

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**TRAMVAY MODÜLLERİ İÇİN HVAC SİSTEM
TASARIMI VE SAYISAL İNCELEMESİ**

**Hazırlayan
Safa KAPLAN**

**Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Yusuf TEKİN**

Yüksek Lisans Tezi

**Şubat 2022
KAYSERİ**

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**TRAMVAY MODÜLLERİ İÇİN HVAC SİSTEM
TASARIMI VE SAYISAL İNCELEMESİ**

(Yüksek Lisans Tezi)

**Hazırlayan
Safa KAPLAN**

**Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Yusuf TEKİN**

**Şubat 2022
KAYSERİ**

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim

Safa KAPLAN



Tramvay Mod  lleri İçin HVAC Sistem Tasarımı Ve Sayısal incelemeı adlı Yüksek Lisans tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez  nerisi ve Tez Yazma Yönergesi 'ne uygun olarak hazırlanmıştır.

Hazırlayan

Safa KAPLAN

Danışman

Dr.   r. Üyesi Yusuf TEKİN

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Başkanı

Prof. Dr. Veysel ÖZCEYHAN

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca farklı bakış açıları ve bilimsel katkılarıyla beni aydınlatan, yakın ilgi ve yardımlarını esirgemeyen ve bu günlere gelmemde en büyük katkı sahibi sayın hocam Dr. Öğr. Üyesi Yusuf TEKİN' e teşekkürü bir borç bilirim.

Tasarım çalışmalarım sırasında yardımını esirgemeyen çalışma arkadaşım Sayın Musa KÜPELİ ve bu süreçte her türlü desteği veren yöneticim Sayın Mehmet CANBULUT' a teşekkür ederim.

Tez çalışmamda kullanılan materyalleri sağlayan ve her türlü teknik desteği veren Bozankaya AŞ. Yöneticisi Sayın Emrah DAL' a teşekkür ederim.

Ayrıca; çalışmalarım süresince sabır göstererek beni daima destekleyen sevgili eşim Emine Ferda KAPLAN' a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Safa KAPLAN

Kayseri, Şubat 2021

TRAMVAY MODÜLLERİ İÇİN HVAC SİSTEM TASARIMI VE SAYISAL İNCELEMESİ

Safa KAPLAN

**Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi, Şubat 2022
Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Yusuf TEKİN**

ÖZET

Bu çalışmada, hafif raylı sistem araçları kategorisinde bulunan ve birbiri ile bağımlı 5 farklı modülden oluşan bir tramvay aracının simetri özelliklerine göre indirgemiş bir kabini için Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) kullanılarak sayısal incelemesi yapılmıştır. Araç üzerinde bulunan ve mevcut klimadan aldığı işlenmiş akışkan bir kanal vasıtasıyla kabin içerisine dağıtan kanal üzerinde iyileştirme çalışması yapılmıştır. Mevcut kanal ve iyileştirilmiş kanal için ayrı ayrı çözümler oluşturulmuş ve sonuçlar ayrı ayrı verilmiştir. İki ayrı kanal tasarımının aynı kabin üzerine etkisi demiryolu taşıtları için konfor parametrelerini inceleyen ve belirleyen EN-14750 -1,-2 standartları doğrultusunda incelenmiş ve yorumlanmıştır.

Yapılan çalışma sonucunda aynı klima performansının aynı kabin üzerine etkisinin farklı kanal yapıları ile nasıl değişebileceği gözlemlenmiş ve bu durumun kabin içerisine etkisi ortaya koyulmuştur.

Çalışma sonucunda kabin içerisinde 2°C sıcaklık iyileşmesi ve 2 m/s hız iyileştirmeleri sağlanmıştır. Ayrıca menfez çıkışlarında ortalama 6 m/s 'lik bir hava hızı artışı elde edilmiştir.

Gerçekleştirilen bu çalışma ulusal ve uluslararası araştırma konuları için altyapı teşkil edecek niteliktedir. Bu çalışmanın sonucunda tramvay araçlarının klima sistemlerine karar verilirken klima kapasitesi ve yolcu kabini tasarımının yanında dağıtım hava kanalı tasarımının da dikkat edilmesi gereken önemli bir konu olduğu anlaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Hafif Raylı Sistemler Klima, EN 1450-1, EN 1450-2, Klima Tasarımı, Tramvay Klima Kanal Tasarımı,

HVAC SYSTEM DESIGN AND NUMERICAL INVESTIGATION FOR TRAM MODULES

Safa KAPLAN

Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences

Master Thesis, February 2022

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Yusuf TEKİN

ABSTRACT

In this study, a numerical analysis was carried out using Computational Fluid Dynamics (CFD) for a reduced cabin of a tram vehicle, which is in the category of light rail system vehicles and consists of 5 different interdependent modules. Improvement work was carried out on the duct on the vehicle, which distributes the processed fluid from the existing air conditioner into the cabin via a duct. Separate analyzes were created for the existing channel and the improved channel, and the results were given separately. The effect of two separate duct designs on the same cabin has been examined and interpreted in accordance with EN-14750 -1,-2 standards that examine and determine comfort parameters for railway vehicles.

As a result of the study, it has been observed how the effect of the same air conditioner performance on the same cabin can change with different duct structures and the effect of this situation on the cabin has been revealed.

As a result of the study, 2°C temperature and 2 m/s speed improvements in the cabin. It was also aged at an average airspeed of 6 at the vent outlets.

This study has the quality to form a basis for national and international research subjects. As a result of this study, it has been understood that while deciding on the air conditioning systems of the tram vehicles, the air conditioning capacity and passenger cabin design, as well as the distribution air duct design, are an important issue to be considered.

Keywords: Light Rail Air Conditioning, EN 1450-1, EN 1450-2, Air Conditioning Design, Tram Air Conditioning Duct Design,

İÇİNDEKİLER

TRAMVAY MODÜLLERİ İÇİN HVAC SİSTEM TASARIMI VE SAYISAL İNCELEMESİ

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK	ii
YÖNERGEYE UYGUNLUK.....	iii
KABUL VE ONAY SAYFASI	iv
ÖZET.....	vi
ABSTRACT.....	vii
İÇİNDEKİLER	viii
KISALTMALAR SİMGELER.....	xi
TABLolar LİSTESİ.....	xii
ŞEKİLLER LİSTESİ	xiii

1. BÖLÜM

LİTERATÜR ÇALIŞMASI

1.1. Giriş	1
1.2. Yapılan Çalışmalar	2

2. BÖLÜM

HAFİF RAYLI SİSTEMLERDE YOLCU HVAC SİSTEMLERİ

2.1. Hafif Raylı Sistemler.....	5
2.2. Hafif Raylı Sistem Genel Ekipmanları.....	5
2.3. Tramvay Araçlarında HVAC Sistemi.....	6
2.3.1. Kompresörler.....	7
2.3.1.1. Yarı Hermetik ve Hermetik Tip Kompresörler	7
2.3.1.2. Scroll Tip Kompresörler	8
2.3.2. Kondenser	8
2.3.3. Evaporatör	9
2.3.4. Genleşme Valfi.....	10
2.3.5. Isıtıcılar	10
2.4. Hafif Raylı Sistem için Soğutma Çevrimi Hesaplaması	12
2.4.1 Evaporatör Hesabı	13

2.4.2. Klima Sistemi Hesabı.....	14
2.4.3. Hesaplanmış Ana Ekipmanların Gösterimi.....	18

3. BÖLÜM

TRAMVAY KABİNİNİN SONLU ELEMENLAR YÖNTEMİ İLE ANALİZİ

3.1. Tramvay Kabininin Geometrik Özellikleri ve Yerleşimi	20
3.1.1. Tramvay Kabini Geometrik Boyutları.....	21
3.1.2. Tramvay Yolcu Kabini Görünümleri ve Açıklamaları	22
3.1.3. Tramvay Yolcu Kabini Geometrisinin Analiz İçin Düzenlenmesi	24
3.2. Mevcut Tasarım Üzerinde Analiz Çalışması	27
3.2.1. Mevcut Tasarım Üzerinde Mesh Çalışması.....	27
3.2.2 Mevcut Geometrinin Ansys-Fluent Çözümü	30
3.2.2.1. Analizde Kullanılan Formüller ve Çözüm Kabulleri	30
3.2.2.2. k-ε Realizable Türbülans Modeli ve Kullandığı Denklemler.....	31
3.2.2.3. Mevcut Durum Analizinde Kullanılan Sınır Şartları	32
3.2.3 Mevcut Tasarım için Çözüm Sonuçları.....	33
3.2.3.1. Hava Kanalı Hız Sonuçları	34
3.2.3.2. Gövde İçerisindeki Hız ve Sıcaklık Sonuçları	36
3.2.4. Ansys Sonucu Elde Edilen Menfez Çıkış Değerlerinin Yerinde Ölçüm ile Doğrulanması	41
3.3. Yeni Tasarım Üzerinde Analiz Çalışması	51
3.3.1. Mevcut Tasarım ile Yeni Tasarım Arasındaki Geometrik Farklılıklar	51
3.3.2. Yeni Tasarım Çözüm Sonuçları.....	52
3.3.3. Yeni Tasarımda Hava Kanalı Hız Sonuçları	52
3.3.4. Yeni Hava Kanalı Tasarımı Gövde İçerisindeki Hız ve Sıcaklık Sonuçları	55

4. BÖLÜM

BULGULAR

4.1. Yeni ve Mevcut Tasarım Çıktılarının Karşılaştırılması.....	58
4.1.1. Karşılaştırma İçin Kullanılacak İsimlendirme ve Tanımlamalar	58
4.1.2. Kanalda Yapılan Modifikasyonlar	59
4.1.3. Hız Çıktılarının Karşılaştırılması.....	61
4.1.3.1. Kanal İçi Hızların Karşılaştırılması	61

4.1.3.2. Menfez Çıkışı Hızların Karşılaştırılması	63
4.1.3.3. Yolcu Kabini İçerisindeki Hız Karşılaştırmaları	69
4.1.4. Yolcu Kabini İçerisinde Sıcaklık Karşılaştırması.....	70
4.1.5. İki Tasarım İçin Akış Çizgileri İle Gösterim.....	74
4.2.Tartışma ve Sonuç.....	76
KAYNAKÇA	78
EKLER.....	81
ÖZGEÇMİŞ.....	84



KISALTMALAR SİMGELER

<u>Sembol</u>	<u>Anlamı</u>	<u>Birimi</u>
HAD	Hesaplama Akışkanlar Mekaniği	-
HVAC	Havalandırma, Isıtma ve Soğutma Sistemi	-
EN	Avrupa Standartları	-
Q_{evap}	Evaporatör Kapasitesi	(kW)
Q_{Komp}	Kompresör Kapasitesi	(kW)
Q_{Kon}	Kondenser Kapasitesi	(kW)
ATM	Atmosferik Basınç	(atm)
$\dot{m}$	Kütleli Debi	(kg/s)
h_{giren}	Giren Entalpi	(kJ/kg)
$h_{\text{çıkan}}$	Çıkan Entalpi	(kJ/kg)
P	Basınç	(kPa)
s	Entropi	(kJ/kgK)
T	Sıcaklık	(°C)
ANSY	Simülasyon yazılımı	-
CDF	Hesaplama Akışkanlar Dinamiği	-
ρ	Yoğunluk	kg/m ³
μ	Dinamik Viskozite	Ns/m ²
C_p	Özgül Isı	J/kgK
Y_k	Türbülans Kaynaklı Enerji Yitimi	-
S_k	Kullanıcı Tanımlı Kaynak Terimi	-
P_K	Türbülans Kaynaklı Enerji Üretim	-

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 1.	Tramvay Aracı Alt Sistem Ekipmanları.....	6
Tablo 2.	Evaporatör Girişi Hava Psikometrik Diyagram Değerleri	13
Tablo 3.	Evaporatör Çıkışı Hava Psikometrik Diyagram Değerleri	13
Tablo 4.	Mesh Özellikleri	28
Tablo 5.	Analizde Kullanılan Çözüm Ayarları.....	30
Tablo 6.	Sınır şartları	32
Tablo 7.	Pencereler için Kullanılan Malzemenin Optik Özellikleri	32
Tablo 8.	Kapılar için Kullanılan Malzemenin Optik Özellikleri	33
Tablo 9.	Ölçüm Sonuçları.....	44
Tablo 10.	Ölçüm Sonuçları Ortalaması ve Analiz Sonucu Karşılaştırılması	45
Tablo 11.	Ölçüm değerlerinin Analiz Değerleri ile Karşılaştırılması	45

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1. Tramvay Modülleri Genel Gösterimi.....	20
Şekil 3.2. Klima Ünitelerinin Konumlarının Araç Üzerinde Gösterimi.....	21
Şekil 3.3. Tramvay Kabini Geometrik Boyutları	21
Şekil 3.4. Tramvay Yolcu Bölümü 3 Boyutlu Görünüşü (Temizlenmemiş Geometri)22	
Şekil 3.5. Tramvay Yolcu Kabini Yandan Görünüm	23
Şekil 3.6. Tramvay Yolcu Kabini Ön Kesit Görünümü	23
Şekil 3.7. Tramvay Yolcu Kabini 1. Düzey Simetri Uygulaması	24
Şekil 3.8. Tramvay Yolcu Kabini 2. Düzey Simetri Uygulaması	24
Şekil 3.9. Simetrileri Oluşturulmuş Katı Model.....	25
Şekil 3.10. Katı Gövde Üfleme Alanı	26
Şekil 3.11. Katı Gövde Kanal İletim Alanı	26
Şekil 3.12. Nihai Geometri ve İsimlendirmeleri	27
Şekil 3.13. Mesh Yapısı Oluşturulmuş Mevcut Model	28
Şekil 3.14. Contact Bölgeleri.....	28
Şekil 3.15. Azalan Mesh Yapısının Gösterimi	29
Şekil 3.16. Contact Bölümlerinde Mesh Yapısı	29
Şekil 3.17. Sıcaklık Konfor Parametreleri[24]	33
Şekil 3.18. Hız Konfor Parametreleri [24]	34
Şekil 3.19. Hava Kanallarının Numaralandırılması	34
Şekil 3.20. Kanal İçerisindeki Hız Dağılımı-1	35
Şekil 3.21. Kanal İçerisindeki Hız Dağılımı -2	35
Şekil 3.22. Hava menfezlerinden Araç İçine Üflen Hava Vektörleri	36
Şekil 3.23. Gövde 1.Düzlem Hız Gösterimi.....	37
Şekil 3.24. Gövde 1. Düzlem Sıcaklık Gösterimi	37
Şekil 3.25. Gövde 2. Düzlemde Hız Gösterimi	38
Şekil 3.26. 2. Düzlemde Sıcaklık Gösterimi	38
Şekil 3.27. 3. Düzlem Sıcaklık Gösterimi	39
Şekil 3.28. Araç İç Üç Düzlemde Sıcaklık Görünümü	39
Şekil 3.29. Araç İç Üç Düzlemde Hız Görünümü.....	40
Şekil 3.30. Ölçümlerin Yapılışı	41
Şekil 3.31. Ölçüm Noktaları İçin Menfez Görünümü	42

Şekil 3.32. 5 numaralı Menfez Ölçüm Yerleri	42
Şekil 3.33. Menfez 4 ve 3 Ölçüm Noktaları	43
Şekil 3.34. Menfez 2 Ölçüm Noktaları.....	43
Şekil 3.35. Menfez 1 Ölçüm Noktaları.....	44
Şekil 3.36. Menfez 1.1. Ölçüm ve Analiz Sonuçları Grafik Gösterimi.....	46
Şekil 3.37. Menfez 1.2. Ölçüm ve Analiz Sonuçları Grafik Gösterimi.....	46
Şekil 3.38. Menfez 2.1.Ölçüm ve Analiz Sonuçları Grafik Gösterimi.....	47
Şekil 3.39. Menfez 2.2. Ölçüm ve Analiz Sonuçları Grafik Gösterimi.....	47
Şekil 3.40. Menfez 3.1. Ölçüm ve Analiz Sonuçları Grafik Gösterimi.....	48
Şekil 3.41. Menfez 3.2. Ölçüm ve Analiz Sonuçları Grafik Gösterimi.....	48
Şekil 3.42. Menfez 4.1. Ölçüm ve Analiz Sonuçları Grafik Gösterimi.....	49
Şekil 3.43. Menfez 4.2. Ölçüm ve Analiz Sonuçları Grafik Gösterimi.....	49
Şekil 3.44. Menfez 5.1. Ölçüm ve Analiz Sonuçları Grafik Gösterimi.....	50
Şekil 3.45. Menfez 5.2. Ölçüm ve Analiz Sonuçları Grafik Gösterimi.....	50
Şekil 3.46. Yeni Kanal Tasarımı Genel Görünümü	51
Şekil 3.47. Hava Kanalı Numaralandırmaları	52
Şekil 3.48. Hava Kanalı Hız Gösterimi 1	53
Şekil 3.49. Hava Kanalı Hız Gösterimi 2	53
Şekil 3.50. Yeni Hava Kanalı Tasarımı Araç İçi Menfezlerden Üfleme Hızları	54
Şekil 3.51. Yeni Tasarım ile Birlikte Gövde 1.Düzlem Hız Gösterimi.....	55
Şekil 3.52. Yeni Tasarım ile Birlikte Gövde 1.Düzlem Sıcaklık Gösterimi	56
Şekil 3.53. Yeni Tasarım ile Birlikte Gövde 2.Düzlem Hız Gösterimi.....	56
Şekil 3.54. Yeni Tasarım ile Birlikte 2. Düzlemde Sıcaklık Gösterimi	57
Şekil 3.55. Yeni Tasarım ile Birlikte 3.Düzlemde Sıcaklık Gösterimleri	57
Şekil 4.1. Kanal ve Menfez İsimlendirmeleri.....	58
Şekil 4.2. Menfez Üflemlerinin İsimlendirmeleri.....	59
Şekil 4.3. Kanal Tasarımlarının Gösterimleri.....	59
Şekil 4.4. Menfez 4 ve 5 İçin Yapılan Modifikasyonlar	60
Şekil 4.5. Kanal İçi Dağıtım Kanallarının Orantısal Dağıtımı ve Köşe Ayrıntısı	60
Şekil 4.6. Menfez 1,2 ve 3 Numaralar İçin Yapılan Modifikasyonlar	61
Şekil 4.7. Mevcut Hava Kanalı İçerisindeki Hız Gösterimi.....	62
Şekil 4.8. Yeni Tasarım Hava Kanalı İçerisindeki Hız Gösterimi	62
Şekil 4.9. Mevcut Durum Menfez Çıkış Hızlarının	63

Şekil 4.10. Yeni Tasarım Menfez Çıkışı Hızları	64
Şekil 4.11. Menfez 1.1. Hız Grafikleri	64
Şekil 4.12. Menfez 1.2. Hız Grafikleri	65
Şekil 4.13. Menfez 2.1 Hız Grafikleri	65
Şekil 4.14. Menfez 2.2 Hız Grafikleri	66
Şekil 4.15. Menfez 3.1 Hız Grafikleri	66
Şekil 4.16. Menfez 3.2. Hız Grafikleri	67
Şekil 4.17. Menfez 4.1. Hız Grafikleri	67
Şekil 4.18. Menfez 4.2. Hız Grafikleri	68
Şekil 4.19. Menfez 5.1. Hız Grafikleri	68
Şekil 4.20. Menfez 5.2. Hız Grafikleri	69
Şekil 4.21. Mevcut Durum Yolcu Kabini İçerisindeki Hız Karşılaştırmaları	69
Şekil 4.22. Yeni Durum Hız Karşılaştırmaları	70
Şekil 4.23. Mevcut Durum Sıcaklık Karşılaştırmaları	70
Şekil 4.24. Yeni Durum Sıcaklık Karşılaştırmaları	71
Şekil 4.25. EN 1470-2 Körüklü Raylı Sistem Araçları İçin Ölçüm Noktaları	71
Şekil 4.26. Mevcut Tasarım EN 14750-1 Ölçüm Noktalarında Hız Gözlemleri	72
Şekil 4.27. Yeni Tasarım EN-1470 Hız Gösterimi.....	72
Şekil 4.28. Mevcut Tasarım EN 14750-2 Ölçüm Noktalarında Sıcaklık Gözlemleri	73
Şekil 4.29. Yeni Tasarım EN 14750 Sıcaklık Gösterimi.....	73
Şekil 4.30. Mevcut Tasarım Hız Streamline Gösterimi	74
Şekil 4.31. Yeni Tasarım Hız Streamline Gösterimi	74
Şekil 4.32. Mevcut Tasarım Sıcaklık Gösterimi	75
Şekil 4.33. Yeni Tasarım Sıcaklık Gösterimi	75

1. BÖLÜM

LİTERATÜR ÇALIŞMASI

1.1. Giriş

Raylı sistem işletmeleri günümüz toplu taşıma sektörünün yolcu taşıma kapasitesi ve konfor bakımından en önde gelen unsurlarından bir tanesidir. Günümüz ekolojik ve ekonomik denge değişimlerini göz önünde bulundurduğumuz orta ölçekli şehirlerde hafif raylı sistemler kullanılmakta ve kullanılması için teşvik edilmektedir.

Hafif raylı sistemler içerisinde bulunan tramvaylarda yolcu memnuniyetinin artırılması bu sistemlere ilgiyi de beraberinde artırmaktadır. Yolcu memnuniyetinin artırılması için yolcuların tramvay araçlarında hızlı, güvenli ve konforlu bir yolculuk elde etmeleri gerekmektedir.

Tramvaylarda hız trafik kuralları sayesinde düzenlenmektedir. Güvenlik ise üretim sırasında uyulması zorunlu veya hazırlanan şartnameler ile zorunlu hale getirilen birçok norm ve standart ile sağlanmaktadır.

Belirttiğimiz üç maddeden geriye kalan konfor maddesi için de belirlenen standartlar bulunmaktadır. Bu standartlar konforun her zaman limitlerini belirler. Bu nedenden dolayı konfor parametresi artırılabilirdiği düzeyde artırılarak yolcuların toplu taşıma araçlarına yönelmeleri ekonomik ve ekolojik yönden çok önemli bir durum haline gelmektedir.

Hafif raylı sistemlerde yolculuk sırasında konfora direk etki eden alt ekipmanlar sıralandığında;

- Klimalar,
- Yolcu Kapıları,
- Yolcu Bilgilendirme Sistemleri,
- Koltuklar,
- Karoser Ekipmanları (tutamaklar, elçekler vb.)
- İç Aydınlatma Sistemi

Olarak sayabiliriz. Bu liste içerisinde yolcuların konforu için en önemli ekipman klimadır. Klimaların yetersizliği veya çalışmaması durumunda havalandırma sisteminin de klimanın kontrolünde olduğu için araçların servis dışı kalması söz konusu olmaktadır.

Klimaların emre amade çalışmaları ve konfor parametrelerini tam olarak sağlayabilmeleri yolcuların raylı sistemlere yönelimini dolaylı yoldan artıracak için konforlu ve sorunsuz bir şekilde çalışmaları klimalar özelinde en önemli konu haline gelmektedir.

Bu tezimizde yolcu taşımada kullanılan bir tramvayın klima sisteminin, yolcu kabinine konfor etkisinin, hava kanalı tasarımlarının iyileştirilmesi ile nasıl değiştiğini inceleyeceğiz.

1.2. Yapılan Çalışmalar

Sayaral yaptığı çalışmada HVAC modüllerinin raylı sistem araçlarının farklı modülleri üzerindeki insan sayısı, koltuk yerleşimi ve tasarım farklılıklarının etkisini HAD yöntemi kullanarak incelemiştir. Bu çalışmada insan modellemesini araç içerisinde tam olarak gerçekleştirerek değişen insan vücudu ile çevresi arasındaki taşınım ve ışınlama ısı transferi etkileşimlerini incelemiştir. Yaptığı çalışma sonuçlarını EN 14750-1 standardı konfor şartlarına göre değerlendirmiştir. Çalışması sonucunda her bir modülün farklı bir ısı transferi ve hava akış karakteristiğine sahip olduğunu ve bunun her bir modülde bulunan insan modellerinde farklı bir konfor algısı oluşturduğu sonucuna varmıştır.[1]

Şekerci yaptığı çalışmada raylı sistem araçları klima ünitelerinin geçerli standartlara uyumluluğunu kontrol edebilecek donanımına sahip bir test odası oluşturmak ve klimayı

oluşturan alt ünitelerin bu odada test edilebilirliği hakkında bir fikir elde edebilmeyi amaçlamıştır. Çalışmasında raylı sistem araçlarının klima ünitelerinin alt bileşenleri hakkında genel bilgi verilmiş bir test odasının olması gereken şartları için EN 14750-1 ve 2 standartları incelenmiştir. Test odası oluşturulduktan sonra seçilen bir raylı sistem aracının klimasının oluşturulan test odasında simülasyon çalışması gerçekleştirilmiş ve elde edilen değerler EN 1450-1 standardı doğrultusunda karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak karşılaştırılan cihazın tasarım ve konfor parametresi verilerinin doğruluğu sağlanmıştır.[2]

Arslan yaptığı çalışmada TVS pulman yolcu vagonlarında iklimlendirme çalışması yapmıştır. Vagon fiziksel özellikleri ve ısı kayıplarını hesaplayarak, vagon üzerindeki soğutma yükünü buluştur. Soğutma yükünün alternatif enerji kaynaklarından üretilen enerjiler ile karşılanması yönünde ilerlettiği çalışmasında vagon çatılarını güneş panelleri ile kaplayarak soğutma yükünün %41-53 arasında bu panellerden elde edilen enerji ile sağlanabileceğini kanıtlamıştır.[3]

Suarez ve Arkadaşları yaptıkları çalışmalarında, raylı sistem aracı yolcu kabini modelinde oturan ve ayakta yolcular üzerinde ısı konforu simülasyon çalışması yapmışlardır. Çalışmalarında elde ettikleri sonuçları EN 14750-1 standardına göre belirlenmiş oldukları düzlemlerde inceleyerek kabin içi hava akışı hakkında yorumlarda bulunmuşlardır.[4]

Aliahmadipour ve Arkadaşları yaptıkları çalışmalarında, aynı yolcu vagonu kompartımanında oturak düzenini oturan ve yatan yolcu olmak üzere iki farklı senaryo olarak düzenlemişlerdir. Bu iki farklı senaryo için kompartıman içerisine üflenen hava girişi üzerinde yapılan modifikasyonun olumlu etkileri HAD yöntemi kullanılarak incelemişlerdir. [5]

Karthik ve Arkadaşları yaptıkları çalışmalarında, Hindistan'da işletilen bir metro vagonun üç farklı şehirde ve yolcu bakımından boş, dolu ve çok yoğun işletim durumundaki klima konfor performanslarını HAD yöntemini kullanarak incelemişlerdir. Çalışmalarında farklı şehirlerde aynı vagonun her bir yoğunluk parametresine göre farklı konfor değerine ulaştığını gözlemlemişlerdir.[6]

Dullinger ve Arkadaşları yaptıkları çalışmalarında Viyana'da kullanılan bir hafif raylı sistem aracının tüm mevsimsel ve çevresel etkileri göz önünde bulundurarak HVAC

sistemini modelleyerek tüketeceği toplam enerji değerini hesaplamışlardır. Çalışmalarının devamında modelledikleri aracı rüzgâr türbininde test ederek teorik olarak elde ettikleri değeri doğrulamışlardır.[7]

Yukarıda bahsedilen çalışmalar klima tasarım, performans ve enerji harcaması üzerine analiz metoduna dayanarak yapılan çalışmaları içermektedir. Bunun yanı sıra aşağıda bahsedilen çalışma da ise tezimizi ilgilendiren ve konumuz ile örtüşen yolcu otobüsü üzerinde yapılan bir çalışmayı işaretlemektedir.

Mezarcıöz yapmış olduğu çalışmada şehirlerarası bir yolcu otobüsünde HAD yöntemini kullanarak, $k-\varepsilon$ Standard, $k-\varepsilon$ Realizable, $k-\varepsilon$ RNG, $k-\Omega$ Standard ve Spallart-Almaras gibi türbülans modellerinin her biri için mevcut hava kanalı ve yeni tasarladığı hava kanalı için en iyi türbülans modelini seçmiştir. Seçmiş olduğu türbülans modelinde mevcut hava kanalı ve yeni tasarım hava kanalını, çalışmasında hesapladığı otobüsün ısıtma yükü için uygun bir klima seçerek, araç altı sıcaklık dağılımı, klima üfleme menfezi çıkış hızları, yolcu kabini içi sıcaklık dağılımı ve iç gürültü seviyelerini içeren bir karşılaştırma çalışması gerçekleştirmiştir. Çalışması sonucunda yeni tasarım hava kanalının konfor açısından daha verimli olduğunu ortaya koymuştur.[8]

Biz bu çalışmamızda bir hafif raylı sistem tramvay aracının klima ünitesinden elde edilen havanın mevcut kanal tasarımının HAD yöntemi ile analizini gerçekleştirdik. Çalışmamızın ikinci fazında yeni tasarladığımız hava kanalı ile aynı şartlarda gerçekleştirdiğimiz HAD analizi sonucunu ilk analiz sonuçları ile karşılaştırarak elde ettiğimiz iyileştirmeleri yorumladık.

2. BÖLÜM

HAFİF RAYLI SİSTEMLERDE YOLCU HVAC SİSTEMLERİ

2.1. Hafif Raylı Sistemler

Esas olarak klasik tramvayın modernleştirilmiş ve evrimleşmiş halidir. Hafif raylı taşımacılık; tek araba veya kısa dizi halinde işletilebilen yer seviyesinde veya yükseltilmiş yollarda kendine ait özel bir yolu ve çoğunlukla caddeleri kullanan bir kent içi elektrikli ulaşım sistemidir. Gelişen ve hızla genişleyen büyük kentlerin toplu yolcu taşıma ihtiyaçlarını karşılamak için geliştirilen ve günümüz büyük kentlerinde yaşamı ve ulaşımı kolaylaştıran elektrik enerjisiyle çalışan çeken ve çekilen araçlardan oluşan bir sistemdir. Temel özelliği çalıştığı yolun tamamıyla diğer kullanıcılardan ayrılmış olmasıdır.[9]



Resim 1.1. Kayseri Ansaldo-Breda Sirio Tramvayı[10]

2.2. Hafif Raylı Sistem Genel Ekipmanları

Bir tramvay aracında ana alt sistem ekipmanı olarak aşağıdaki sistemler bulunmaktadır. Bu alt sistemler tramvay kullanım şekline göre değişebilmektedir. Bazı tramvaylar dizi halinde kullanılmadıkları zaman otomatik kuplör ekipmanı olmayabilir. Hat üzerinde yağlama sistemleri kurulan sistemlerde ise flanş yağlama ekipmanı olmaz.

Tablo 1. Tramvay Aracı Alt Sistem Ekipmanları[10]

1	Karoser	16	Orta ve Düşük Gerilim Dolabı
2	Otomatik Kuplör	17	İç Haberleşme Sistemi
3	Kapı Sistemi	18	Emniyet Sistemi
4	HVAC (Klima Sistemi)		
5	Motorlu Boji		
6	Treyler Boji		
7	Elektro Hidrolik Fren		
8	Elektro Manyetik Fren		
9	Yüksek Gerilim Ekipmanı		
10	Tahrik Ekipmanı		
11	Tren Kontrol ve İzleme Sistemi		
12	Yardımcı Sistemler		
13	Aydınlatma Sistemi		
14	Kumlama Sistemi		
15	Flanş Yağlama Sistemi		



Resim 1.2. Kayseri Bozankaya Tramvayı[11]

2.3. Tramvay Araçlarında HVAC Sistemi

Raylı sistem araçları kullanım şekillerine göre farklı tip HVAC sistemine sahiptirler. Tramvay araçları özelinde genellikle her araçta iki tip HVAC sistemi bulunur. Bunlar yolcu kabini HVAC sistemi ve sürücü (makinist) kabini HVAC sistemidir. Çift yönlü sürüş kabiliyetine sahip bir tramvayda her bir kabin için iki adet sürücü kabini HVAC sistemi bulunmaktadır. Yolcu bölümleri genellikle 5 farklı modülün ayrım olmadan birleştirilmesi ile oluşur. Bu bölümleri besleyen ve yazılım vasıtasıyla eşzamanlı çalışan iki adet yolcu kabini HVAC ünitesi bulunur. Bu ikiz ünitelerin performansları genellikle tek başına beş modülü de besleyecek kapasitede olmaktadır. Bunun nedeni olarak da

HVAC sistemlerinin tramvaylarda çok önemli bir yeri olduğu ve arızası sırasında aracın seferden çekildiği için gerekli durumlarda birbirilerini yedeklemesi beklentisidir.

Bir tramvay HVAC sisteminin ana bileşenleri kompresör, evaporatör, kondenser, genişleme valfi ve ısıtıcılar. [2]

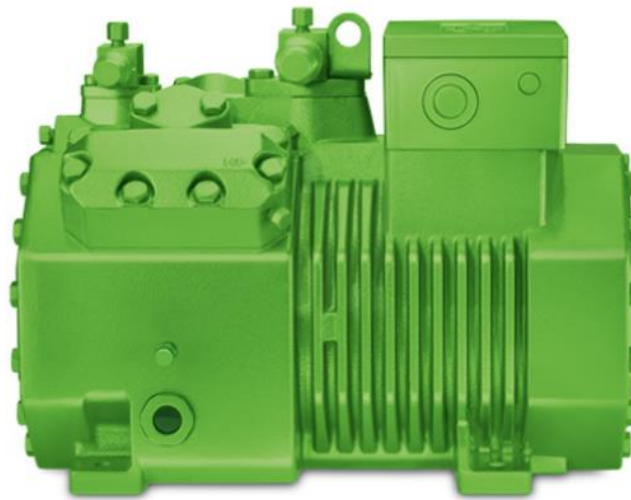
2.3.1. Kompresörler

HVAC sistemlerinin en önemli elemanı olan kompresör, konstrüksiyon detayları kullanılan soğutucunun cinsine göre değişen ve temel gayesi, evaporatör basıncındaki soğutucu akışkanı emerek daha yüksek basınçtaki kondensere göndermek olan bir gaz pompasıdır. [12]

Raylı sistem araçlarında genellikle yarı hermetik, hermetik reciprocating ve scroll tip kompresörler kullanılmaktadır.[2]

2.3.1.1. Yarı Hermetik ve Hermetik Tip Kompresörler

Pistonun bir silindir içerisinde hareketi ile akışkanın sıkıştırılması prensibini benimser. Yarı hermetik tiplerde motor ve piston grubu aynı gövde içerisinde bulunmasına rağmen flanşlı bir bağlantı ile birlikte sökülmesi mümkündür. Hermetik tipte olanlarında ise piston grubu ve motor yekpare gövde içerisinde bulunur ve tamiri mümkün değildir.



Resim 1.3. Yarı Hermetik Kompresör[13]

2.3.1.2. Scroll Tip Kompresörler

İç içe geçmiş spirallerden oluşan kompröser çeşidinde gazı dışarıdan alıp merkeze doğru sıkıştırır. Pratikte, spiral kompresörler genellikle, ikiz vidalı, tek vidalı, dönel ve yuvarlanmalı pistonlu kompresörler gibi “döner (rotary) makina” olarak kabul edilirler.[14]



Resim 1.4. Scroll Tip Kompresör[14]

2.3.2. Kondenser

Soğutma sistemlerinin temel elemanlarından biri olan kondenserler, yüksek basınç ve sıcaklıktaki kızgın buhar haldeki soğutucu akışkanın ısısını dış ortama vermek suretiyle sıvı hale gelmesini sağlayan bir elemandır. Yani buharlaştırıcıdan aldığı ısı ile buharlaşan ve kompresörde sıkıştırma işlemi sonucu sıcaklığı ve kızgınlığı artan soğutucu akışkan burada sıvı hale gelir. Kondenserler sistemin yüksek basınç tarafına monte edilir. Kondenser ortam ile bir ısı alışverişi meydana getirmektedir. Kondenser buhar içindeki ısıyı ilk olarak kondenser tüplerinin cidarlarına ve sonra tüplerden soğuk ortama transfer ederek

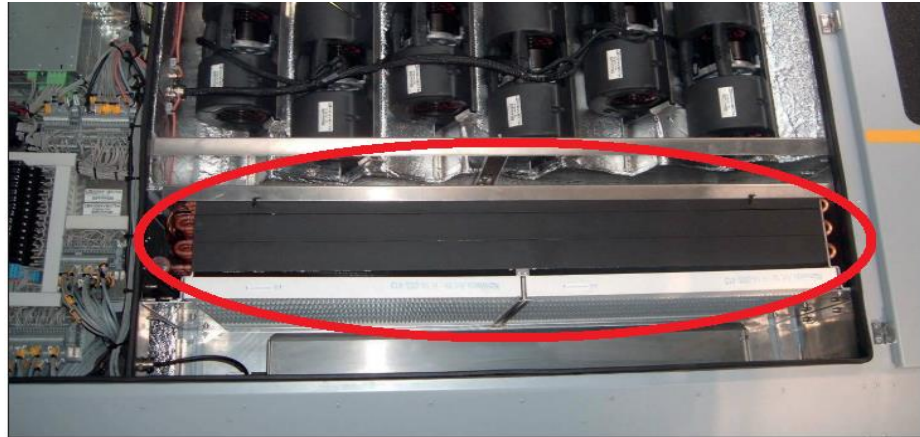
uzaklaştırır. Soğuk ortam hava, su ve bu ikisinin bir kombinasyonu olarak karşımıza çıkabilir.[15]



Resim 1.5. Kondenser Petek[16]

2.3.3.Evaporatör

HVAC sisteminin buharlaştırıcılar olarak da adlandırılan evaporatörler, içerisindeki akışkanın, buharlaşırken bulunduğu ortamdan ısıyı çekmesi esasına dayanan ekipmanlardır. Soğutucu akışkanın belemesine, çalışma şartlarına, soğutulmak istenen sıvı veya havanın sirkülasyon yöntemine, soğutucu akışkanın kontrol tipine ve uygulamaya göre pratikte çok değişik konstrüksiyonlarda ve boyutlarda evaporatör tipi bulunabilir.[15]



Resim 1.6. Evaporatör Petekleri[16]

2.3.4.Genleşme Valfi

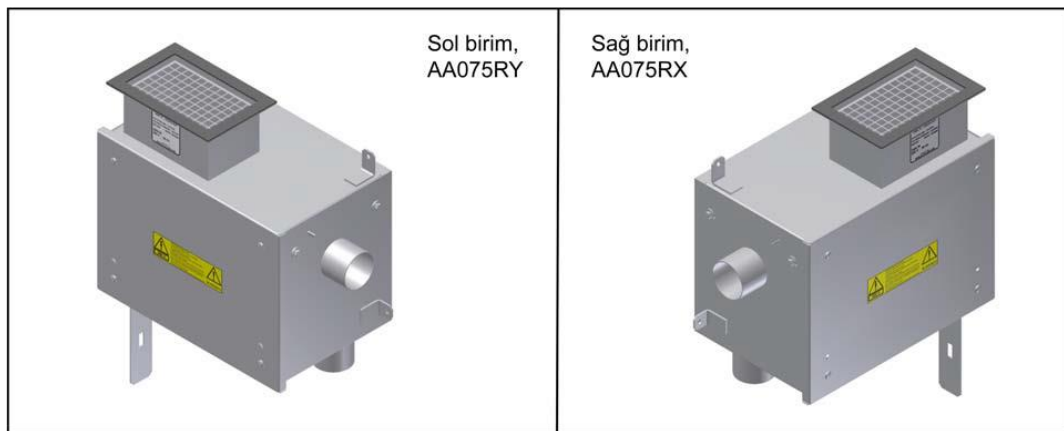
Genleşme valfleri akışkanın basıncını arzu edilen buharlaşma basıncına düşürmeye yarayan elemanlardır. Dizayn ve kullanım şekillerine göre altı tip genleşme valfi vardır.

