğundan dolayı bu bölgeden hava giriş çıkışı olmamıştır.

Çizelge 6.1 : Kontrol hacmine giren-çıkan hava hacimleri

Hava(m <sup>3</sup> )	T1	T2	T3	T4	Ş-O	Ş-G	G1	G2	O1	O2	O3	Toplam
<b>Giren</b>	0	6149	0	8147	2418	1338	1434	0	286	1020	1406	<b>22199</b>
<b>Çıkan</b>	-8296	0	-7450	0	-788	-1616	-1330	0	-974	-514	-1339	<b>-22309</b>
<b>Toplam</b>	<b>-8296</b>	<b>6149</b>	<b>-7450</b>	<b>8147</b>	<b>1630</b>	<b>-278</b>	<b>104</b>	<b>0</b>	<b>-688</b>	<b>506</b>	<b>68</b>	<b>-109</b>

### 6.1.5 Tünel-istasyon hava karışım sonuçları

Tünel ve dış havaların istasyon bölgesinde dağılımı şekil 6.26 da gösterilmiştir. Bu dağılıma göre tren istasyona gelirken arkasında tünel havasını getirmekte ve istasyondan çıkarken de hem tünel hem de şaft bölgelerinden hava getirerek istasyondaki havanın değişimini sağladığı görülmektedir.



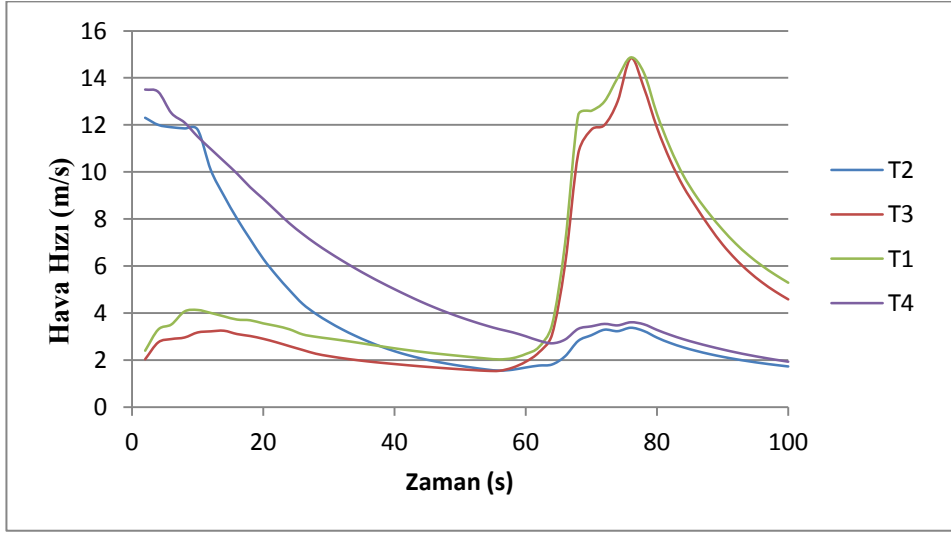
Şekil 6.26 : Tünel-istasyon hava karışımının zamana göre değişimi

### 6.2 Mevcut Durumun Sıkışık İşletme Şartları Altındaki Sonuçları

Mevcut istasyon modelinin sıkışık tren işletme senaryosuna göre 2.285.753 adet çözüm ağı oluşturularak yapılan HAD analiz sonuçları, normal işletme koşullarında olduğu gibi benzer noktalar aynı grafik içinde gösterilerek sınıflandırılmıştır. Veri toplama noktalarının yeri şekil 6.2 de belirtilen şekildedir. Genel olarak bu senaryodaki analiz sonuçlarına baktığımızda hava hızı, basınç ve debi değerleri, normal işletme senaryosunda elde edilen sonuçlarla karakteristik olarak aynı özelliklerin görüldüğü söylenebilir. Sıcaklık dağılımı ise ısı yüklerinin farklılığından dolayı farklı bir mertebeye seyretmektedir.

### 6.2.1 Hava hızı sonuçları

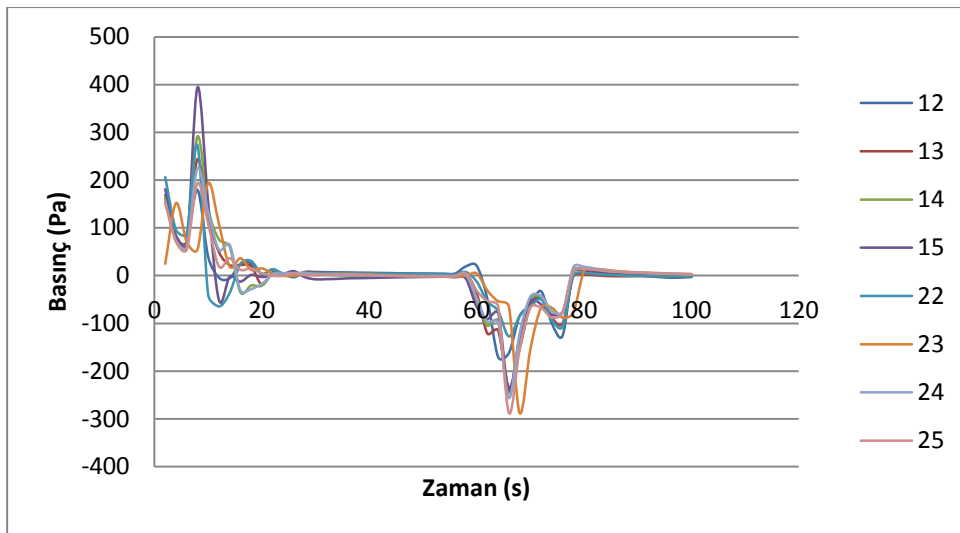
Sıkışık işletme senaryosuna ait tünellerde hava hızı dağılımı şekil 6.27 gösterilmiştir. Bu değerlere baktığımızda hava hızında 1-2 m/s lik bir artış olduğu görülmektedir. Bunun sebebi ortam havasının sıcaklığının daha yüksek olmasından kaynaklandığı söylenebilir. Diğer hava hızı sonuçları karakteristik olarak normal işletme senaryosuyla benzerlik göstermektedir.



Şekil 6.27 : Tünellerde hava hızının zamanla değişimi

### 6.2.2 Basınç değişim sonuçları

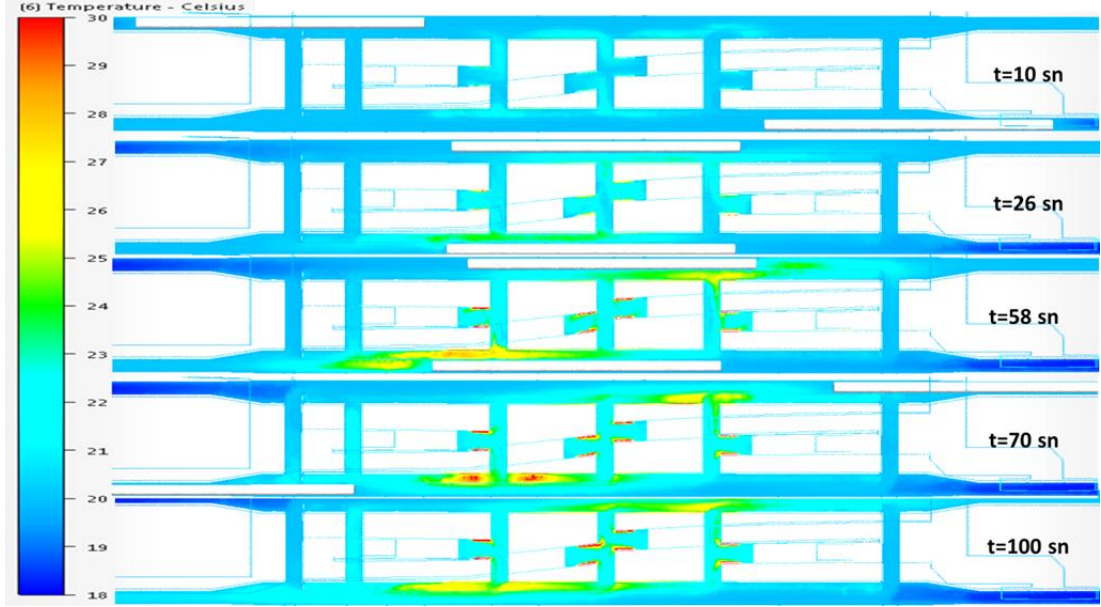
Sıkışık işletmede peronlarda olan basınç dağılımı şekil 6.28 de gösterilmiştir. Elde edilen değerlerin konfor sınırları içinde kaldığı görülmektedir. Diğer basınç değişim sonuçları önceki senaryoyla benzerlik göstermektedir.



Şekil 6.28 : Peronlarda basıncın zamanla değişimi

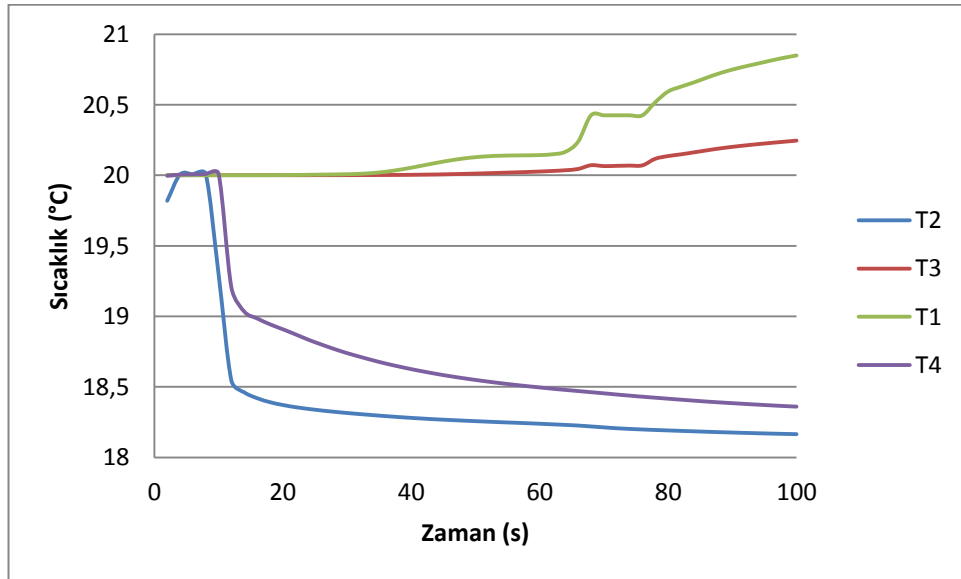
### 6.2.3 Sıcaklık değişim sonuçları

Yoğun saatlerde istasyon sıcaklığının dağılımı şekil 6.29 da gösterilmiştir. Normal işletme senaryosundan farklı mertebelerde seyreden sıcaklığın tren geçişi sonrasında yeteri kadar düşürülemediği gözlenmektedir.