1. El ayar vanası,
2. Otomatik kısılma vanası,
3. Termostatik kısılma vanası
4. Elektrikli kısılma vanası
5. Kılcal boru,
6. Şamandıralı ayar valfi[15]

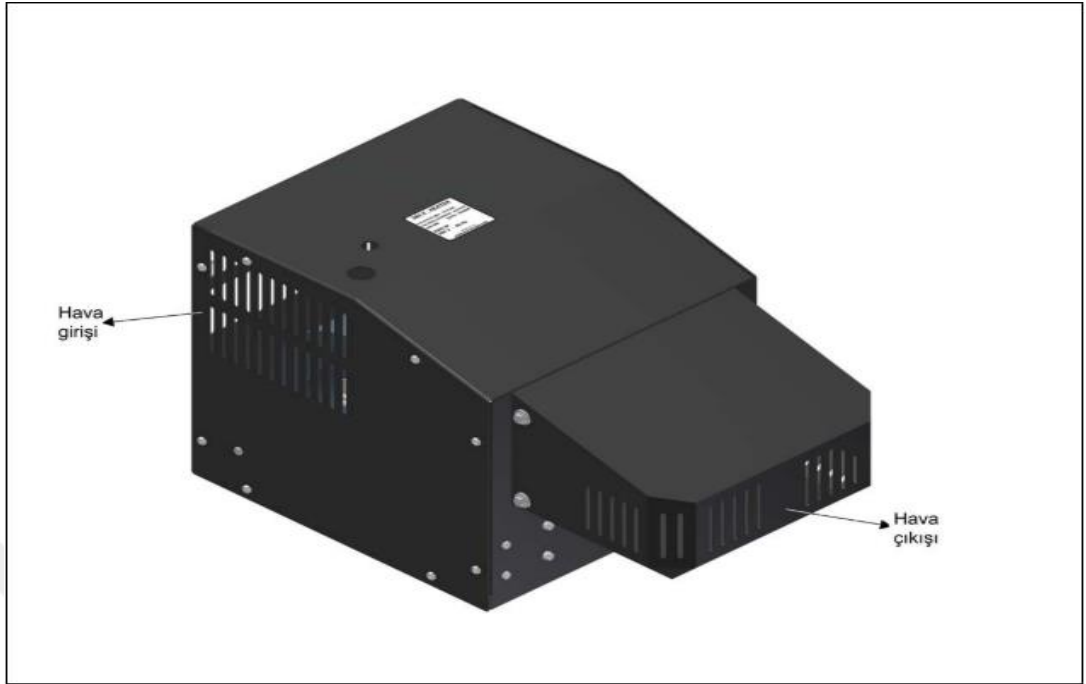
Çalışmamızı gerçekleştirdiğimiz tramvay sisteminde otomatik kısılma vanası kullanılmaktadır.

2.3.5. Isıtıcılar

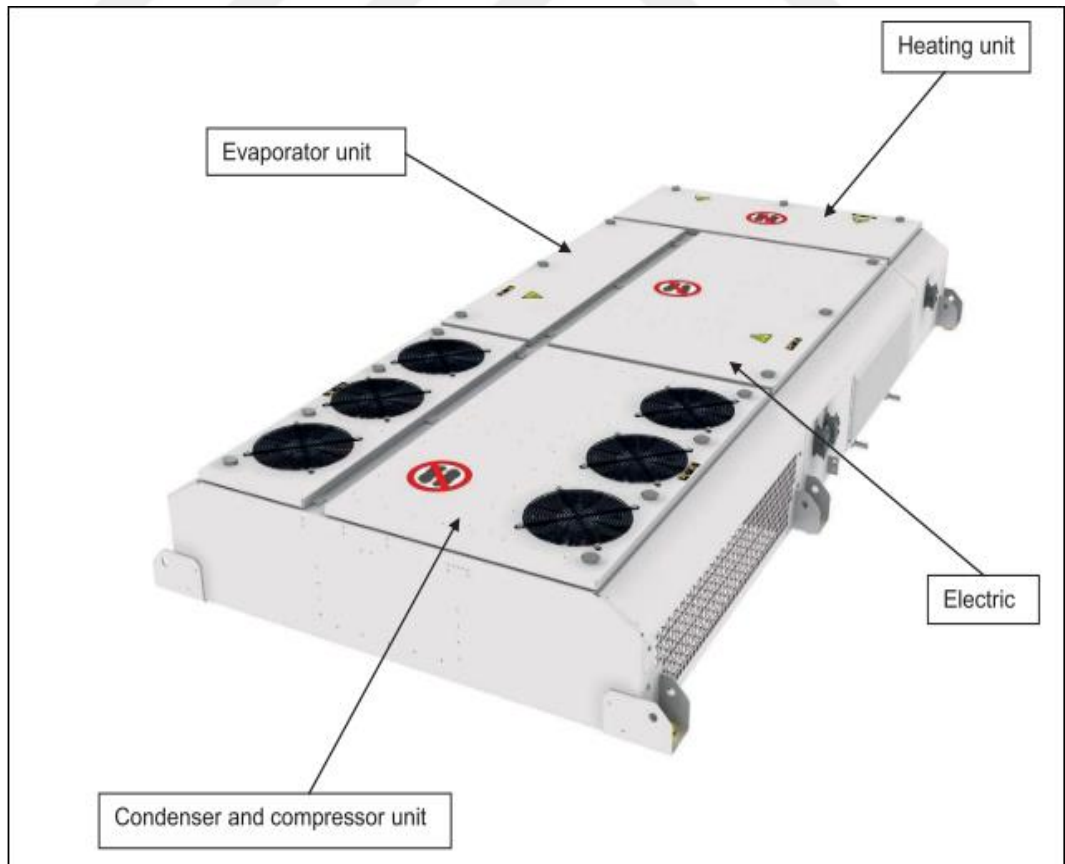
Hafif raylı sistem araçları tasarımları itibari ile HVAC ekipmanlarının çatıda olması sebebi ile genellikle kabin tavan kısımlarından ısıtma, soğutma ve havalandırma işlemlerini gerçekleştirirler. Bu nedenle ısıtma fonksiyonunda aracın iç dengesinin sağlanması için yolcu koltuklarının alt kısmına ısıtıcılar yerleştirilir. Bu ısıtıcıların yegâne görevi araç içi termal dengenin oluşmasını sağlamaktır.



Resim 1.7. Koltuk Altı Isıtıcılar[10]

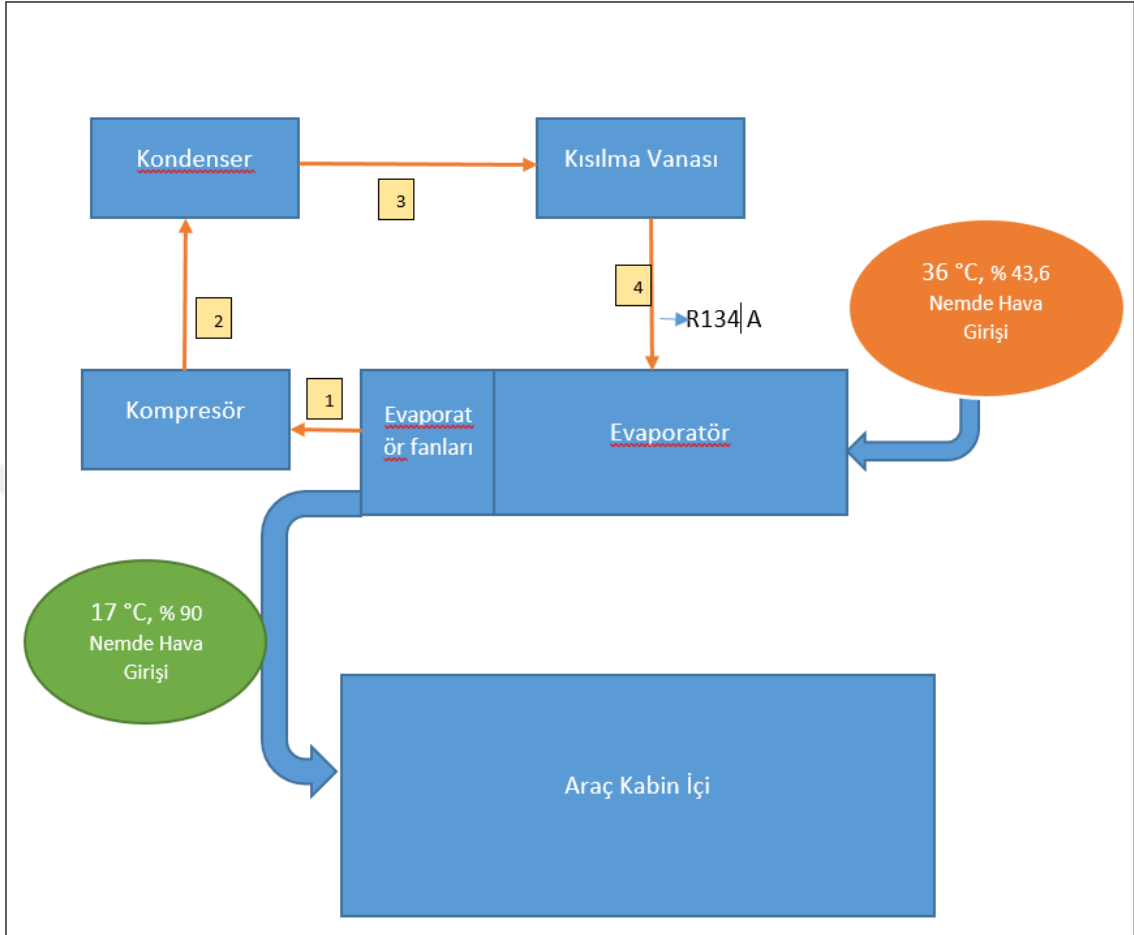


Resim 1.8. Koltuk Altı Isıtıcılar [10]



Resim 1.9. Hafif Raylı Sistemler Yolcu Bölümü Kliması Genel Görünüm[16]

2.4. Hafif Raylı Sistem için Soğutma Çevrimi Hesaplaması



Şekil 2.1. Tramvay Klima Sistemi Çevrimi

Şekil 2.1.'de incelenen klimanın soğutma çevrimi ayrıntılı olarak verilmiştir. Klima tam kapasitede test edileceği için tüm havanın dışarıdan alındığı şartlar altında çalışılacaktır.

Sistem olarak dışarıdan alınan hava evaporatör üzerinden geçirilerek araç içerisine verilmektedir. Evaporatör hesabı için giriş çıkış verilerimiz bulunmaktadır. İlk adımda evaporatör verilerini psikometrik diyagram yardımıyla okunarak Q_{evap} değeri hesaplanacaktır.

İkinci hesaplama bölümünde R 134-A soğutucu akışkanı için 1,2,3 ve 4 durumlarının her biri ayrı ayrı tablolardan bulunarak, sırasıyla Q_{Komp} ve Q_{Kon} hesaplanacaktır.

2.4.1 Evaporatör Hesabı

Bu bölümde hava evaporatöre 36 °C ve %46,3 nem derecesi ile girmekte ve 17°C %90 nem değerinde çıkmaktadır.

Bu iki durum için psikometrik diyagram (Ek-1) vasıtasıyla havanın özellikleri bulunmuştur.

Evaporatör'e giren hava;

Tablo 2. Evaporatör Girişi Hava Psikometrik Diyagram Değerleri [17]

Atm. Hava Basıncı	89330,78 Pa
Kuru Termometre Sıcaklığı	36 °C
Mutlak Nem	18,591 g/kg _{kh}
Bağıl Nem	43,6 %
Yaş Termometre Sıcaklığı	25,217 °C
Çiğ Noktası	21,675 °C
Entalpi	83.957 kJ/ kg _{kh}
Buhar Basıncı	2593 Pa
Doymuş Buhar Basıncı	5947 Pa
Özgül Kütle	0,996 kg/m ³
Özgül Hacim	1,023 m ³ / kg _{kh}

Evaporatörde soğuyan hava için;

Tablo 3. Evaporatör Çıkışı Hava Psikometrik Diyagram Değerleri[17]

Atm. Hava Basıncı	89.330,78 Pa
Kuru Termometre Sıcaklığı	17 °C
Mutlak Nem	12,385 g/kg _{kh}
Bağıl Nem	90 %
Yaş Termometre Sıcaklığı	15,904 °C
Çiğ Noktası	15,349 °C
Entalpi	48.469 kJ/ kg _{kh}
Buhar Basıncı	1744 Pa
Doymuş Buhar Basıncı	1938 Pa
Özgül Kütle	1,065 kg/m ³
Özgül Hacim	0,951 m ³ / kg _{kh}

Tramvay klimasının hava üfleme hızı 4300 m³/s'dir. Bu değer kütleli debiye çevrilmesi için,

Havanın Kütleli Debisi=(Hacimsel Debi/3600) x Havanın Yoğunluğu

İşlemi uygulanırsa;

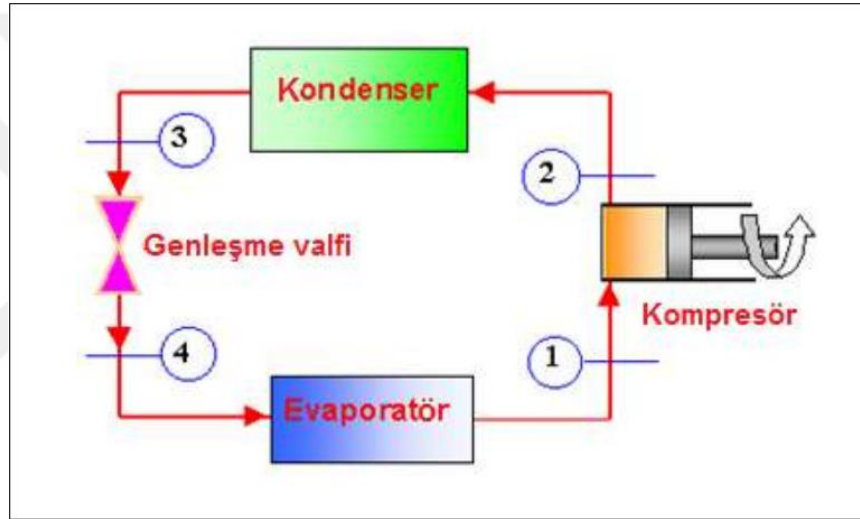
$$\dot{m} = (4300(\text{m}^3/\text{s})/3600) \times 1,225 \text{ kg/m}^3 = 1,463 \text{ kg/s} \text{ 'dir.} \quad [2.1]$$

$$Q_{\text{evap}} = \dot{m} (h_{\text{giren}} - h_{\text{çıkan}}) \quad [2.2]$$

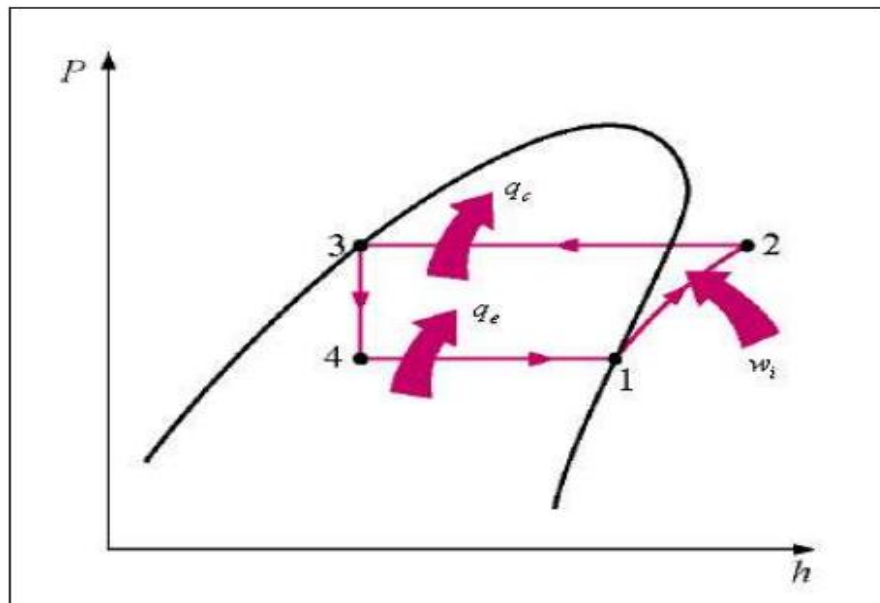
$$Q_{\text{evap}} = 1,463 \text{ kg/s} (83.957 - 48.469) = 51.918,94 \text{ kW}$$

Yaklaşık olarak 52 kW'dır.

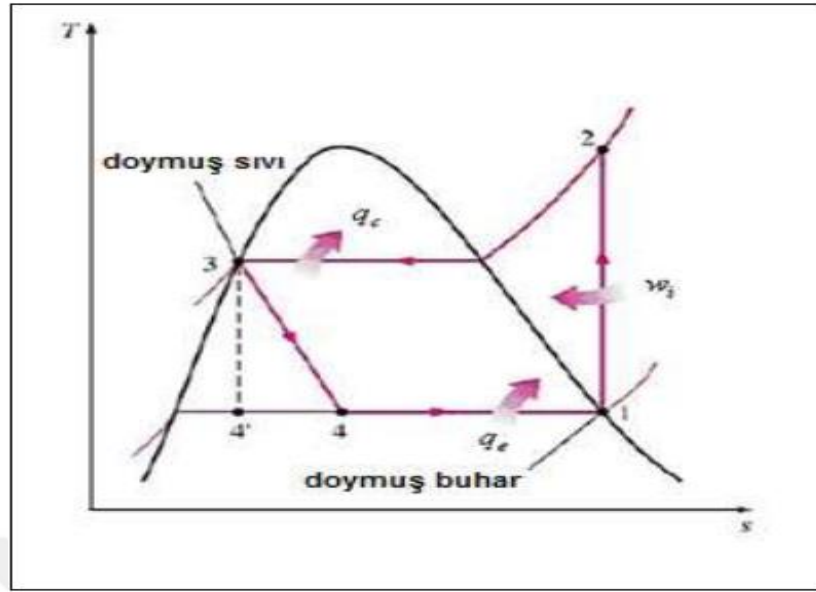
2.4.2. Klima Sistemi Hesabı



Şekil 2.2. Sistem Çevrim Şeması[18]



Şekil 2.3. P-h grafiği[18]



Şekil 2.4. T-s Grafiği[18]

- 1-2: Kompresörde izantropik sıkıştırma,
- 2-3: Yoğunlaştırıcıdan akışkanın ısısının çevreye aktarılması,
- 3-4: Genleşme valfinde kısılmanın meydana gelmesi,
- 4-1: Buharlaştırıcıda sabit basınç altında ısı alınması,
- 1-2: Sıkıştırma işleminden dolayı basınç ve entalpi artışı,
- 2-3: Akışkan ısısını çevre ortama aktardığından basıncı sabit kalıp entalpisi azalmıştır.
- 3-4: Soğuyan akışkanın kısılma vanası ile entalpisi sabit kalıp basıncı düşmüştür.
- 4-1: Soğutulan ortamın ısısını alıp buharlaşan akışkanın basıncı sabit kalıp entalpisi artmıştır.

Evaporatörün 52 kW olduğu verisinden hareketle Şekil 2.1. de belirtilen 1,2,3 ve 4 noktalarında akışkan olan R134 A için değerleri Ek-2 ve Ek-3 ' de belirtilen tablolardan elde edilmiştir.

Buna göre;

1 Noktası için Doymuş Buhar; (Ek-2)

P1:260 kPa

hg:395,7

Ti: -3°C

Sg: 1,72

hs: 195,7

2 Noktası için Kızgın Buhar;(Ek -3)

P2: 2000 kPa

S₂: 1,74245

T₂: 75 °C

h₂: 437 kJ/ kg

3 Noktası için

P3: 2000 kPa

h₃: 299,9 kJ/ kg

Evaporatör özelliği gereği h₃ = h₄ olacaktır.

Tüm noktaların entalpi değerleri bulunmuştur. Buradan sonrasında Qevap yardımıyla klima sistemi içerisinde bulunan toplam akışkanın debisi hesaplanacaktır. Debi'nin hesaplanması ile birlikte kompresör ve kondenser için Q hesaplaması yapılarak işlemler tamamlanacaktır.

Şekil 2.1.'e göre numaralandırmalar yapılırsa;

$$Q_{\text{evap}} = \dot{m} (h_1 - h_4) \quad [2.3]$$

$$52 = \dot{m} (395.7 - 299.9) \text{ ise } \dot{m}: 0,52791 \text{ kg/s}$$

$$W_{\text{komp}} : \dot{m} (h_1 - h_2) \quad [2.4]$$

$$W_{\text{komp}}: 0,52791(437 - 395,7) \text{ ise } W_{\text{komp}}: 21 \text{ kW}$$

Kompresör için kayıp hesabı kullanılacak botu uzunluğuna göre ve ekipmana göre yapılarak eklenebilir.

$$O_{\text{Kon}} = \dot{m} (h_2 - h_3) \quad [2.5]$$

$$O_{\text{Kon}} = 0,5279(437 - 299,9) \text{ ise } O_{\text{Kondenser}} = 72 \text{ kW}$$

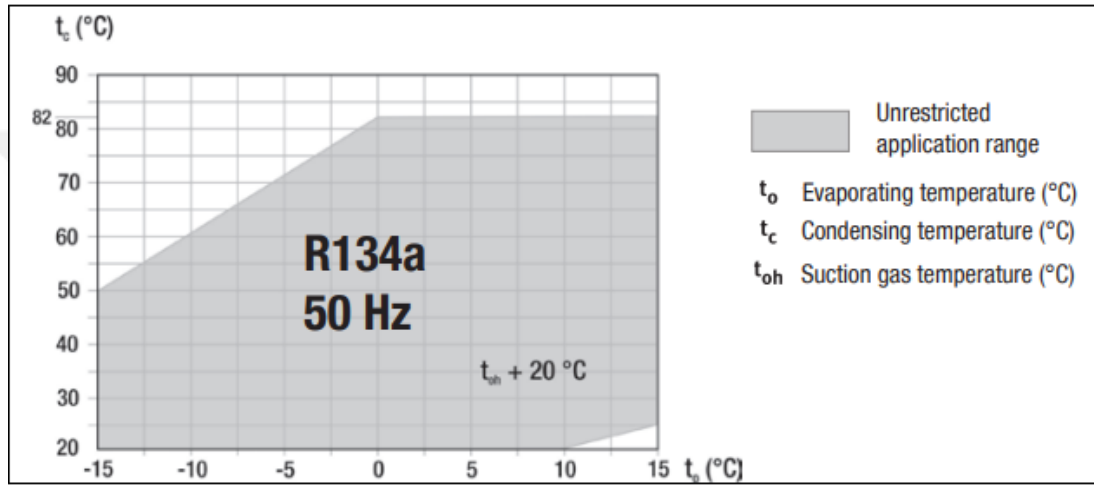
Olarak elde edilir.

Bu durumda tasarım için gerekli olan minimum değerler,

Q_{evap} : 52 kW

W_{komp} : 21 kW

O_{Kon} : 72 kW'tır.

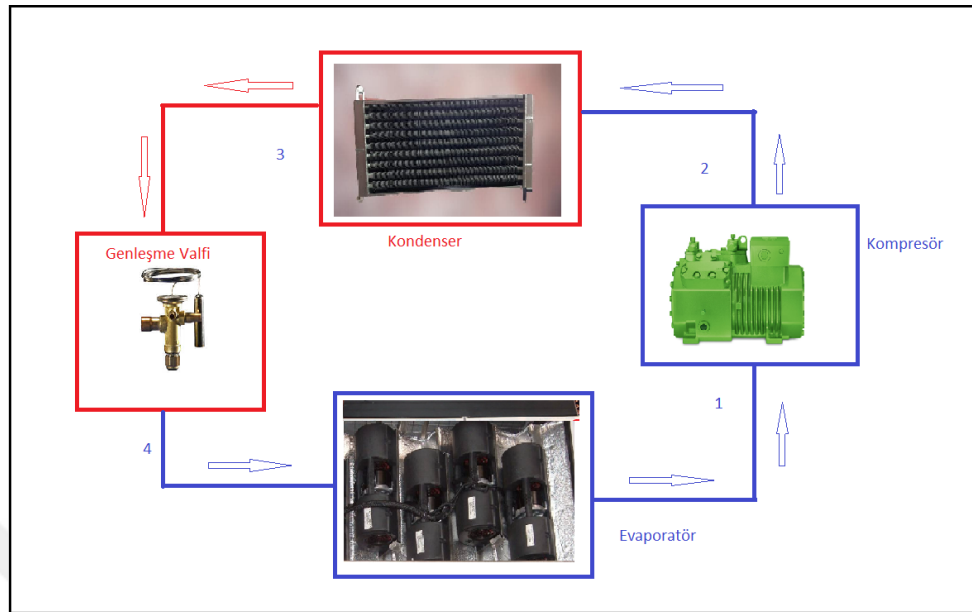


Şekil 2.5. Kompresör Kapasite Grafiği[19]

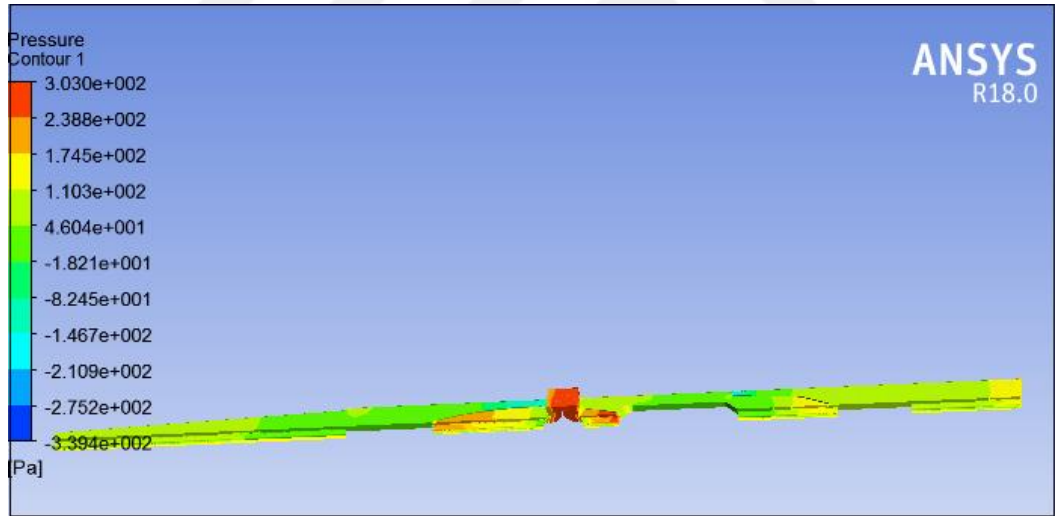
t_c [°C]		t_o [°C]										
		15.0	10.0	5.0	0.0	-5.0	-10.0	-15.0				
30.0	Q [W]	54300	45300	37400	30500	24500	19400	15000				
	P [kW]	13.20	12.00	10.80	9.81	8.83	7.87	6.91				
	I [A]	24.00	22.40	21.00	19.80	18.80	17.80	16.90				
35.0	Q [W]	51300	42800	35300	28700	23000	18100	13800				
	P [kW]	13.70	12.40	11.20	10.10	9.14	8.10	7.03				
	I [A]	24.60	22.90	21.50	20.20	19.10	18.10	17.10				
40.0	Q [W]	48200	40200	33100	26900	21400	16700	12600				
	P [kW]	14.10	12.80	11.60	10.50	9.41	8.27	7.08				
	I [A]	25.20	23.50	22.00	20.70	19.40	18.20	17.10				
45.0	Q [W]	45100	37600	30900	25000	19800	15300	11300				
	P [kW]	14.60	13.30	12.00	10.80	9.64	8.38	7.05				
	I [A]	25.90	24.10	22.50	21.00	19.70	18.30	17.10				
50.0	Q [W]	42000	34900	28600	23100	18200	13900	9980				
	P [kW]	15.10	13.70	12.40	11.10	9.81	8.41	6.93				
	I [A]	26.60	24.70	23.00	21.40	19.80	18.40	17.00				
55.0	Q [W]	38800	32200	26300	21100	16500	12400					
	P [kW]	15.60	14.20	12.80	11.30	9.90	8.35					
	I [A]	27.30	25.30	23.40	21.60	19.90	18.30					
60.0	Q [W]	35700	29500	24000	19100	14800	10800					
	P [kW]	16.10	14.60	13.00	11.50	9.90	8.19					
	I [A]	27.90	25.80	23.80	21.80	19.90	18.10					
65.0	Q [W]	32500	26800	21700	17100	13000						
	P [kW]	16.50	14.90	13.30	11.50	9.81						
	I [A]	28.60	26.30	24.10	21.90	19.80						
70.0	Q [W]	29200	24000	19300	15100	11200						
	P [kW]	16.90	15.20	13.40	11.50	9.59						
	I [A]	29.10	26.70	24.20	21.90	19.60						

Şekil 2.6. Kompresör Güç Değerleri[19]

2.4.3. Hesaplanmış Ana Ekipmanların Gösterimi



Şekil 2.7. HVAC Çevrimi



Şekil 2.8. Kanal içi Basınç Düşümü

Kompresör;

Kompresör için hesaplanan değer 21 kW'tır.

Kompresör Girişinde

- 260 kPa basıncında,
- -3°C sıcaklığında,
- 0,52791 kg/h debisinde R 134-a akışkanı bulunur.

Kompresör Çıkışında;

- 2000 kPa basıncında

- 75°C sıcaklığında, R 134-a akışkanı bulunur.

Kondenser;

Kondenser için hesaplanan değer 72 kW'tır.

Kondenser Girişinde;

- 2000 kPa basıncında
- 75°C sıcaklığında, R 134-a akışkanı bulunur

Kondenser Çıkışında;

- 2000 kPa basıncında;
- 68°C sıcaklığında, R 134-a akışkanı bulunur.

Genleşme valfi;

Girişinde;

- 2000 kPa basıncında;
- 68°C sıcaklığında, R 134-a akışkanı bulunur.

Çıkışında;

- 260 kPa basıncında;
- -3°C sıcaklığında, R 134-a akışkanı bulunur

Evaporatör;

Evaporatör için hesaplanan değer 52 kW'tır.

Girişinde;

- 260 kPa basıncında;
- -3°C sıcaklığında, R 134-a akışkanı bulunur

Çıkışında;

- 260 kPa basıncında,
- -3°C sıcaklığında, R 134-a akışkanı bulunur.

Girişinde hava;

- 36 C sıcaklığında
- 1,453 kg/s debisinde

Çıkışında

- 17 C sıcaklığında

Evaporatör fanı 1,453 kg/h debisinde 321 Pa basınç kaybı özelliklerinde olacaktır.

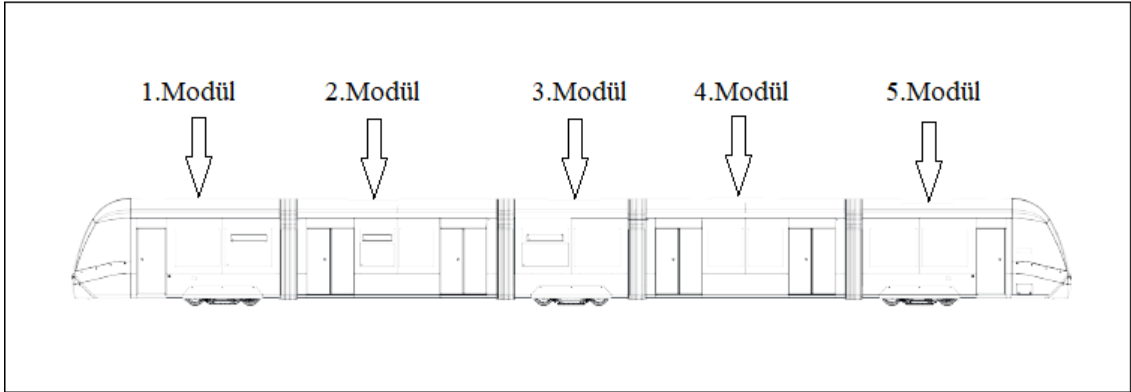
Evaporatörde 9 adet fan kullanılmakta olup her 0,1614 Kg/h debi 321 Pa basınç kaybı özelliklerinde fanlar kullanılmıştır.

3. BÖLÜM

TRAMVAY KABİNİNİN SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE ANALİZİ

3.1. Tramvay Kabininin Geometrik Özellikleri ve Yerleşimi

Tezimiz incelenmesine alınan tramvay aracı birbiri ile körük bölgeleri vasıtası ile bağlanmış toplamda 5 modülden oluşmaktadır. Tramvay aracının üst kısmında bir biri ile aynı özelliklere sahip 2 adet klima sistemi bulunmaktadır ve klimalar tramvayı oluşturan 5 modülü karoser aksamı üzerinde yer alan hava kanalı vasıtasıyla yolcu bölümünü beslemektedir. Tramvay aracının ısıtma, havalandırma ve soğutma işlevleri üzerinde bulunan 2 adet klimanın kanallar vasıtasıyla kapalı hacmi beslemesi ile gerçekleşmektedir.



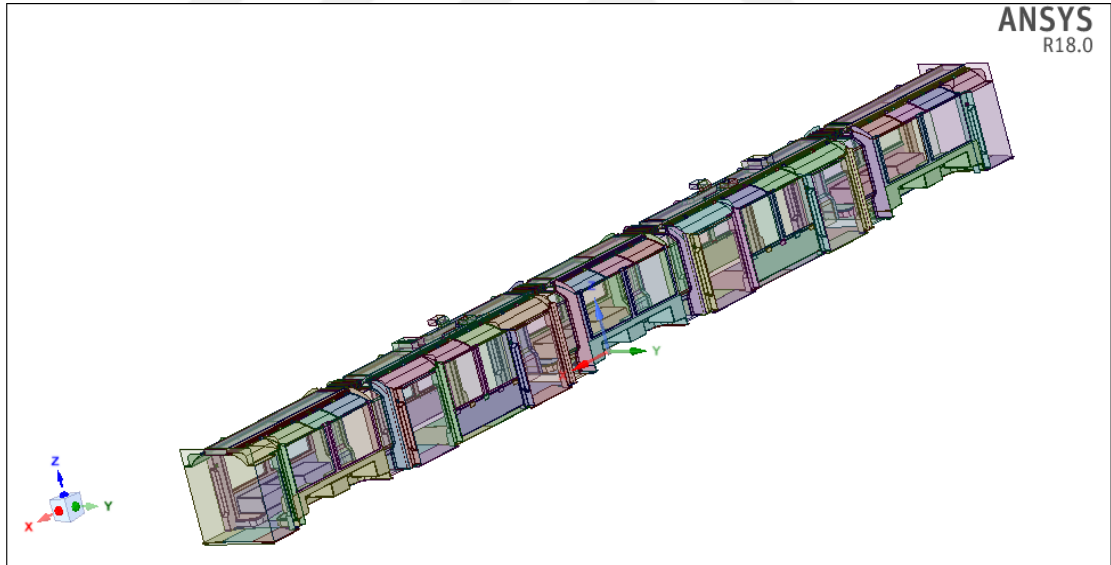
Şekil 3.1. Tramvay Modülleri Genel Gösterimi

3.1.2. Tramvay Yolcu Kabini Görünümleri ve Açıklamaları

Tramvay yolcu kabini ayrıntılı çizimleri üzerinde bir takım düzenlemeler yapılmıştır. İlk olarak mevcut hal dosyası alınarak üzerinde analiz için uygun olmayan ayrıntılar ayıklanarak çizim dosyası analize uygun hale getirilmiştir.

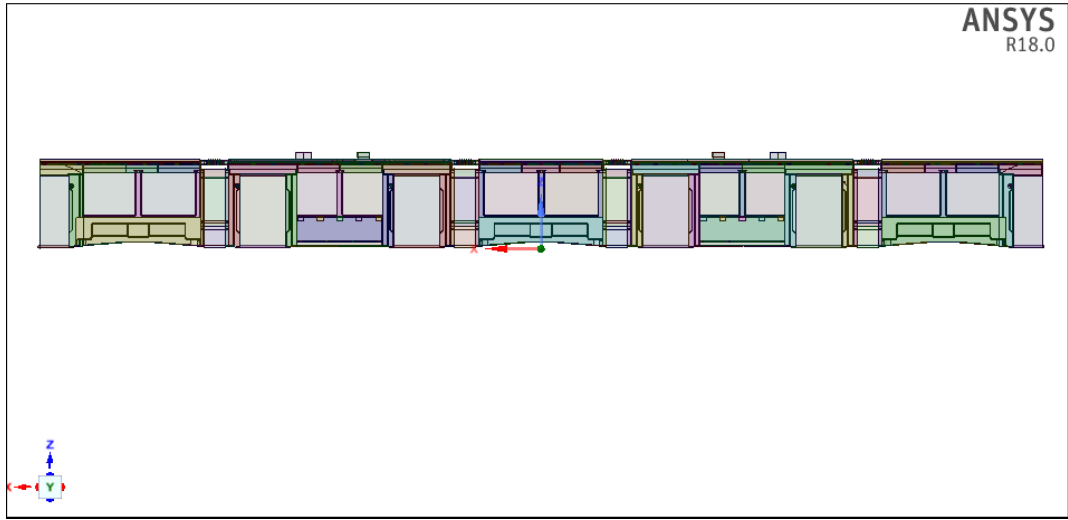
Analize uygun hale getirilen çizim üzerinde;

- İlk olarak analizimiz için önem arz etmeyen ama analiz edilmesi çok zor olan ayrıntı çizimler silinmiştir.
- Körük geçişlerindeki ayrıntılar temizlenerek geçiş alanı dikkate alınarak yeniden çizilmiştir.
- Çalışacağımız model içerisinde analiz için bize gerekli olan alan daha çok akışkan hacmi olduğu için akışkan hacmi katı cisim alanı olarak yeniden tasarımılanmıştır.

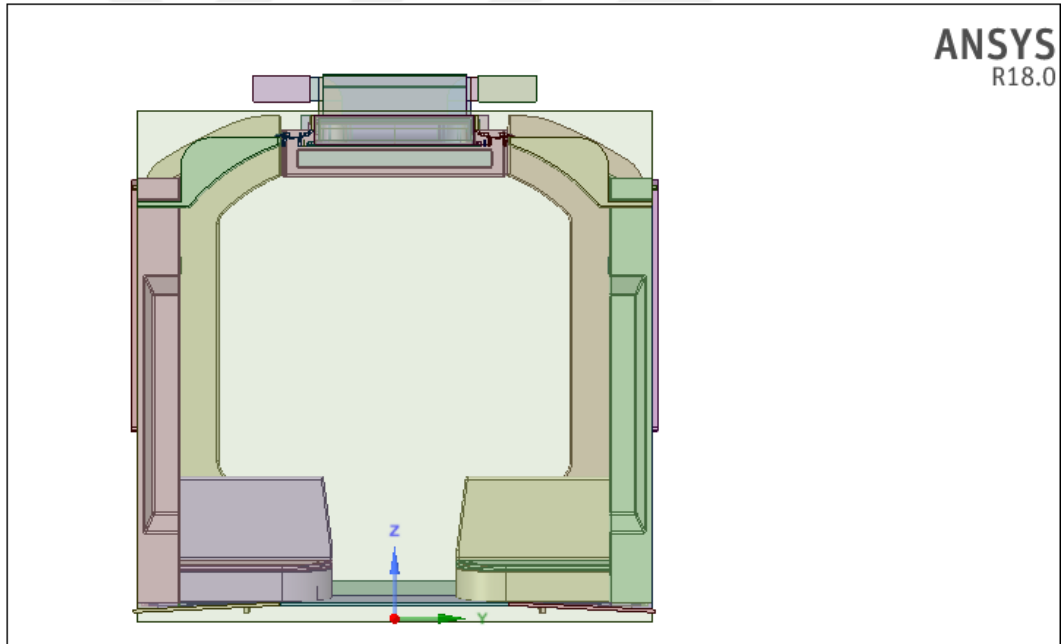


Şekil 3. 4. Tramvay Yolcu Bölümü 3 Boyutlu Görünüşü (Temizlenmemiş Geometri)

Şekil 3.4.'de belirtilen geometri tramvay yolcu kabinlerinin genel görüntüsüdür. Burada gözüktüğü üzere tramvay tasarımıımızda ileride değineceğimiz tramvay dış şasesi, tramvay camları, tramvay kapıları gözükmektedir. Ayrıca tramvay şasisinin üst kısmında tramvay yolcu kabinlerini klimalardan aldığı hava akışı ile besleyen kanal bölümü gözlenmektedir. Tramvay yolcu kabinleri analiz çalışmalarında kullanılmak üzerine gerekli olan detaylar ve ekipmanlar tamamen bu temel çiziminde yer almaktadır.