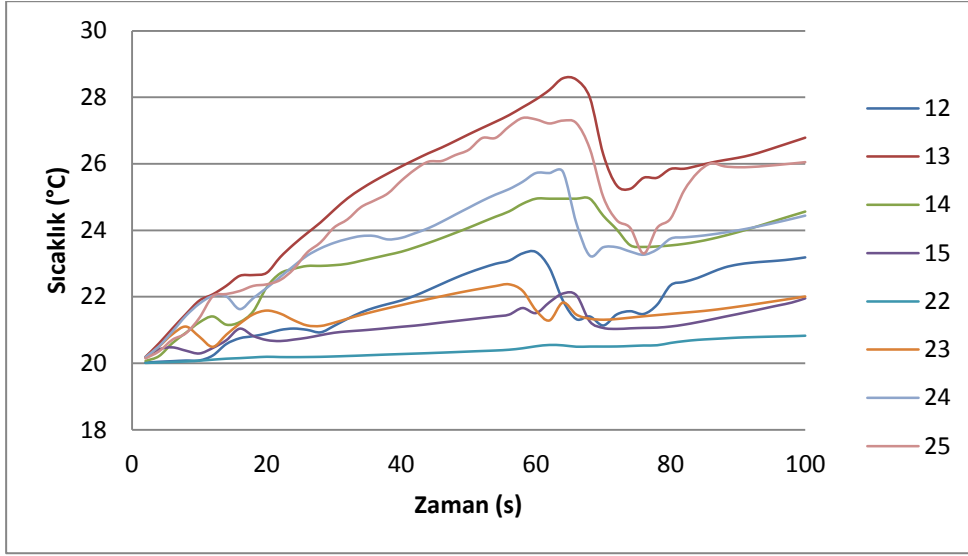
Şekil 6.29 : Sıkışık işletmeye göre sıcaklığın zamanla değişimi

Sıkışık işletmede tünellere ait sıcaklık dağılımı şekil 6.30 da gösterilmiştir. Bu verilere göre T1, T3 veri toplama noktalarındaki sıcaklığın normal işletmeye göre yaklaşık 1 °C daha yüksek olduğu söylenebilir. T2 ve T4 noktalarındaki sıcaklık ise 0.5 °C daha düşük olduğu gözlenmiştir.



Şekil 6.30 : Tünellerde sıcaklığın zamanla değişimi

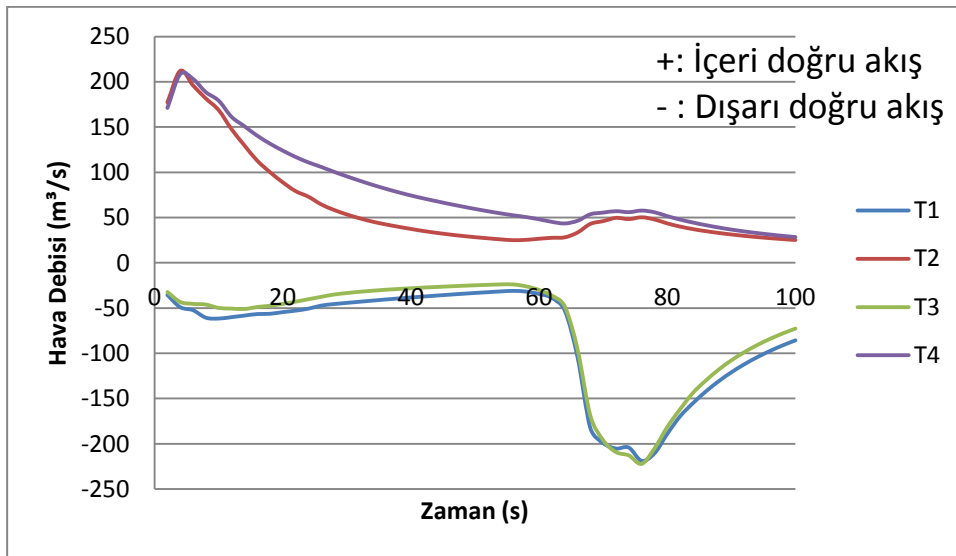
Peronlara 1.7 m yüksekliğe yerleştirilen veri toplama noktalarının sıcaklık dağılımı şekil 6.31 de gösterilmiştir. Bu senaryoda sıcaklık daha fazla yükselmiş ve trenin geçmesiyle birlikte sıcaklığın konfor sınırları üzerinde olduğu görülmüştür. Bu verilere göre Şişli istasyonu sıkışık işletme saatlerinde yalnızca piston etkisiyle konfor şartlarını sağlayamadığı belirlenmiştir. Ortam sıcaklığını konfor şartlarına indirebilmek için cebri havalandırmanın yapıldığı bilinmektedir.



Şekil 6.31 : Peronlarda sıcaklığın zamanla değişimi

#### 6.2.4 Hava debi sonuçları

Sıkışık işletmede tünellerden gelen giden hava debilerine ait veriler şekil 6.32 de verilmiştir. Debi değerleri normal işletme ile yaklaşık aynı mertebelerde olduğu görülmektedir.



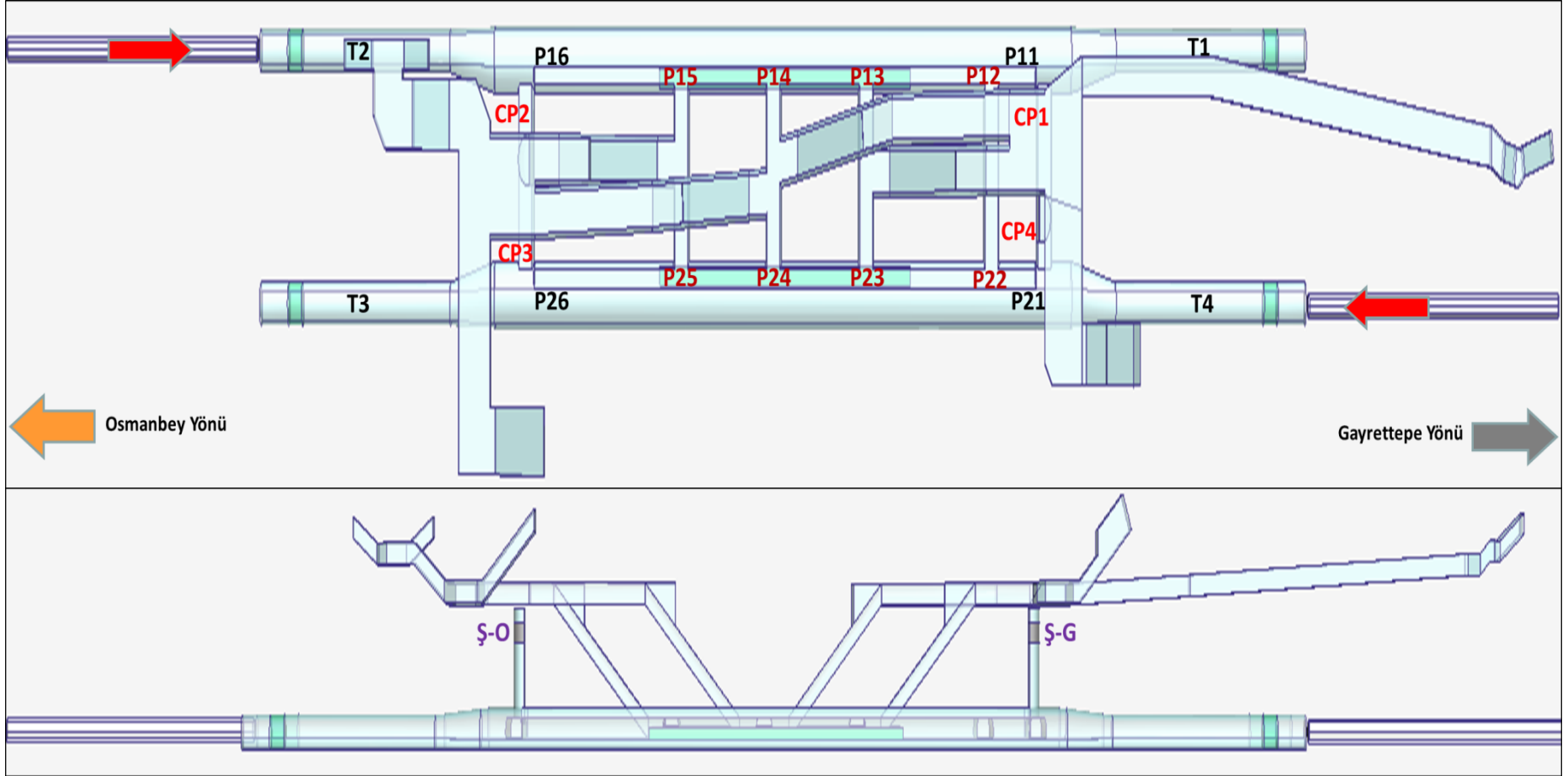
Şekil 6.32 : Tünellerde hava debisinin zamanla değişimi

### **6.3 Peron Ayırıcı Kapılı Durumun Normal İşletme Şartları Altındaki Sonuçları**

Peron ayırıcı kapıların modele giydirilmesiyle oluşan istasyon modelinin normal işletme şartlarına göre 2.876.559 adet çözüm ağı oluşturularak yapılan HAD analiz sonuçları, benzer noktalar aynı grafik içinde gösterilerek sınıflandırılmıştır. Bu sınıflandırma; tüneller, peronlar, peron girişleri, shaft çıkışları ve cep geçiş bölgeleri olmak üzere yapılmıştır. Bu senaryoda yürüyen merdivenler ve istasyon çıkışları herhangi bir hava hareketine maruz kalmadığından dolayı dâhil edilmemiştir. Veri toplama yerleri, normal ve sıkışık işletmede kullanılan aynı koordinat değerlerine sahip noktaların modele yerleştirilmesiyle oluşturulmuştur. Böylelikle her senaryonun birbiriyle kıyaslanarak değerlendirilmesi ve değerlendirmenin en az hatayla yapılabilmesi sağlanmıştır.

Genel olarak modele bakıldığında aynı boyuttaki çözüm parçacıkları kullanılarak oluşturulan çözüm ağı miktarı diğer senaryolara göre fazlalık göstermektedir. Bunun sebebi olarak modele eklenen peron ayırıcı kapıların çözüm ağına dâhil edilmesi olarak söylenebilir.

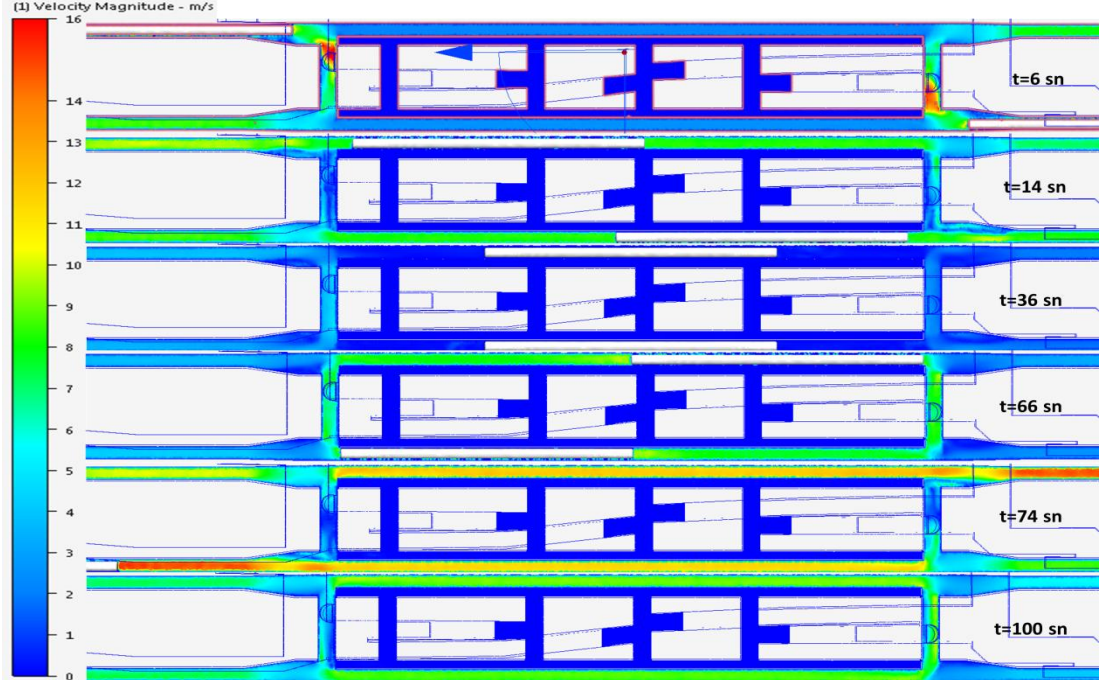
Veri toplama noktalarının yeri şekil 6.33 de mevcuttur.