Şekil 3.5. Tramvay Yolcu Kabini Yandan Görünüm

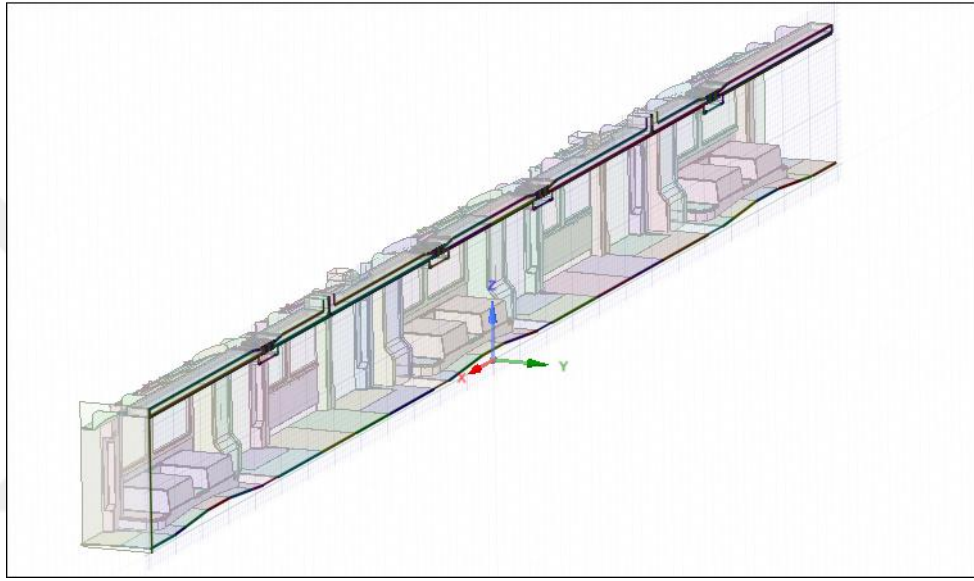


Şekil 3.6. Tramvay Yolcu Kabini Ön Kesit Görünümü

Şekil 3.5. ve 3.6.'da görüldüğü gibi tramvay yolcu kabinlerinin üst bölümünde bulunan klima üfleme kanalları ile ilişkileri görülmektedir. Tramvay klima kanalları şase 'den harici olarak bulunmakta ve montaj ile birlikte klimadan elde ettiği soğutulmuş veya ısıtılmış akışkanı iç hacme üfleyecek şekilde yerleştirilmiştir. Bu çizimler ANSYS/CFD çözümlemeleri için düzenlenmeli ve akış alanları oluşturulmalıdır.

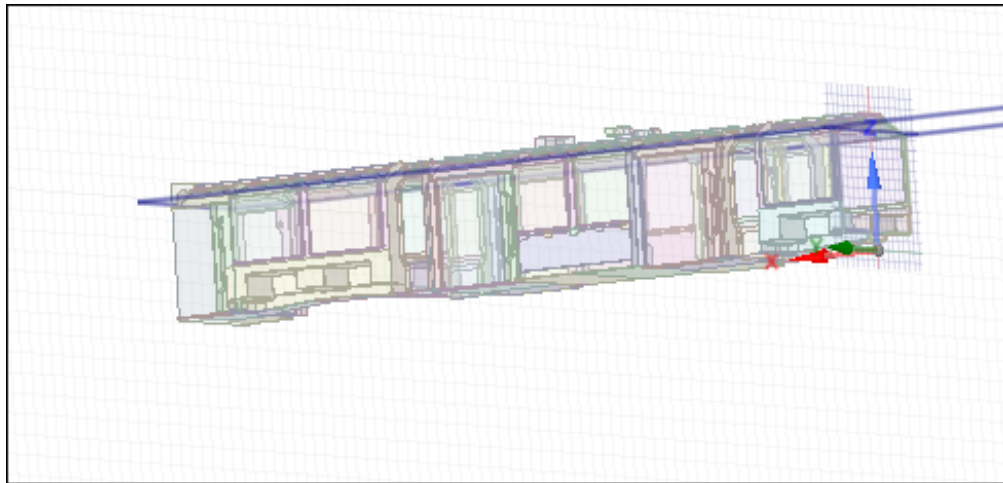
3.1.3. Tramvay Yolcu Kabini Geometrisinin Analiz İçin Düzenlenmesi

Tramvay yolcu kabinleri için ilk önce şekil 3.4.'de belirtilen kabuk çiziminden akış alanlarının hacmini ihtiva eden katı model çizim yapılmıştır. Katı model olarak çıkarılan çizim ileri analiz bölümlerinde Ansys içerisinde 'fluid' yani akışkan olarak tanımlanmıştır. Tramvay dış kabuğu içinde Shell özelliği kullanılarak camlar, şase, kapılar gibi ayrıntılar için tek tek tanımlamalar yapılmış.



Şekil 3.7. Tramvay Yolcu Kabini 1. Düzey Simetri Uygulaması

1.düzey simetri uygulamasında tramvay yolcu kabini y koordinatı düzleminde yarı boyutundan kesilmiştir.

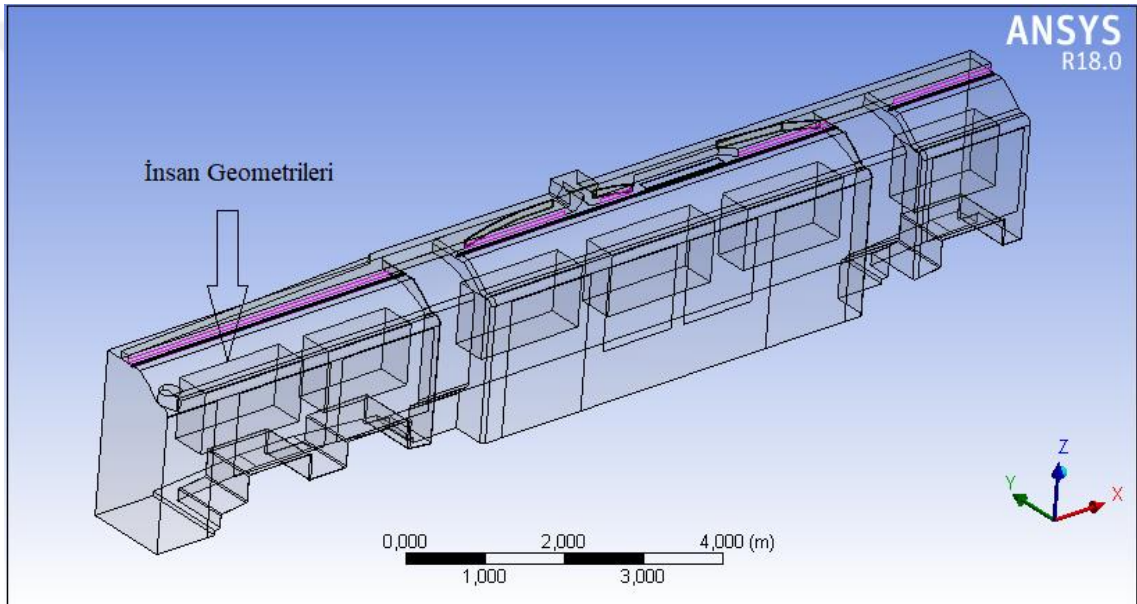


Şekil 3. 8. Tramvay Yolcu Kabini 2. Düzey Simetri Uygulaması

2.düzy simetri uygulamasında tramvay yolcu kabini x koordinatı düzleminde yarı boyutundan kesilmiştir.

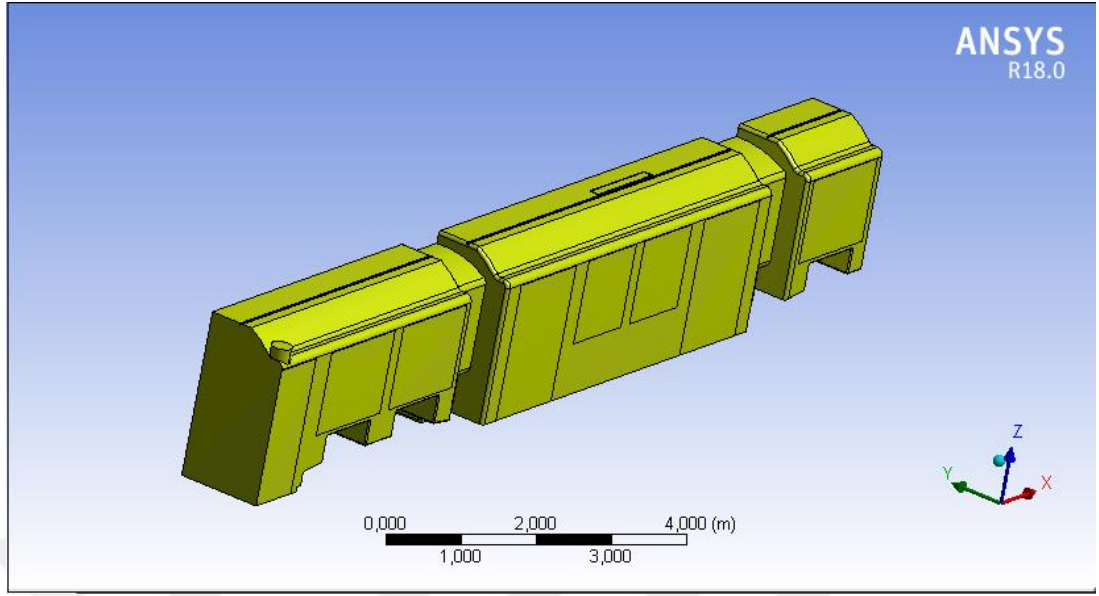
Simetri Uygulaması ile birlikte;

- Çözüm süresi daha kısa ve kabul edilebilir bir düzeye çekilmiştir.
- Çözüm için bilgisayar kapasitesi daha verimli kullanılmış ve mümkün olduğunca daha fazla mesh elemanı kullanılmış ve çözüm doğruluğu artırılmıştır.

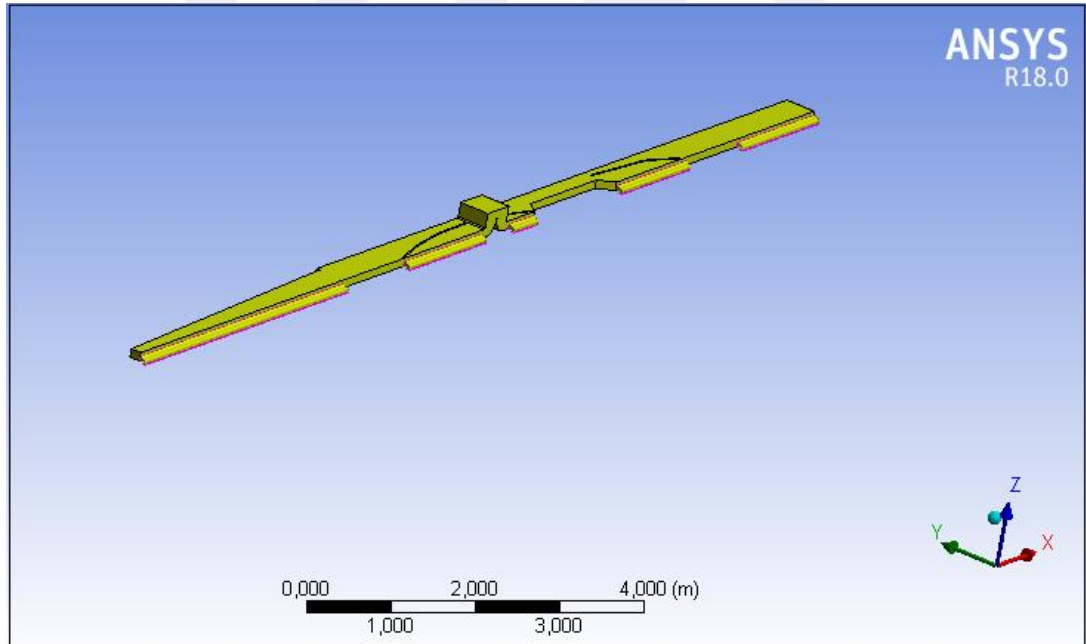


Şekil 3. 9. Simetrileri Oluşturulmuş Katı Model

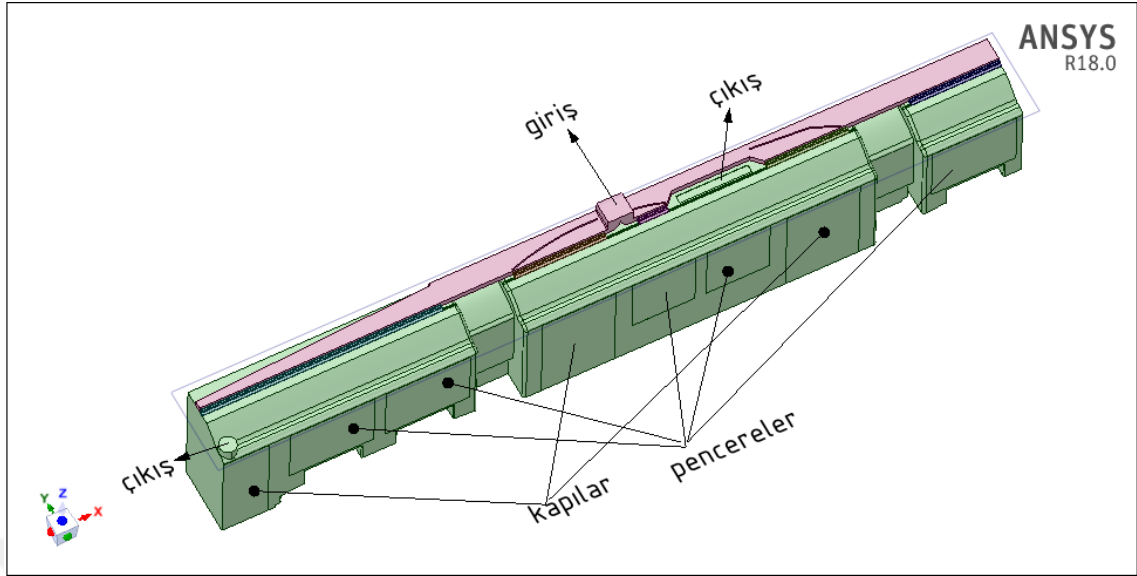
Şekil 3.9.'da geometri analiz için fazlalıklarından arındırılmış ve iç kısmına yolcu yoğunluğunu ifade eden İnsan geometrileri temsili olarak işlenmiştir. Analiz çözümlerinde yüzey alanlarına ısı akısı verilerek insan vücudu tarafından üretilen ve iç dengede hesaplamalara işlenmesi gereken Q_{insan} ısısı bu sayede sağlanmıştır.



Şekil 3.10. Katı Gövde Üfleme Alanı



Şekil 3. 11. Katı Gövde Kanal İletim Alanı



Şekil 3.12. Nihai Geometri ve İsimlendirmeleri

Nihai Geometride model tamamen katı olarak tanımlanmış isimlendirmeleri yapılmış mesh ve çözüm işlemi için hazır hale getirilmiştir.

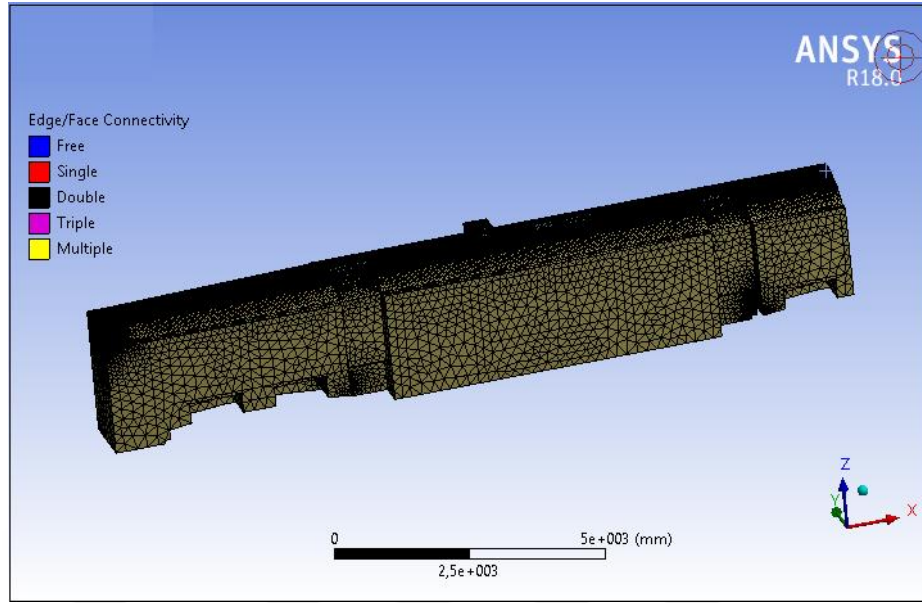
Toplamda 47,67 m³'lük bir hacimde işlemler yapılmıştır.

3.2. Mevcut Tasarım Üzerinde Analiz Çalışması

3.2.1. Mevcut Tasarım Üzerinde Mesh Çalışması

3.1. bölümde aktarılan geometri çalışmalarının ardından geometrisi temizlenmiş, isimlendirilmiş, katı cisim olarak akış alanı oluşturulmuş geometri de mesh çalışmaları tamamlanmıştır.

Mesh çalışmalarında mesh hacminin çok büyük olması ve 14,25 m uzunluğunda bir kenardan 10mm'lik bir geçiş bölgesine daralması ve akışın bu 10mm'lik alandaki geçişi çalışma için çok önemli olduğundan dolayı çok sayıda mesh elemanı ve uygun mesh büyüme oranları ile birlikte mesh dengeli bir şekilde oluşturulmuştur.

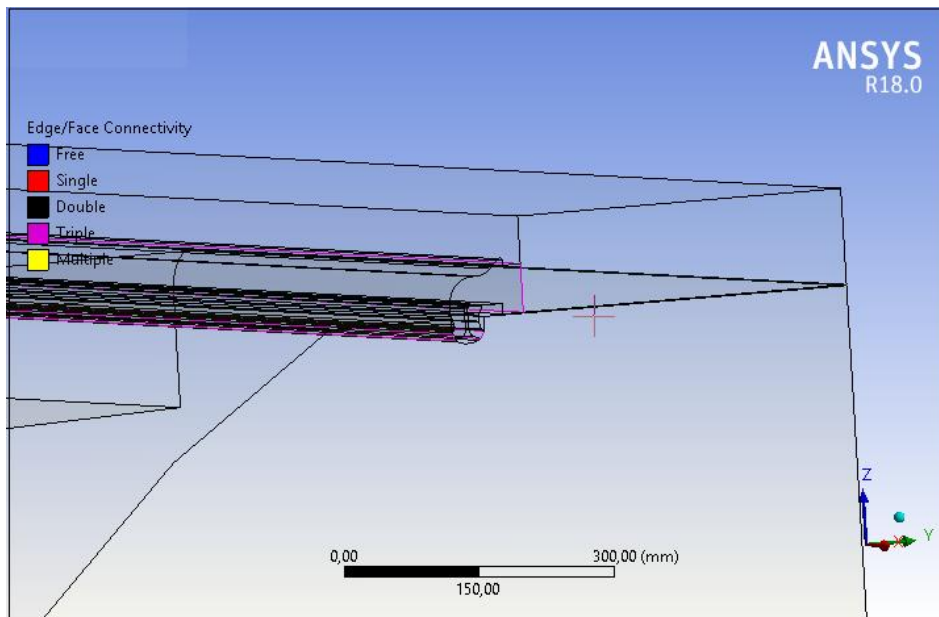


Şekil 3.13. Mesh Yapısı Oluşturulmuş Mevcut Model

Şekil 3.13’de geometrimizin mesh haritası bulunmaktadır.

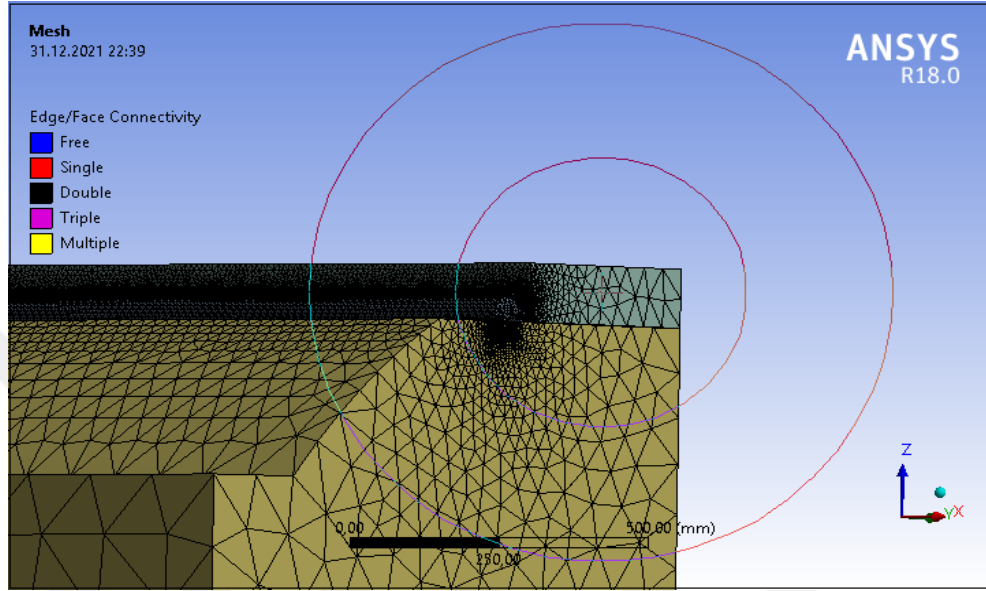
Tablo 4. Mesh Özellikleri

Mesh Node Sayısı	4.001.903
Mesh Eleman Sayısı	12.907.401
Max. Skewness Değeri	0,9487
Contact Modeli	Share Topology
Mesh Metodları	Patch Conforming Method



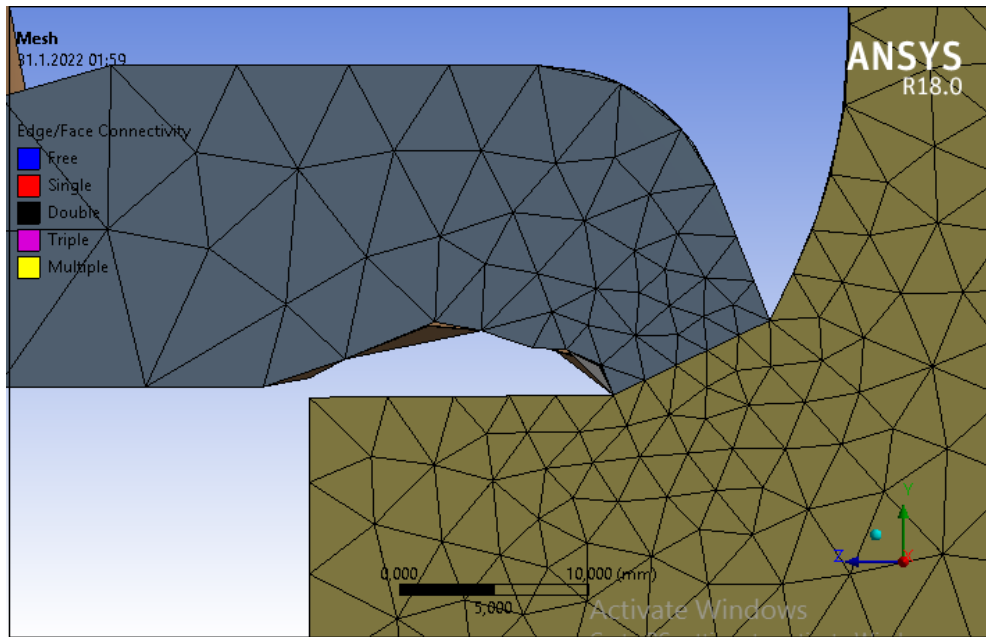
Şekil 3.14. Contact Bölgeleri

Geometri bölümlerinde birleşim bölümlerinde ‘Share Topology’ özelliği kullanılmıştır. Bu sayede havanın akış analizinin daha doğru olabilmesi için geçiş bölümlerinde mesh bütünlüğü sağlanmış ve bu bölgelerde mesh geçişleri tek ve devam eden şekilde ayarlanmıştır.



Şekil 3.15. Azalan Mesh Yapısının Gösterimi

Şekil 3.15.’de gözüktüğü üzere contact bölgelerine doğru azalan ve 1mm aralığına kadar düşen bir mesh yapısı oluşturulmuştur.



Şekil 3.16. Contact Bölümlerinde Mesh Yapısı

Mesh bölümü kalitesi çalıştığımız gibi büyük ve girintili zor geometrilerde hedef Skewness Değerinin 0,95 'in altına indirmek olarak belirledik. Mesh kalitemizde 0,94 değerini sağladıktan ve 0,9-0,94 çözüme etki etmeyen noktalarda arasında sadece 5 adet element olduğunu gözlemlediğimizde çözüm aşamasına geçtik.

3.2.2 Mevcut Geometrinin Ansys-Fluent Çözümü

HAD analizlerinde mesh yapısının (sayısal ağ) sağlam ve kabul edilebilir kriterler içerisinde oluşturulmasının ardından en önemli konu geometri ve akışan özelliklerine uygun sınır şartlarının tanımlanması ve doğru çözücü ayarlarının seçilmesidir.

Sınır şartları ve çözücü ayarları ile birlikte seçilmesi gereken bir diğer husus akışa uygun türbülans özelliklerinin seçilmesi çözüm hassasiyeti açısından oldukça önem arz etmektedir.

Çözüm modelinde cam ve kapı bölgelerinde saydam yapıda geçirgenlik sağlanmıştır. Ayrıca bu bölgelere güneş ışığından oluşan radyasyon ısı yükü uygun aralıkta seçilerek güneş ışığı gören bölgeler üzerinde hesaplamalara dâhil edilmiştir.

3.2.2.1. Analizde Kullanılan Formüller ve Çözüm Kabulleri

Tablo 5. Analizde Kullanılan Çözüm Ayarları

Çözücü Program	Fluent 18.0
Simülasyon Koşulu	Kararlı Durum (Steady-State)
Duvar Türbülans Etkileşimi	Enhanced Wall Function
Viskoz Model	k-ε realizable türbülans modeli
Hız-Basınç Etkileşimi	COUPLED Algoritması
Ayrıklaştırma Yöntemi	Second Order
Yakınsama Parametresi	Residuals < 10 ⁻⁶

Kütle, momentum ve enerji korunum denklemlerinin sade halleri sırasıyla,

Kütle Korunum Denklemleri;

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} = 0 \quad [3.1]$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad [20] \quad [3.2]$$

Momentum Denklemleri;

$$\rho \frac{Du}{Dt} = \frac{\partial(-p+\tau_{xx})}{\partial x} + \frac{\partial\tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial\tau_{zx}}{\partial z} + S_{Mx} \quad \text{X koordinatı için} \quad [3.3]$$

$$\rho \frac{Dv}{Dt} = \frac{\partial\tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial(-p+\tau_{yy})}{\partial y} + \frac{\partial\tau_{zy}}{\partial z} + S_{My} \quad \text{Y koordinatı için} \quad [3.4]$$

$$\rho \frac{Dw}{Dt} = \frac{\partial\tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial\tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial(-p+\tau_{zz})}{\partial z} + S_{Mz} \quad [20] \quad \text{Z koordinatı için} \quad [3.5]$$

Enerji Denklemleri;

$$\begin{aligned} \frac{\partial(\rho h_0)}{\partial t} + \text{div}(\rho h_0 u) = \text{div}(k \text{ grad } T) + \frac{\partial\rho}{\partial t} + \left[\frac{\partial(u\tau_{xx})}{\partial x} + \frac{\partial(u\tau_{yx})}{\partial y} + \frac{\partial(u\tau_{zx})}{\partial z} + \frac{\partial(v\tau_{xy})}{\partial x} + \right. \\ \left. \frac{\partial(v\tau_{yy})}{\partial y} + \frac{\partial(v\tau_{zy})}{\partial z} + \frac{\partial(w\tau_{xz})}{\partial x} + \frac{\partial(w\tau_{yz})}{\partial y} + \frac{\partial(w\tau_{zz})}{\partial z} \right] + S_h \quad [20] \end{aligned} \quad [3.6]$$

Şeklinde yazılabilirler.

Standart k-ε türbülans modeli endüstriyel hesaplamalarda ve birçok CFD kodunda sıkça kullanılan yarı ampirik iki denklemlilik bir türbülans modelidir.[21]

k-ε Realizable Türbülans Modeli ise standart k-ε türbülans Model'inin geliştirilmiş ve düz dikdörtgen geometrilerden eğimli dar geometrilere geçişlerde daha verimli olduğu sonuçları alınmıştır.[22]

Bu gözlemler sonucunda analizimizde k-ε Realizable Türbülans Modeli kullanılmıştır.

3.2.2.2. k-ε Realizable Türbülans Modeli ve Kullandığı Denklemler

k-ε Realizable türbülans kinetik enerji ve türbülans kinetik enerjinin sönümlenmesi denklemlerini çözmektedir. k-ε Realizable kullanılan denklemler; [23]

Türbülans kinetik enerji denklemi;

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho k u_j)}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\delta_k}{\delta x_j} \right] + P_k + P_b - \rho \epsilon - Y_m + S_k \quad [3.7]$$

Türbülans enerji yitimi (ε) için taşıyım denklemi;

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho k u_j)}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\delta_k}{\delta x_j} \right] + \rho C_1 S_\epsilon - \rho C_2 \frac{\epsilon^2}{k + \sqrt{\theta} \epsilon} + C_{1\epsilon} \frac{\epsilon}{k} C_{3\epsilon} P_b + S_\epsilon \quad [3.8]$$

$$C_1 = \max \left[0,43 \frac{\eta}{\eta+5} \right] \quad [3.9]$$

Şeklinde yazılabilir.

3.2.2.3. Mevcut Durum Analizinde Kullanılan Sınır Şartları

Sınır koşulları analizin çözüme ulaşması için en önemli parametreleri oluşturmaktadır. Sınır koşullarını tanımlarken analizini gerçekleştireceğimiz tramvay yolcu modülünün ve akışı sağlayan klimanın özelliklerinden yararlandık.

Klima özelliklerinden girişi yapılan havanın nem derecesi, debisi ve sıcaklık dereceleri alınmıştır. Analizi gerçekleştirilen tramvay modülü için geçerli olan ısı geçiş katsayıları, havanın çıkış yaptığı bölümler için basınç bilgileri, güneş ışığı yansıma ve geçirgenlik bilgileri ve ortam sıcaklık nem durumları tespit edilerek analizde sınır şartı olarak eklenmiştir.

Tablo 6. Sınır şartları

Hava Giriş Sıcaklığı	17 °C
Hava Giriş Bağıl Nem Oranı	%43,6
Hava Giriş Debisi	1,463 kg/s
Ortam Sıcaklığı	36 °C
İnsanlar İçin Isı Akısı	60 W
Kapılar için Isı Geçiş Katsayısı	5,8 W/m ² K
Pencereler için Isı Geçiş Katsayısı	5,7 W/m ² K
Çıkış-1 Basınç Sınır Şartı	0,2535 kg/s
Çıkış-2 Basınç Sınır Şartı	Basınç Çıkışı Sınır Şartı
Yerçekimi	-9,81m/s ²

Tablo 7. Pencereler için Kullanılan Malzemenin Optik Özellikleri

Güneş Enerjisi Direk Geçirgenliği	%72
Güneş Enerjisi Dışa Yansıtma	%7
Güneş Enerjisi Soğurma	%21

Tablo 8. Kapılar için Kullanılan Malzemenin Optik Özellikleri

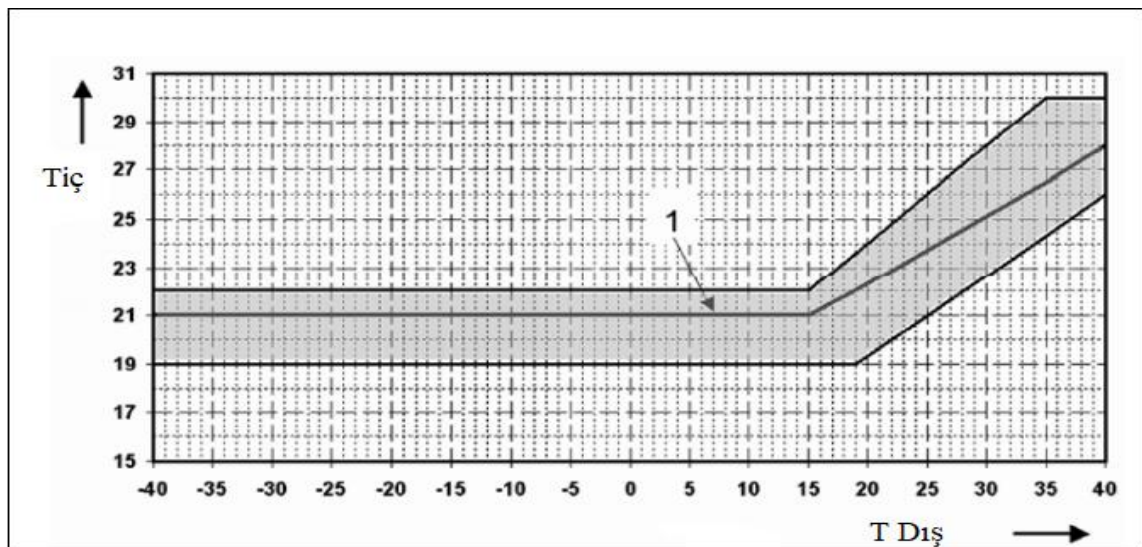
Güneş Enerjisi Direk Geçirgenliği	%58
Güneş Enerjisi Dışa Yansıtma	%6
Güneş Enerjisi Soğurma	%36

Tramvay dışından 60° açı ile gelecek şekilde 800 W/m^2 güneş ışını tanımlaması yapılmıştır. Kapılar ve camlar Tablo 3.3. ve Tablo 3.4.'de gösterildiği gibi yarı geçirgen olacak şekilde tanımlanmıştır.

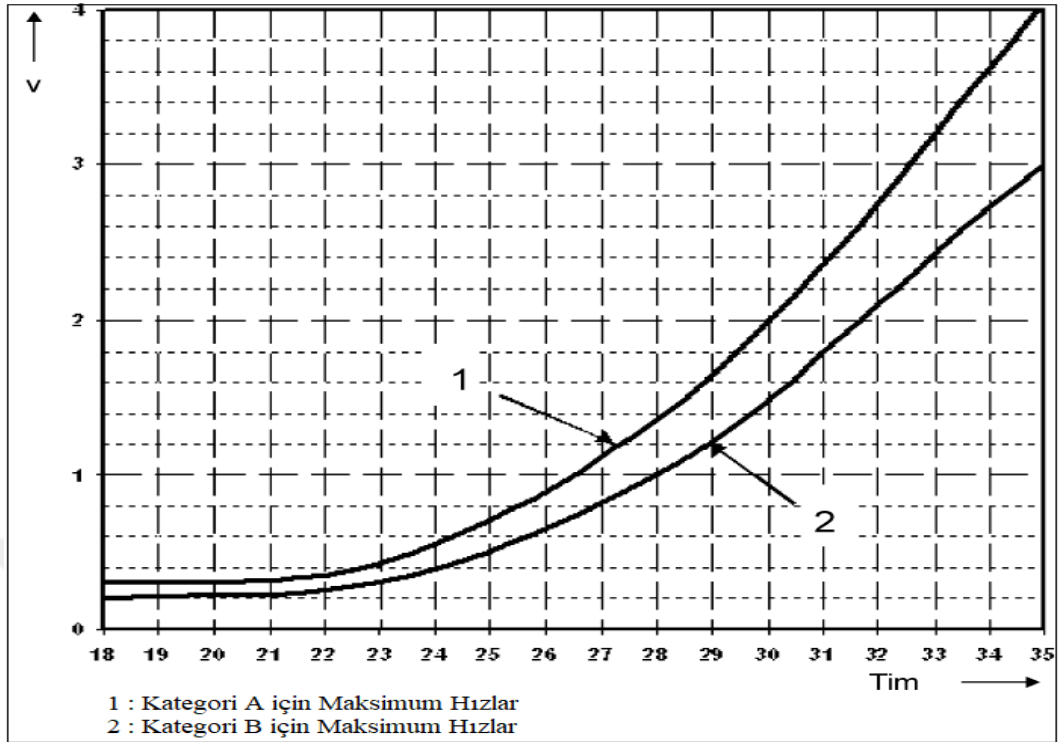
3.2.3 Mevcut Tasarım için Çözüm Sonuçları

Ansys Fluent 18.0 programında geometri düzenlemeleri, mesh yapısının oluşturulması, çözüm parametrelerinin girilmesi ve sınır şartlarının belirtilmesinin ardından çözüm gerçekleştirilmiş ve çözüme ilişkin sonuçlar Ansys-Fluent/ CFD Post programı vasıtası ile incelenmiştir.

İncelemelerde bulunurken sıcaklık ve hız parametreleri üzerinde durulmuştur. Klima tasarımı gereği beklediğimiz sonuç iç ortam sıcaklığı için EN 14750-1'de belirtilen ve Şekil 3.17.'de gösterilen sıcaklık konfor parametreleri ile karşılaştırılacaktır. Ayrıca iç hava hızları da yine EN 14750-1'de belirtilen ve Şekil 3.18.'de gösterilen hız parametreleri ile karşılaştırılarak değerlendirilecektir.

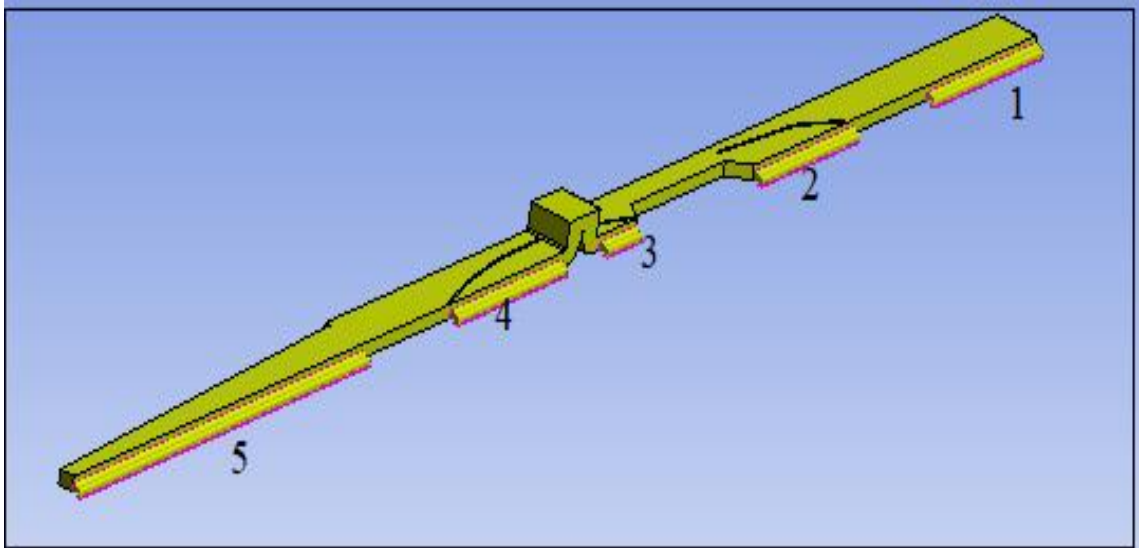


Şekil 3. 17. Sıcaklık Konfor Parametreleri[24]



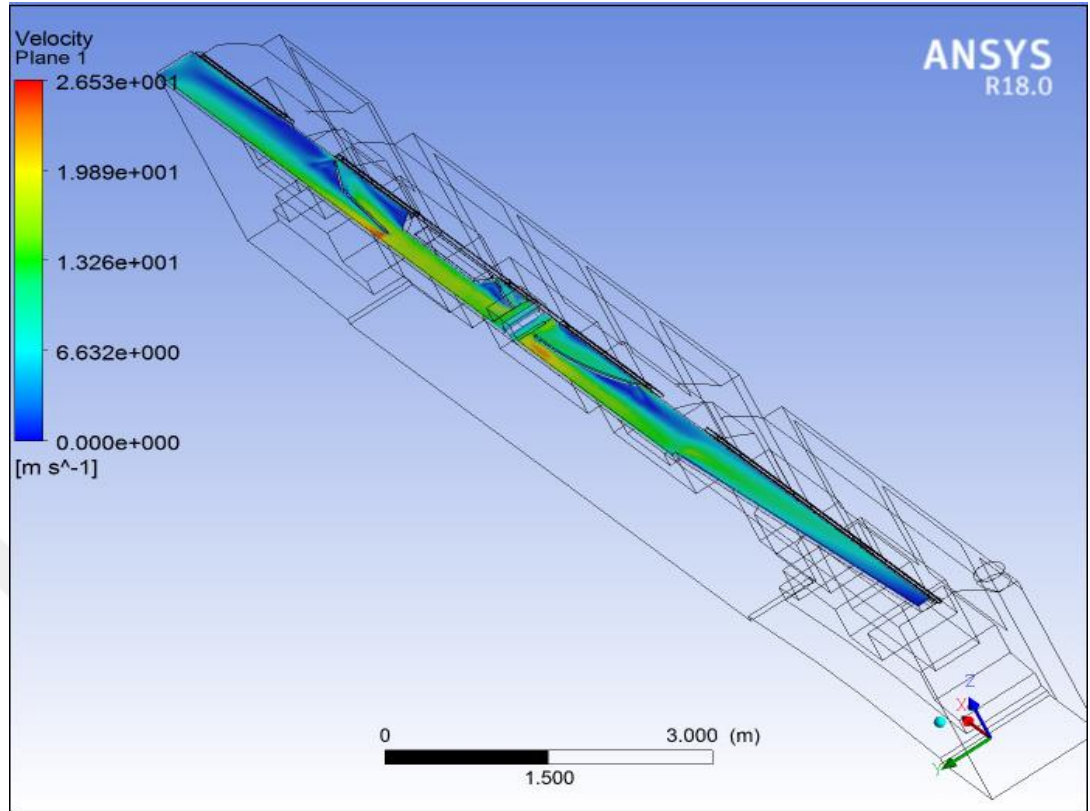
Şekil 3. 18. Hız Konfor Parametreleri [24]

3.2.3.1. Hava Kanalı Hız Sonuçları

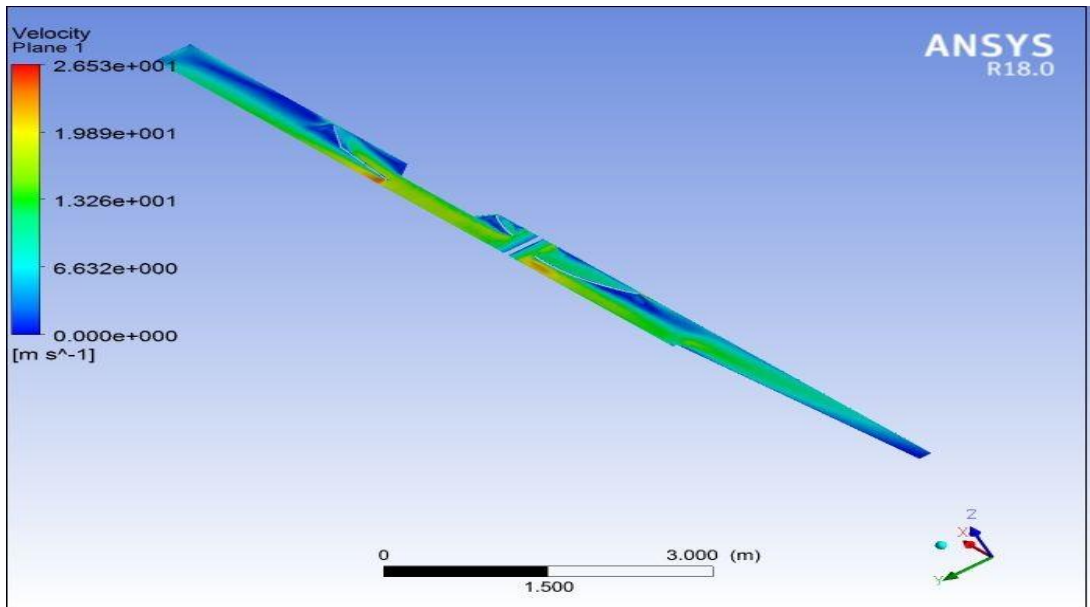


Şekil 3. 19. Hava Kanallarının Numaralandırılması

Sonuçların yorumlanması bu numaralandırmalar kullanılacaktır.

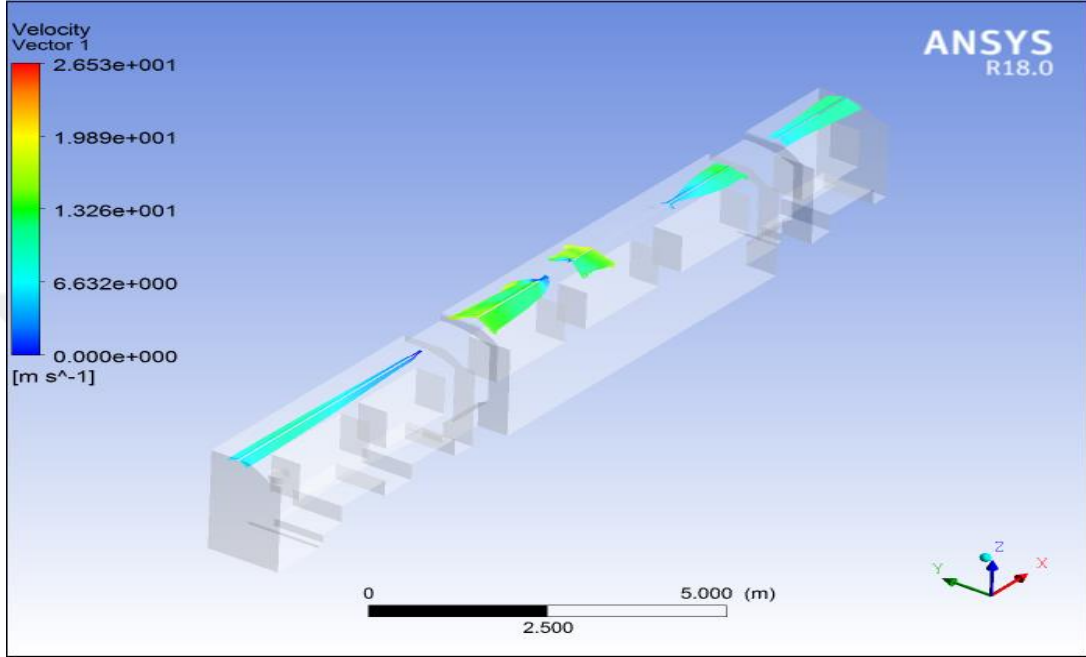


Şekil 3. 20. Kanal İçerisindeki Hız Dağılımı-1



Şekil 3. 21. Kanal İçerisindeki Hız Dağılımı -2

Şekil 3.20. ve 3.21. de belirtilen hız dağılımları havanın kanal içerisindeki dağılımı ile ilgili olarak bizlere veri sunmaktadır. Bu grafiklerden anlaşılacağı gibi kanal içerisinde ortalama 13 m/s hızdır. Özellikle uç üfleme menfezlerinde havanın hızı 0 m/s ye düşmektedir. Bu bölümlerde kanalın menfezi %100 verim ile kullandığı söylenemez.

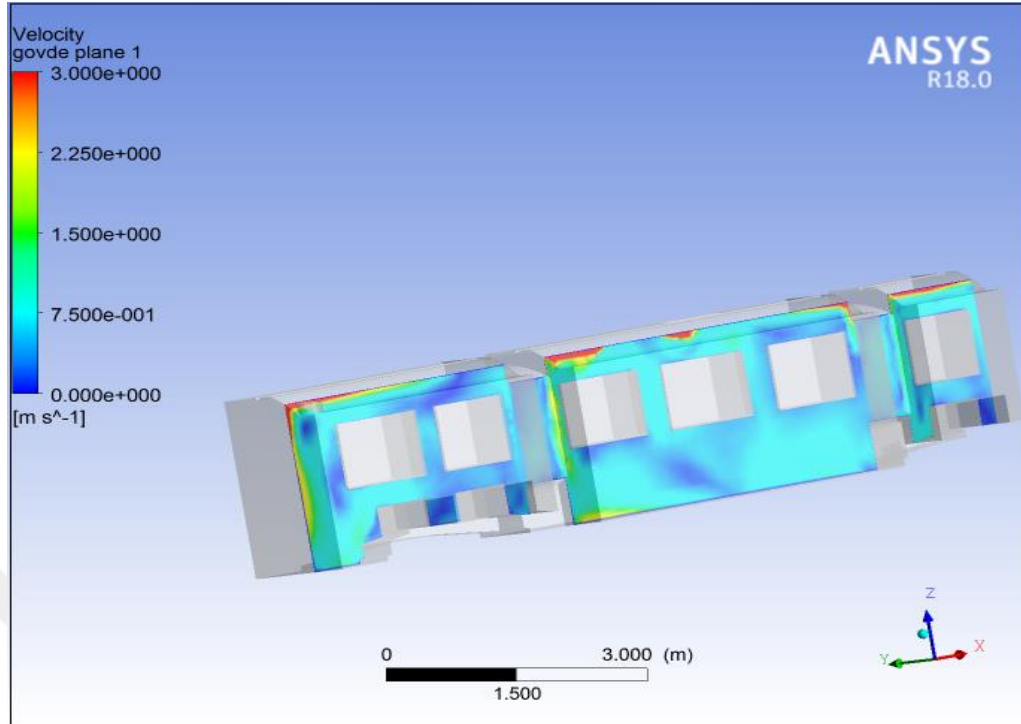


Şekil 3. 22. Hava menfezlerinden Araç İçine Üflenilen Hava Vektörleri

3.2.3.2. Gövde İçerisindeki Hız ve Sıcaklık Sonuçları

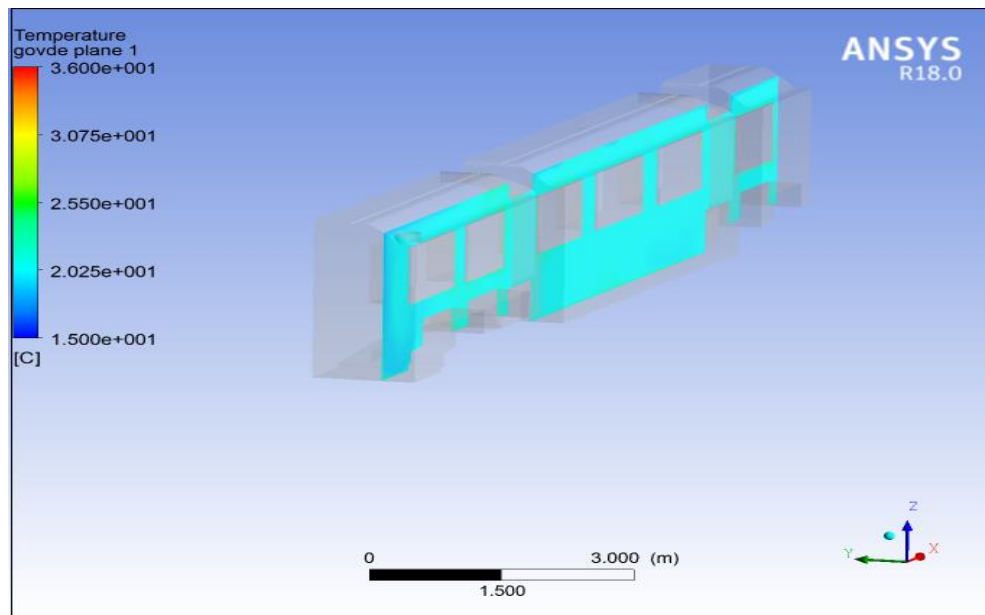
Gövde İçerisinde seçilen 3 eşit aralıklı konumlarda sıcaklık ve hızların ölçümleri için düzlemler oluşturulmuştur. Oluşturulan düzlemler yorumlanırken ilk dikkat edilen durum havanın homojen bir şekilde dağılmasıdır. İkinci öncelikli baktığımız parametreler sıcaklığın ve hızın konfor değerlerinin içerisinde olmasıdır.

Şekil 3.18 ve Şekil 3.19’da verilen grafiklere göre dış sıcaklığın 36°C olduğu durumlarda araç içi sıcaklığın EN 14750 standartlarına göre 27°C olması gerekiyor. Ayrıca EN 14750 konfor şartlarına göre ise 22°C konfor şartı sağlanması amaç olarak gözükmemektedir. EN 14750 standardına göre araç içi hızın 4 m/s değerini geçmemesi ve yolcu bölümlerinde 0,75 m/s değeri ortalamalarında konfor değerinin yakalanması beklenilmektedir. Analiz şartlarımızda klimanın tam kapasite ile çalıştırılması nedeni ile sıcaklığın 27°C altına düşmesi beklenen bir durumdur.



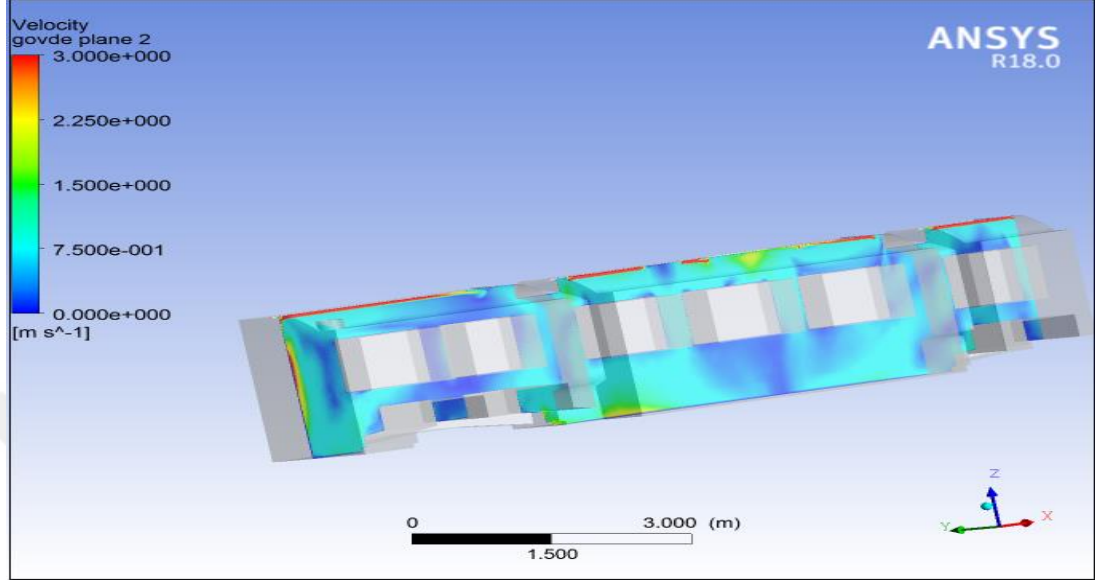
Şekil 3. 23. Gövde 1.Düzlem Hız Gösterimi

Şekil 3.23’de 1. düzlemde gözüken havanın hız dağılımı görülmektedir. Hız dağılımı dağıtım noktalarının yolcu kabinin üst bölümlerinde olmasından dolayı dağıtım çıkışlarında 4 m/s kabul edilebilir hızın üzerine çıkmıştır. Konfor parametrelerine göre 4 m/s altında olması gerekli olan hız genel olarak sağlanmıştır. Ayrıca yolcu bölümlerinde hızımız 0,5 m/s aralığındadır.



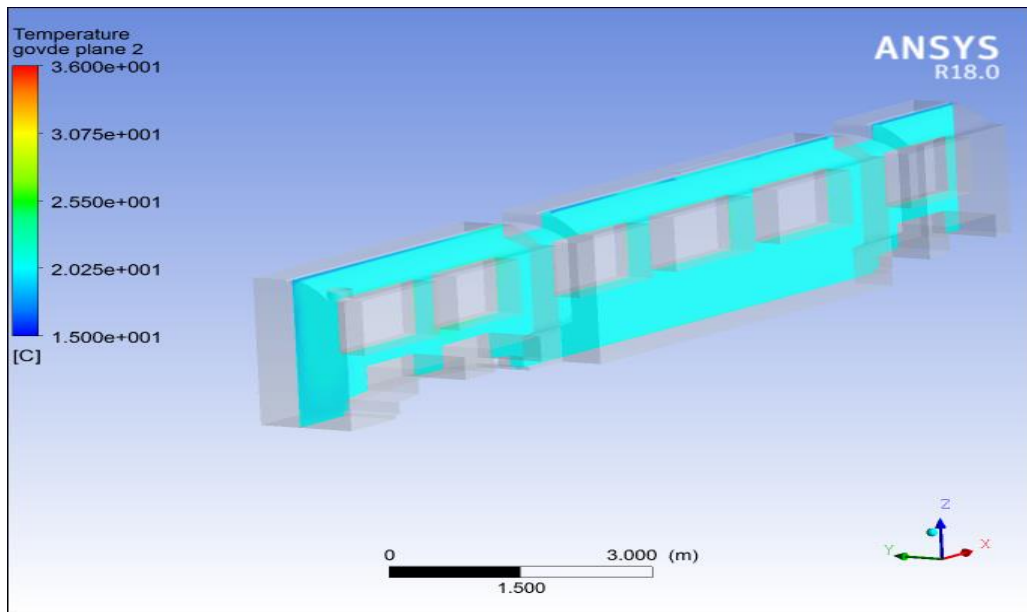
Şekil 3. 24. Gövde 1. Düzlem Sıcaklık Gösterimi

Şekil 3.24’de 1.düzlemde gözüken havanın sıcaklık grafiği gözükmemektedir. Genel itibari ile hava dağılımının düzenli ve 22 °C ortalamasında olduğu görülmektedir.



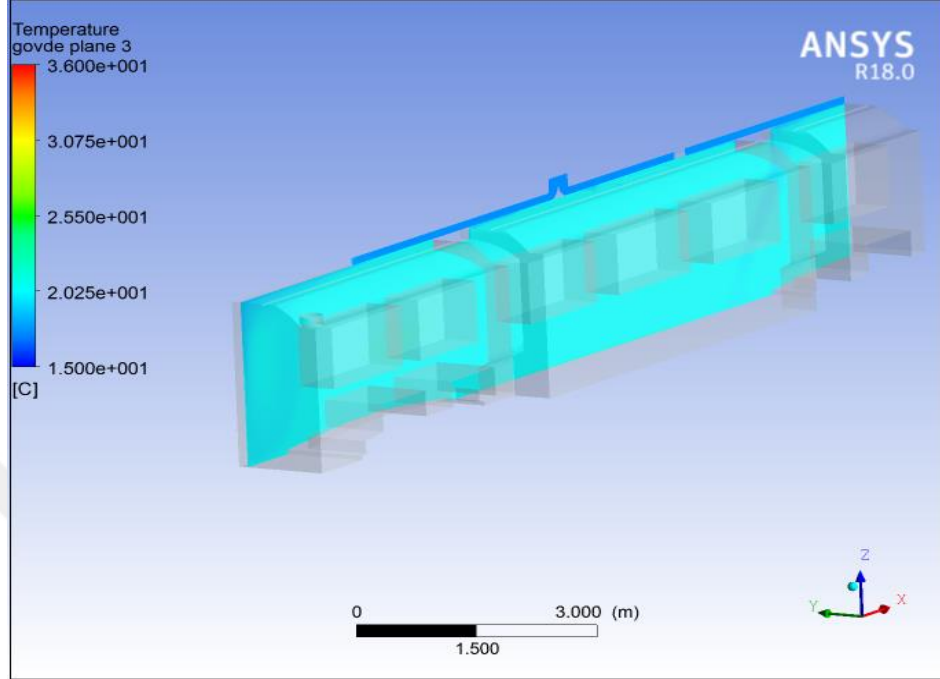
Şekil 3.25. Gövde 2. Düzlemde Hız Gösterimi

Şekil 3.25’de 2. Düzlemde hız dağılımları gözükmemektedir. Hız dağılımı araç içerisinde değişkenlik göstermekte ve 0,75 m/s aralığında gözükmemektedir. Genel anlamda homojen bir dağılım olduğundan söz edemeyiz. Bazı bölgelerde hava hızı tamamen kaybolmaktadır.



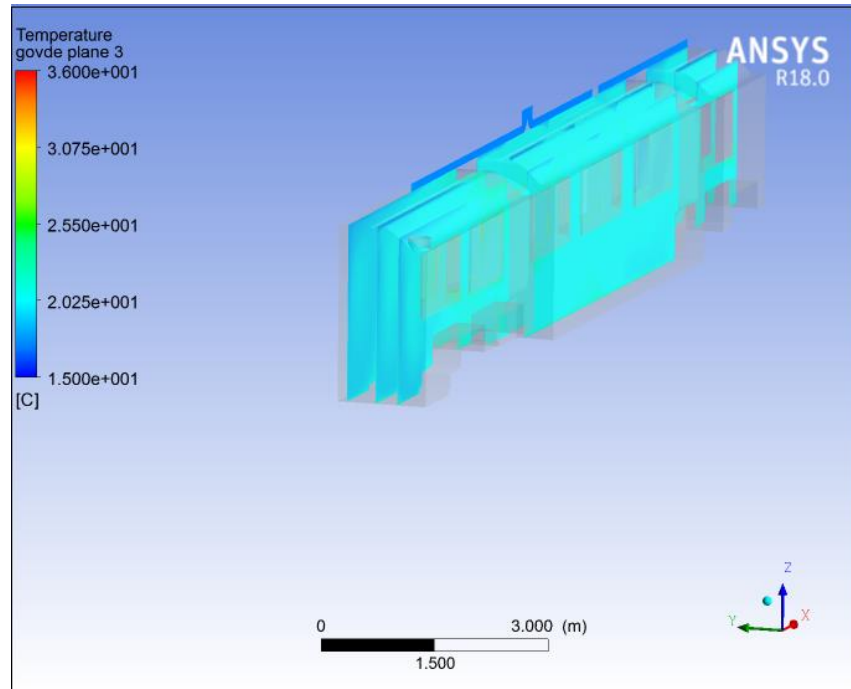
Şekil 3.26. 2. Düzlemde Sıcaklık Gösterimi

Şekil 3.26’da 2. Düzlemdeki Sıcaklık grafikleri gösterilmektedir. Sıcaklık grafiklerinde araç içi sıcaklığın 21 °C ortalamalarında ve düzenli olduğu görülmektedir.



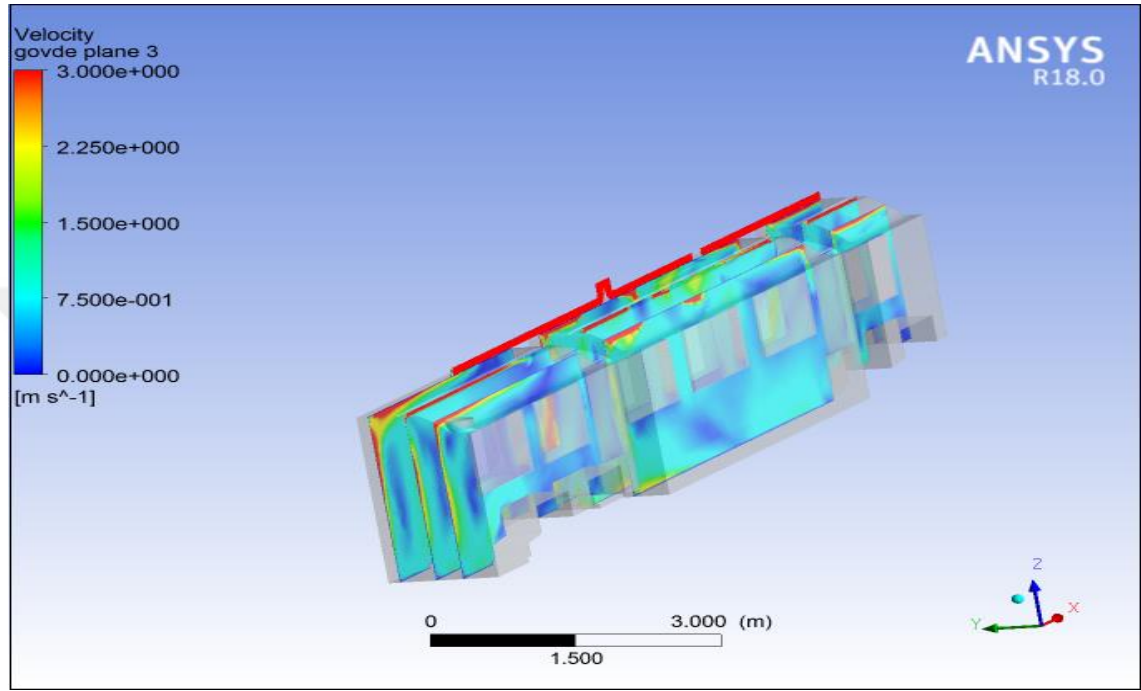
Şekil 3. 27. 3. Düzlem Sıcaklık Gösterimi

Şekil 3.27’de gösterilen 3. Düzlem sıcaklıkları incelendiğinde araç içinde ortalama 20 °C sıcaklık bulunmaktadır. Sıcaklık dağılımı araç içinde kararlı ve homojendir.



Şekil 3. 28. Araç İçi Üç Düzlemde Sıcaklık Görünümü

Şekil 3.28.'da gösterilen araç içerisinde bulunan 3 düzleme göre aracın uç ve iç kısımlarına doğru ilerledikçe sıcaklığın homojenliğini yitirerek 2-3 °C sıcaklık farklarına ulaştığı gözlemlenmektedir. Bu durum haricinde sıcaklık ile ilgili hissedilebilir herhangi bir olumsuzluk tespit edilememiştir.



Şekil 3. 29. Araç İçi Üç Düzlemde Hız Görünümü

Şekil 3.29'da verilen 3 düzlem üzerindeki hız gösterimlerinde havanın üfleme bölgelerine yakın bölümlerde 4 m/s hızın üzerinde olduğu gözükmemektedir. Bu bölümlerde hızın daha fazla olması normaldir. Üfleme bölgeleri dışında havanın 0 hıza düştüğü bölümler şekilde mavi olarak gözükmemektedir. Bu bölümlerde iyileşme sağlanması içeride daha homojen bir dağılımı oluşturacaktır.

Bu durum için havanın araç içi menfezlere daha hızlı girişi sağlanmalı ve mavi olarak gözükken bölümlerde hava akışı elde edilmelidir. Bunun için çıkış menfezlerindeki hızlar artırılırken araç içindeki hızın 4 m/s'yi geçmemesi gereken yeni bir hava tasarımı yapılarak sonuçlar incelenecektir.

3.2.4. Ansys Sonucu Elde Edilen Menfez Çıkış Değerlerinin Yerinde Ölçüm ile Doğrulanması

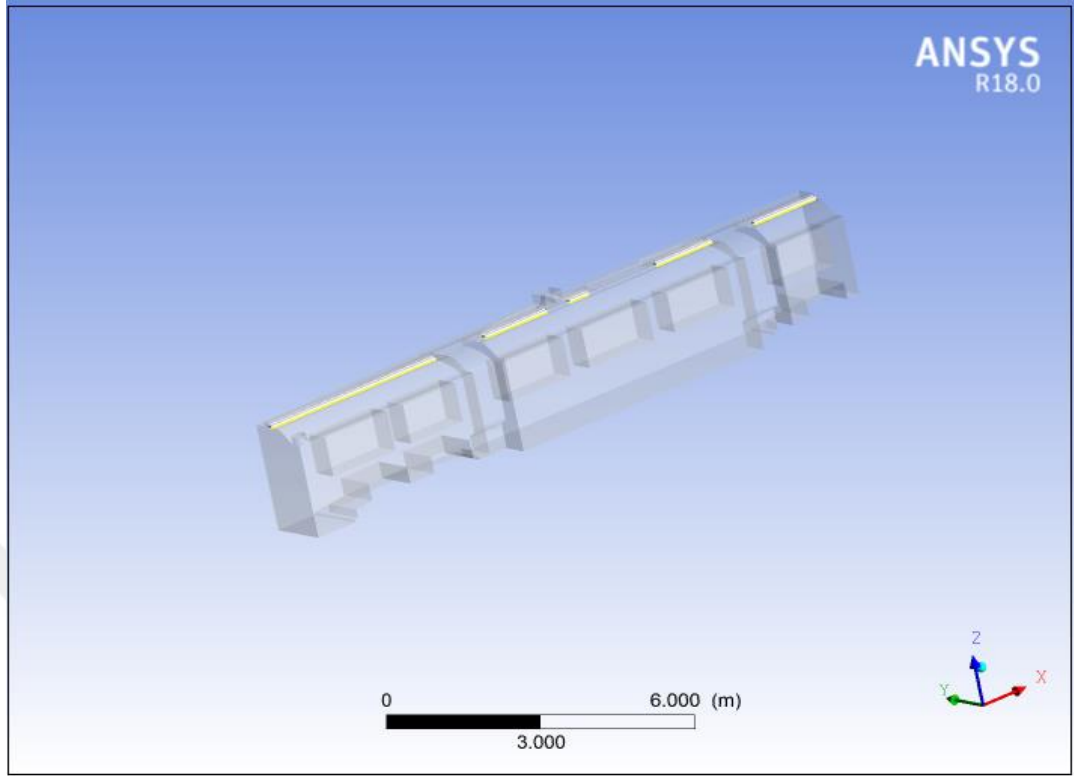
Kanalda ilerleyen akış menfezlerden geçerek tramvay aracı yolcu bölümünde dağılmaktadır. Menfez çıkışındaki hızları Ansys çözüm sonucumuz ile birlikte elde ettik. Bu çözüm sonuçlarının mesh yapısından bağımsız bir şekilde doğruluğunu gösterebilmek için mevcut tasarımın çalıştığı araçta pitot tüpü vasıtası ile ölçümler olarak yapmış olduğumuz analizin doğruluğunu teyit ettik.

Ölçüm için ‘‘Almemo 2290-2’’ marka cihazımıza bağladığımız pitot tüpünü menfez çıkış noktalarında akışa dik olacak şekilde yerleştirerek 3 farklı araçta her bir menfez için 3 ayrı noktada gerçek ölçümler aldık.

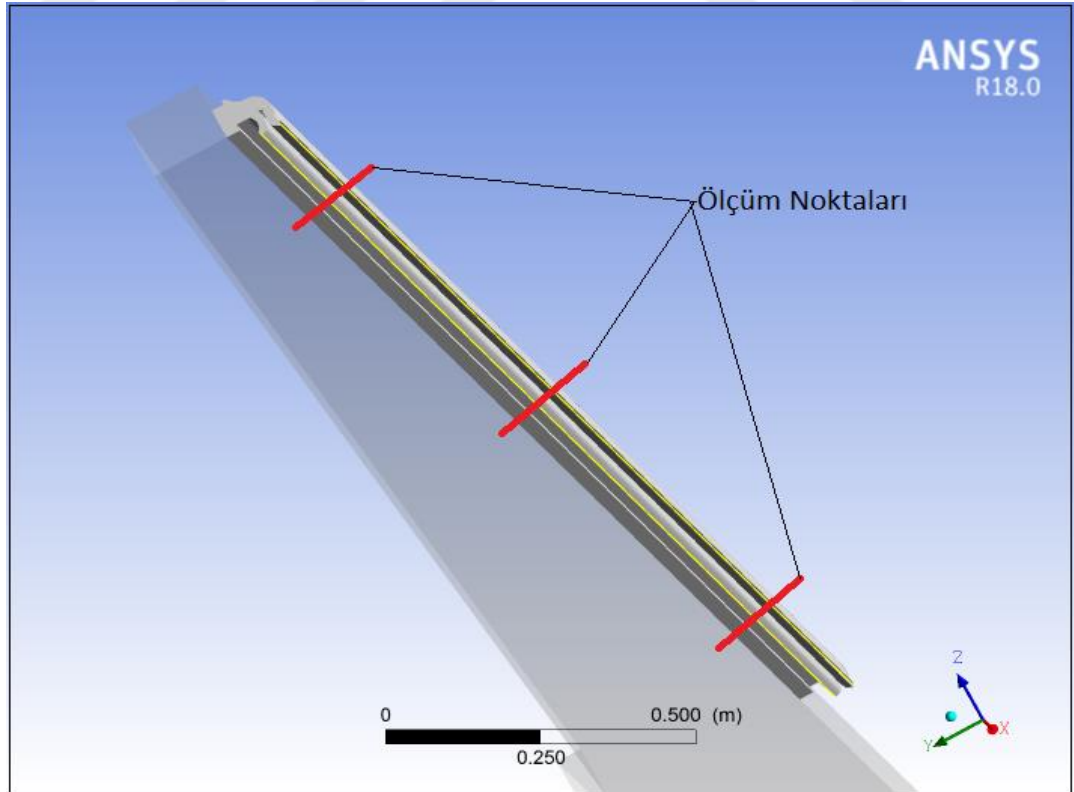
Elde ettiğimiz ölçüm sonuçlarının ortalamaları ile ölçüm aldığımız bölgelerdeki analiz sonucu elde ettiğimiz hız değerlerini m/s cinsinden karşılaştırdık.



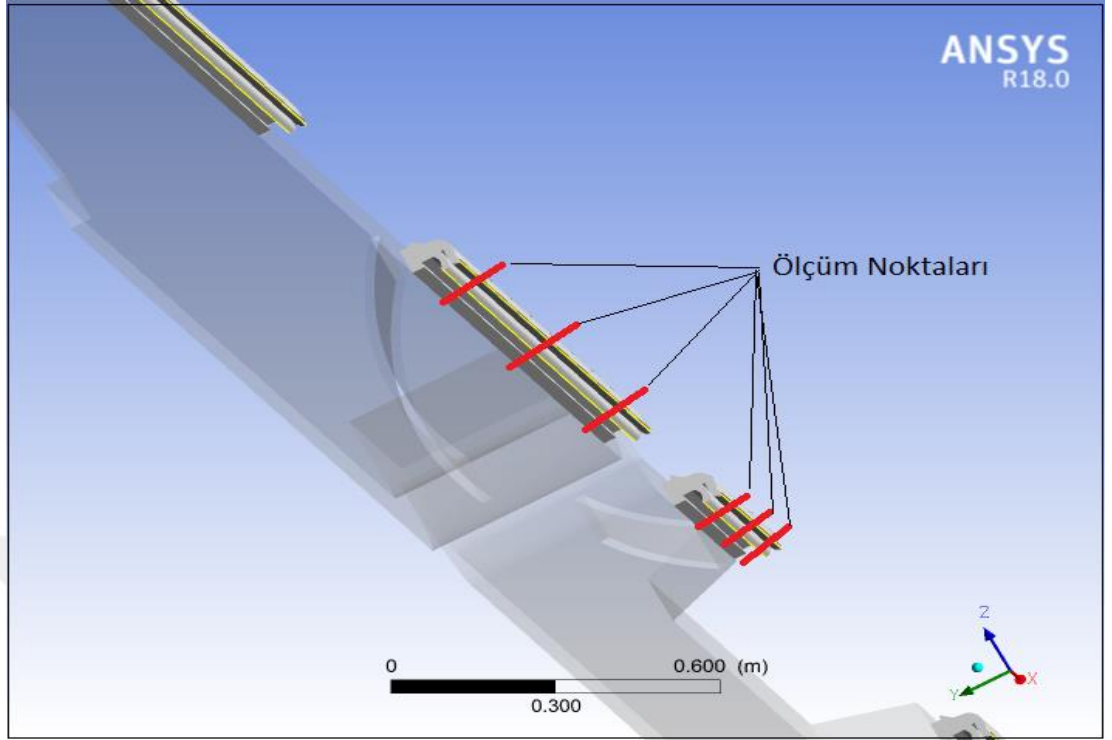
Şekil 3. 30. Ölçümlerin Yapılışı



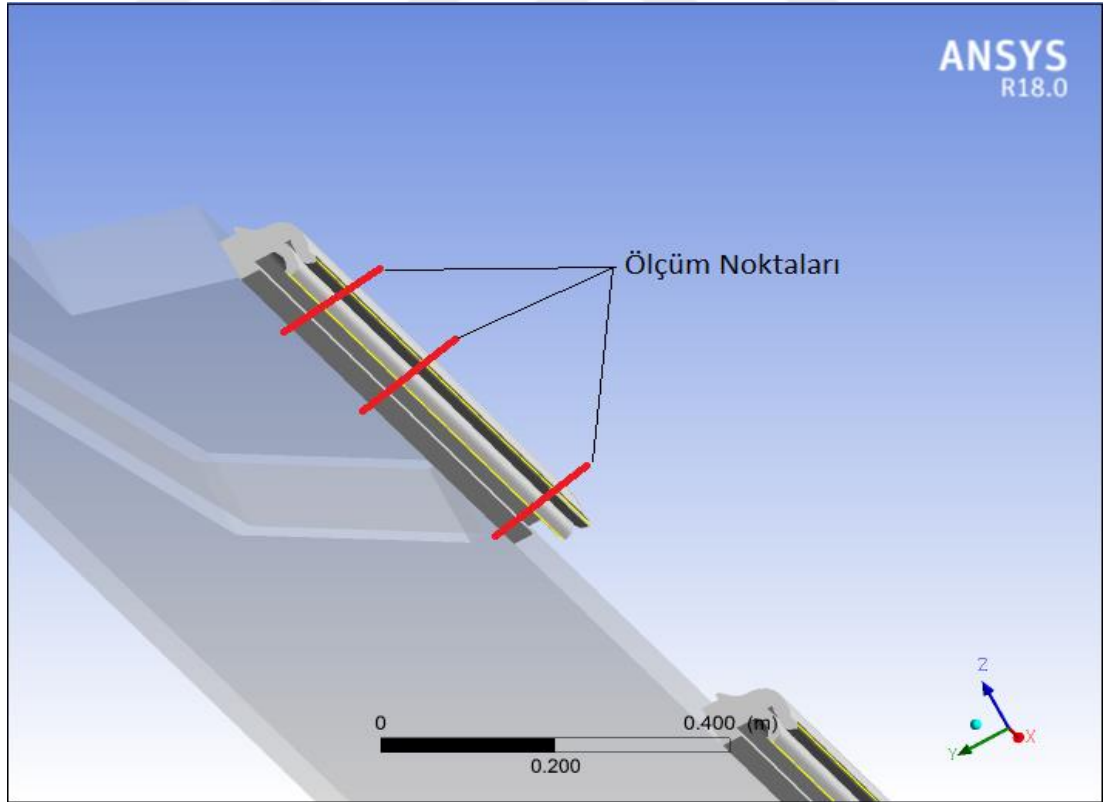
Şekil 3. 31. Ölçüm Noktaları İçin Menfez Görünümü