Şekil 6.33 : Peron ayırıcı kapılı modelin veri toplama noktaları

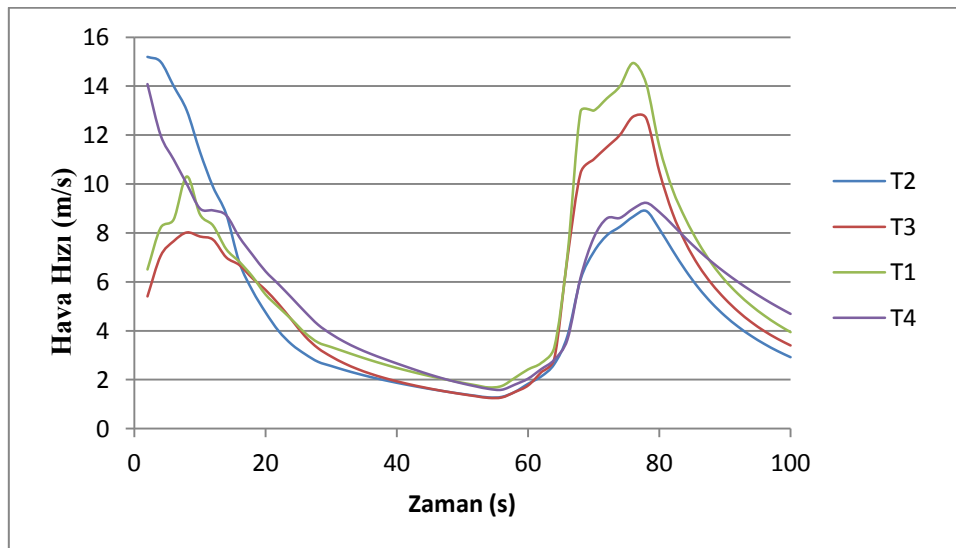
### 6.3.1 Hava hızı sonuçları

PAK modelin normal işletme senaryosuna göre genel hava hızı dağılımı şekil 6.34 de gösterilmiştir. Sonuçlara göre istasyon hacminin hat hacminde ayrılmasından dolayı hava hızlarında yükselme görülmektedir. Ayrıca tüneldən gelen havanın perona girmeden önce diğer hatta geçip geri döndüğü gözlenmiştir.



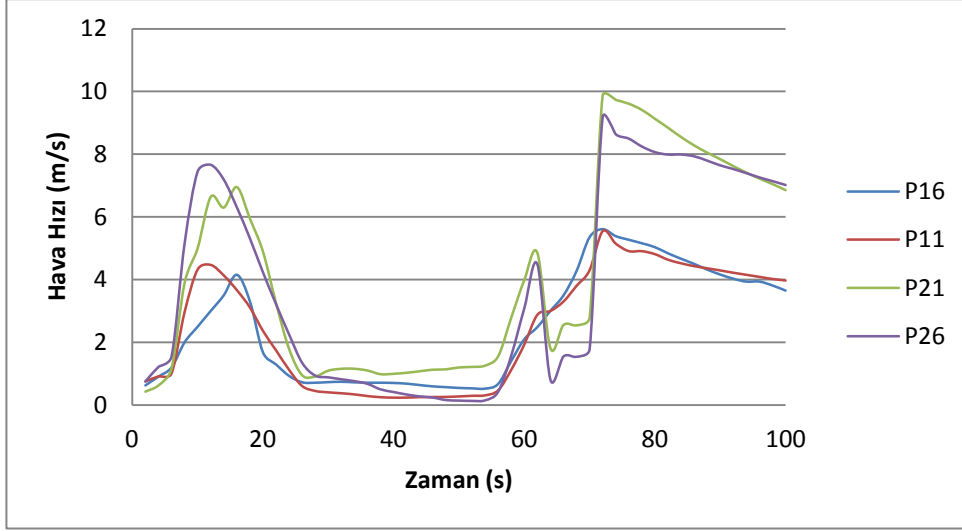
Şekil 6.34 : PAK modeldeki genel hava hızının değişimi

PAK modelde normal işletme şartlarına göre tünellerdeki hava hızı dağılımı şekil 6.35 de gösterilmiştir. Bu verilere göre hava hızının PAK eklenmesiyle birlikte 2-3 m/s yükseldiği görülmüştür.



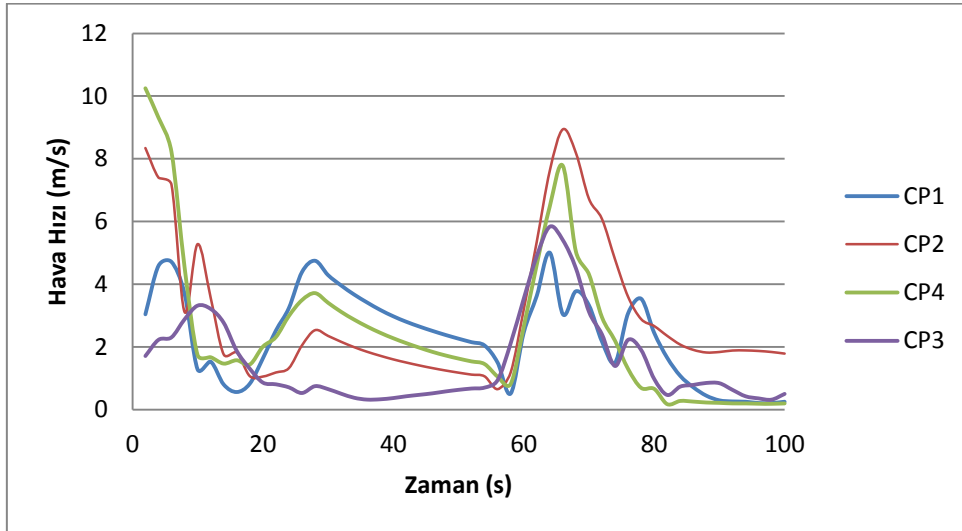
Şekil 6.35 : PAK modeldeki tünellerde hava hızının değişimi

Aynı senaryoda peron girişlerindeki hava hızı dağılımı şekil 6.36 da gösterilmiştir. Bu verilere göre tren istasyondan ivmelendiğinde hava hızı aniden yükselmekte ve cep bölgelerinden geçerken bir düşüş gösterip geçişi tamamladığında aniden yükselişe geçmektedir.



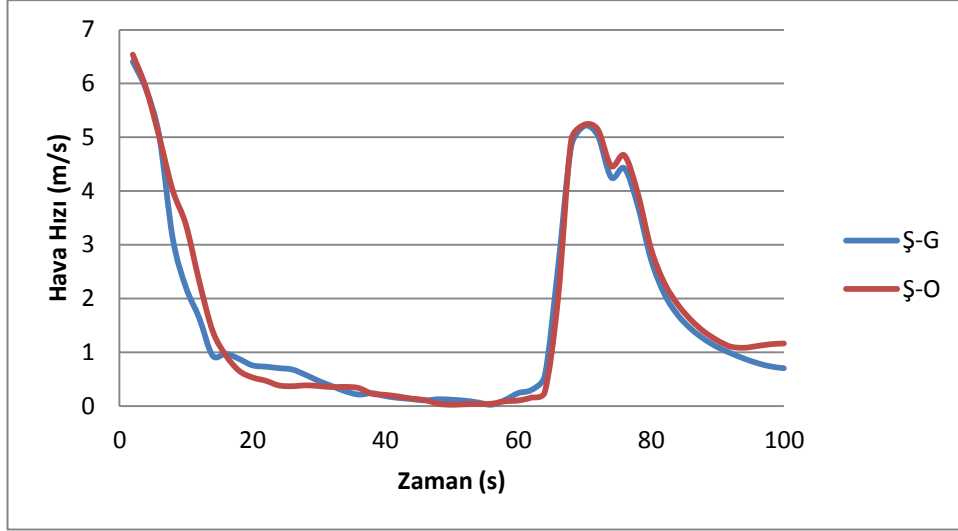
Şekil 6.36 : PAK modeldeki peron girişinde hava hızının değişimi

PAK modelde normal işletme şartlarına göre cep geçiş bölgelerindeki hava hızı dağılımı şekil 6.37 de gösterilmiştir. Bu verilere göre hava hızının PAK eklenmesiyle birlikte 1-2 m/s yükseldiği görülmüştür. Karakteristik olarak mevcut durum sonuçlarıyla benzeşim göstermektedir.



Şekil 6.37 : PAK modeldeki cep geçiş bölgelerinde hava hızının değişimi

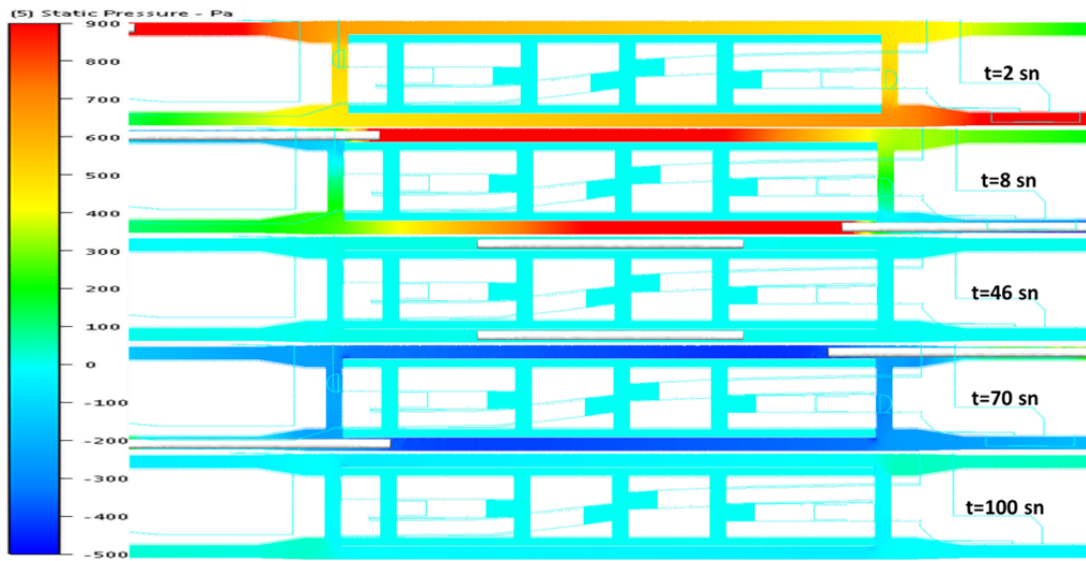
PAK modelde şaftlarda olan hava hızı dağılımı şekil 6.38 de gösterilmiştir. Bu değerlere göre hava hızı mevcut durumdaki şaft hava hızlarına göre 1-2 m/s düşüş göstermiştir. Bunun durum, bağlantı yaptığı tünellerdeki hava hızının yüksek olması dinamik basıncın düşmesine dolayısıyla şaftlarda olan hava hızının düşmesine sebebiyet verdiği ile açıklanabilir.



Şekil 6.38 : PAK modeldeki şaftlardaki hava hızının değişimi

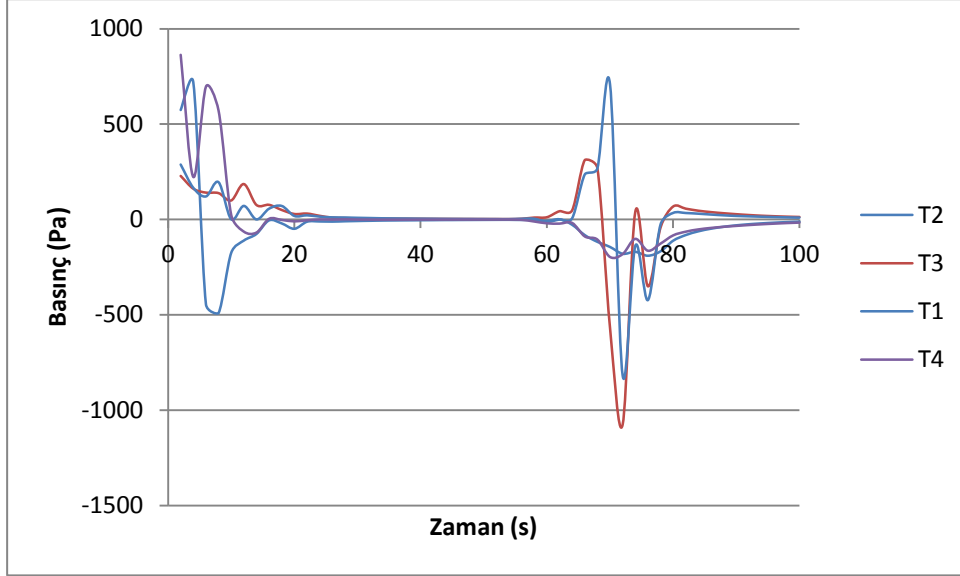
### 6.3.2 Basınç değişim sonuçları

PAK modelde normal işletme şartlarına göre basınç dağılımı şekil 6.39 da gösterilmiştir. Basınç dağılımına göre en yüksek pozitif basınç 900 Pa mertebelerinde olduğu görülmüştür. En düşük negatif basınç ise 500 Pa seviyelerinde görülmüştür.



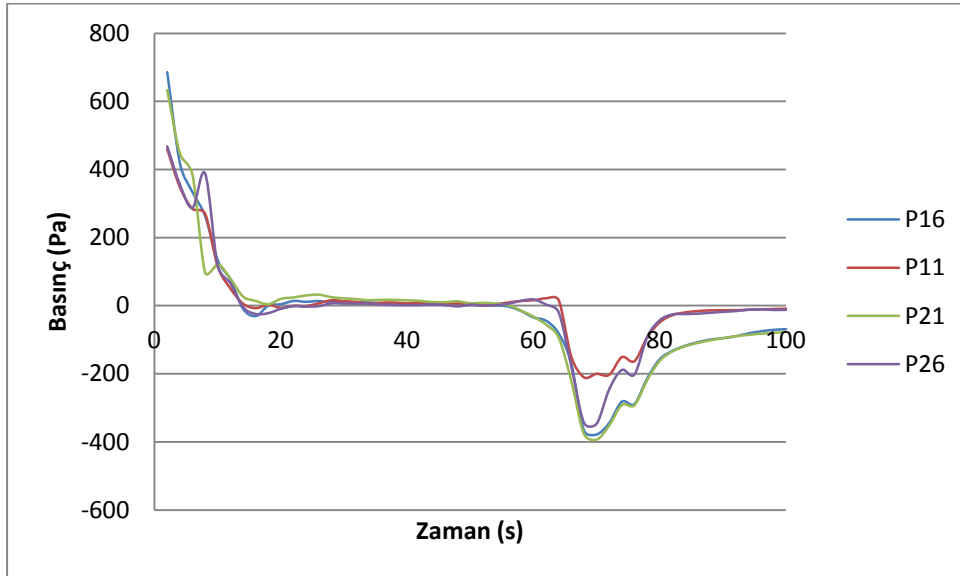
Şekil 6.39 : PAK modeldeki genel basınç değişimi

PAK modelde bulunan tünellerdeki basınç dağılımı şekil 6.40 da gösterilmiştir. Basıncın mevcut modeldeki değerlere göre pek değişmediği görülmüştür. Çünkü tünel kesitleri, tren hızı ve ölçüm noktaları aynı kalmasından dolayı bir değişiklik gözlenmemiştir.



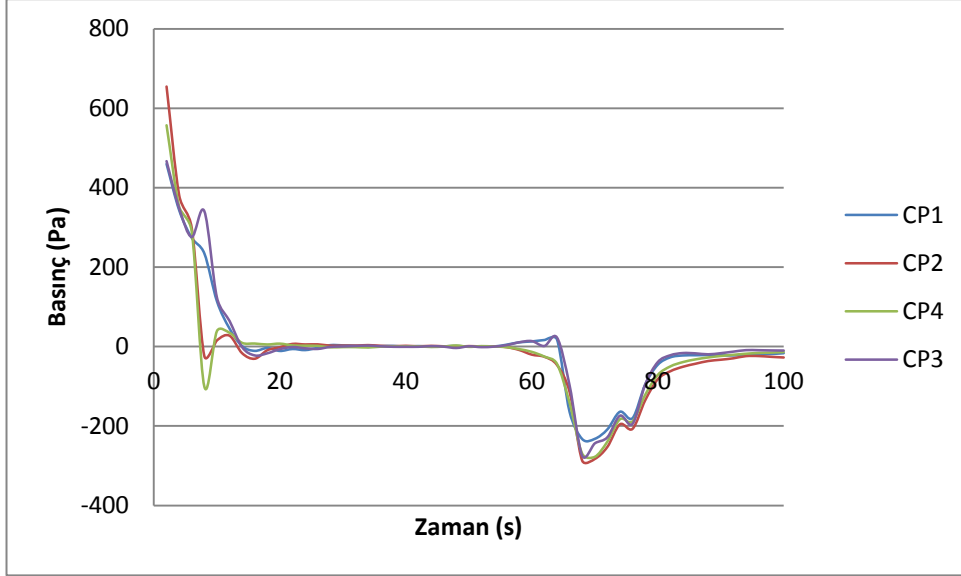
**Şekil 6.40** : PAK modeldeki tünellerde basıncın zamanla değişimi

PAK modeldeki peron girişlerine ait hava basıncının değişimi şekil 6.41 de gösterilmiştir. Bu değerlere göre basınç peron girişlerinde önceki modele göre yaklaşık 400 Pa yükseldiği görülmüştür. Bu durum tünel kesitinin peronda da aynı şekilde devam etmesinden kaynaklanmaktadır. Peron çıkışında ise 100 Pa daha negatif yönde arttığı görülmektedir.



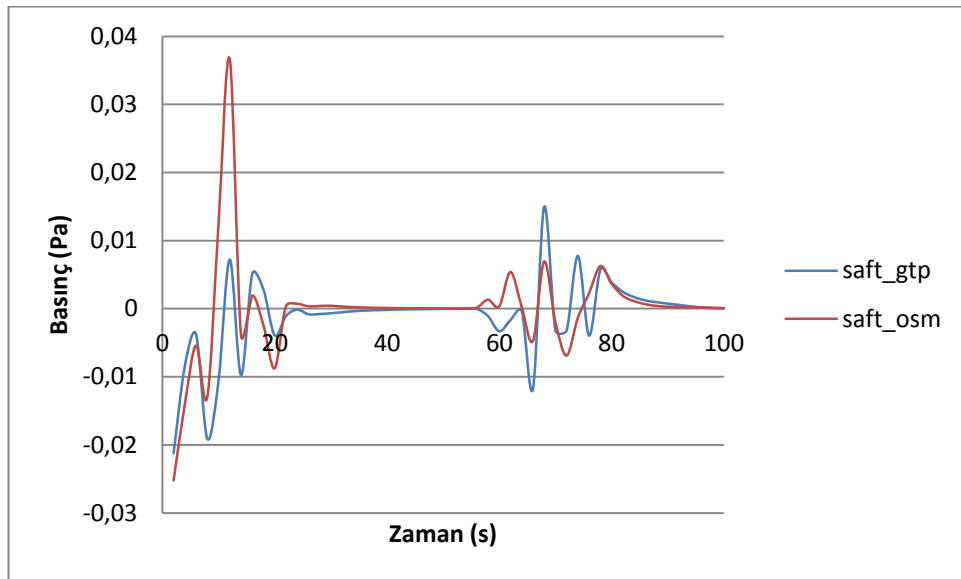
**Şekil 6.41** : PAK modeldeki peron giriş basıncın zamanla değişimi

Pak modeldeki cep geçiş bölgelerindeki basınç değişimi Şekil 6.42 de gösterilmiştir. Verilere göre tren perona gelirken en yüksek basınç değeri görülmekte ve perona girmesiyle birlikte basınç aniden düşmektedir. Bunun sebebi tren uzunluğu boyunca ölüm noktasında oluşan basının ters yöne dönmesi olarak gösterilebilir.



**Şekil 6.42 :** PAK modeldeki cep geçiş bölgelerinde basının zamanla değişimi

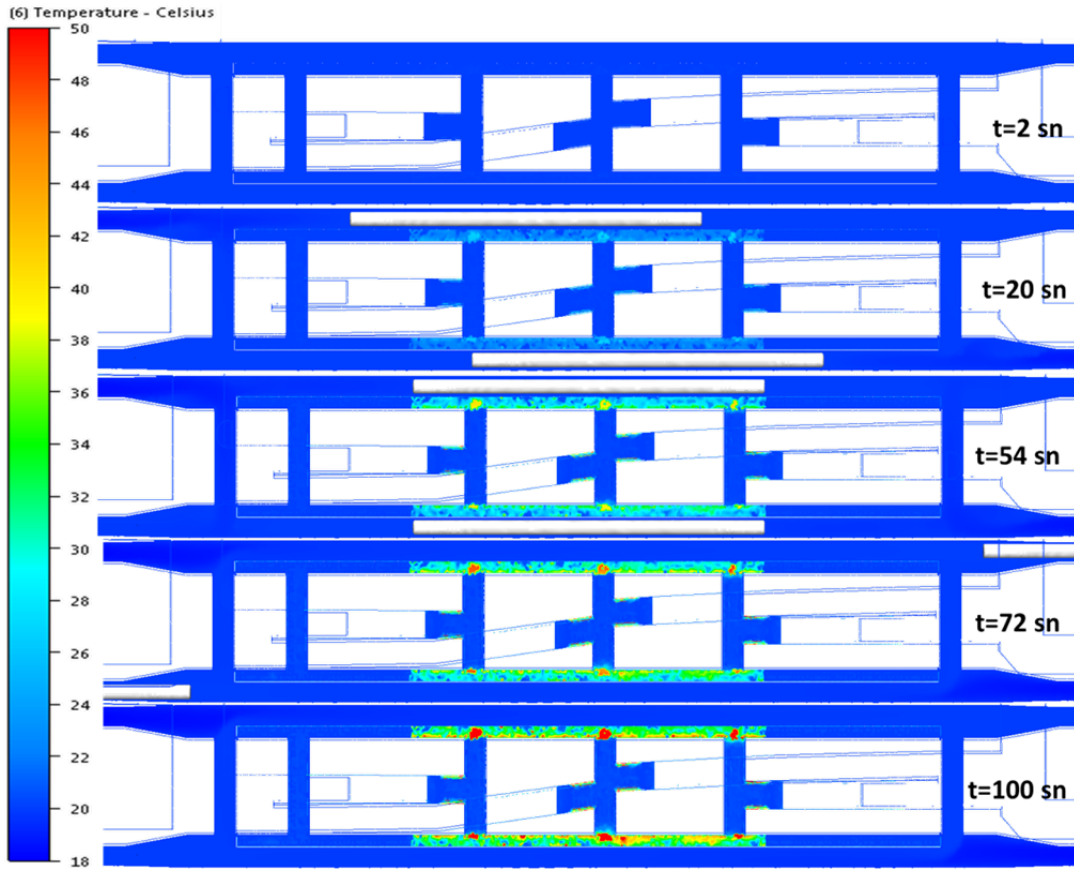
PAK modelin Őaftlarına ait basınç dağılımı Şekil 6.43 te gösterilmiştir. Şaftlarda lm noktası Şaft çıkışlarında olduğundan basınç değişimleri açık hava basını mertebelerinde seyretmiştir. Mevcut modelle benzerlik gösteren dağılımda değerler yaklaşık 2 kat yükselmiştir. Bu değerlere göre Şaftlardaki hava hareketlerinin yönü belirlenebilmektedir.