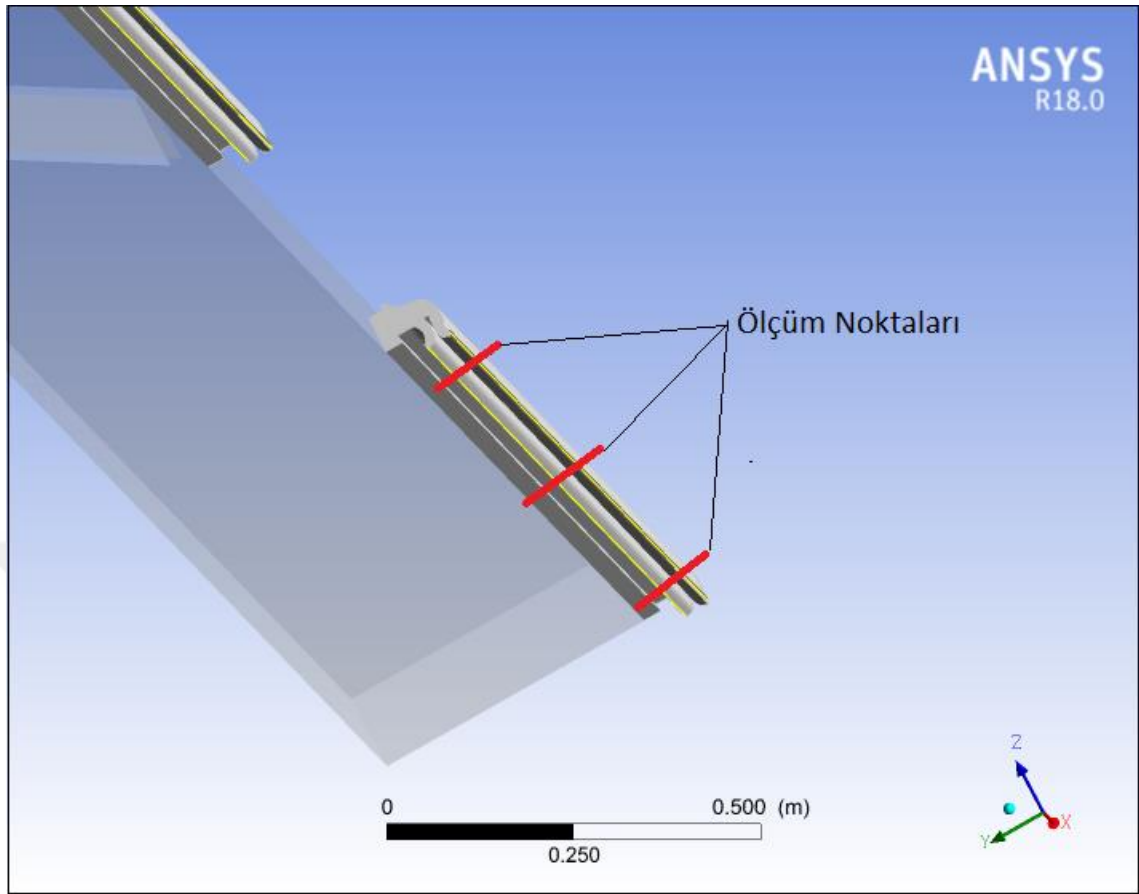
Şekil 3. 32. 5 numaralı Menfez Ölçüm Yerleri



Şekil 3.33. Menfez 4 ve 3 Ölçüm Noktaları



Şekil 3. 34. Menfez 2 Ölçüm Noktaları



Şekil 3.35. Menfez 1 Ölçüm Noktaları

Tablo 9. Ölçüm Sonuçları

Hız Birimleri m/s	Ölçüm1.1	Ölçüm1.2.	Ölçüm1.3.	Ölçüm 2.1.	Ölçüm 2.2.	Ölçüm 2.3.	Ölçüm3.1.	Ölçüm 3.2.	Ölçüm 3.3.
menfez 1.1	2,20	8,90	12,00	2,10	9,50	12,20	2,00	9,80	11,50
menfez1.2	3,40	10,50	11,50	3,10	11,00	12,00	3,00	11,00	12,30
menfez 2.1	5,30	10,00	13,50	5,00	10,00	13,00	4,90	9,80	13,60
menfez 2.2	5,00	9,30	14,00	5,20	9,40	14,30	5,50	9,50	13,60
menfez 3.1	6,90	15,00	16,00	7,30	14,60	16,20	7,60	14,60	16,30
menfez 3.2	12,00	15,40	18,00	12,00	15,60	19,50	12,10	15,60	18,50
menfez 4.1.	14,00	12,60	9,60	13,90	12,90	9,80	14,30	13,00	9,60
menfez 4.2.	15,40	15,30	5,20	15,20	14,20	5,30	15,60	14,30	5,00
menfez 5.1.	7,50	12,20	5,60	8,20	11,00	4,60	7,60	11,20	5,00
menfez 5.2.	8,30	6,50	5,20	8,60	6,80	5,10	8,70	7,00	5,30

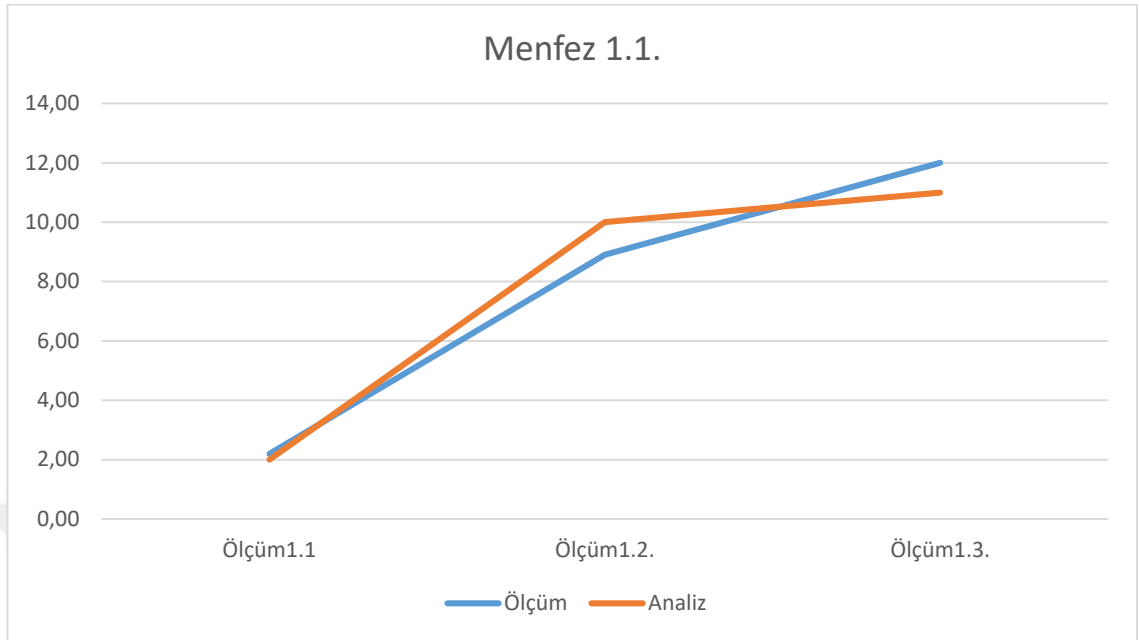
Tablo 10. Ölçüm Sonuçları Ortalaması ve Analiz Sonucu Karşılaştırılması

Hız Birimleri m/s	Analiz Değeri 1	Analiz Değer 2	Analiz Değer 3	Ölçüm Ort	Ölçüm Ort2	Ölçüm Ort.
menfez 1.1	2	10	11	2,10	9,40	11,90
menfez1.2	3	10	12	3,17	10,83	11,93
menfez 2.1	5	9	12	5,07	9,93	13,37
menfez 2.2	4	8	13	5,23	9,40	13,97
menfez 3.1	8	14	15	7,27	14,73	16,17
menfez 3.2	12	16	20	12,03	15,53	18,67
menfez 4.1.	15	12	10	14,07	12,83	9,67
menfez 4.2.	16	14	5	15,40	14,60	5,17
menfez 5.1.	8	11	5	7,77	11,47	5,07
menfez 5.2.	8	7	5	8,53	6,77	5,20

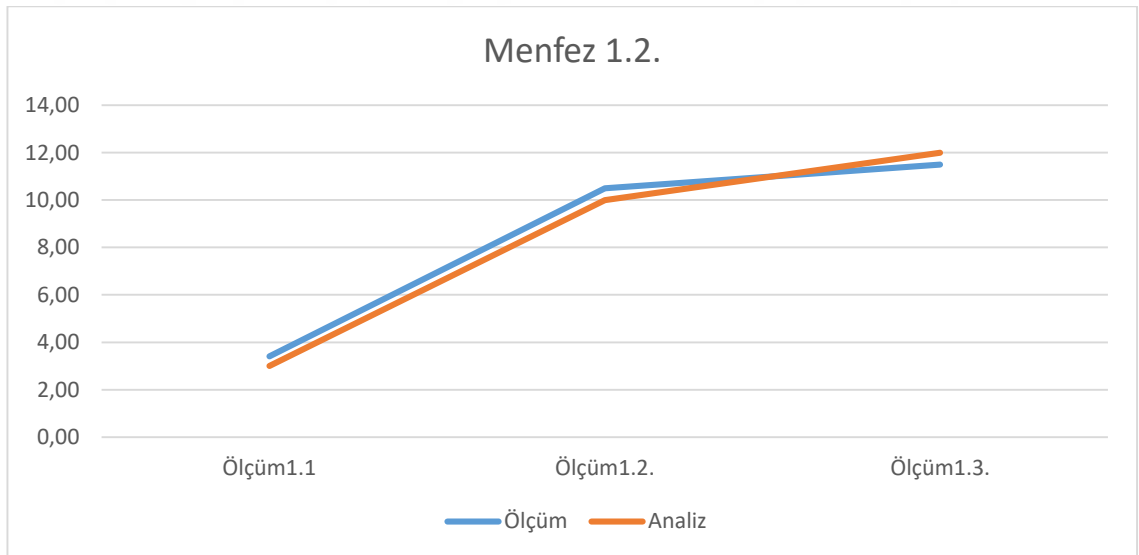
Tablo 11. Ölçüm değerlerinin Analiz Değerleri ile Karşılaştırılması

Hız Birimleri m/s	Ölçüm1.1	Ölçüm1.2.	Ölçüm1.3.
Analiz Sonucu Menfez 1.1	2,00	10,00	11,00
Ölçüm Sonucu Menfez 1.1	2,20	8,90	12,00
Analiz Sonucu Menfez 1.2	3,00	10,00	12,00
Ölçüm Sonucu Menfez 1.2	3,40	10,50	11,50
Analiz Sonucu Menfez 2.1	5,00	9,00	12,00
Ölçüm Sonucu Menfez 2.1	5,30	10,00	13,50
Analiz Sonucu Menfez 2.2	4,00	8,00	13,00
Ölçüm Sonucu Menfez 2.2	5,00	9,30	14,00
Analiz Sonucu Menfez 3.1	8,00	14,00	15,00
Ölçüm Sonucu Menfez 3.1	6,90	15,00	16,00
Analiz Sonucu Menfez 3.2	12,00	16,00	20,00
Ölçüm Sonucu Menfez 3.2	12,00	15,40	18,00
Analiz Sonucu Menfez 4.1	15,00	12,00	10,00
Ölçüm Sonucu Menfez 4.1	14,00	12,60	9,60
Analiz Sonucu Menfez 4.2	16,00	14,00	5,00
Ölçüm Sonucu Menfez 4.2	15,40	15,30	5,20
Analiz Sonucu Menfez 5.1	8,00	11,00	5,00
Ölçüm Sonucu Menfez 5.1	7,50	12,20	5,60
Analiz Sonucu Menfez 5.2	8,00	7,00	5,00
Ölçüm Sonucu Menfez 5.2	8,30	6,50	5,20

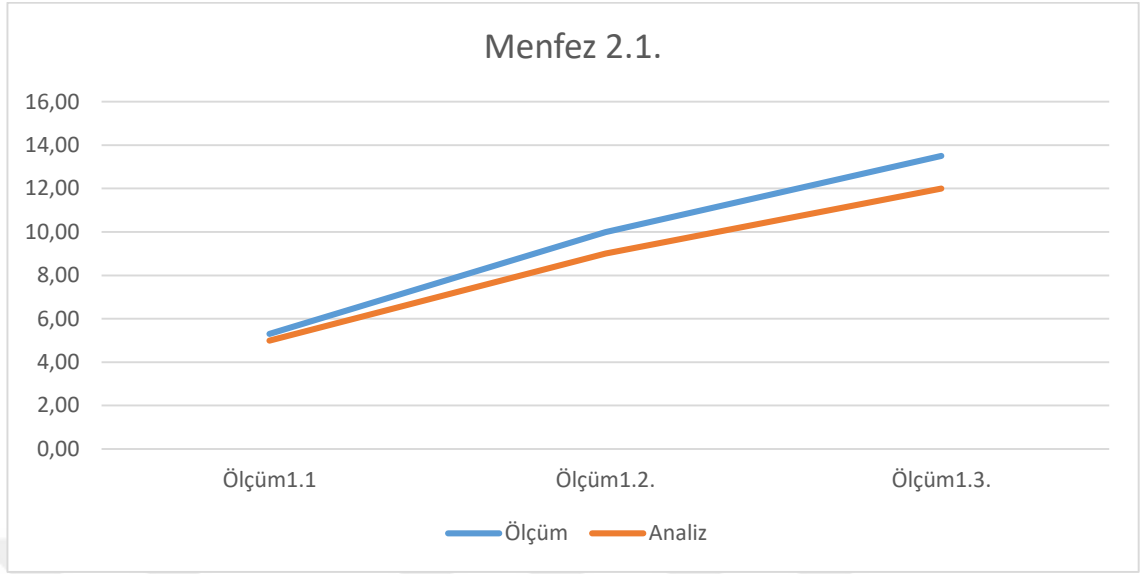
Tablolarda gösterilen ortalama ölçüm sonuçları ile analiz değerlerinin tutarlı olduğu gösterilmiştir. Farklı araçlarda aynı şart ve konumlardan alınan değerler sonuçları analiz sonuçlarımızın mesh 'den bağımsız olduğu ve analizlerimizin güvenilir olduğunu göstermektedir.



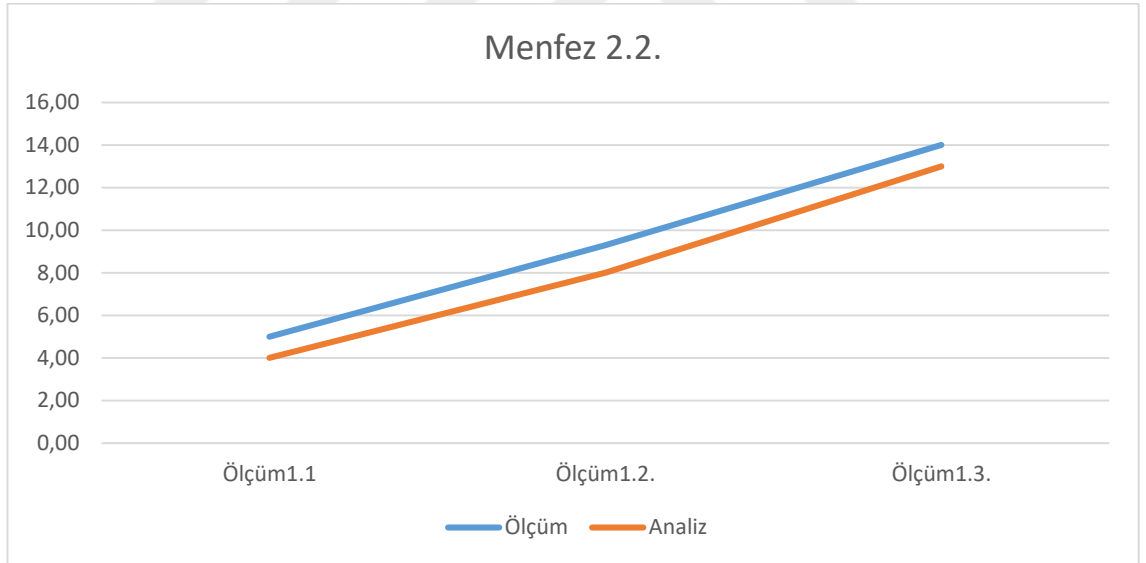
Şekil 3.36. Menfez 1.1. Ölçüm ve Analiz Sonuçları Grafik Gösterimi



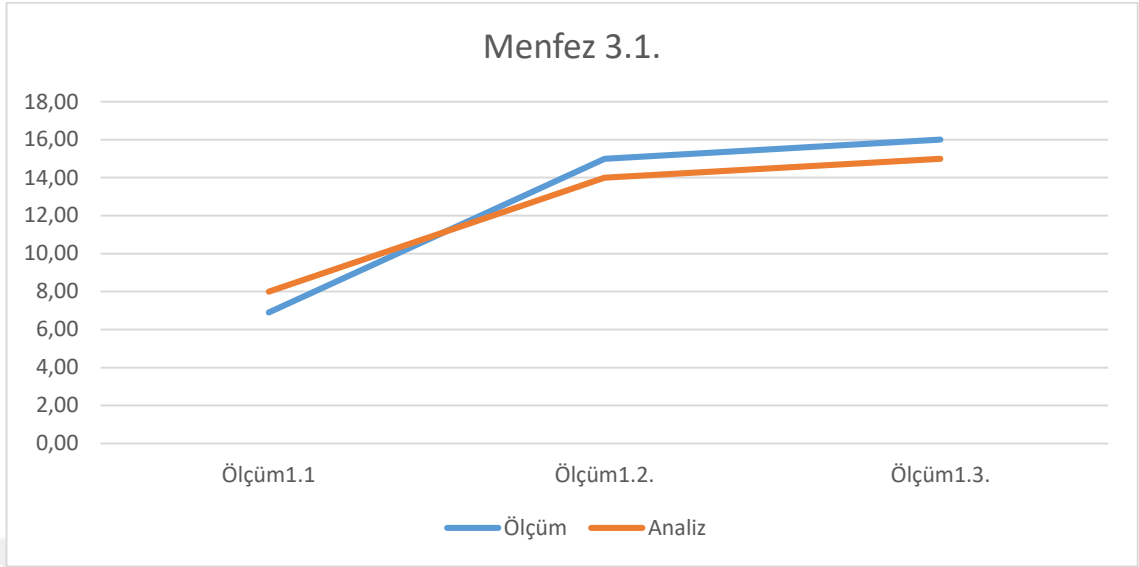
Şekil 3.37. Menfez 1.2. Ölçüm ve Analiz Sonuçları Grafik Gösterimi



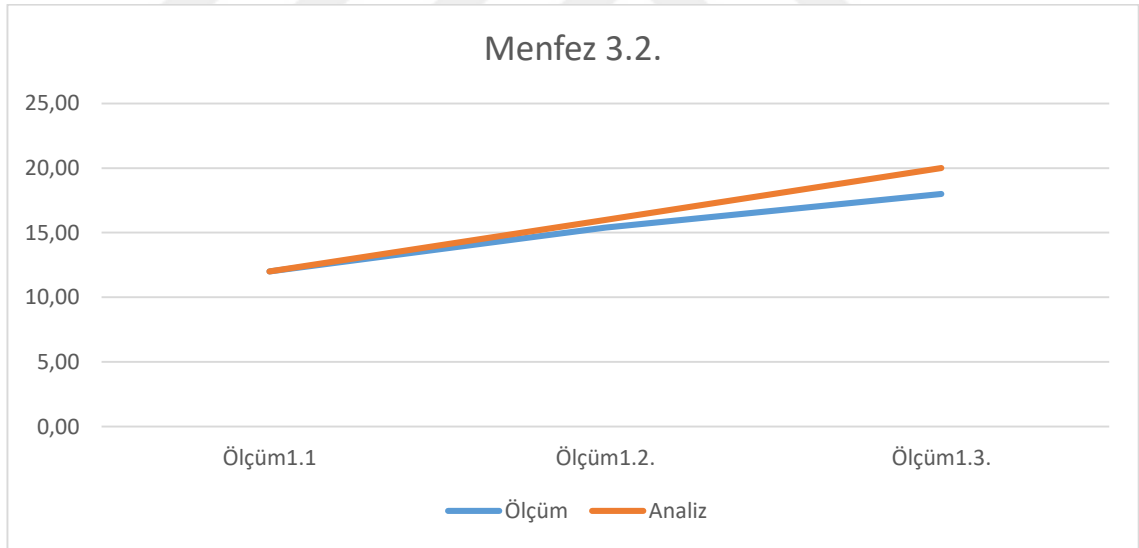
Şekil 3.38. Menfez 2.1.Ölçüm ve Analiz Sonuçları Grafik Gösterimi



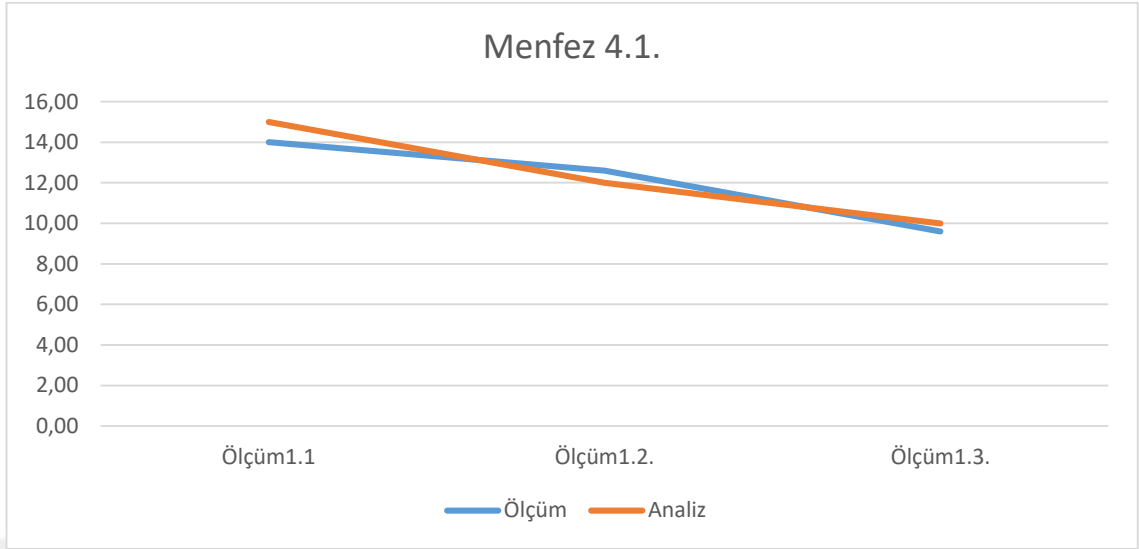
Şekil 3. 39. Menfez 2.2. Ölçüm ve Analiz Sonuçları Grafik Gösterimi



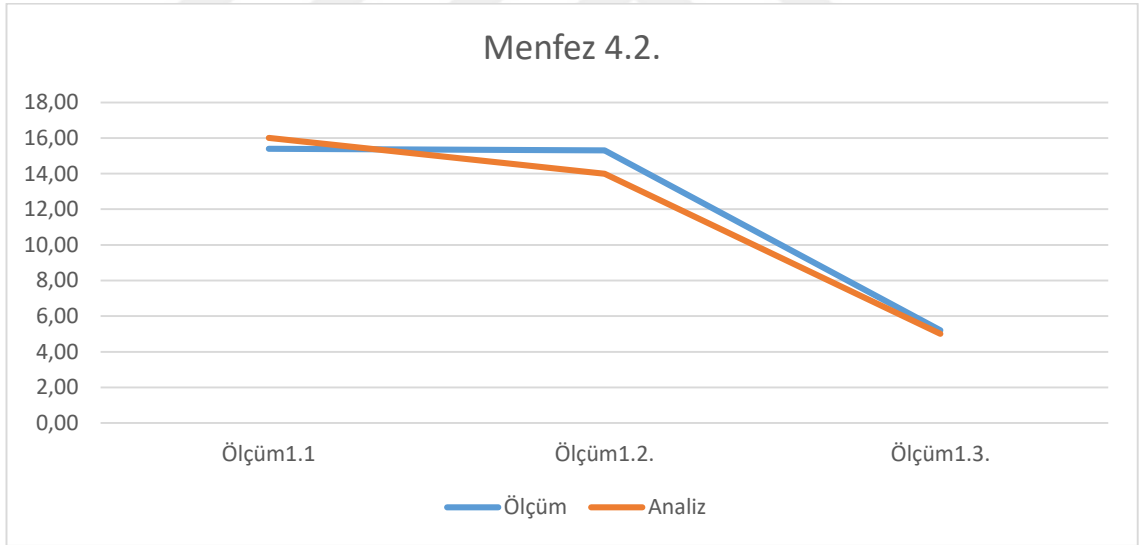
Şekil 3.40. Menfez 3.1. Ölçüm ve Analiz Sonuçları Grafik Gösterimi



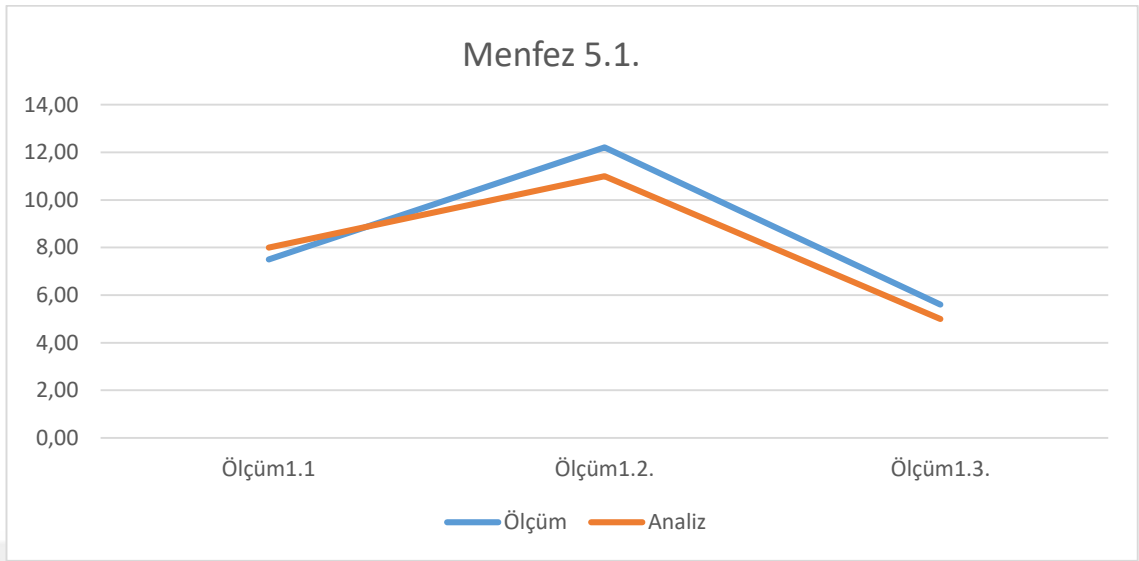
Şekil 3.41. Menfez 3.2. Ölçüm ve Analiz Sonuçları Grafik Gösterimi



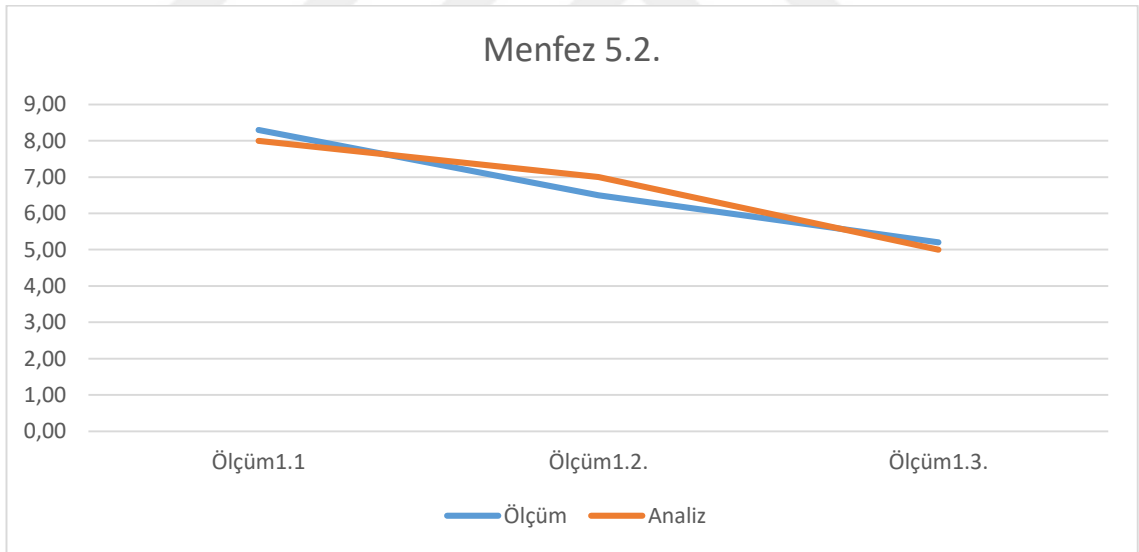
Şekil 3.42. Menfez 4.1. Ölçüm ve Analiz Sonuçları Grafik Gösterimi



Şekil 3.43. Menfez 4.2. Ölçüm ve Analiz Sonuçları Grafik Gösterimi



Şekil 3.44. Menfez 5.1. Ölçüm ve Analiz Sonuçları Grafik Gösterimi



Şekil 3.45. Menfez 5.2. Ölçüm ve Analiz Sonuçları Grafik Gösterimi

Menfezlerin her biri için ayrı ayrı ölçüm ve analiz sonuçlarının gösterildiği çizelgeler incelendiğinde ölçüm sonuçları ile analiz sonuçlarının tutarlı olduğu gözükmemektedir. Bu

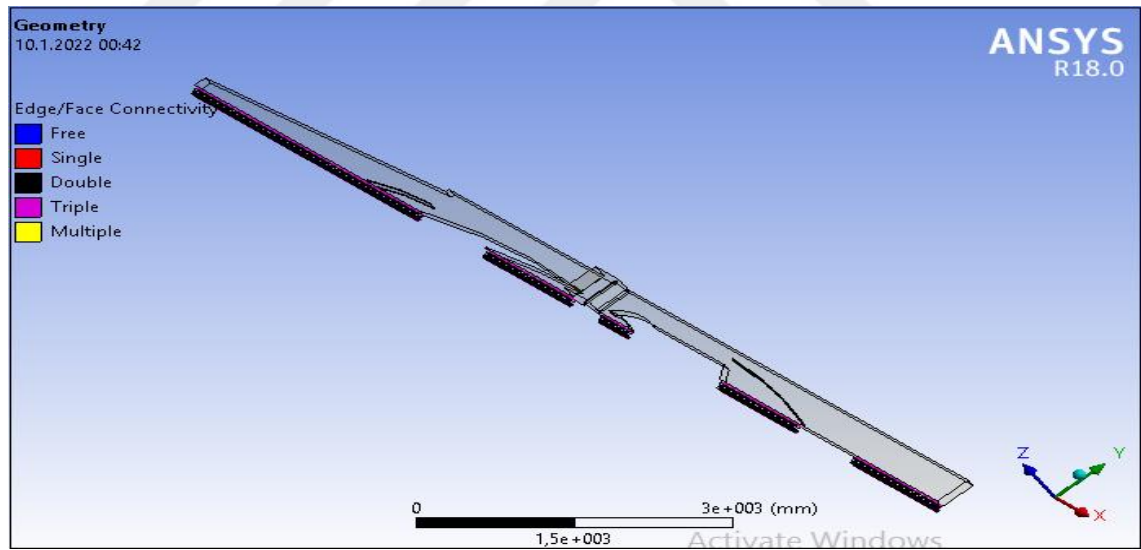
sonuçların tutarlılığı ile yaptığımız analiz çalışmasının doğruluğu ispatlanmış ve çalışmamız mesh'den bağımsız bir hale gelmiştir.

3.3.Yeni Tasarım Üzerinde Analiz Çalışması

Mevcut tramvay yolcu kabini ve kanal üfleme menfezi tasarımları aynı kalmak şartı ile yeni bir kanal tasarımı yapılarak tekrar sayısal analizi gerçekleştirilmiştir. Bu analizlerde hedeflediğimiz çıktılar daha optimum bir hava dağılımı ve daha iyi bir sıcaklık dağılımıdır. Tasarım sonucunda EN 14750 standardının belirlediği konfor değerlerinden ödün vermeden tasarımın bu değerler içerisinde kalması da ana hedeflerimizdendir.

3.3.1. Mevcut Tasarım ile Yeni Tasarım Arasındaki Geometrik Farklılıklar

Yeni tasarımda mevcut tasarıma göre kanal içi hava ayırım noktaları yeniden tasarlanmış ve yönlendirme kanatçıkları yeniden konumlandırılarak kanaldan aynı menfezlerle araç içerisine daha fazla debide girişi sağlanması amaçlanmıştır.



Şekil 3. 46. Yeni Kanal Tasarımı Genel Görünümü

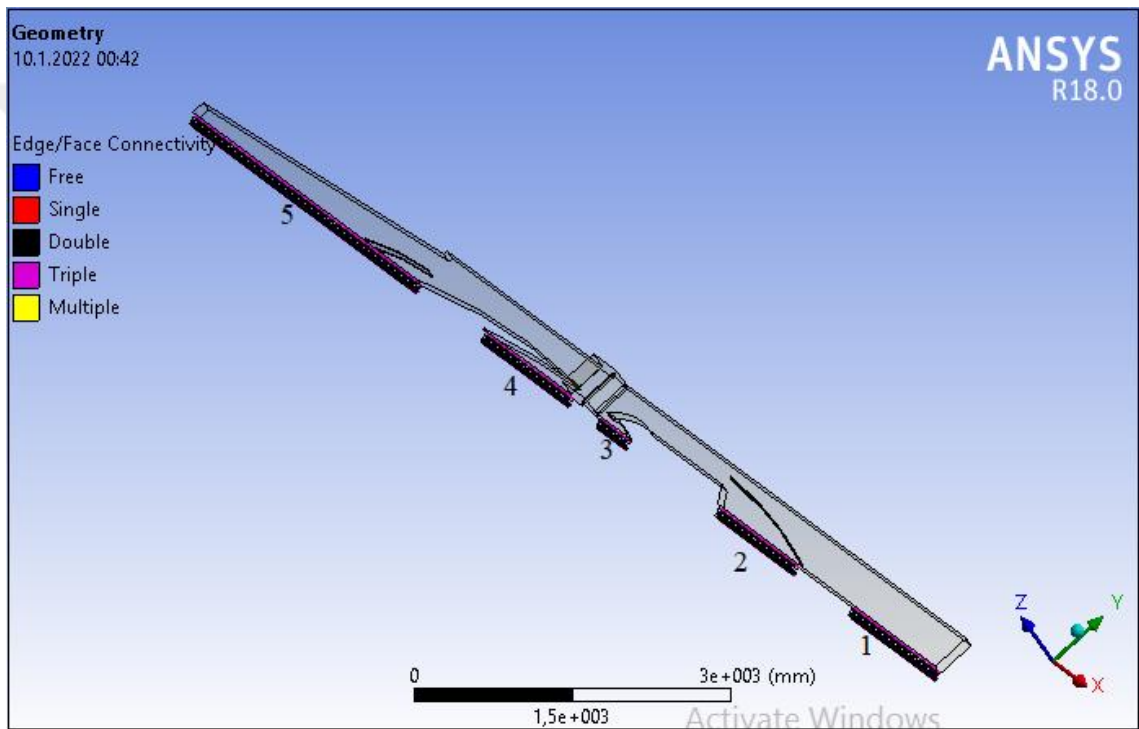
Hava tasarımının ana amacı çıkış noktasından sonra havanın üfleme kanal boylarına ile orantılı olarak menfezlere gönderilmesi ve 5 numaralı menfez sonuna daha fazla hava aktarmak için 5. menfez başlangıcından itibaren yeni bir kanatçık ile birlikte havanın 5. Menfez sonuna daha fazla ilerlemesinin sağlanması ve bu bölgelerden araç içine üflenmiş hava debisini artırarak araç içi optimum bir dağıtım sağlanmasıdır.

Tasarımda geometrik değişim dışında çözücü için girilen değerler, mesh kalitesi kontrol prensipleri ve giriş sınır şartları mevcut durum ile aynı tutulmuştur.

3.3.2. Yeni Tasarım Çözüm Sonuçları

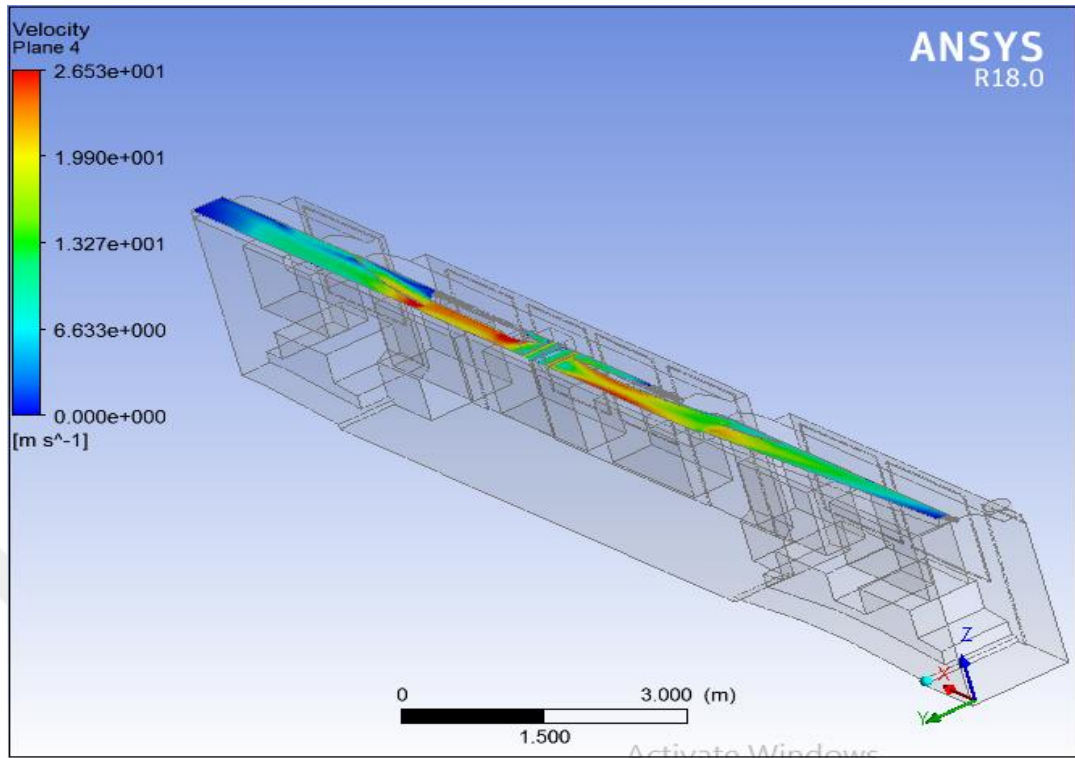
Çözüm için Ansys 18.0 programı kullanılmıştır. Çözüm sonuçları Ansys CFD-Post programında değerlendirilmiştir.

3.3.3. Yeni Tasarımda Hava Kanalı Hız Sonuçları

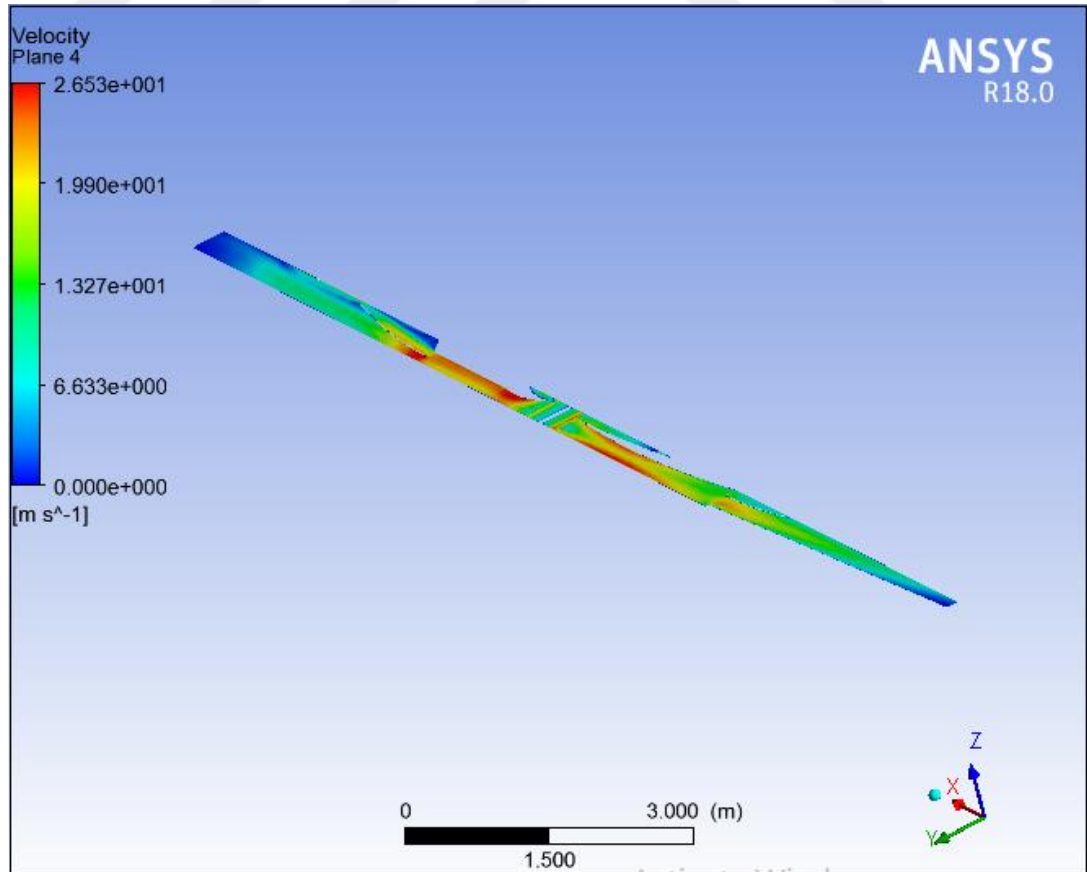


şekil 3. 47. Hava Kanalı Numaralandırmaları

Hava kanalı için çözüm analizinde bahsedilecek olan menfezler için adreslemeler şekil 3.47.'ye göre yapılmıştır.



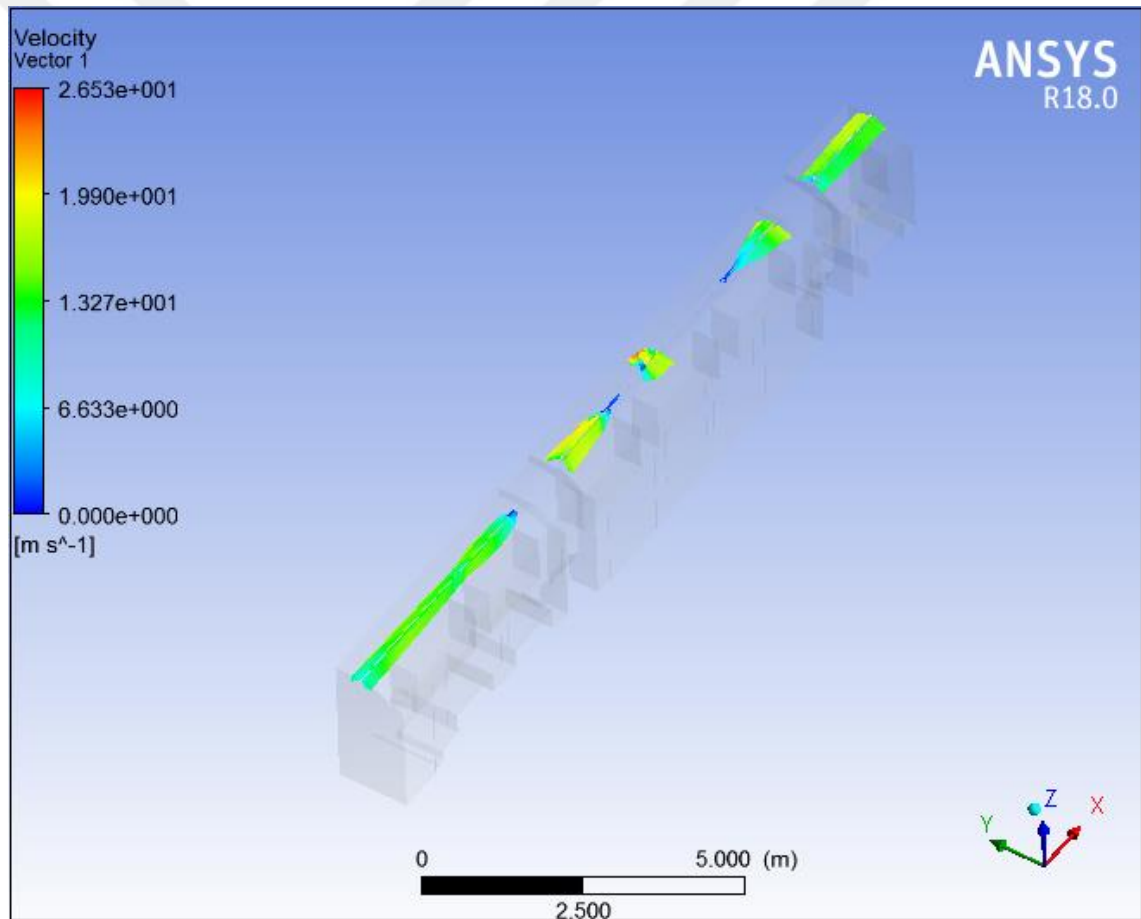
Şekil 3.48. Hava Kanalı Hız Gösterimi 1



Şekil 3.49. Hava Kanalı Hız Gösterimi 2

Şekil 3.48. ve Şekil 3.49.'de havanın yeni tasarımda kanal içindeki hareketi görülmektedir. Kanal içi hızların Şekil 3.20. ve Şekil 3.21'e göre arttığı ve menfez bölümlerine daha fazla havanın iletildiği gözlemlenmektedir. Kanal içinde daralan kısımlarda havanın 26 m/s hıza ulaştığı ortalama ise 13 m/s hızla ilerlediği gözlemlenmektedir.

Şekil 3.50.'de yeni tasarımla menfezlerden hava içerisinde üflenerek havanın vektörel gösterimi bulunmaktadır. Menfezlerden üflenerek havanın Şekil 3.22.'ye göre arttığı ve havanın yolcu kabini içerisine daha hızlı bir şekilde iletildiği görülmektedir. Menfez çıkışlarında 18 m/s hızlarda araç içine hava üflendiği gözükmemektedir.

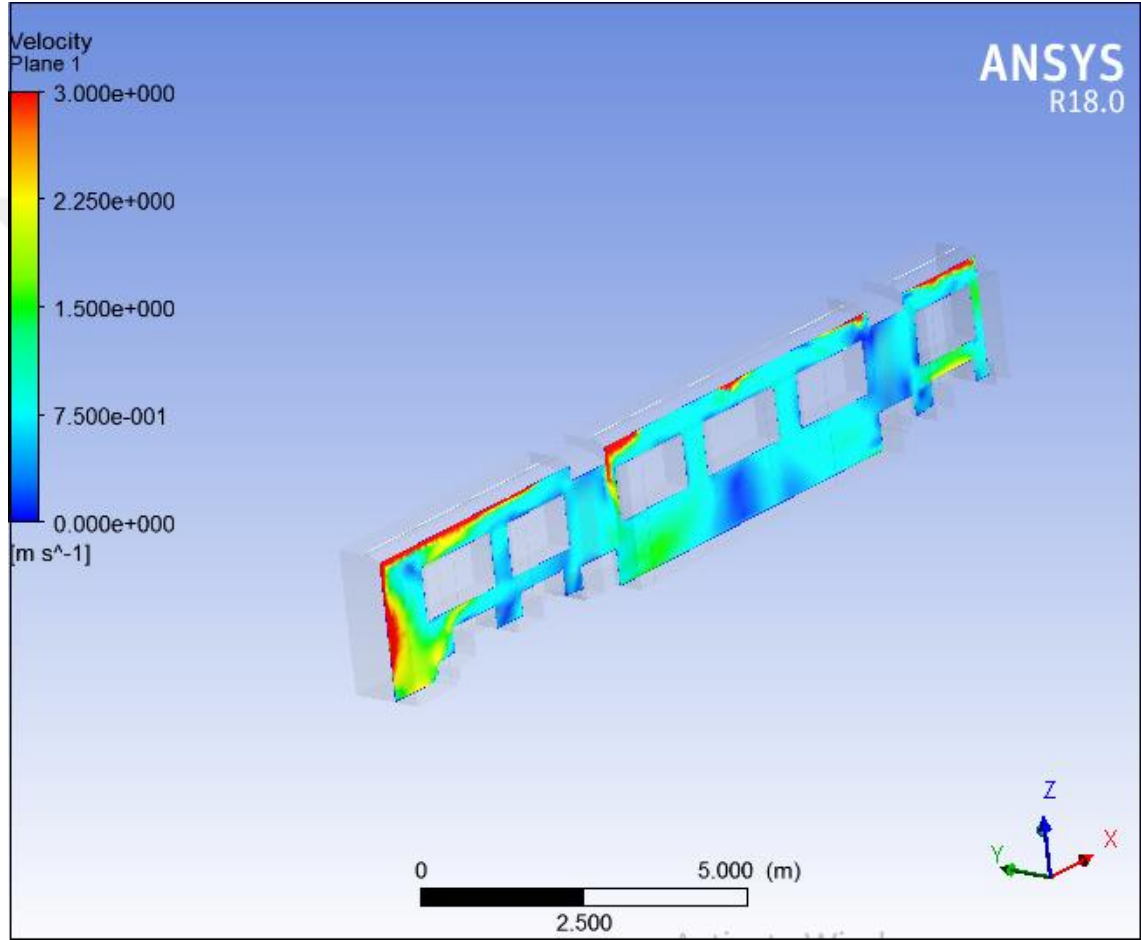


Şekil 3. 50. Yeni Hava Kanalı Tasarımı Araç İçi Menfezlerden Üfleme Hızları

Şekil 3.50.'de yeni tasarımda menfezlerden araç içine üflenerek hava hızlarının vektörel gösterimi bulunmaktadır. Burada araç içine üflenerek havanın ortalama 16m/s hızındadır.

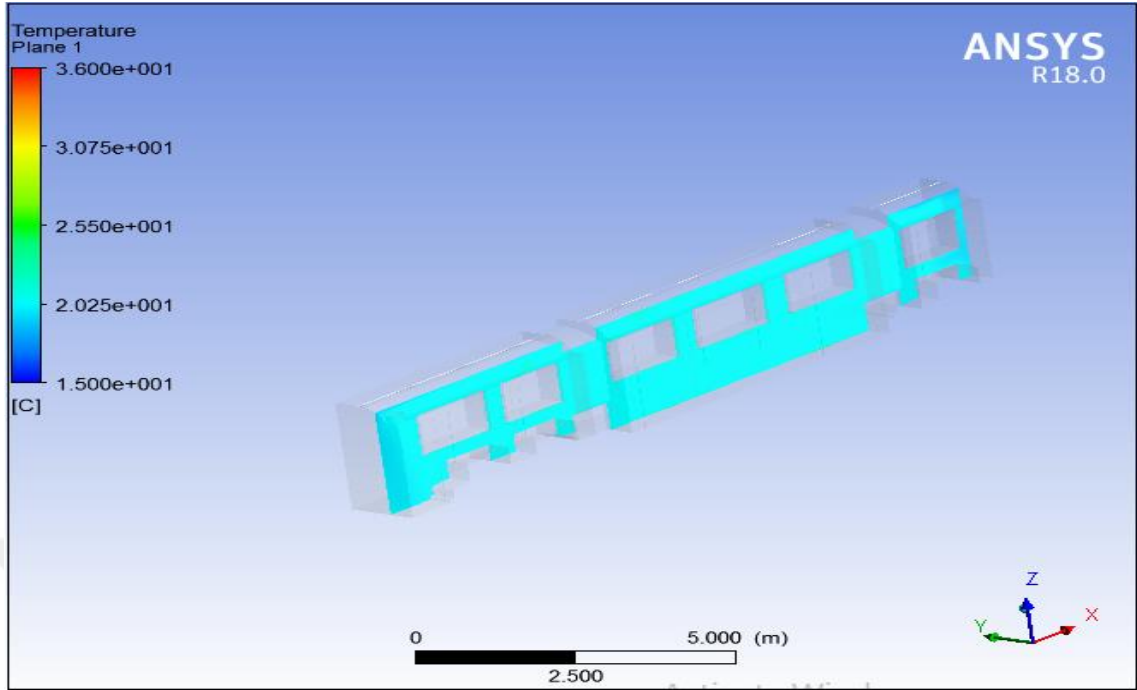
3.3.4.Yeni Hava Kanalı Tasarımı Gövde İçerisindeki Hız ve Sıcaklık Sonuçları

Yolcu kabin içi sıcaklık ve hız sonuçları mevcut tasarım ile birebir aynı düzlemler kullanılarak elde edilmiştir. Kullanılan düzlemler ile birlikte oluşturulan sıcaklık ve hız diyagramları mevcut tasarım ile aynı şartlarda gözlemlenebilmesi için alt ve üst değerler aynı seçilmiştir.



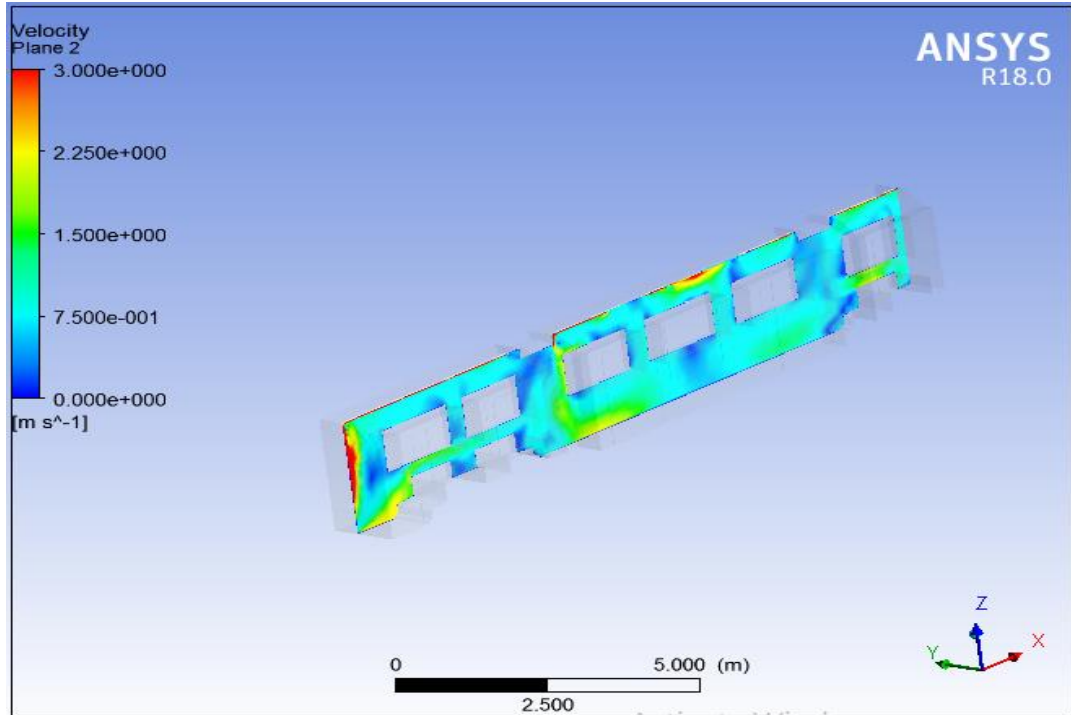
Şekil 3.51. Yeni Tasarım ile Birlikte Gövde 1.Düzlem Hız Gösterimi

Şekil 3.51.'da yeni tasarım sonucunda hava hızlarının genel olarak iyileştiğini gözlemleyebiliriz. Üfleme Bölgelerinde artan hızlar aracın genelinde özellikle yolcu bölümlerinde EN 14750 standardının konfor parametresi olarak belirlediği 4 m/s hızı geçmeden ilerlemiştir.



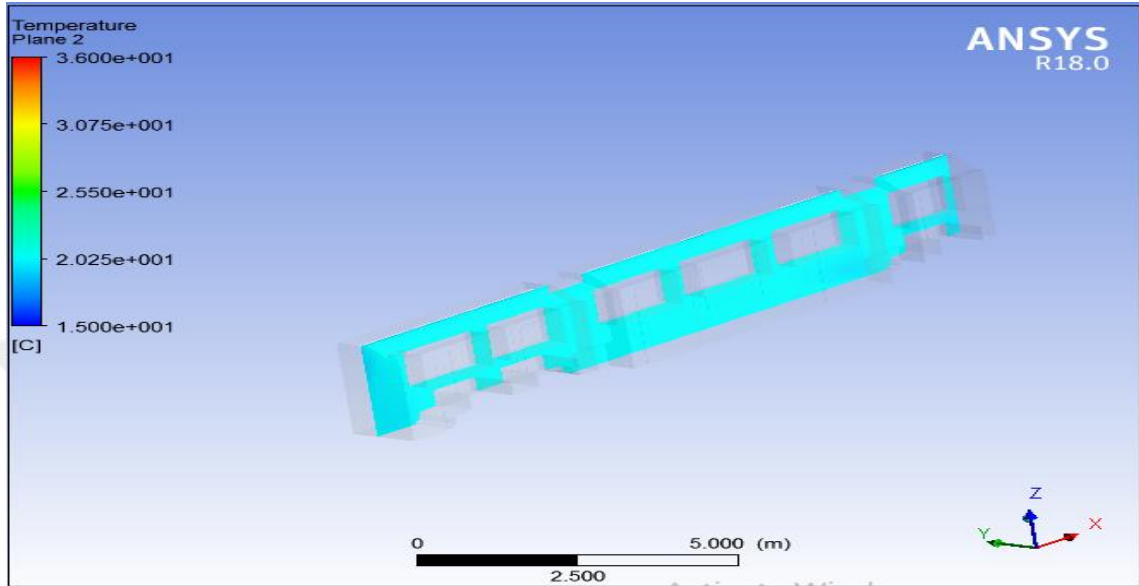
Şekil 3.52. Yeni Tasarım ile Birlikte Gövde 1.Düzlem Sıcaklık Gösterimi

Şekil 3.52.'de gösterilen 1. düzlem hız gösteriminde araç içi sıcaklık dağılımı düzgün ve 21 °C ortalamasında gözükmemektedir.



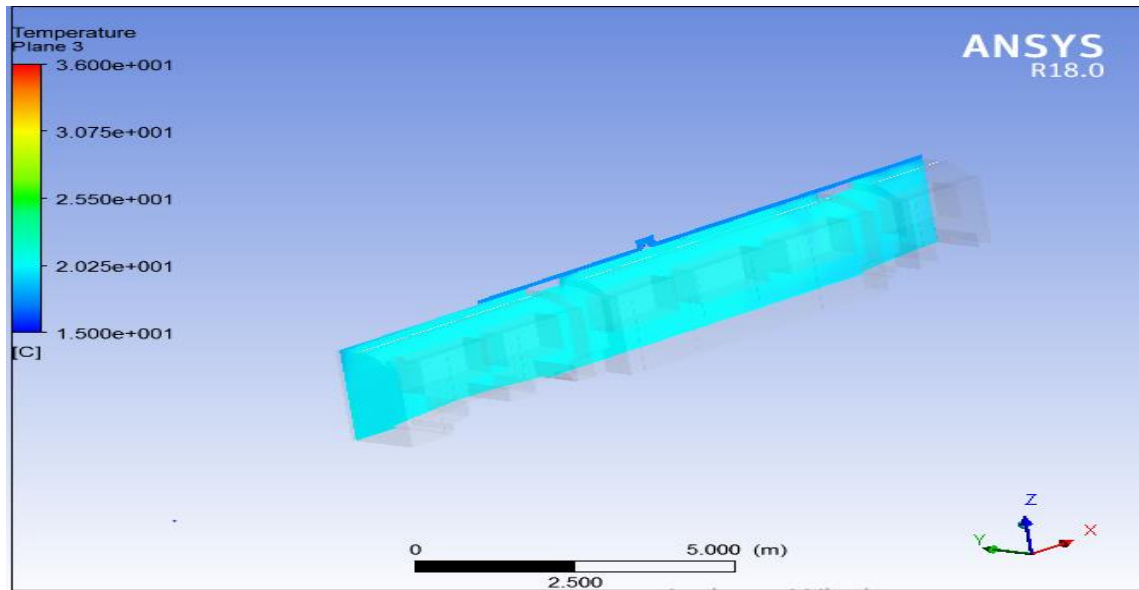
Şekil 3.53. Yeni Tasarım ile Birlikte Gövde 2.Düzlem Hız Gösterimi

Şekil 3.53.'de gösterilen hız diyagramında araç içi hızların kabin içerisindeki durumu 1 m/s ile 1,5 m/s aralığında değişmektedir. Yolcu kabini içerisindeki hız dağılımına göre tam mavi yani hızın sıfır olduğu bölge bulunmamaktadır.



Şekil 3.54.Yeni Tasarım ile Birlikte 2. Düzlemde Sıcaklık Gösterimi

Şekil 3.54.'da gösterilen sıcaklık diyagramında aracın iç sıcaklıkları stabil ve 20°C ortalamalarında gözlemlenmektedir.



Şekil 3.55. Yeni Tasarım ile Birlikte 3.Düzlemde Sıcaklık Gösterimleri

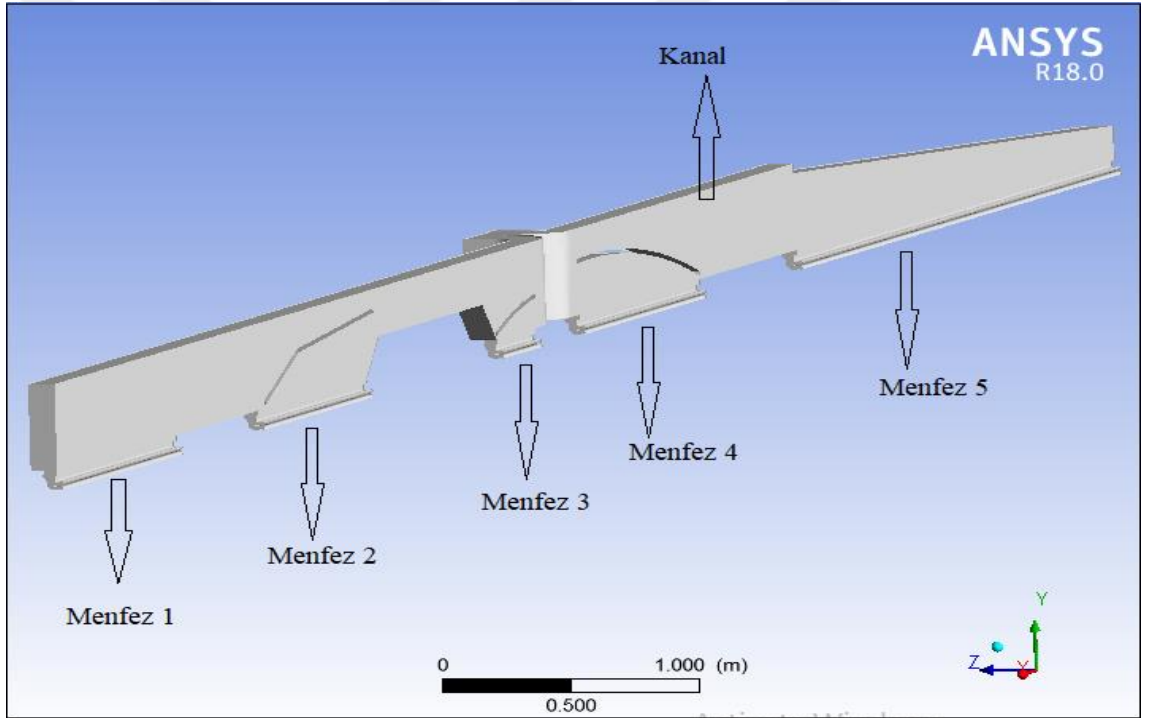
Şekil 3.55.'de düzlem üzerinde sıcaklığın 21 °C ortalamasında olduğu görülmektedir.

4. BÖLÜM

BULGULAR

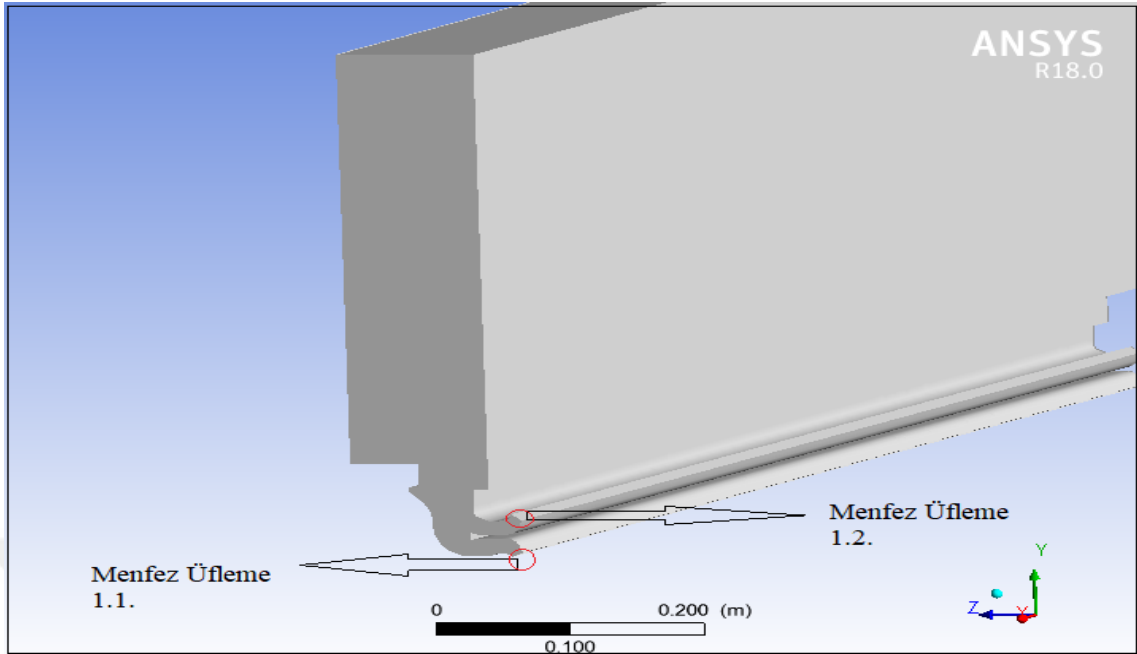
4.1. Yeni ve Mevcut Tasarım Çıktılarının Karşılaştırılması

4.1.1. Karşılaştırma İçin Kullanılacak İsimlendirme ve Tanımlamalar



Şekil 4.1. Kanal ve Menfez İsimlendirmeleri

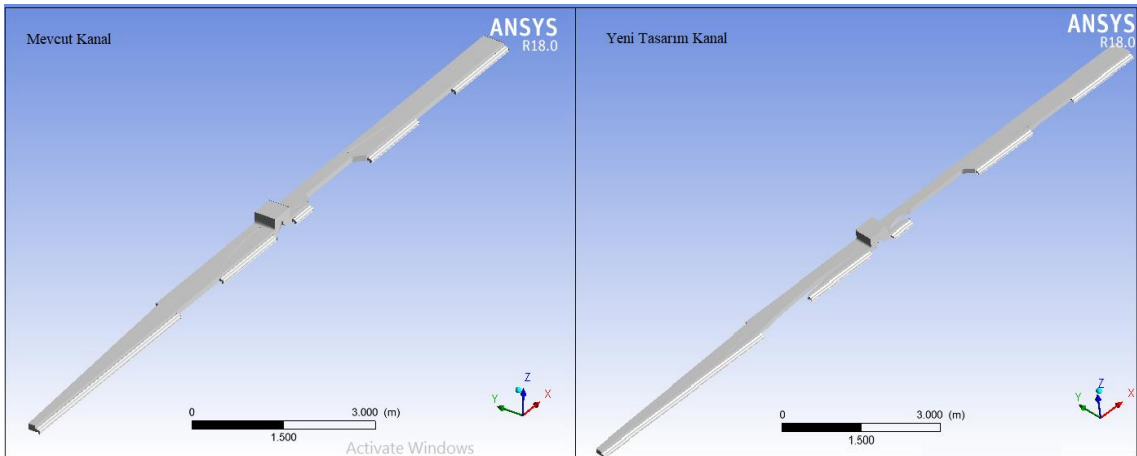
Sonuçların yorumlanmasında Şekil 4.1.'de gösterilen isimlendirme yöntemi kullanılarak sonuçlar yorumlanacaktır.



Şekil 4.2. Menfez Üflemelerinin İsimlendirmeleri

Şekil 4.1.'de gözüktüğü gibi kanalda toplamda 5 adet menfez bulunmaktadır. Her bir menfezin toplamda 2 adet çıkışı bulunmaktadır. İsimlendirilirken ilk önce menfez numarası daha sonra ise dış taraftaki menfez için 1. İç taraftaki menfez içinse Şekil 4.2.'de gösterildiği gibi 2. Numarası verilmiştir. Menfez numaralarımız 1.1. , 1.2. , 2.1. ... Şeklinde devam etmektedir.

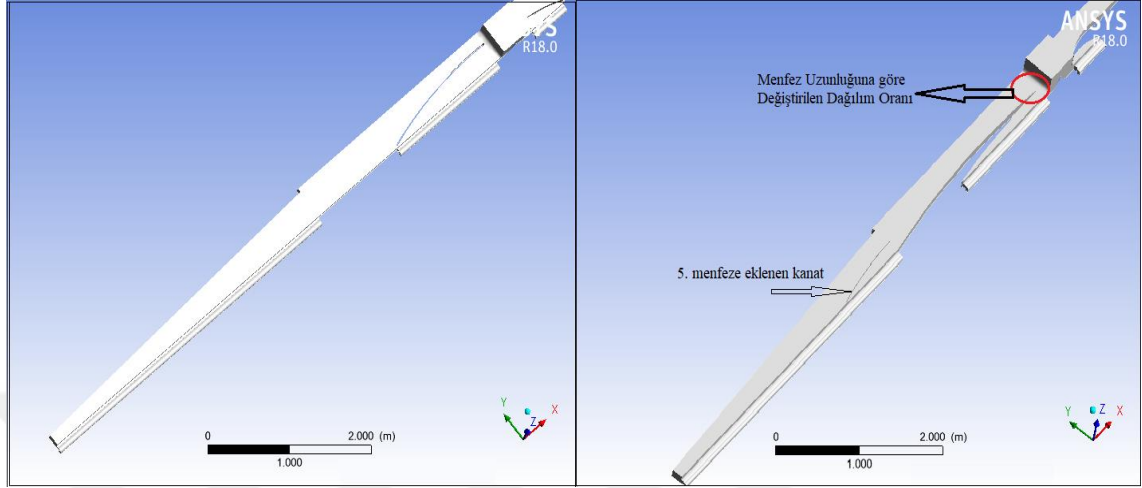
4.1.2.Kanalda Yapılan Modifikasyonlar



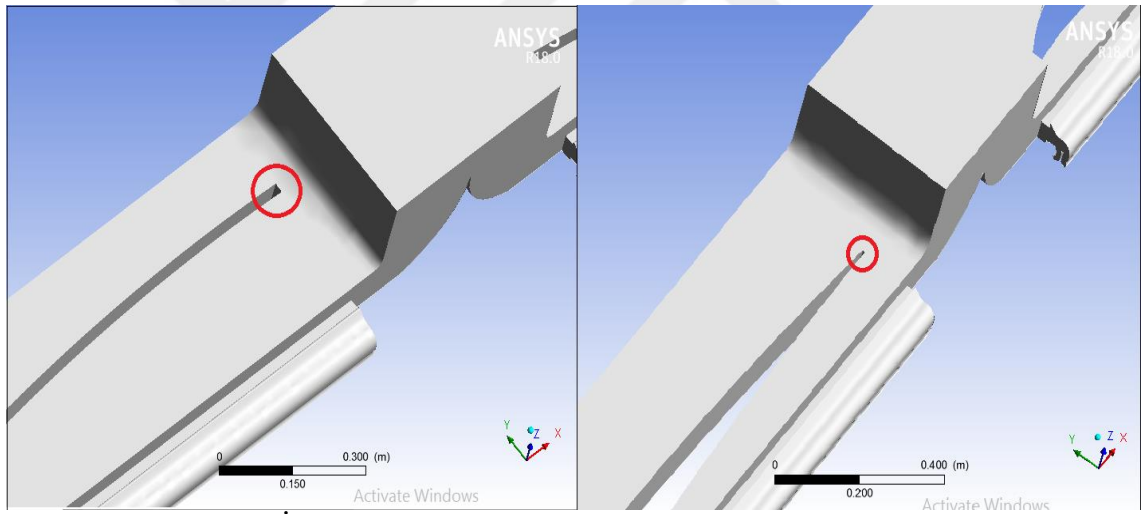
Şekil 4.3. Kanal Tasarımlarının Gösterimleri

Şekil 4.3.'de gösterildiği gibi tasarımda kanallar üzerinde bulunan dağıtım noktalarında menfez uzunlukları ile orantılı olarak kanal tasarımı değiştirilmiştir. Kanal içindeki akışın

5 numaralı menfeze daha dengeli dağılması için ek bir kanatçık eklenmiş ayrıca kanatçıkların geçiş bölümlerinde bulunan küt geometriler sivri köşeli hale getirilmiştir.

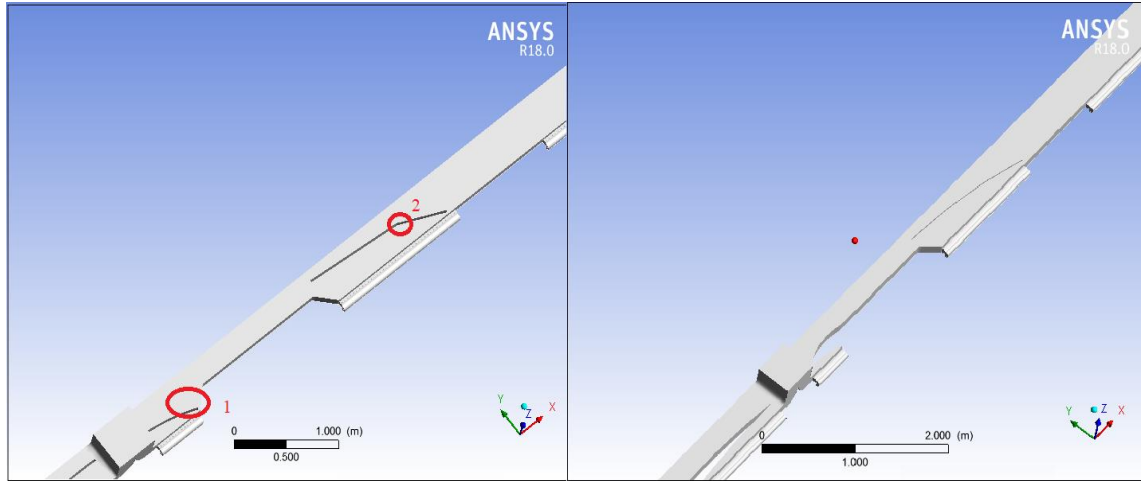


Şekil 4.4. Menfez 4 ve 5 İçin Yapılan Modifikasyonlar



Şekil 4.5. Kanal İçi Dağıtım Kanallarının Orantısal Dağıtımı ve Köşe Ayrıntısı

Şekil 4.5.'de gösterilen değişimlerde dağıtım kanatçıkları menfez uzunlukları ile orantılı hale getirilmiş ve hava ayırımının daha keskin olması için menfez başlangıçları keskinleştirilmiştir.



Şekil 4.6. Menfez 1,2 ve 3 Numaralar İçin Yapılan Modifikasyonlar

İlk işaretlemede havanın ilerleyeceği bir yön bulunmadığı için o bölgede kanal kesilerek sadece menfeze yönelme sağlanmıştır. İkinci işaretlemede kanatçık içerisindeki keskin dönüş tek ve yuvarlak bir form olarak değiştirilmiştir.

4.1.3. Hız Çıktılarının Karşılaştırılması

Yapılan yeni tasarım ve mevcut tasarım arasında kanal içi, menfez çıkışı ve gövde içi hızların karşılaştırılması ile çalışmada elde edilen iyileştirmeler belirlenebilir.

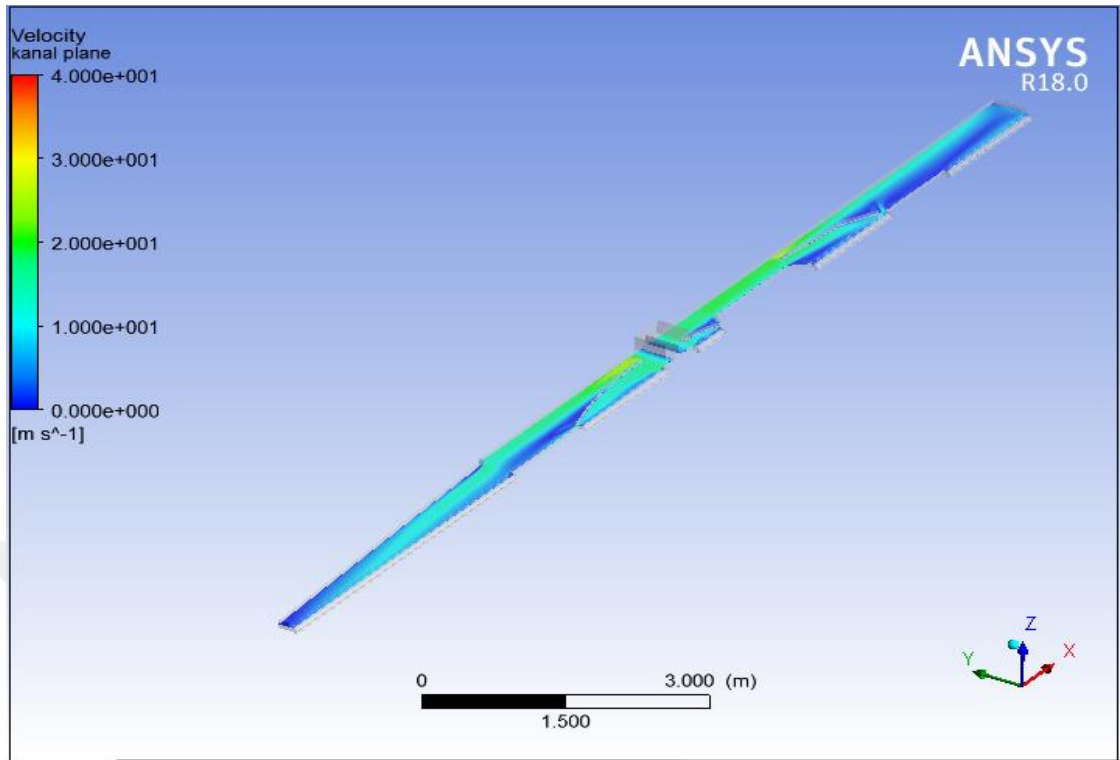
Kanal içi hava akışında beklentimiz, hızın kanal içerisinde herhangi bir vorteks'e neden olmadan, hızının bir miktar artarak mümkün olduğunca havanın kanal çıkışlarında bulunan menfezlere iletilmesini sağlamaktır.

Yeni yapılan tasarımda sonuç olarak iyileştirmeleri belirlemek için karşılaştıracığımız en önemli veri havanın menfez çıkışlarındaki hız artışı olacaktır. Bu sayede havanın doğal olarak araç içerisinde tüm noktalara ulaşması ve ısı transferini aracın her kesiminde daha etkin yapması amaçlanmıştır.