**Şekil 6.43 :** PAK modeldeki Şaftlardaki basının zamanla değişimi

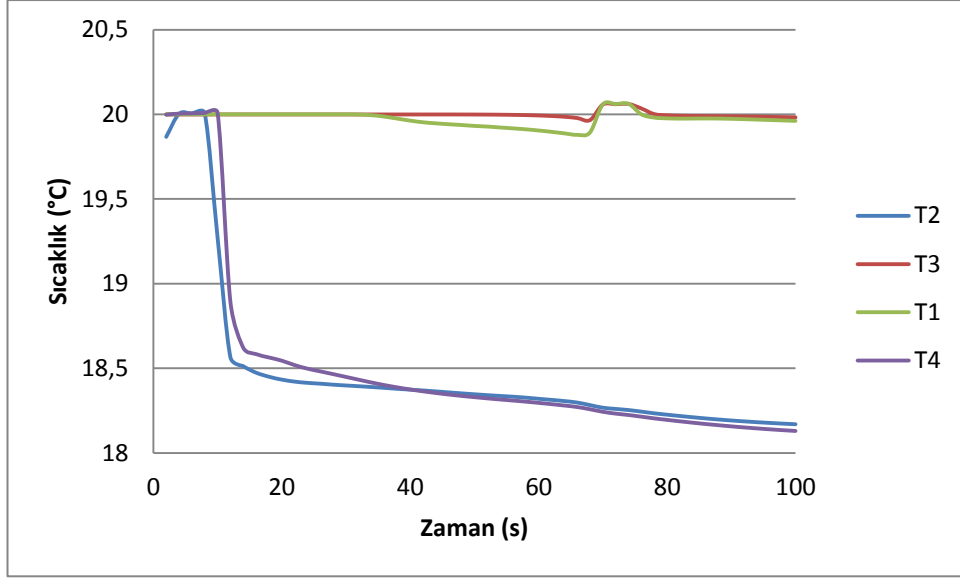
### 6.3.3 Sıcaklık değişim sonuçları

Çalışmanın başlıca amaçları arasında yer alan ve yolcu konforunu doğrudan etkileyen PAK modele ait genel sıcaklık dağılımı şekil 6.44 de gösterilmiştir. Bu dağılıma göre zaman geçtikçe sıcaklık homojen bir biçimde yükselmekte ve herhangi bir hava hareketi olmadığından bulunduğu konumda kalmaktadır. Normal işletme koşulları altında sıcaklığın yer yer 45 °C mertebelerine yükseldiği görülmektedir. Ortalama olarak bakıldığında ise peron sıcaklıkları trenin istasyondan ayrılmasıyla birlikte 38 °C civarında kaldığı gözlemlenmektedir. Bu değerlerin yolcu konforu sınırları çerçevesinde değerlendirildiğinde aşırı bir fark olduğu ve sınırlara getirebilmek için cebri olarak havalandırma hatta soğutma yapılması gerektiği söylenebilir.



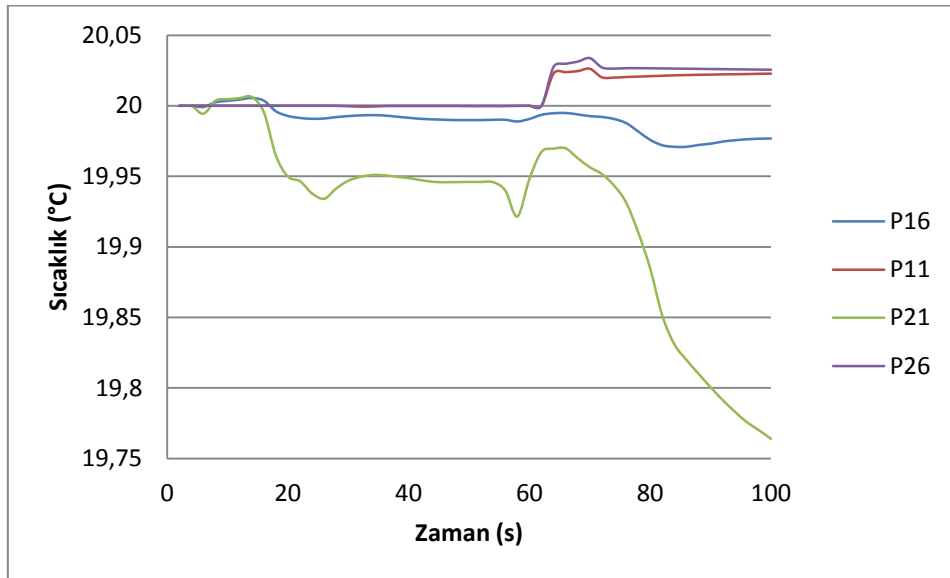
Şekil 6.44 : PAK modeldeki normal işletme genel sıcaklık değişimi

PAK modeldeki tünellere ait sıcaklık dağılımı şekil 6.45 gösterilmiştir. Bu değerlere göre T1 ve T3 noktalarındaki sıcaklığın mevcut modellerdeki gibi yükselmediği gözlemlenmiştir. Çünkü dışarı bir ısı sürüklenmesi olmamıştır. Sadece tren o noktadan geçerken kendi yaydığı ısı sonucu hafif yükselmiş ve tekrar rejime oturmuştur.



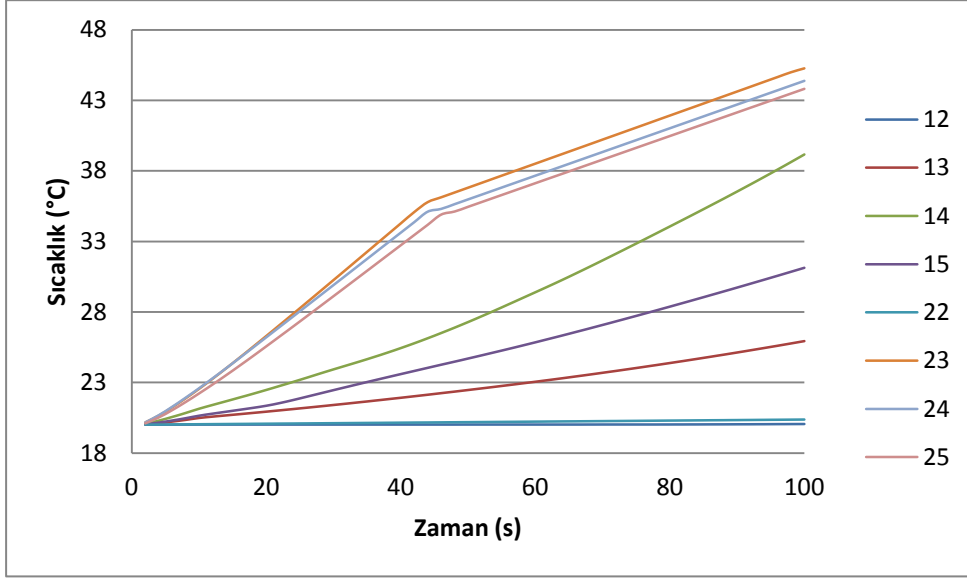
**Şekil 6.45 :** PAK modeldeki tünellerde sıcaklığın zamanla değişimi

PAK modele ait peron giriş sıcaklık dağılımı şekil 6.46 da gösterilmiştir. Noktalar tünel sıcaklığıyla benzeşim göstermektedir. Tren hızının daha yavaş olması sebebiyle tünel sıcaklığından biraz daha fazla yükseliş göstermiştir. Sürüklenen tünel havasının P21 ve P16 noktalarına olan mesafesi fazla olduğundan bu girişlerdeki sıcaklıkta çok az bir düşüş gözlenmiştir. Trenin istasyondan hareketi ile birlikte trenin arkasında sürüklediği hava ile birlikte düşmeye devam etmiştir.



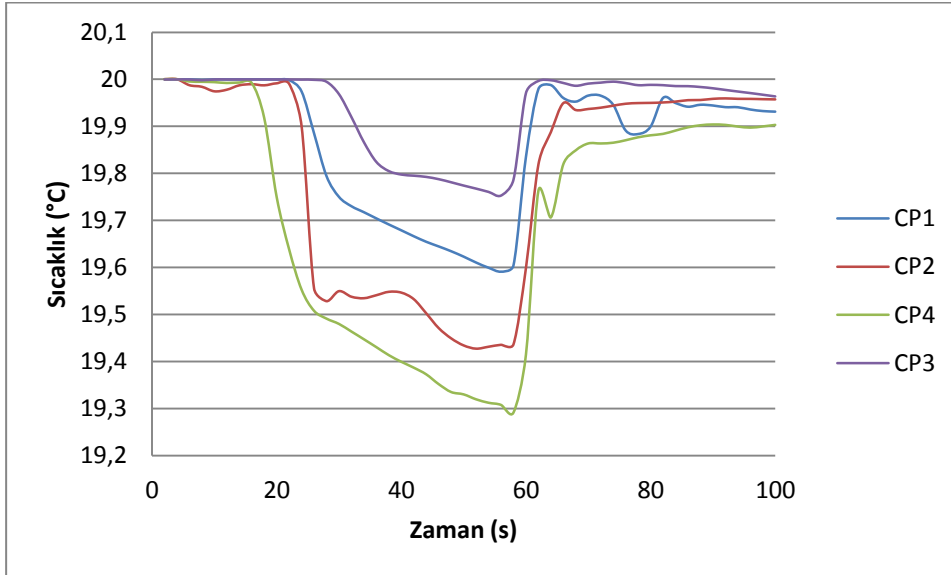
**Şekil 6.46 :** PAK modeldeki peron giriş sıcaklığının zamanla değişimi

Yolcunun doğrudan etkileneceği yer olan peron sıcaklığına ait sıcaklık dağılımı şekil 6.47 gösterilmiştir. Normal işletme şartları altında girilen ısı yüklerine göre sıcaklık doğrusal olarak artmakta ve trenin yolcuları almasıyla birlikte bu artış yavaşlamaktadır. Peron havasının durgun hava kabulü ile sıcaklıkta hiçbir düşme gözlemlenmemiştir. Bu değerler konfor şartlarına uymamaktadır.