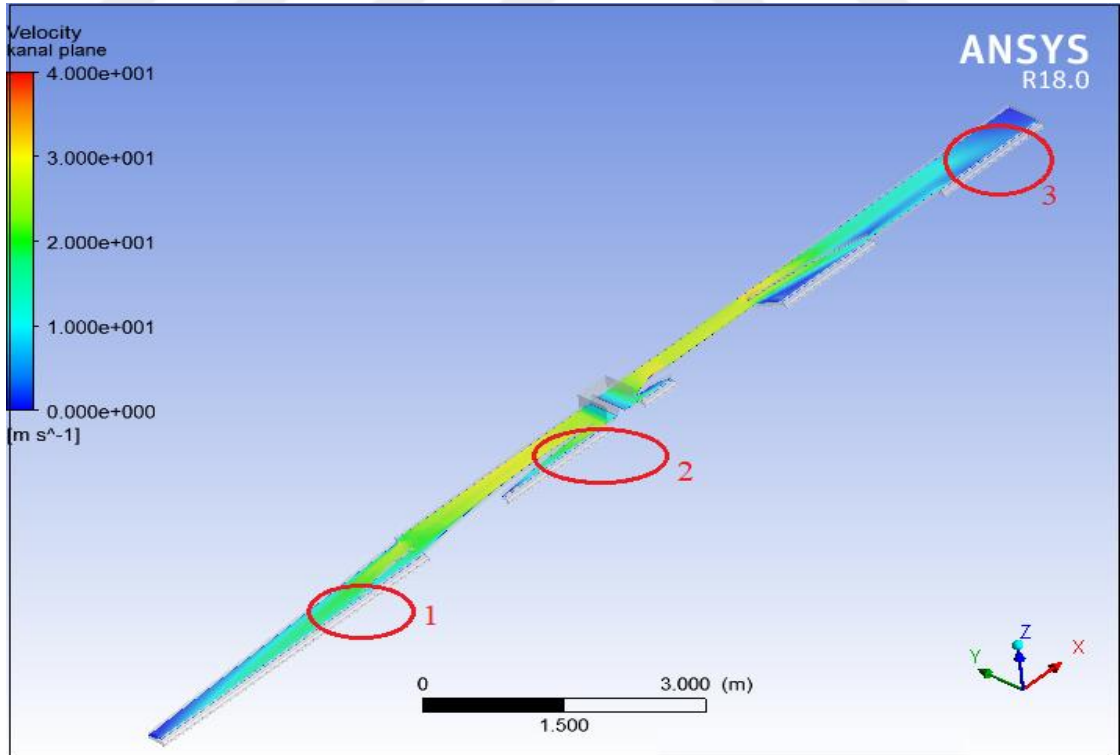
Havanın yolcu kabini içerisindeki hızları tamamen sonuç olarak değerlendirilebilir. Bu bölümdeki amacımız havanın araç içerisinde özellikle ara noktalar ve zemin bölümlerinde konfor parametreleri ölçüsüne ulaşmasını sağlamaktır.

4.1.3.1. Kanal İçi Hızların Karşılaştırılması

Mevcut kanal ile yeni tasarlanan kanal için aynı düzlemde ve aynı hız aralıklarında sonuçlar karşılaştırılmıştır.



Şekil 4.7. Mevcut Hava Kanalı İçerisindeki Hız Gösterimi



Şekil 4.8. Yeni Tasarım Hava Kanalı İçerisindeki Hız Gösterimi

Şekil 4.7. ve Şekil 4.8.'de gösterilen hava kanalı içerisinde hızlarda 10 m/s artış gözlemlenmiştir. Şekilde 1. Olarak işaretlenen bölümde eklediğimiz ek kanatçığın hava

hızına etkisi 10 m/s değerinde bir artış olarak gözükmektedir. Şekilde 2 ile işaretlediğimiz bölgede kanalın menfez uzunluğuna orantılı bir şekilde bölümlendirilmesi ile 10 m/s değerinde hız artımı gözlemlenmiştir. Şekilde 3 ile işaretlenmiş bölgedeki hız artırımını da yine aynı şekilde menfez kanal kesiti orantısının sonucu olarak gözlemlenmektedir.

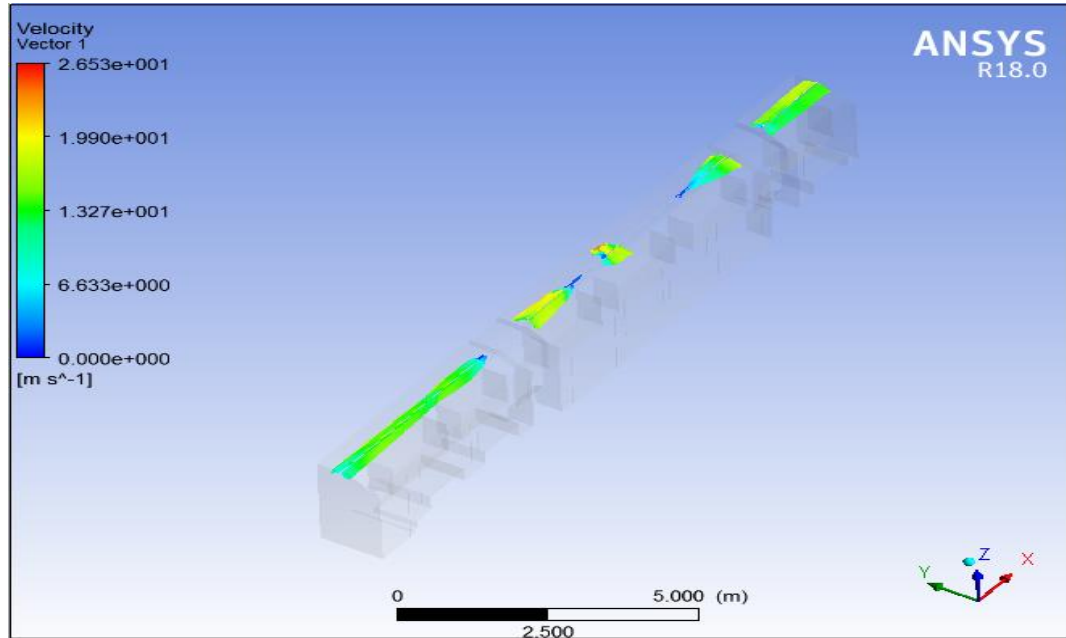
Yapılan modifikasyon ile birlikte kanal içerisinde hız artırımını sağlanarak havanın kanalın menfez bölgelerine daha efektif bir şekilde ulaştığı görülmektedir.

4.1.3.2. Menfez Çıkışı Hızların Karşılaştırılması

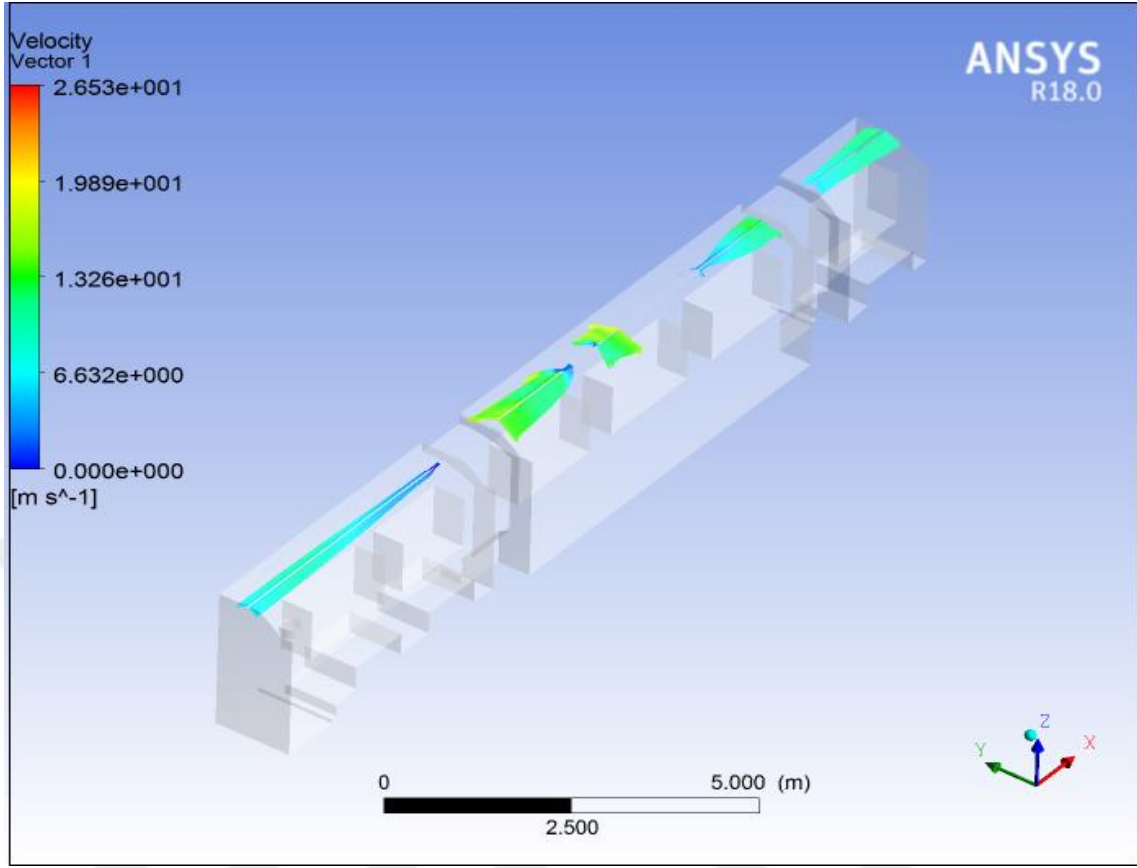
Hava kanalı içine yapılan modifikasyonlar sonucunda ilk çıktılar menfez çıkışlarındaki hızlar olacaktır. Menfez çıkışındaki hızlarda alacağımız artışlar havanın araç içerisinde dağılımını artıracak ve optimum bir dağılım sağlayacaktır.

İki kanala da bağlanan menfezler ve yolcu kabini iki örnekte de aynı tutulduğu için ilk karşılaşacağımız gözlemlenebilir ve ölçülebilir sonuç menfez çıkış hızları olacaktır.

Kesit alanları aynı olan hava kanallarında hızın artırılması bu bölgelerdeki debinin de arttığının bir göstergesidir.



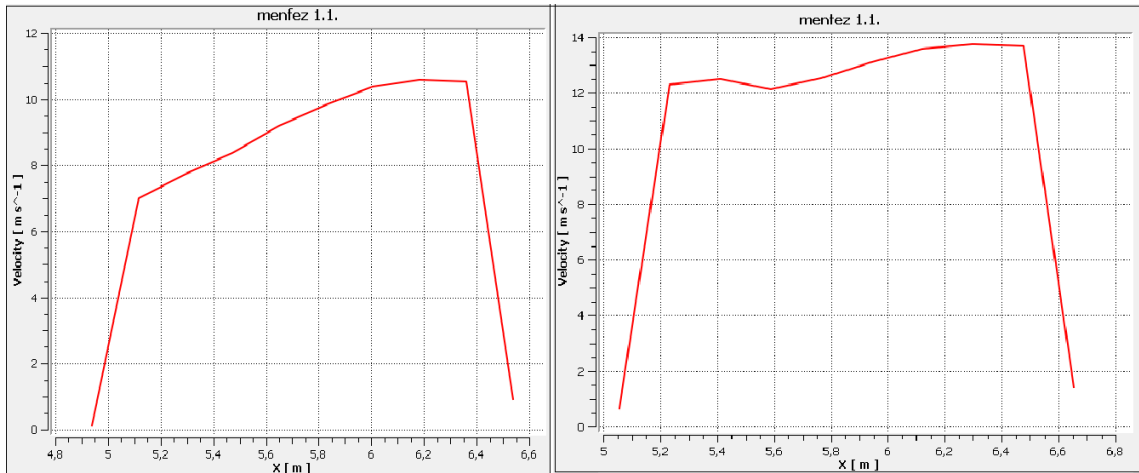
Şekil 4.9. Mevcut Durum Menfez Çıkış Hızlarının



Şekil 4.10.Yeni Tasarım Menfez Çıkışı Hızları

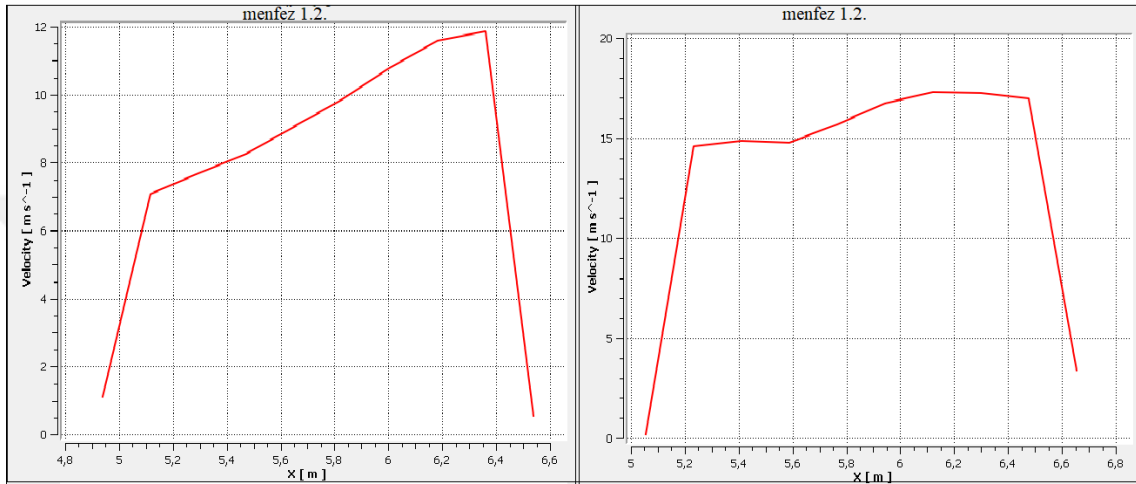
Şekil 4.9. ve Şekil 4.10’da gösterilen hızlar aynı skala üzerinde gösterilmiştir. Gözlemlendiğine göre sağda bulunan yeni tasarımda her menfez bölgesinde hız artışı sağlanmıştır. Hız artırımını ortalama 10 m/s’dir.

Şekil 4.1 ve Şekil 4.2 de belirtilen isimlendirme metoduna göre her bir menfezden çıkan havanın hız grafikleri elde edilmiştir.



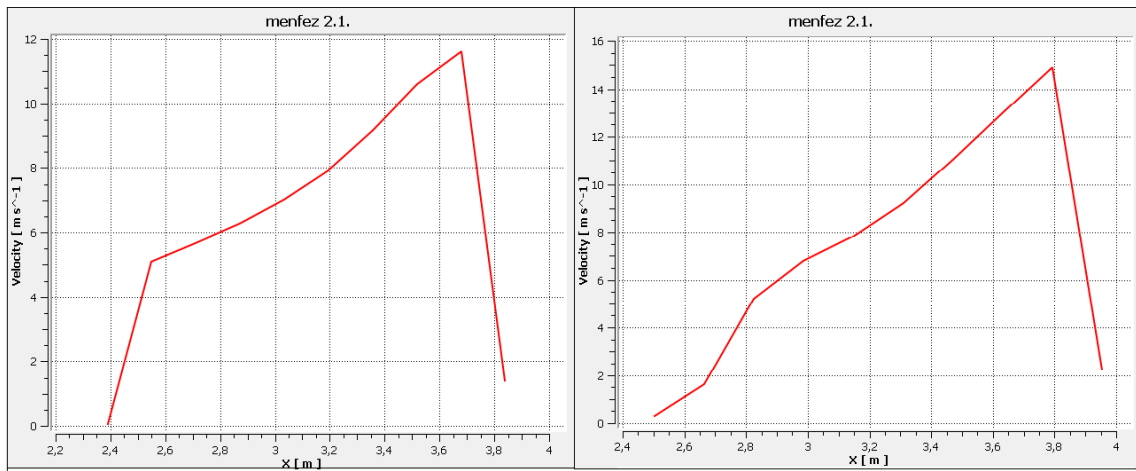
Şekil 4.11. Menfez 1.1. Hız Grafikleri

Menfez 1.1. incelendiğinde iki menfezde de akışın kanal içindeki hızlarında bir artış gözükmemektedir. Burada yapılan modifikasyonlar ile kanalda girişi sonrası menfez uzunluklarına ve besleme hacmine orantılı olarak akışın bölümlenmesi ve en uç noktaya kadar hızlandırılması amaçlanmıştır. Şekil 4.11.'de grafikte gözüktüğü gibi akışkan hızı menfez çıkışında 2 m/s ile 3 m/s arasında hızlanmıştır.



Şekil 4.12. Menfez 1.2. Hız Grafikleri

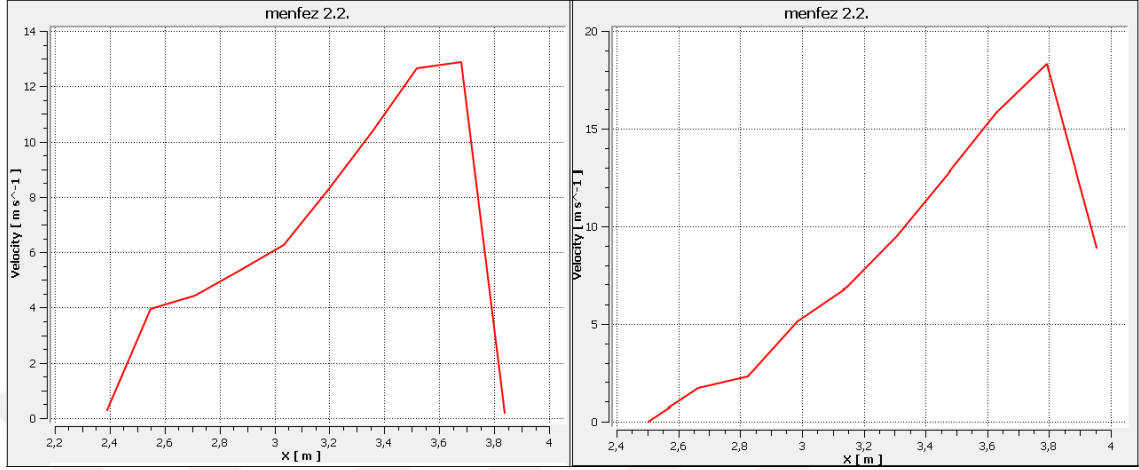
Menfez 1.2. , menfez 1.1. gibi aynı kanal yapısından beslenmektedir. Fark olarak aracın yolcu bölümü tarafına doğru üfleme gerçekleştirmektedir. Burada ortalama değerde yaklaşık 6 m/s değerinde hız artırımını olmuştur.



Şekil 4.13. Menfez 2.1 Hız Grafikleri

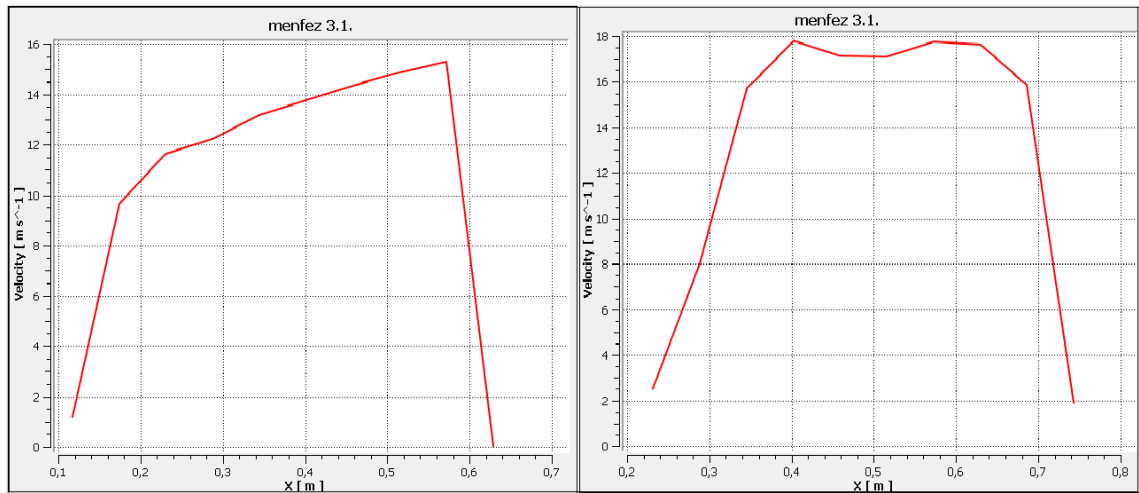
Menfez 2.1 ve menfez 2.2. için menfezlerin uçları daraltılarak havanın kanal içinde küçülen bir hacimde menfeze doğru ilerlemesi ve hız artırımını hedeflenmiştir. Şekil

4.13.'de gözüktüğü gibi ortalama hız değerinde 3 m/s değerinde bir hız artırımını sağlanmıştır.



Şekil 4.14. Menfez 2.2 Hız Grafikleri

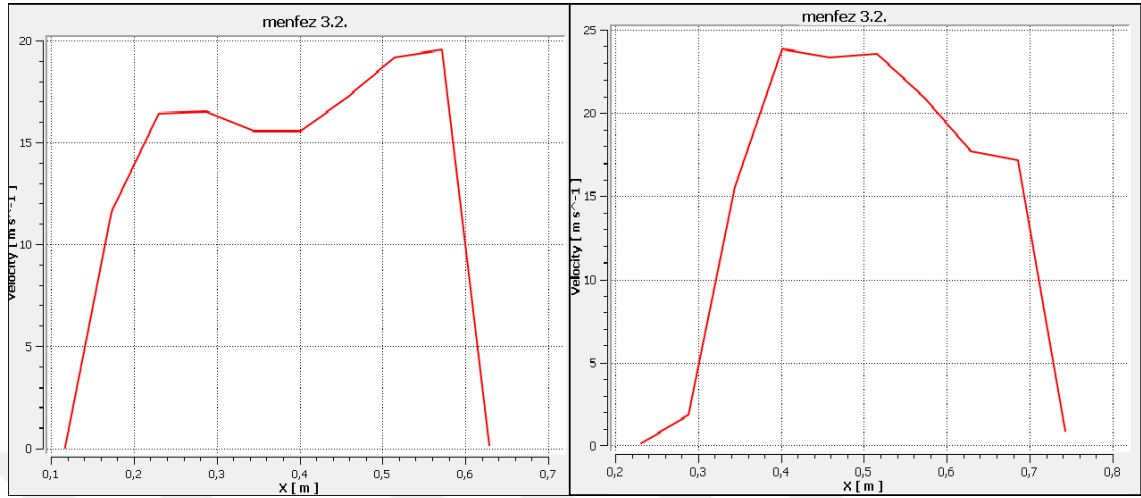
Menfez 2.2.'de ortalama değerinde 6 m/s en yüksek değerinde ise 5 m/s değerinde bir hız artırımını sağlanmıştır.



Şekil 4.15. Menfez 3.1 Hız Grafikleri

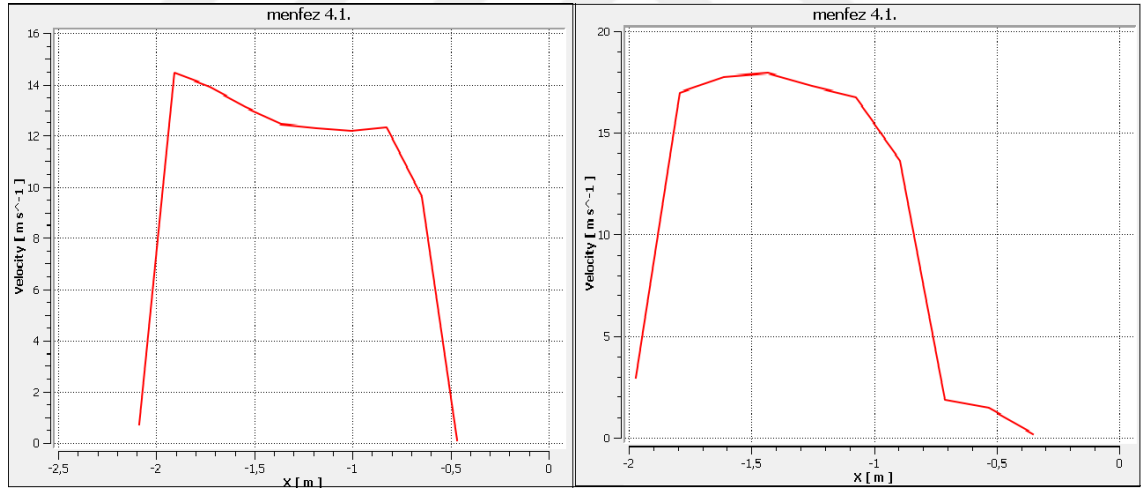
Menfez 3.1. ve menfez 3.2'de hız artırımları için yapılan modifikasyonlarda menfez girişi kanal içi üfleme girişine çok yakın bir noktada ve küçük bir menfezi destekler nitelikte olduğu için harici daralan hacimli bir kanal düzenlemesi yapılmıştır. Ayrıca kanal giriş üfleme dağıtımı da değiştirilerek küçük bir hacmi iklimlendireceği için giriş bölümleri küçültülmüştür.

Menfez 3.1.'de 2m/s'lik bir hız artırımını sağlamıştır.



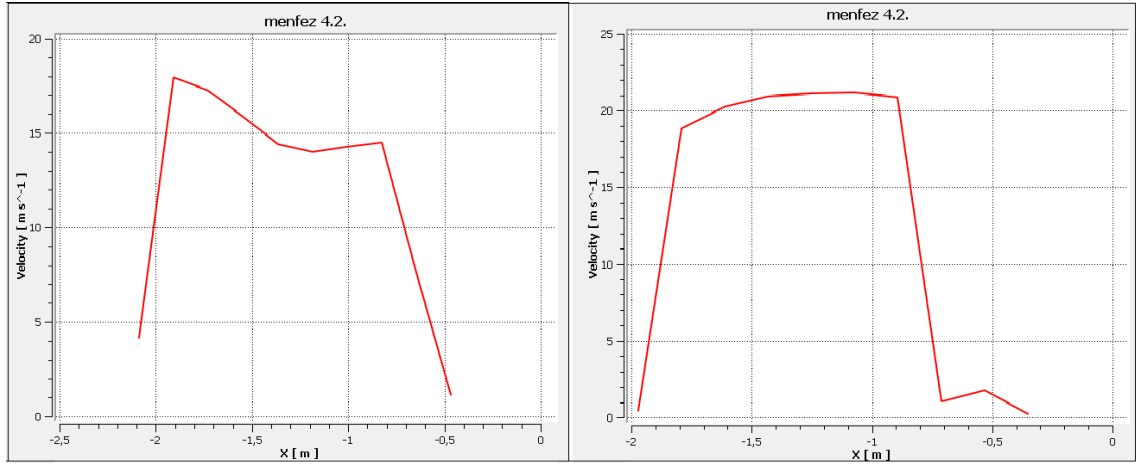
Şekil 4. 16. Menfez 3.2. Hız Grafikleri

Menfez 3.2.'de toplamda 5 m/s'lik bir hız artırımını elde edilmiştir.



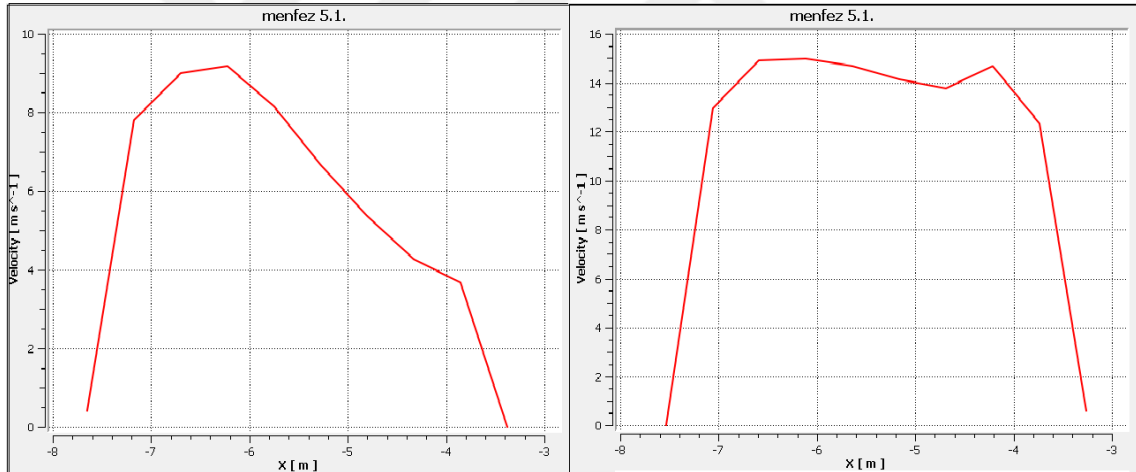
Şekil 4. 17. Menfez 4.1. Hız Grafikleri

Menfez 4.1. ve menfez 4.2. için akışkan giriş kısmından sonra menfez boyutları ile orantılı olarak dağıtımı sağlanmıştır. Ayrıca menfeze yönlene havanın tamamının menfezden geçişi için menfez sonlandırılmış ve daralan bir çizgiyle devam ettirilmiştir. Menfez 4.1.'de ortalama 3 m/s hız artırımını sağlamıştır.



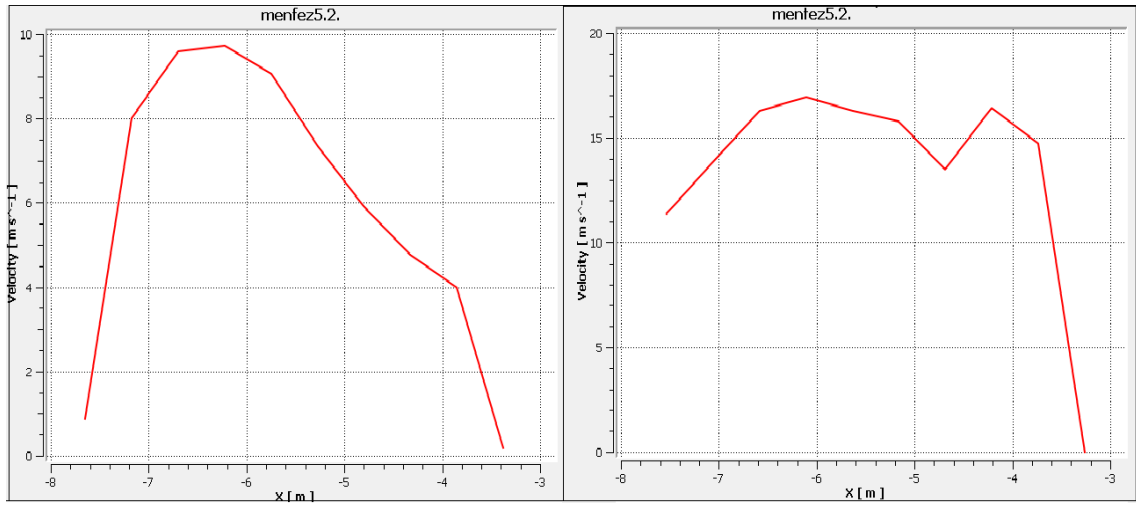
Şekil 4.18. Menfez 4.2. Hız Grafikleri

Menfez 4.2.'de ortalama 3 m/s hız artırımını sağlanmıştır.



Şekil 4. 19. Menfez 5.1. Hız Grafikleri

Menfez 5.1. ve menfez 5.2.'de en çok hız değişimi yaşanan menfezlerdir. En uzun menfez olması açısından yolcu bölümünde büyük bir alana etki etmektedir. Bu nedenle yaşanan değişimler direk etki edecektir. Girişte yaptığımız oransal aktarım ve diğer kanalda olmayan eklediğimiz yeni iç kanatçık sayesinde menfezin son bölümlerinde ciddi bir hız artırımını sağlanmış ve daha dengeli bir iklimlendirme sağlanması için olumlu bir adım elde edilmiştir. Menfez 5.1'de ortalama 6 m/s bir hız artırımını sağlanmıştır.



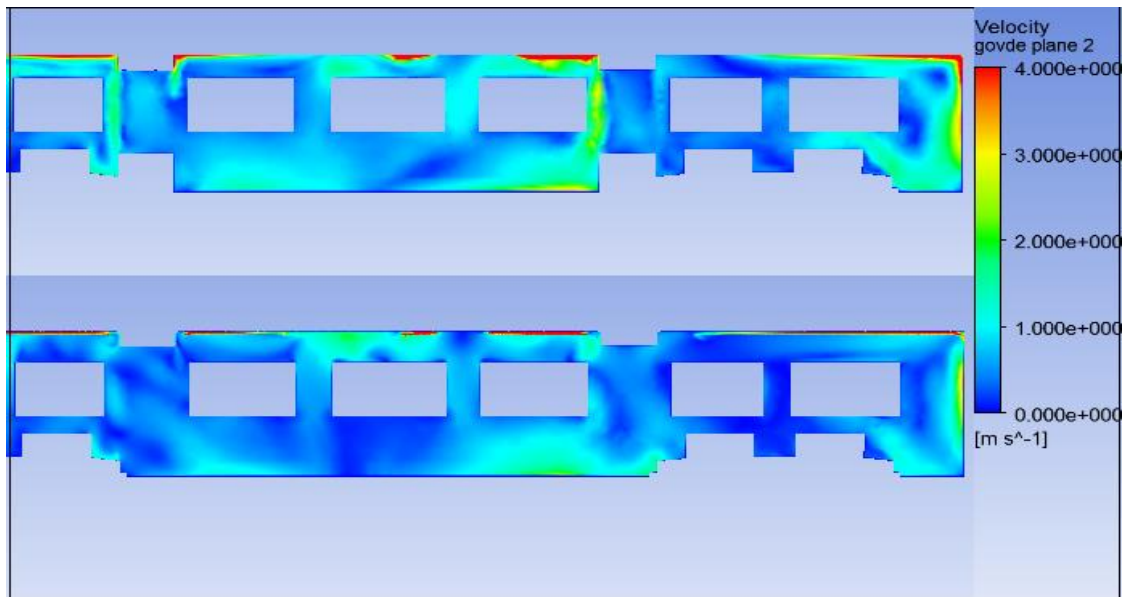
Şekil 4. 20. Menfez 5.2. Hız Grafikleri

Menfez 5.2.'de ortalama 6 m/s hız artırımını sağlanmıştır.

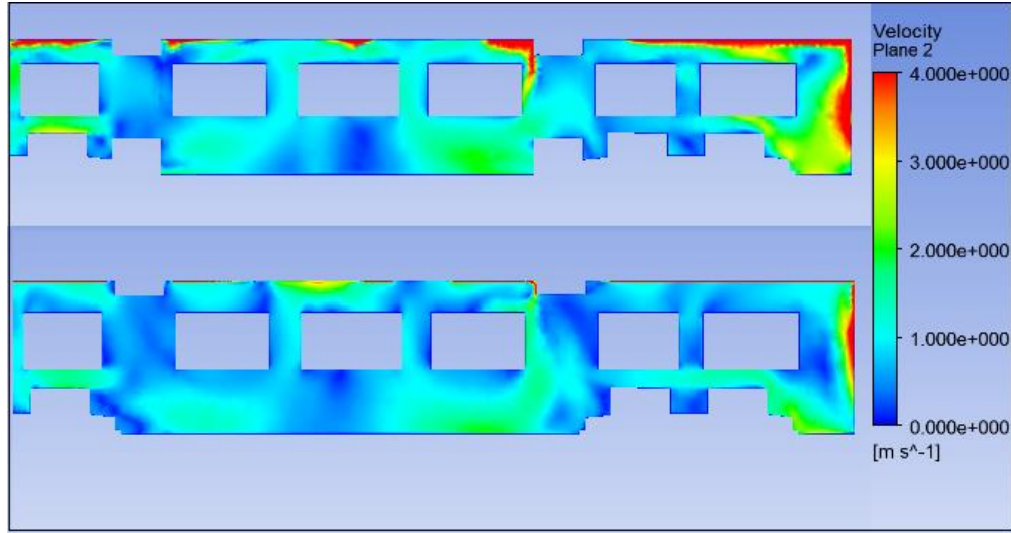
Grafikler incelendiği zaman her bir grafikte hız artımı gözlemlenmektedir. Bu sonuç bize hava kanalı içinde yaptığımız modifikasyonların menfez çıkışlarında başarılı sonuç verdiğini göstermektedir.

4.1.3.3. Yolcu Kabini İçerisindeki Hız Karşılaştırmaları

Yolcu kabini bölümdeki hızlar kabin içine menfezlerden üflenen havanın sonucudur. Yeni tasarımla birlikte menfezlerden yolcu kabinine üflenen hava hızlarında bir artış görülmüştür.



Şekil 4.21. Mevcut Durum Yolcu Kabini İçerisindeki Hız Karşılaştırmaları

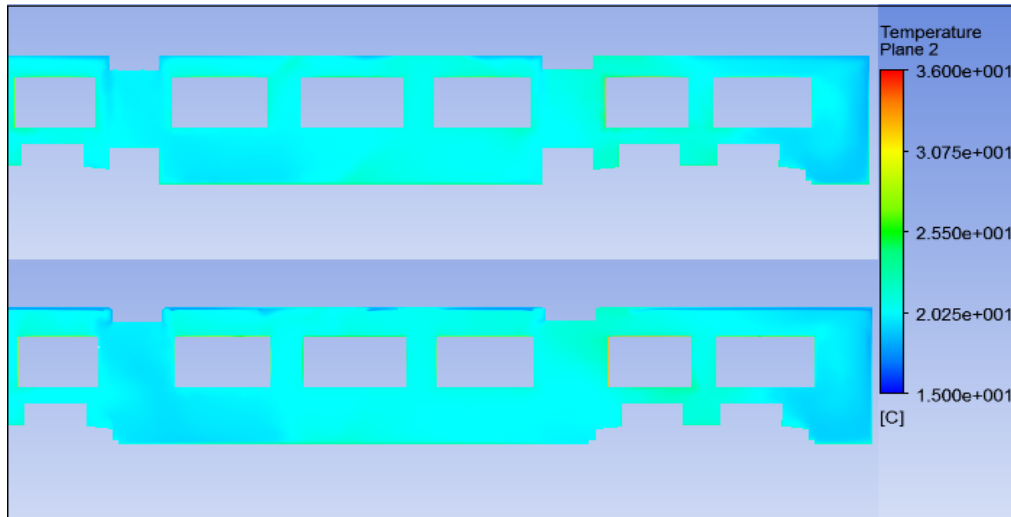


Şekil 4.22. Yeni Durum Hız Karşılaştırmaları

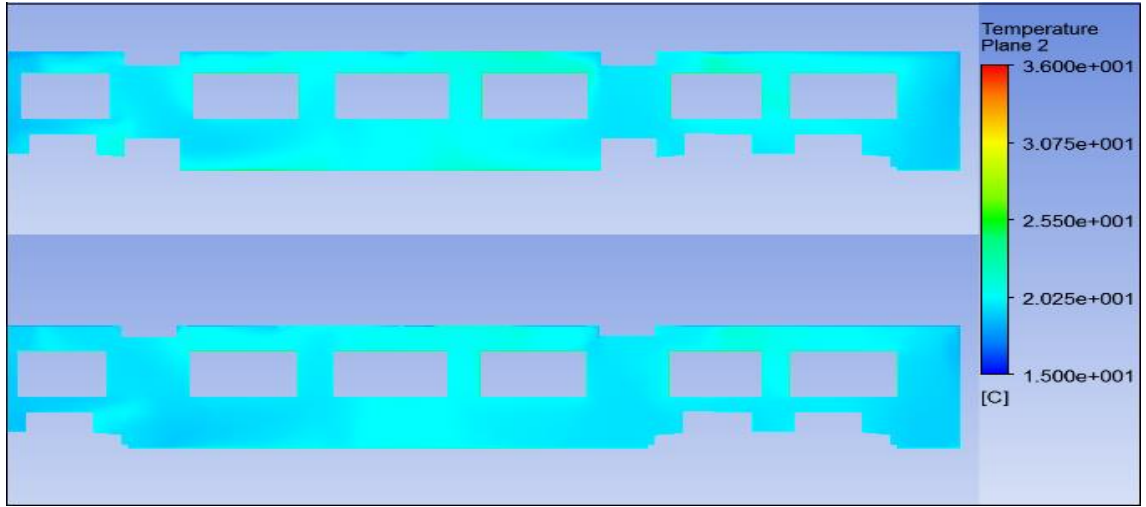
Menfez hızlarındaki artış farklı iki düzlemde incelenmiş ve yolcu kabini içinde de artış göstermiş ve yukarıdaki gösterimle mavi ile gösterilen ve havanın daha durağan olduğu bölgelerde de 2 m/s iyileştirme oluşmuştur. Alt taraftaki görsel yeni tasarım sonucunu göstermektedir.

4.1.4. Yolcu Kabini İçerisinde Sıcaklık Karşılaştırması

Hava kanalına yapılan modifikasyonlar sonucunda araç içi sıcaklığın dağılımında ve derecesinde iyileşme beklenmektedir. Yolcu kabini iç bölümüne iki kontrol grubu için aynı noktadan atılan iki farklı düzlem ile birlikte aynı skalaya sahip sıcaklık durumları incelenmiştir.



Şekil 4. 23. Mevcut Durum Sıcaklık Karşılaştırması



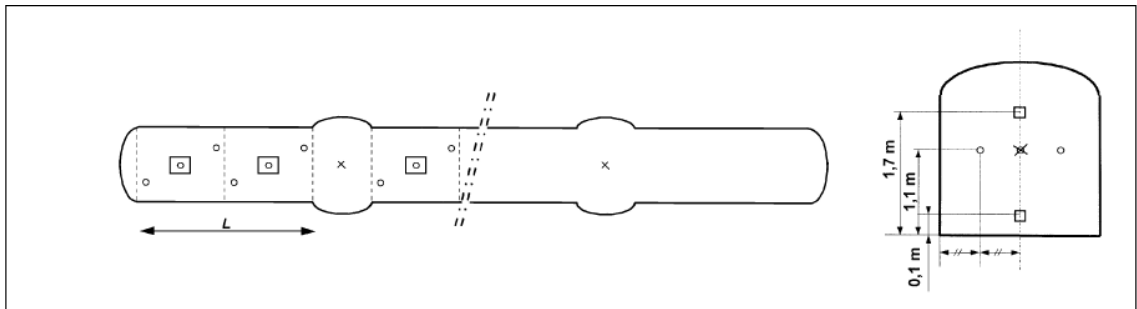
Şekil 4.24.Yeni Durum Sıcaklık Karşılaştırmaları

Şekil 4.24’de gözlemlendiği gibi araç içi sıcaklıklarda 2 °C iyileşme elde edilmiştir. Özellikle aracın alt geçiş bölgelerindeki sıcaklık iyileşmeleri araç içi havanın optimum şekilde dağıtılmasının bu da dolaylı yoldan araç içi hava hızlarının artırılmasının doğal bir sonucudur.

4.1.5. EN 14750 Standardı İçin İki Durumun Karşılaştırılması

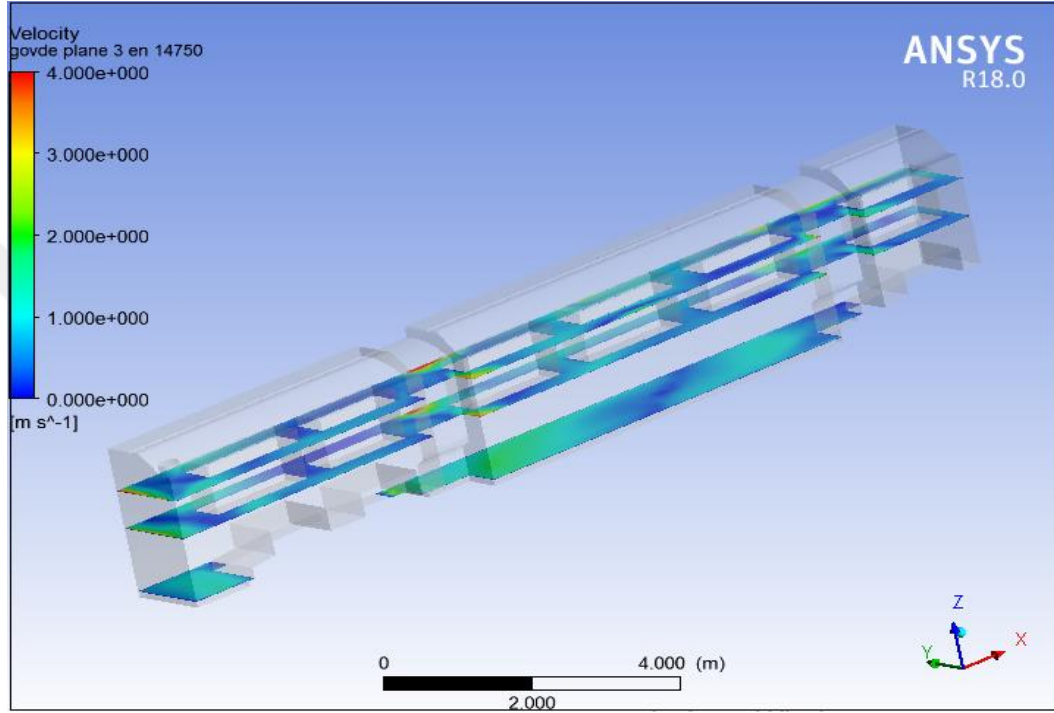
EN 1470 standardı 2006 yılında yayınlanmış ve raylı sistem araçları için ‘Demiryolu uygulamaları - Şehir içi ve banliyö çeken ve çekilen taşıtlar için havalandırma - Bölüm 1: Konfor parametreleri’[24] ve ‘Demiryolu uygulamaları - Şehir içi ve banliyö çeken ve çekilen taşıtlar için havalandırma - Bölüm 2: Tip deneyleri’[25] konularını içermektedir.

Demiryolu uygulamaları - Şehir içi ve banliyö çeken ve çekilen taşıtlar için havalandırma - Bölüm 2: Tip deneyleri’[25] bölümünde raylı sistem araçları tip deneylerini tarif etmektedir.

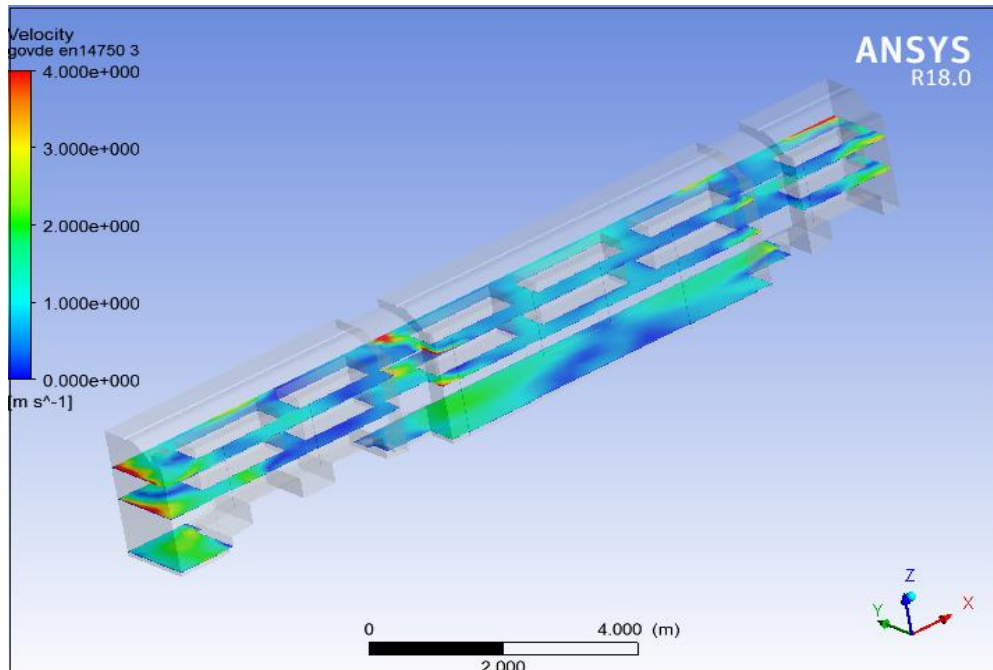


Şekil 4.25. EN 1470-2 Körüklü Raylı Sistem Araçları İçin Ölçüm Noktaları[25]

Ölçüm noktaları üzerinde zamana bağlı birçok parametre kontrol edilmektedir. Çalışmamızda kıyaslama açısından Şekil 4.20’de belirtilen bölgelere atılan düzlemler ile Şekil 3.17 ve Şekil 3.18. de belirtilen konfor parametreleri irdelenecektir. Konfor parametrelerine göre araç içi sıcaklığımız 27 °C altında ve yolcu kabini hızlarımız 4 m/s’nin altında olması gerekmektedir.[24].

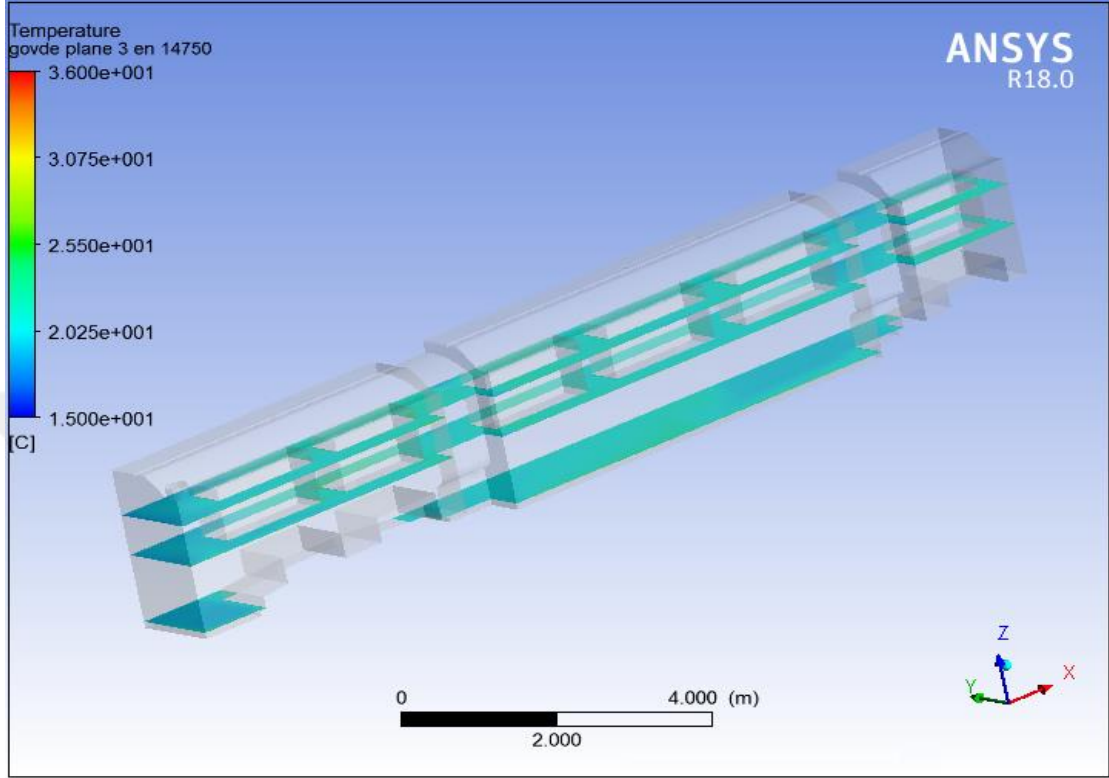


Şekil 4.26. Mevcut Tasarım EN 14750-1 Ölçüm Noktalarında Hız Gözlemleri

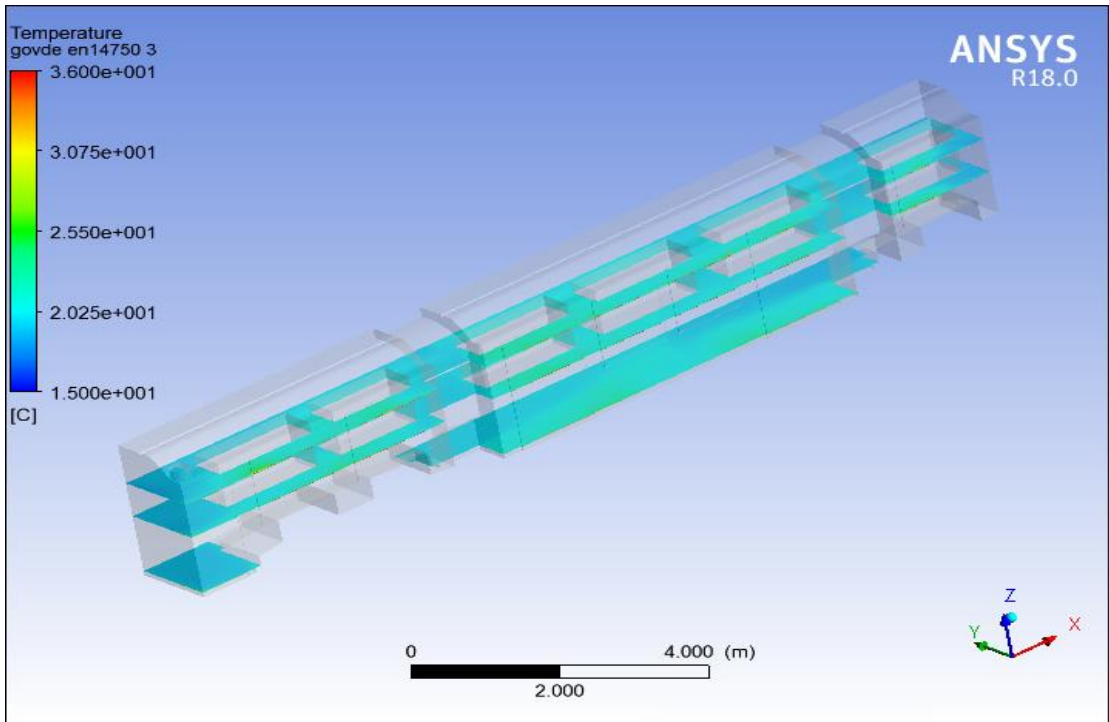


Şekil 4. 27. Yeni Tasarım EN-1470 Hız Gösterimi

Hız iki durumda da kritik noktalar olan yolcu bölgelerinde 4 m/s'nin altında kalmıştır. EN 14750-1 ve EN 14750-2 standartlarına göre uygundur.



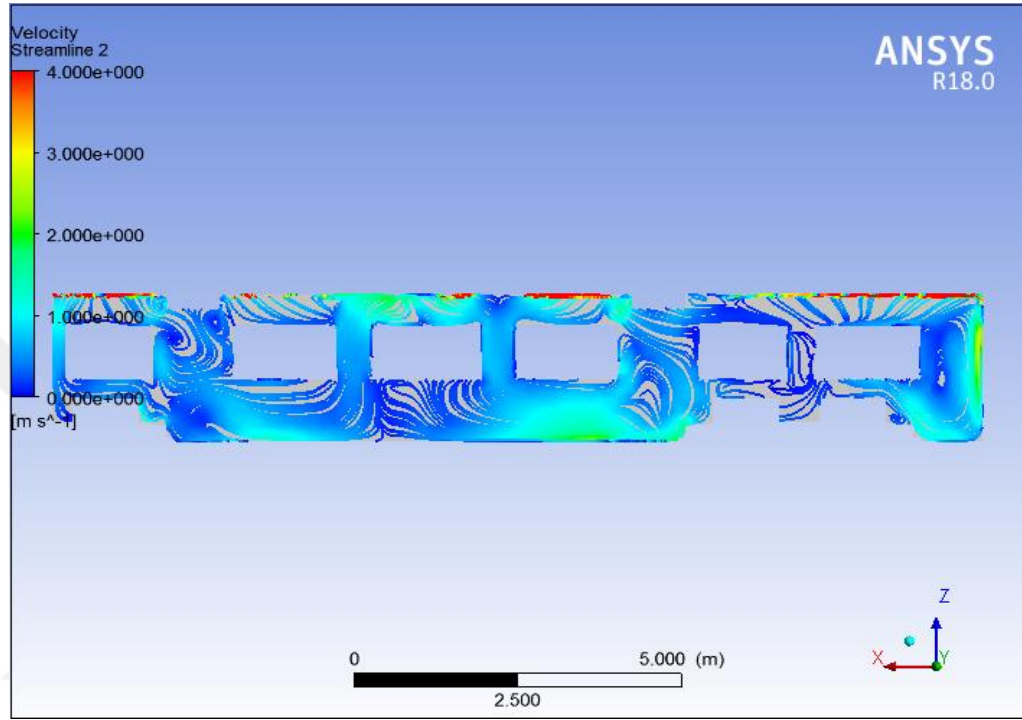
Şekil 4. 28. Mevcut Tasarım EN 14750-2 Ölçüm Noktalarında Sıcaklık Gözlemleri



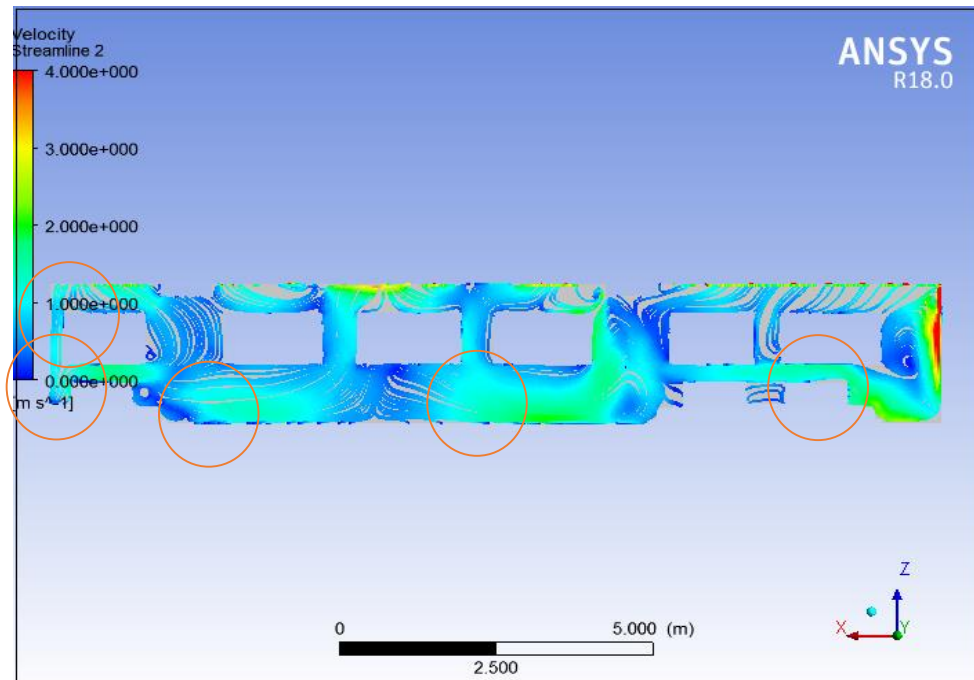
Şekil 4. 29. Yeni Tasarım EN 14750 Sıcaklık Gösterimi

Her iki durumda da yolcu kabin içi 27°C hedef sıcaklığının altında kalmıştır. EN 14750-1 ve EN 14750-2 standartlarına göre uygundur.

4.1.5. İki Tasarım İçin Akış Çizgileri İle Gösterim

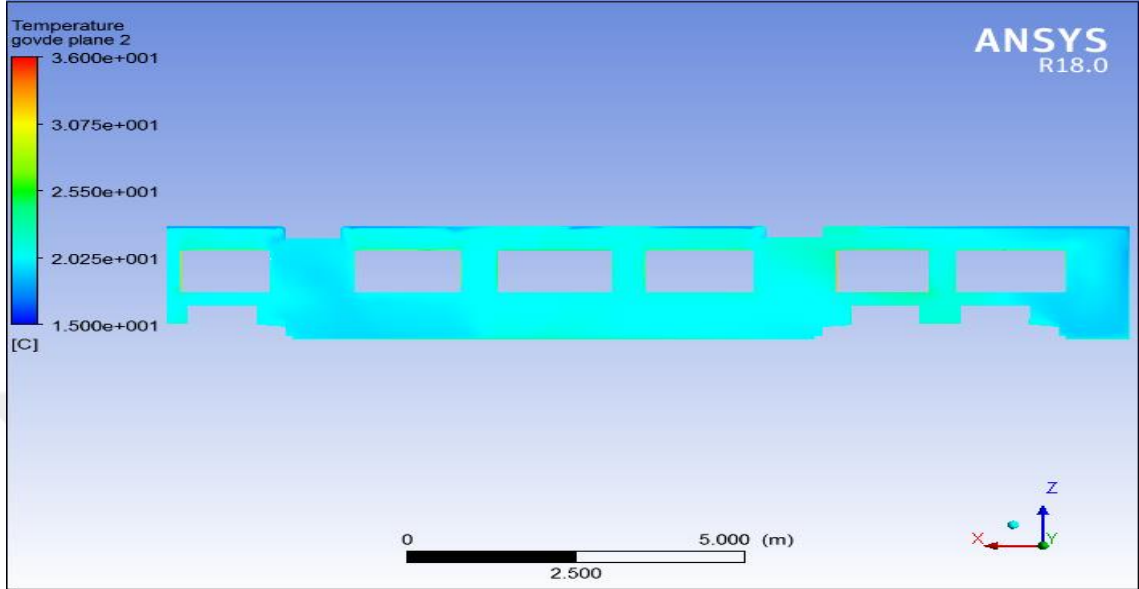


Şekil 4. 30. Mevcut Tasarım Hız Streamline Gösterimi

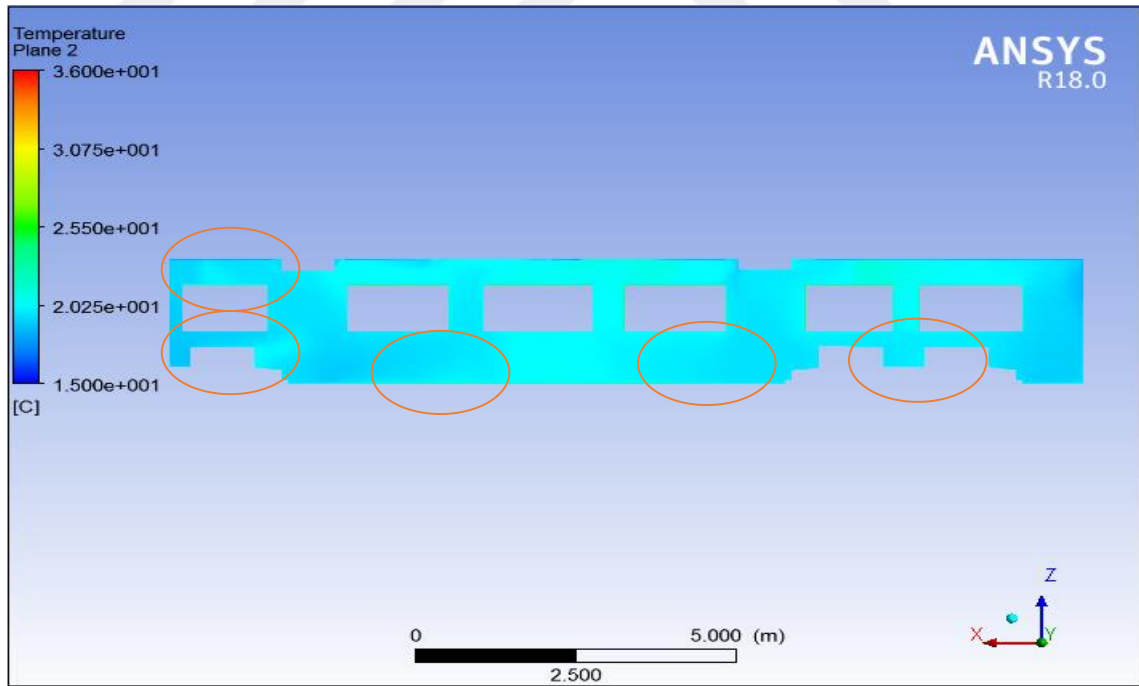


Şekil 4.31. Yeni Tasarım Hız Streamline Gösterimi

Şekil 4.30 ve Şekil 4.31 incelendiğinde Şekil 4.31 de işaretlenmiş bölgelerde ortalama 1 m/s hız artırımları elde edilmiştir.



Şekil 4. 32. Mevcut Tasarım Sıcaklık Gösterimi



Şekil 4. 33. Yeni Tasarım Sıcaklık Gösterimi

Şekil 4.32 ve 4.33 incelendiğinde araç içerisinde Şekil 4.33. de işaretle belirtilen bölümlerde 1°C sıcaklık iyileşmeleri olmuştur.

Şekil 4.31 de işaretlenen hız artırımı bölgeleri ile Şekil 4.33 de işaretlenen sıcaklık azalışı bölümleri aynıdır. Yeni tasarım sayesinde 1 m/s hız artışı oluşturduğumuz bölgelerde 1 °C sıcaklık iyileşmesi sağlanmıştır.

4.2.Tartışma ve Sonuç

Yapmış olduğumuz çalışmada hafif raylı sistem aracına ait yolcu kabini mevcut tasarım ile birlikte analiz edilerek sonuçlar paylaşılmıştır. Bu analiz incelendiğinde kabin içerisinde özellikle yolcu bölümlerinde ve kabin son bölümlerinde hava dağılımının homojen olmadığı ama standartlara uygun aralıkta olduğu anlaşılmıştır. Daha homojen bir hava dağılımı sağlanabilmesi için diğer tüm değişkenler sabit tutularak hava kanalı yönlendirmeleri üzerinde modifikasyonlar yapılmıştır. Modifikasyonların amacı havanın kanal boyunca iletilmesi ve menfez bölgelerinde ki üfleme hızlarının artırılarak aracın her noktasına hava akımının ulaşmasını sağlamaktır. Bu nedenle yapılan mevcut durum analizine göre hava kanalı içerisinde belirlenen problemlere çözüm niteliğinde modifikasyonlar geliştirilmiştir. İlk olarak havanın tüm menfezler boyunca eşit olarak dağıtılmadığı ve kanalın menfez uzunluğuna orantılı olarak hava dağılımı yapması gerektiği anlaşılmıştır. Bu nedenle kanal hava girişi ardından menfez uzunluklarına göre hava kanalı kanatçıklarının konumları değiştirilmiştir.

İkinci olarak özellikle kanal içi hava dağılımını sağlayan kanatçıkların başlangıç noktalarında havanın durağanlaştığı anlaşılmış ve bu bölgelerin geometrileri daha etkin ayırım oluşturulacak şekilde değiştirilmiştir.

Üçüncü olarak menfezler için ayrılan havaların menfez sonu boşluklardan hızlanarak çıktığı gözlemlendiği için iki menfezde çıkışlar sonlandırılmış ve menfeze yönlendirilen havanın tamamen menfezden araç içine ilerlemesi sağlanmıştır.

Dördüncü olarak 5 numaralı menfezin çok uzun olması ve havanın menfezin uzak bölgesinde durağanlaşmasının önüne geçebilmek için menfezin uç noktasına ek bir kanatçık eklenerek havanın belirli bir miktarının menfezin sonuna daha etkin ilerlemesi sağlanmıştır.

Yapılan modifikasyonlar sonucunda tüm menfezlerde ortalama 5-6 m/s hız artırımı elde edilmiştir. Bunun sonucu olarak da araç içerisinde yolcu bölgelerinde bulunan ve hava

hızlarının yetersiz kaldığı bölümlerde daha etkin hava hızları elde edilmiştir. Sıcaklıkta araç içi ortalama 2 °C iyileşme sağlanmıştır.

Hafif raylı sistem araçları alımlarında şartnamelerde klima ve standartlara uygunluk değerlerine değinilmekte ve önem verilmektedir. Bu çalışma açık bir şekilde klima performanslarının yanında hava dağılımı için hava kanallarının tasarımının da klima seçimi kadar önemli bir veri olduğunu görülmüştür.

Hafif raylı sistemlerde klima tasarımlarının yanında hava kanal tasarımlarının verimleri ölçen ve optimum bir hava dağılımını sağlayan sistemlerin ortaya koyulması gerekliliğini ortaya çıkarmıştır.

Çalışmamızda hafif raylı sistemlerin klimaları soğutma sistemi için incelenmiştir. Soğutma sistemi ile ısıtma sistemi birlikte incelenerek iki ayrı sistem için tramvay aracı yolcu bölümünün tavan bölgesinden soğutulup, zemin bölgelerinden ısıtıldığı bir tasarıma izin veren, çok yönlü ayırma klapeleri ile desteklenen bir kanal sistemi üzerinde bir çalışma gerçekleştirilmesi çalışmamızda başlattığımız kanal tasarımının klima performansına etkisini bir ileri basamağa taşıyabilir.

KAYNAKÇA

- [1] Sayaral, G. 2019. Hafif raylı taşıtlarda modül tasarımının iç ortam hız ve sıcaklık dağılımına etkisinin incelenmesi (Doktora Tezi, Bursa Uludag University (Turkey).
- [2] Şekerci, S. 2013. Raylı sistem klima cihazlarının performans analizi (Doktora Tezi, DEÜ Fen Bilimleri Enstitüsü).
- [3] Arslan, E. 2019. TVS Pulman yolcu vagon klima sistemlerinde FV panel kullanımı ve enerji verimliliği (Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- [4] Suárez Soria, C., Iranzo, A., Salva, J. A., Tapia, E., Barea, G., & Guerra Macho, J. J. 2017. Parametric Investigation Using Computational Fluid Dynamics of the HVAC Air Distribution in a Railway Vehicle for Representative Weather and Operating Conditions. **Energies**, **10** (8), 1074-..
- [5] Aliahmadipour, M., Abdolzadeh, M., & Lari, K. 2017. Air flow simulation of HVAC system in compartment of a passenger coach. **Applied Thermal Engineering**, **123**, 973-990.
- [6] Karthik, K., Nasrulla, M. S. M., Raj, T. K., Karthick, N., & Krishnakanth, S. 2021. Comparative Cfd Analysis On Conditioned Air Flow And Temperature Distribution In Metro Train For Different Cities Of India. **International Journal of Modern Agriculture**, **10**(1), 245-256. [Online]. Available: <http://modern-journals.com/index.php/ijma/article/view/568>.
- [7] Dullinger, C., Struckl, W., & Kozek, M. 2015. A modular thermal simulation tool for computing energy consumption of HVAC units in rail vehicles. **Applied Thermal Engineering**, **78**, 616-629.
- [8] S. Mezarcıöz, 2015. “Ayrı Bir Hava Kanalı Uygulaması İle Bir Yolcu Otobüsünün Klima Sisteminin İyileştirilmesi,” Çukurova Üniversitesi.
- [9] Megep, 2016. “Raylı Sistem Teknolojisi,”.
- [10] A. Breda, “Kayseri Tramvayı Bakım ve Onarım Kılavuzu Bölüm 4: HVAC Sistemi,” 2009.
- [11] www.bozankaya.com.tr, “03:52, Erişim Tarihi 17.01.2022.” <https://www.->

bozankaya.com.tr/kayseri-tramvay/.

- [12] Bulut, H. 2017. “Soğutma ve Klima Tekniği,” Harran Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Şanlıurfa, p. 246. [Online]. Available: **<http://eng.harran.edu.tr/~hbulut/SKT.pdf>**.
- [13] **<https://adayiklimlendirme.com/urun/adayiklimlendirme/bitzer-yarihermetik-sogutma-kompresorleri>**, “Erişim tarihi 17.01.2022 06:20.” **<https://adayiklimlendirme.com/urun/adayiklimlendirme/bitzer-yarihermetik-sogutma-kompresorleri>**.
- [14] **www.tesisat.org**, “Erişim tarihi 17.01.2022 06:32.” **<https://www.tesisat.org/spiral-scroll-kompresorler.html>**.
- [15] Yamankaradeniz, R., Horoz, İ., Kaynaklı, Ö., Coşkun, S. and Yamankaradeniz, N., 2013. Soğutma Tekniği ve Isı Pompası Uygulamaları, 3rd ed. Bursa: Dora Yayıncılık.
- [16] Kayser, B. 2015. “HVAC System Manual - Bozankaya Kayseri Tram,”.
- [17] “psikrometrik_degerler @ **www.kilicaslan.nom.tr**.” [Online]. Available: **http://www.kilicaslan.nom.tr/hesaplama/sogutma/psikrometrik_degerler.aspx**.
- [18] Bulgurcu, H. “**http://deneysan.com/Content/images/documents/sogutma-cevrimleri_97866787.pdf**.”.
- [19] **<https://ercanteknik.com/>**, “Erişim Tarihi 17.01.2022.”.
- [20] Versteeg H. K. and Malalasekera, W. 1995. An introduction to computational fluid dynamics The finite volume method.
- [21] Bilgin, Ş. 2014. Periyodik olarak tam gelişmiş türbülanslı akış ve ısı transferinde realize k-epsilon türbülans modelinin performansının incelenmesi (Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- [22] Shaheed, R. Mohammadian, A. and H. Gildeh, Kheirkhah, “A comparison of standard k-ε and realizable k-ε turbulence models in curved and confluent channels,” Environ. **Fluid Mech.**, vol. 19, no. 2, pp. 543–568, 2019.
- [23] Kıray, U. 2014. Gemilerde Baca Formunun Gaz Akışına Etkileri (Doktora Tezi, Fen

Bilimleri Enstitüsü).

[24]TSE EN 14750-1, 2017. “Turkish Standard,” TS EN 14750-1, vol. 15189, no. 112,

[25]TSE en 1450-2, 2017. “Turkish Standard,” Türk Stand., vol. 15189, no. 112,.

[26]M.Ozbey, “<https://avys.omu.edu.tr> › app › public › mozbey.” .



EK-2

Tablo 13. R-134a soğutucu akışkanının doymuş sıvı ve doymuş buhar özellikleri

T (°C)	P _d (kPa)	v _s x1000 (m ³ /kg)	v _b (m ³ /kg)	h _s (kJ/kg)	h _b (kJ/kg)	u _s (kJ/kg)	u _b (kJ/kg)	s _s (kJ/kgK)	s _b (kJ/kg K)
-103,30a	0,39	0,6285	35,26300	71,89	335,07	71,89	321,32	0,4143	1,9638
-100,00	0,60	0,6320	25,19528	73,90	336,10	73,90	320,98	0,4270	1,9410
-95,00	0,90	0,6370	15,41908	80,20	339,20	80,20	325,32	0,4630	1,9170
-90,00	1,50	0,6430	9,75381	86,40	342,20	86,40	327,57	0,4970	1,8940
-85,00	2,40	0,6490	6,35781	92,60	345,30	92,60	330,04	0,5310	1,8740
-80,00	3,70	0,6550	4,25854	98,80	348,50	98,80	332,74	0,5630	1,8560
-75,00	5,50	0,6610	2,92423	105,00	351,60	105,00	335,52	0,5950	1,8390
-70,00	8,00	0,6670	2,05399	111,20	354,70	111,19	338,27	0,6260	1,8250
-65,00	11,40	0,6740	1,47289	117,40	357,90	117,39	341,11	0,6560	1,8110
-60,00	15,90	0,6800	1,07637	123,60	361,00	123,59	343,89	0,6850	1,7990
-55,00	21,90	0,6870	0,80034	129,80	364,20	129,78	346,67	0,7140	1,7890
-50,00	29,50	0,6930	0,60462	136,00	367,30	135,98	349,46	0,7420	1,7790
-45,00	39,10	0,7000	0,46346	142,30	370,50	142,27	352,38	0,7700	1,7700
-40,00	51,20	0,7070	0,36004	148,50	373,60	148,46	355,17	0,7970	1,7620
-35,00	66,10	0,7140	0,28315	154,90	376,70	154,85	357,98	0,8240	1,7550
-30,00	84,40	0,7220	0,22521	161,20	379,70	161,14	360,69	0,8500	1,7490
-28,00	92,70	0,7250	0,20611	163,70	381,00	163,63	361,89	0,8610	1,7470
-26,07b	101,30	0,7279	0,18950	166,20	382,10	166,13	362,90	0,8700	1,7440
-26,00	101,60	0,7280	0,18893	166,30	382,20	166,23	363,00	0,8710	1,7440
-24,00	111,30	0,7310	0,17346	168,80	383,40	168,72	364,09	0,8810	1,7420
-22,00	121,60	0,7340	0,15949	171,40	384,60	171,31	365,21	0,8910	1,7400
-20,00	132,70	0,7380	0,14686	174,00	385,80	173,90	366,31	0,9010	1,7380
-18,00	144,50	0,7410	0,13541	176,50	387,00	176,39	367,43	0,9120	1,7360
-16,00	157,20	0,7440	0,12503	179,10	388,20	178,98	368,54	0,9220	1,7350
-14,00	170,70	0,7480	0,11560	181,70	389,30	181,57	369,57	0,9320	1,7330
-12,00	185,10	0,7510	0,10701	184,30	390,50	184,16	370,69	0,9410	1,7310
-10,00	200,40	0,7550	0,09919	186,90	391,70	186,75	371,82	0,9510	1,7300
-8,00	216,70	0,7580	0,09204	189,50	392,80	189,34	372,85	0,9610	1,7280
-6,00	234,00	0,7620	0,08551	192,10	394,00	191,92	373,99	0,9710	1,7270
-4,00	252,40	0,7660	0,07953	194,70	395,20	194,51	375,13	0,9810	1,7250
-2,00	271,90	0,7690	0,07404	197,40	396,30	197,19	376,17	0,9900	1,7240
0,00	292,50	0,7730	0,06901	200,00	397,40	199,77	377,22	1,0000	1,7230
2,00	314,30	0,7770	0,06438	202,60	398,50	202,36	378,27	1,0100	1,7220
4,00	337,30	0,7810	0,06011	205,30	399,70	205,04	379,42	1,0190	1,7200
6,00	361,50	0,7850	0,05619	208,00	400,80	207,72	380,49	1,0290	1,7190
8,00	387,10	0,7890	0,05256	210,70	401,90	210,39	381,55	1,0380	1,7180

[15]

EK-3

Tablo 14. R-134a soğutucu akışkanının kızgın buhar özellikleri (devam)

T (°C)	T= 40 °C, P= 1015,9 kPa			
	v (m ³ /kg)	h (kJ/kg)	u (kJ/kg)	s (kJ/kg K)
80,00	0,02493	461,90	436,57	1,8380
90,00	0,02603	472,60	446,16	1,8680
100,00	0,02708	483,20	455,69	1,8970
110,00	0,02810	493,90	465,35	1,9250
120,00	0,02910	504,70	475,14	1,9530
130,00	0,03007	515,50	484,95	1,9800
140,00	0,03102	526,40	494,88	2,0070
150,00	0,03196	537,30	504,83	2,0330

T (°C)	T= 50 °C, P= 1317,6 kPa			
	v (m ³ /kg)	h (kJ/kg)	u (kJ/kg)	s (kJ/kg K)
90,00	0,01927	468,50	443,11	1,8380
100,00	0,02016	479,60	453,04	1,8690
110,00	0,02101	490,70	463,01	1,8980
120,00	0,02184	501,70	472,93	1,9260
130,00	0,02263	512,80	482,98	1,9540
140,00	0,02341	523,90	493,05	1,9810
150,00	0,02417	535,00	503,15	2,0080
160,00	0,02492	546,20	513,36	2,0340

T (°C)	T= 60 °C , P = 1682 kPa			
	v (m ³ /kg)	h (kJ/kg)	u (kJ/kg)	s (kJ/kg K)
60,00	0,01140	425,20	406,02	1,6980
70,00	0,01249	438,60	417,59	1,7370
80,00	0,01343	451,20	428,61	1,7740
90,00	0,01428	463,20	439,18	1,8070
100,00	0,01507	475,00	449,65	1,8390
110,00	0,01581	486,50	459,91	1,8700
120,00	0,01652	498,00	470,22	1,8990
130,00	0,01719	509,40	480,48	1,9280
140,00	0,01785	520,80	490,78	1,9560
150,00	0,01848	532,20	501,11	1,9830
160,00	0,01910	543,60	511,47	2,0100
170,00	0,01971	555,00	521,85	2,0360

T (°C)	T= 70 °C, P= 2117,7 kPa			
	v (m ³ /kg)	h (kJ/kg)	u (kJ/kg)	s (kJ/kg K)
70,00	0,00863	427,40	409,13	1,6920
80,00	0,00965	442,50	422,07	1,7350
90,00	0,01049	456,00	433,79	1,7730
100,00	0,01123	468,80	445,02	1,8070
110,00	0,01190	481,10	455,89	1,8400
120,00	0,01253	493,20	466,66	1,8710
130,00	0,01313	505,10	477,31	1,9010
140,00	0,01369	516,90	487,90	1,9300
150,00	0,01424	528,60	498,45	1,9580
160,00	0,01476	540,30	509,04	1,9850
170,00	0,01528	552,00	519,65	2,0120
180,00	0,01578	563,70	530,29	2,0380

[15]

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı, Soyadı: Safa KAPLAN

Uyruğu: Türkiye (TC)

EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet Tarihi
Lisans	Uludağ Üni. Makine Müh.	2014
Lise	Küçükçalık Anadolu Lisesi	2006

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görev
2021-Halen	Kayseri Ulaşım A.Ş.	Araç Bakım Müdürü
2015- 2020	Kayseri Ulaşım A.Ş.	Araç Bakım Mekanik Şefi.
2013–2015	Kayseri Ulaşım A.Ş.	Araç Bakım Müh.

YABANCI DİL

İngilizce, Almanca