Şekil 6.47 : PAK modeldeki peron sıcaklığının zamanla değişimi

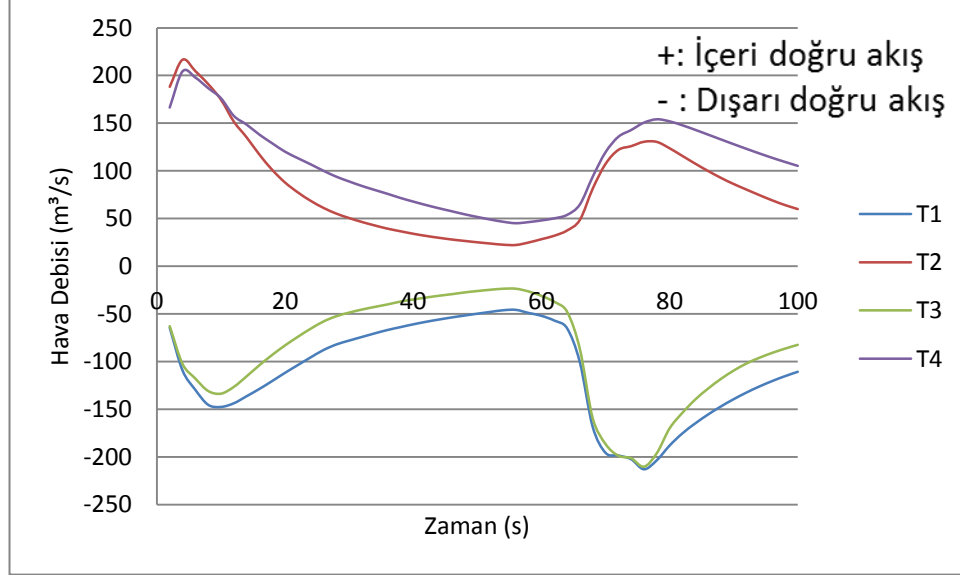
PAK modeldeki cep geçiş bölgelerine ait sıcaklık dağılımı şekil 6.48 de gösterilmiştir. Bu noktalarda sıcaklığın tren peronda iken düştüğü gözlemlenmiştir. Düşme sebebi olarak hava hızının sıcaklığı düşürücü etkisi gösterilebilir.



Şekil 6.48 : PAK modeldeki cep geçiş bölgelerinde sıcaklığının zamanla değişimi

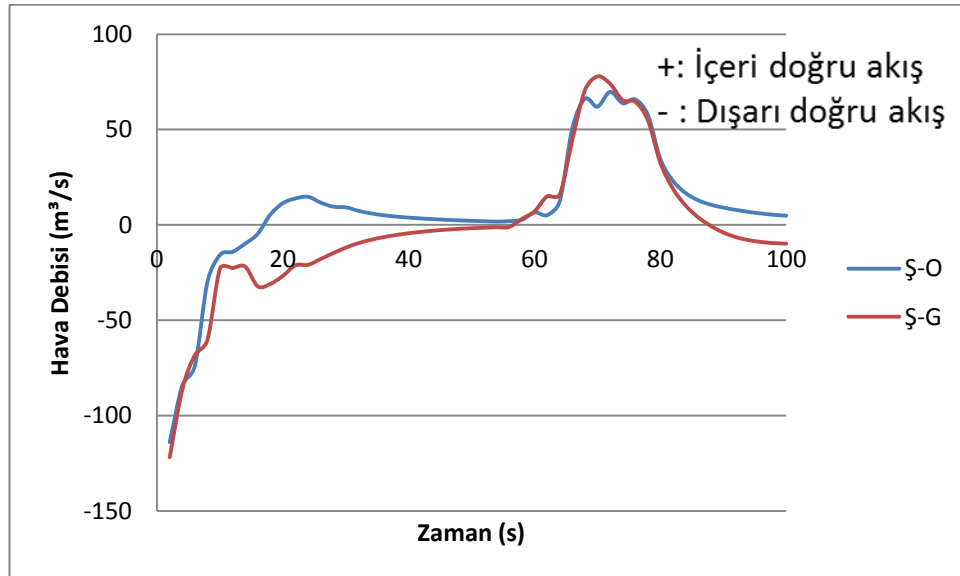
### 6.3.4 Hava debi sonuçları

PAK modele normal işletme şartları altında bakıldığında tüm giriş ve çıkışlardaki hava debilerinin yüksek olduğu gözlenmiştir. Tünellerin giriş ve çıkışlarına ait hava debi dağılımı şekil 6.49 da gösterilmiştir. Karakteristik olarak mevcut durumla aynı olan değişimlerde debi mertebeleri biraz daha yükseldiği görülmektedir.



Şekil 6.49 : PAK modeldeki tünellerde hava debisinin zamanla değişimi

PAK modelde bulunan şaftlara ait hava debilerinin dağılımı şekil 6.50 de gösterilmiştir. Tünellerdeki debi değerleriyle aynı şekilde sayısal olarak debi değerleri daha yüksek olduğu gözlenmiştir. Bu durum PAK eklenmesi sonucu istasyon çıkışlarının iptali ile açıklanabilir.



Şekil 6.50 : PAK modeldeki şaftlarda hava debisinin zamanla değişimi

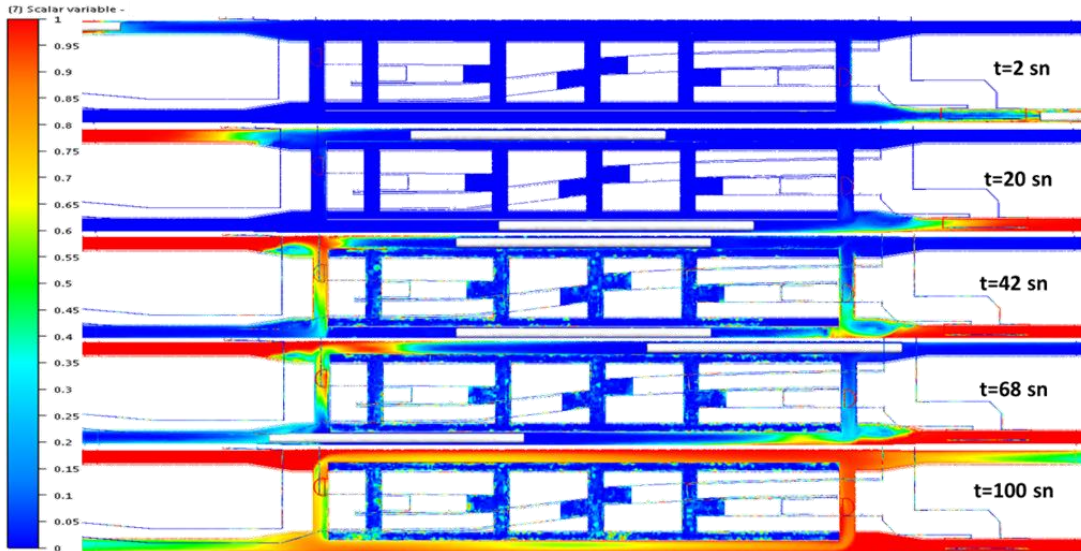
Değerlere bakıldığında toplam hava hacimleri yersel olarak arttığı gözlemlenirken giren toplam ve çıkan toplam hava hacimlerinin mevcut modelle benzeştiği görülmektedir. Giren ve çıkan hava hacimlerinde ki fark %0,3 mertebelerinde kalmıştır. Bu değer ihmal edilebilir düzeydedir. Yersel olarak artan hacimlerin sebebi olarak istasyon çıkışlarının iptal edilmesi gösterilebilir. Böylelikle tren kaynaklı oluşan hava debisi peronlara yayılmadığından tünel ve şaftlardan girmiş veya çıkmıştır. Şaftlardaki hava debileri ise kendi içinde benzeşim göstermektedir. Bu durum PAK eklenmesiyle oluşan simetriden kaynaklanmaktadır. Mevcut modelde bu benzeşim istasyonda bir geçiş bölgesinin olmamasından dolayı farklılık göstermektedir. Hava debi değerleri çizelge 6.2 de görülmektedir.

**Çizelge 6.2 :** PAK modelde kontrol hacmine giren-çıkan hava hacimleri

Hava(m <sup>3</sup> )	T1	T2	T3	T4	Ş-O	Ş-G	Toplam
<b>Giren</b>	0	8267	0	10804	1511	1553	<b>22135</b>
<b>Çıkan</b>	-11032	0	-8895	0	-1175	-1100	<b>-22202</b>
<b>Toplam</b>	<b>-11032</b>	<b>8267</b>	<b>-8895</b>	<b>10804</b>	<b>336</b>	<b>453</b>	<b>-67</b>

### 6.3.5 Tünel-istasyon hava karışım sonuçları

PAK modelde tünel ve şaftlardan istasyon bölgesine olan hava değişimleri şekil 6.51 de gösterilmiştir. Bu şekle göre tünel havası daha hızlı bir şekilde istasyon sınırlarına nüfus etmekte ve aynı anda şaftlardan da hava gelmektedir. Trenin hareketiyle birlikte tüm istasyon havasının değiştiği gözlemlenmektedir. Peron kapılarının tam boy olmasından dolayı tünel ve shaft havası istasyon bölgesine nüfus edememektedir.



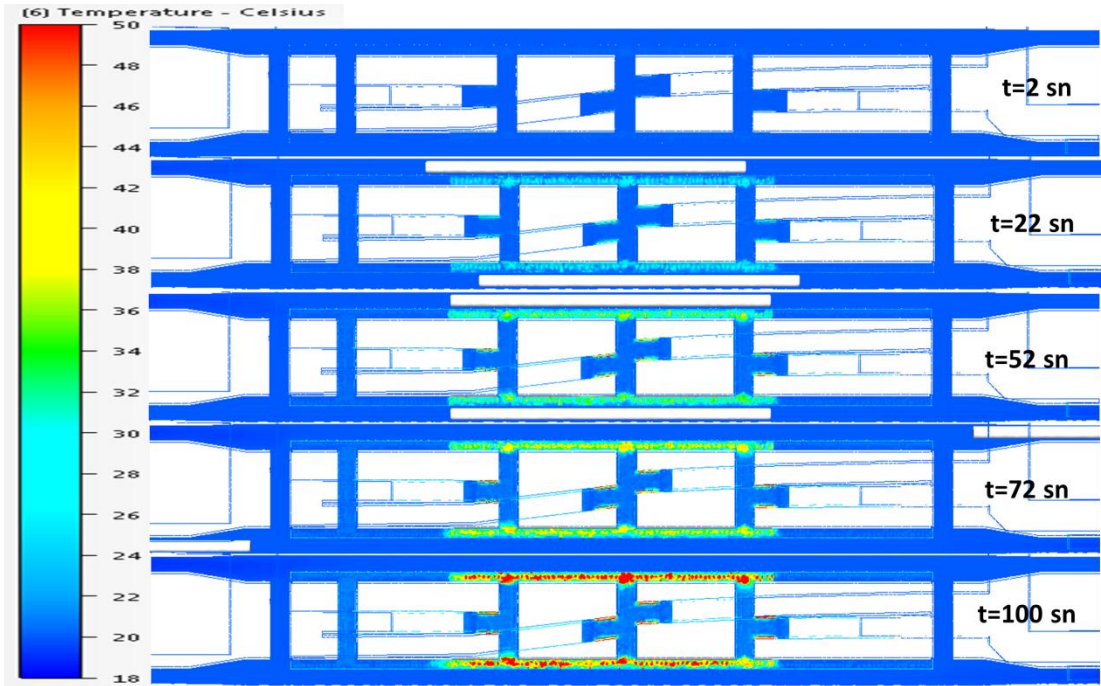
**Şekil 6.51 :** PAK modeldeki hava karışımının zamanla değişimi

## 6.4 Peron Ayırıcı Kapılı Durumun Sıkışık İşletme Şartları Altındaki Sonuçları

Peron ayırıcı kapıların modele giydirilmesiyle oluşan istasyon modelinin normal işletme şartlarına göre 2.824.186 adet çözüm ağı oluşturularak yapılan HAD analiz sonuçları, normal işletme şartlarındaki gibi sınıflandırılmıştır. Veri toplama noktalarının yeri şekil 6.33 de belirtildiği gibidir.

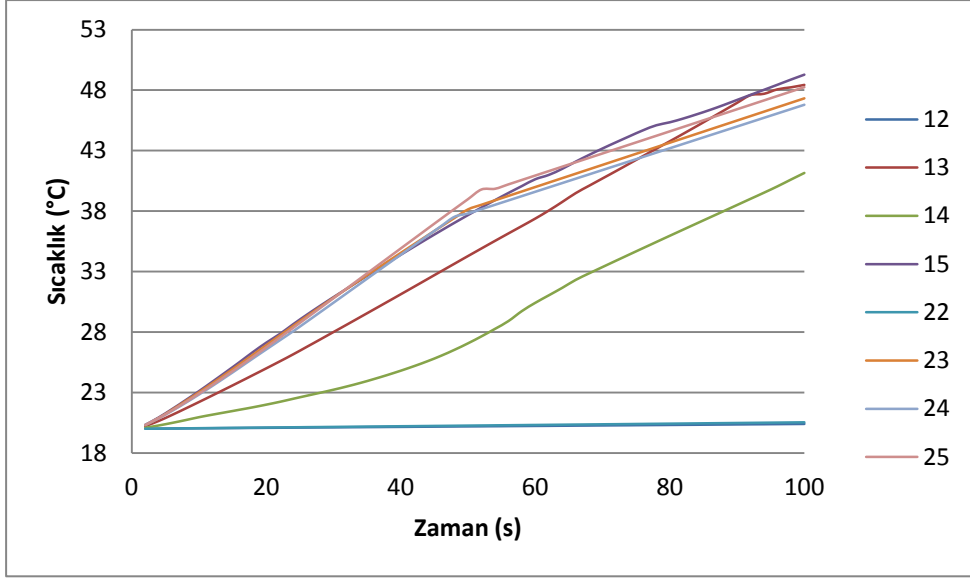
### 6.4.1 Sıcaklık değişim sonuçları

PAK modelde sıkışık işletmeye göre yapılan ısıl veri girişleri neticesinde genel sıcaklık dağılımları şekil 6.52 de görüldüğü gibidir. Bu şekle göre peronda sıcaklık normal işletmeye nazaran daha çok yükseldiği gözlemlenmektedir. Sıcaklık yayılımı ise herhangi bir hava hareketi olmamasından dolayı normal işletmeyle aynı dağılımda olduğu görülmektedir. Sıcaklık skalasına göre peron sıcaklıklarının yer yer 50 °C kadar yükseldiği görülmektedir. Bu durum ile yolcu konfor şartları sağlanamamaktadır.



Şekil 6.52 : PAK modeldeki sıkışık işletme genel sıcaklık değişimi

PAK modele ait sıkışık işletme şartlarında peron sıcaklık dağılımı şekil 6.53 de gösterilmiştir. Bu değerlere göre en yüksek sıcaklık 49 °C olarak görülmektedir. Sıcaklık tren perona gelene kadarki yükselim eğilimiyle perondan yolcuları alıp çıktıktan sonraki yükselim eğrisi farklılık göstermektedir. Konfor şartları altında yapılan değerlendirmede yolcu için uygun olmadığı ve cebri olarak havalandırma hatta soğutma yapılması gerektiği düşünülmektedir.



Şekil 6.53 : PAK modeldeki peronlarda sıcaklığın zamanla değişimi

## 7. ŞİŞLİ İSTASYONU ÖLÇÜM VERİLERİ

Yapılan HAD analizinin mevcut sistemle karşılaştırmak ve ne derece yakınsadığını görmek adına Şişli istasyonunda çeşitli noktalardan sıcaklık ve hava hızı ölçümleri yapılmıştır. Bu ölçümlerde şekil 7.1 ve şekil 7.2 de görülen kalibrasyonu yapılmış cihazlar kullanılmıştır.



**Şekil 7.1 :** Şişli istasyonunda sıcaklık ölçümü için kullanılan data logger

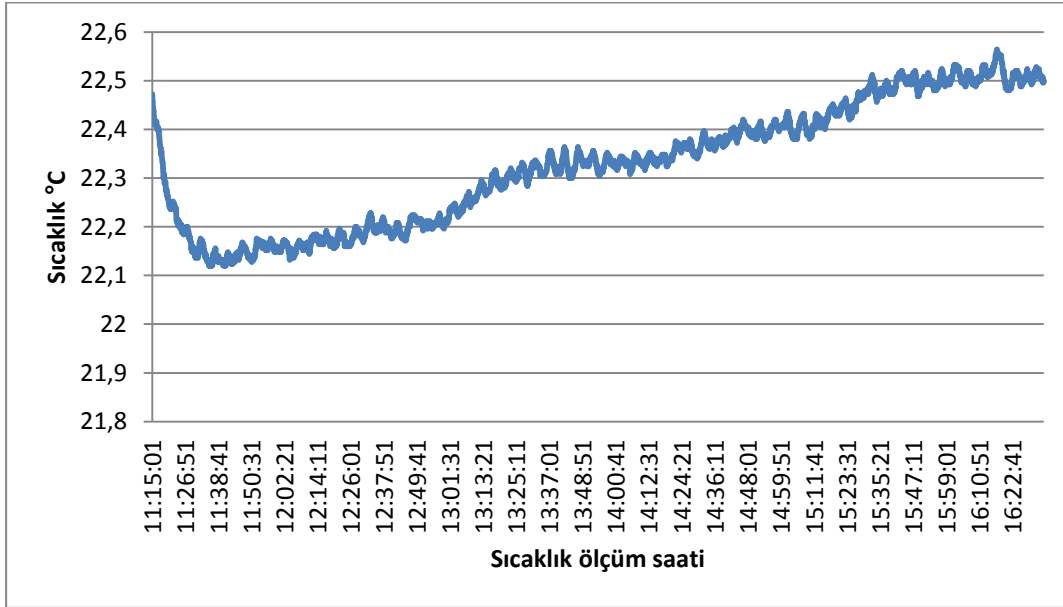
Sıcaklık ölçümleri mayıs ayı içinde yapılan kameralı yolcu sayımı ile aynı zamanda yapılmış olup böylelikle yolcu yoğunluğuna göre sıcaklık değişimi de gözlenmiştir. Sıkışık saatte yapılan sıcaklık ölçümleri peron sıcaklığının 24 °C yi aşması sonucunda devreye giren havalandırma fanlarından dolayı sağlıklı sonuç alınamamıştır. Bu yüzden yalnızca normal işletme şartları ile sıcaklık karşılaştırılması yapılmıştır.



**Şekil 7.2 :** Şişli istasyonunda hava hızı ölçümü için kullanılan anemometre

## 7.1 Peronda Sıcaklık Ölçüm Sonuçları

Şişli istasyonu mayıs ayı sıcaklık ölçümleri için peronun orta kısımlarında bulunan kameraların üzerine data logger yerleştirilmiştir. Gün boyu 1 dakika aralıklarla sıcaklık kaydı alınarak yapılan ölçümlerde Şişli istasyonunun ortalama sıcaklık değeri elde edilmiştir. Yapılan analizin 100 sn lik zaman dilimini içermesi neticesinde peron sıcaklığını ancak mertebeler cinsinden kıyaslanabilmesi mümkün olmuştur. Çünkü alınan sıcaklık değerleri saniyelik değişimleri göremediğinden birebir kıyas yerine ortalama olarak karşılaştırılmıştır. Ölçüm neticesinde normal işletme altındaki sıcaklık değeri ortalama 22 °C mertebelerinde olduğu görülmüştür. Mayıs ayı normal işletme saat dilimi arasında ortalama peron sıcaklığı şekil 7.3 de gösterilmiştir.

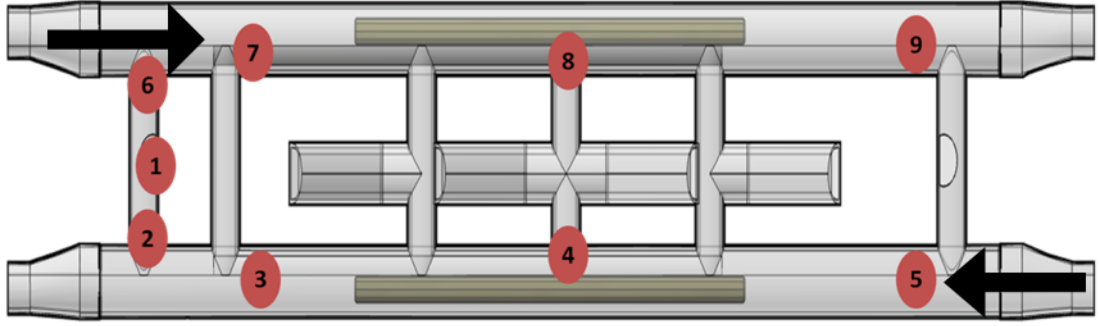


Şekil 7.3 : Şişli istasyonu mayıs ayı normal işletme altındaki sıcaklık değerleri

Mevcut modelin normal işletme şartları altındaki peron sıcaklığı da tren istasyondan ayrılması sonucunda ortalama 22 °C mertebesinde olduğu görülmüştür.

## 7.2 Şişli İstasyonu Hava Hızı Ölçüm Sonuçları

Şişli istasyonunda trenin getirdiği havanın hızını analizle ve standartlarla karşılaştırmak için peron, cep geçiş bölgesi ve shaft üzeri ölçümler yapılmıştır. Ölçümler çift trenin aynı anda perona girişi esnasında yapılmış olup anlık en yüksek değerler kaydedilmiştir. Böylelikle analiz değerlerindeki hava hızları merite bazında karşılaştırılmıştır. Peronda yapılan hava hızı ölçüm noktaları şekil 7.4 de gösterilmiştir.



**Şekil 7.4 : Şişli istasyonu hava hızı ölçüm noktaları**

İstasyonda belirtilen noktalarda 1.7 metre yükseklikten alınan hava hızı ölçüm sonuçları çizelge 7.1 de belirtilmiştir. Burada gösterilen veriler her bir noktanın 3 ölçüm değerinin ortalamasını temsil etmektedir.

**Çizelge 7.1 : Şişli istasyonu hava hızı ölçüm sonuçları**

Ölçüm Noktaları	Trenler Perona Girerken Ölçülen Hava Hızı Değerleri								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ölçülen Ortalama Değer (m/s)	3,2	4,7	8,1	2,1	1,7	3,7	1,6	2,2	8,3
Ölçüm Noktaları	Trenler Perondan Çıkarken Ölçülen Hava Hızı Değerleri								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ölçülen Ortalama Değer (m/s)	2,1	3,5	2,2	2,6	5,6	4,5	5,3	1,8	2

Ölçüm verilerine göre şaft bölgeleri hariç diğer noktaların mertebesi analiz sonuçlarıyla tutarlı olduğu görülmüştür. Şaft bölgelerinde ise hava hızı analizdeki değerlere göre 2-3 m/s daha düşük ölçülmüştür. Bunun sebebi modeldeki hava hızı ölçüm noktasının ve mevcut sistemdeki ölçüm yüksekliklerinin farklı olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Mevcut sistemde güvenlik gerekçesiyle aynı noktadan ölçüm yapılamamıştır. Ölçümlere dair görseller şekil 7.5 de gösterilmiştir.



**Şekil 7.5 : Şişli istasyonu hava hızı ölçümüne dair bir kesit**



## 8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

M2 metro hattının yolcu yoğunluğu yüksek istasyonlarından biri olan Şişli istasyonu birebir modellenerek normal ve sıkışık işletme koşulları altında HAD analizi yapılmıştır. Analiz sonuçlarına göre normal işletme senaryosu kapsamında yalnızca piston etkisiyle elde edilen peron sıcaklığı, rüzgâr hızı ve basınç dağılımının yolcu konfor şartlarını sağladığı görülmüştür. Aynı anda kontrol hacmindeki iki trenin hareketiyle birlikte perondaki havanın büyük bir kısmının değiştiği gözlenmiştir. Şişli istasyonunda yapılan sıcaklık ve hava hızı ölçümleri neticesinde sonuçlar karşılaştırılarak HAD analizinin gerçeğe ne kadar yakınsadığı görülmüştür.

Aynı modelin sıkışık işletme verileriyle yapılan HAD analizi sonucunda elde edilen veriler incelenmiş ve konfor şartlarını kısmen sağladığı görülmüştür. Tren hızlarının ve model kesitlerinin aynı olmasından dolayı hava hızı ve basınç dağılımında bir değişiklik görülmemiş ve dolayısıyla konfor şartları sağlanmıştır. Fakat sıkışık işletmede yolcu sayısının yükselmesi ve perona birim saatteki tren sefer sayısının artması nedeniyle ısı üretimi artmış ve dolayısıyla sıcaklıklar yükselmiştir. Trenlerin tünelden getirdiği serin hava sıcaklığın düşmesinde yeterli olmadığından ısıl konfor şartları peronlarda sağlanamamıştır. İstasyonda yapılan incelemeler sonucunda sıkışık saatlerde istasyon sıcaklığının yükseldiği ve ortamı yolcuya tekrar konfor şartlarına uygun hale getirmek için peron havalandırma fanlarının çalıştığı tespit edilmiştir. Dolayısıyla HAD analizi sıkışık işletme hali içinde tutarlı bir seviyede olduğu görülmüştür.

Mevcut sistem için yapılan HAD analizinin doğruluğu görüldükten sonra çalışmanın esas amacı olan peron ayırıcı kapılı modellerin analizine geçilmiştir. Hem yolcu güvenliğini sağlaması hem de tünellerden gelen toz ve kirletici maddelerin önlenmesi adına peronlara tam boy peron ayırıcı kapı yapılması gerekmektedir. Bu gereklilikten dolayı Şişli istasyon modeli revize edilerek yeni model oluşturulmuş ve bu modelle normal ve sıkışık işletme şartlarına göre HAD analizi yapılmıştır.

Normal işletme şartlarına kullanılarak yapılan analiz sonucunda hat bölgesinde hava hızlarının %30 oranında arttığı görülmüştür. Hava basıncı peronun hat bölgelerinde 900 Pa kadar yükseldiği tespit edilmiştir. Yolcunun doğrudan etkilendiği peron sıcaklığı ise ortalama 40 °C seviyelerine yükseldiği gözlenmiştir. Bu durumun konfor şartlarından çok uzakta olduğu görülmektedir. Trenlerin tünelden ve

havalandırma şaftlarından getirdikleri hava bakımından peron hat bölgesinin tamamen değiştiği analiz sonucunda anlaşılmıştır.

Peron ayırıcı kapılı modelin sıkışık işletme şartları ile yapılan HAD analizi sonucunda hava hızları ve basınç dağılımları normal işletme şartları ile benzerlik gösterdiği görülmüştür. Peron sıcaklığı ise bu senaryoda daha da yükselerek 48 °C seviyelerine ulaşmıştır. Bu durumda yolcu konfor şartları dâhilinde kabul edilemeyeceği aşikârdır.

Sonuç olarak peron ayırıcı kapının tam boy yapılması durumunda yolcu konforundan uzaklaşmakta ve bir takım çevresel riskler oluşturmaktadır. Artan hava hızları ve basıncın zamanla tüneldeki ekipmanların ve yapılacak olan kapıların deformasyonuna sebep olabileceği düşünülmektedir. Çünkü istasyon tasarımında kabul edilen değerlerin ciddi oranda değişmesi sonucunda malzeme yorulmalarını beraberinde getirecektir. Bu sebeple peron kapılarının en az bu basınca dayanıklı yapılması gerekmektedir. Ayrıca tünel içinde bu basınca ve hava hızına maruz kalacak ekipmanların kontrol edilerek dayanıklı hale getirilmelidir.

Şişli istasyonunun acil durum ve sıkışık işletme halindeki havalandırma sistemine göre taze hava peron tavanından verilmekte ve egzoz havası peron altı havalandırma menfezlerinden çekilmektedir. Tam boy peron ayırıcı kapı yapılması durumunda bu senaryoların değişme durumu söz konusudur. Çünkü peron tavanlarına gelen havalandırma kanalları tek yola sahip olmasından dolayı yalnızca bir yönde çalışabilmektedir. Bu nedenle peronda aynı anda hem egzoz yapılması hem de taze hava verilmesi imkânsızdır. Bu sistemi gerçekleştirebilmek ise yolcu işletmesi altında çok zor bir durumdur. Ayrıca yüksek bir maliyete ve zamana ihtiyaç vardır.

Tam boy peron ayırıcı kapı yapılma zorunluluğu olması durumunda havalandırmanın tek yönlü yapılabilmesi için perondaki pozitif basınç etkileri incelenmelidir. Perona yalnızca taze hava beslemesi yapılarak yolcu konforunun sağlanıp sağlanmadığı belirlenmelidir. Konfor şartlarının sağlanmaması durumunda bir soğutma sisteminin kurulması söz konusudur. Yapılan incelemeler neticesinde Şişli istasyonu havalandırma ünitesinde soğutma ekipmanı için yer bulunduğu görülmüştür. Böylelikle peron ısı kazanımlarını karşılayacak kapasitede bir klima ünitesi seçilmelidir. Klima ünitesinin en az 155 kW soğutma kapasitesinde olması gerektiği hesaplanmıştır. Havalandırmanın tek yönlü yapılma olayının incelenip konfor şartlarını değiştirdiği yöndeki bir sonucun çıkması durumunda şu yöntem izlenebilir. Tam boy yapılan peron ayırıcı kapıların kapı üstü ile tavan arasına filtreli menfezler koyularak peron ile hat arasındaki basınçların dengelenmesi sağlanabilir. Böylelikle yolcu güvenliği sağlanırken hattan gelen toz tutulmuş ve yolcu konforu sağlanmış olur.

## KAYNAKLAR

- [1] **Sadokierski, S. and Thiffeault, J.** (2008). Heat transfer in underground rail tunnels.
- [2] **Bopp, R. and Hagenah, B.** (2008). Aerodynamics, ventilation and tunnel safety for high speed rail tunnels.
- [3] **Thompson, J.A., Maidment, G. G. and Missenden, J. F.** (2006). Modelling low-energy cooling strategies for underground railways
- [4] **Lin, C. J., Chuah, Y.K. and Liu, C. W.** (2007). A study on underground tunnel ventilation for piston effects influenced by draught relief shaft in subway system
- [5] **Pflitsch, A. and Bruene, M.** (2011). Air flow measurements in the underground section of a UK light rail system.
- [6] **Tsun Ke, M., Che Cheng, T. and PorWang, W.** (2001). Numerical simulation for optimizing the design of subway environmental control system.
- [7] **Huang, Y., Li, C. and Kim, C. N.** (2011). A numerical analysis of the ventilation performance for different ventilation strategies in a subway tunnel.
- [8] **Ampofo, F., Maidment, G. and Missenden, J.** (2003). Underground railway environment in the UK Part 2: Investigation of heat load.
- [9] **Huang, Y. and Gong, X.** (2011). Effects of the ventilation duct arrangement and duct geometry on ventilation performance in a subway tunnel.
- [10] **Kim, J. Y. and Kim, K. Y.** (2009). Effects of vent shaft location on the ventilation performance in a subway tunnel.
- [11] **Huang, Y. and Wei, G.** (2010). A numerical study of the train-induced unsteady airflow in a subway tunnel with natural ventilation ducts using the dynamic layering method.
- [12] **Kim, J. Y. and Kim, K. Y.** (2006). Experimental and numerical analyses of train-induced unsteady tunnel flow in subway.
- [13] **Jia, L., Huang, P. and Yang, L.** (2009). Numerical Simulation of Flow Characteristics in a Subway Station.
- [14] **Yuan, F. D. and You, S. J.** (2006). CFD simulation and optimization of the ventilation for subway side-platform.
- [15] **Hu, S. C. and Lee, J. H.** (2003). Influence of platform screen doors on energy consumption of the environment control system of a mass rapid transit system: case study of the Taipei MRT system.
- [16] **Hu, S. C., TUNG, Y. C. and Hsu, M. F.** (2008). Assessing the potentials of energy-saving strategies for an underground mass rapid transit system with platform doors.

- [17] **ASHRAE Standard 55-2004** (2004). Thermal environmental conditions for human occupancy.
- [18] **Brandschutz in Fahizeugen und Tunneln des ÖPNV** (2005). Fire protection in vehicles and tunnels for public transport.
- [19] **Subway Environmental Design Handbook** (1976). Volume 1, Principles and Applications, US Department of Transportation.
- [20] **ASHRAE handbook fundamentals** (2009). Chapter 18, Nonresidential cooling and heating load calculations.
- [21] **ROTEM Metro Treni Bakım El Kitabı** (2009).
- [22] <http://www.vitoone.com/tr/about.asp>, alındığı tarih: 20.02.2013.
- [23] [http://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=ISTANBUL](http://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=<u>ISTANBUL</u>), alındığı tarih: 08.03.2013.

## ÖZGEÇMİŞ



**Ad Soyad** : Ali Behlül Samur  
**Doğum Yeri ve Tarihi** : Konya 26.07.1988  
**Lise** : Aksaray Fen Lisesi  
**Lisans** : İstanbul Teknik Üniversitesi / Makina Mühendisliği  
**Mesleki Deneyimler** : İstanbul Ulaşım A.Ş./ 2010-Devam ediyor.  
**Yayımlar** :

**Apak, A. ;Koyuncuoglu, Y.; Heceoglu, H.; Samur, A.B.; Dogan, U.; Kurtulus, E.; Unver, B.; Gokasan, M.; Mugan, A.** (2011). Design and construction of an electric minibüs. Mechatronics (ICM), 13-15 April 2011 IEEE International Conference.

