



**KLİMATİK KONTROLLÜ TREYLER İÇERİSİNDEKİ
HAVA AKIŞININ OPTİMİZASYONU**

Tayfun GÜLER



T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KLİMATİK KONTROLLÜ TREYLER İÇERİSİNDEKİ HAVA AKIŞININ
OPTİMİZASYONU**

Tayfun GÜLER

0000-0002-1405-4400

Prof. Dr. Muhsin KILIÇ
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2021
Her Hakkı Saklıdır

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

KLİMATİK KONTROLLÜ TREYLER İÇERİSİNDEKİ HAVA AKIŞININ OPTİMİZASYONU

Tayfun GÜLER

Bursa Uludağ Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Muhsin KILIÇ

Klimatik kontrollü treyler dondurulmuş ürünlerin taşınmasında sıklıkla kullanılan kara yolu taşıtlarıdır. Genel itibariyle iklimatik kontrollü bir treyler taşıyıcı şasi, izolasyonlu kabin ve soğutucu ünitelerden oluşur. Ürünlerin taşınması sırasında kabin içerisinde yetersiz veya aşırı dereceli bir soğutma yapılması durumunda taşınan ürünlerin kaliteleri ciddi oranda etkilenmektedir. Soğutma performansını etkileyen en önemli faktörler ise hava kanalları ve yükleme koşullarıdır. Bu çalışma kapsamında, treyler içerisindeki hava akışını iyileştirmek amacıyla iki farklı hava kanalı tasarımı yapılmış ve hava kanallarının içi boş kabindeki soğutma performansları hesaplamalı akışkanlar dinamiği analizleri ile karşılaştırılmıştır. Daha sonra kabin içerisine belirli bir seviyeye kadar yük doldurulmuş ve hava kanalının içi dolu kabindeki performansı standart araç ile karşılaştırılmıştır. Yapılan hesaplamalı akışkanlar dinamiği analizi sonuçlarının karşılaştırılması amacıyla gerçek araç testleri yapılmıştır. Test ve analizler kabin içi sıcaklık +30°C'den -20°C'ye inene kadar devam ettirilmiş ve geçen süreler karşılaştırılmıştır. Çalışma sonunda hava kanallarının kabin içi sıcaklığın homojen şekilde dağılmasına fayda sağladığı ve ortalama sıcaklığın -20 °C'ye düşme süresini ciddi oranda iyileştirdiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Klimatik kontrollü treyler, hava kanalı, yükleme koşulları, hesaplamalı akışkanlar dinamiği

2021, vii + 59 sayfa.

ABSTRACT

MSc Thesis

OPTIMIZATION OF AIRFLOW INSIDE THE REFRIGERATED SEMI-TRAILER

Tayfun GÜLER

Bursa Uludağ University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Muhsin KILIÇ

Refrigerated semi-trailers are frequently used road vehicles for the transport of frozen products. Refrigerated semi-trailer is consists of a carrier chassis, insulated cab and refrigeration unit. During transportation of products, in case of the insufficient and excessive cold airflow around the goods, quality of the transported products are highly affected. Air distribution ducts and loading patterns are the most critical factors on the cooling performance of refrigerated semi-trailers. In the scope of this study, two different air ducts were designed in order to improve the airflow inside the empty trailer cab and the cooling performances of air ducts were compared with computational fluid dynamics analyzes. Then the load was filled up to a certain level in the cabin and the performance of the air duct in the filled cab was compared to the standard vehicle. Real scale vehicle tests have been performed to verify the accuracy of computational fluid dynamics analyzes. Tests and analyzes were continued until the temperature in the cabin decreased from + 30 ° C to -20 ° C and the elapsed times were compared. At the end of the study, it was found that the air ducts benefit the homogeneous distribution of the temperature inside the cabin and significantly improved the time of the average temperature to -20 ° C.

Key words: Refrigerated semi-trailer, air duct, loading pattern, computational fluid dynamics

2021, viii + 59 pages.

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Doğal kaynakların hiç olmadığı kadar hızlı bir şekilde tüketildiği, zararlı egzoz emisyonları yüzünden atmosferin kirletildiği dünyamızda fosil yakıtla çalışan araçlarda elde edilebilecek küçük iyileştirmelere bile ihtiyaç vardır. Bunun yanında; Dünya’da temel gıda maddelerine bile erişemeyen, bu sebeple her gün yaşamını kaybeden binlerce insanın olduğu bilinmektedir. Bu bağlamda bakıldığında tarım bölgelerinde üretilen sebze ve meyvelerin nakliye sırasında bozulmalarını önleyecek çalışmalar yapmak işin maddi boyutunun yanında insani bir görev olarak da ortaya çıkmaktadır. Bu çalışma kapsamında nakliye sırasında gıdaların korunması ve enerji verimliliği konularında gelecek nesillere daha yaşanılabilir bir çevre bırakılmasına fayda sağlayabilecek bir takım çözümler önerilmektedir.

Klimatik test kabini kullanılarak gerekli araç testlerinin yapılmasında bana destek olan ekip arkadaşım Aslı SOYTÜRK’e ve teknik personele destekleri için teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans eğitimin boyunca bana destek olan, yol gösteren değerli hocam Prof. Dr. Muhsin KILIÇ’a teşekkürlerimi sunarım.

Tayfun GÜLER

27/04/2021

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
1. GİRİŞ	1
2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI	4
2.1 Taze sebze meyve taşıma yöntemleri.....	4
2.1.1 Karayolu taşımacılığı	4
2.1.2 Demiryolu taşımacılığı.....	5
2.1.3 Deniz taşımacılığı.....	6
2.1.4 Havayolu taşımacılığı	7
2.2. Ülkemizde Soğuk Zincir Taşımacılığı	8
2.3. Ürün Sıcaklığını Muhafaza Etmenin Önemi	13
2.4 Soğutuculu Treyler İçerisindeki Sıcaklık Kontrolü	13
2.4.1. Isı kaynakları	14
2.4.2. Mekanik soğutucu	17
2.4.3. Hava akışı.....	20
2.4.4 Yük karakteristikleri.....	26
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	35
3.1. Geometrik Özellikler.....	35
3.2. Kabin İç Yükleme Koşulları	37
3.3. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) Modeli	38
3.3.1 Çözüm geometrisi	38
3.3.2 Çözüm ağı oluşturulması	39
3.3.3. Sınır şartları.....	42
3.3.4. Kullanılan denklemler ve kabuller	43
3.3.5. Test çalışması	44
4. BULGULAR ve TARTIŞMA.....	46
5. SONUÇ	55
KAYNAKLAR	57
ÖZGEÇMİŞ	59

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
μ	Dinamik viskozite
k	Isı iletim katsayısı
h	Isı taşınım katsayısı
y	İlk sınır tabaka yüksekliği
K	Kelvin
τ	Kesme gerilmesi
kg	Kilogram
ν	Kinematik viskozite
δ_{ij}	Kronecker delta
λ	Lambda
m	Metre
mm	Milimetre
∇	Nabla operatörü
s	Saniye
$^{\circ}C$	Santigrad derece
y^{+}	Sözde boyutsuz duvar mesafesi
u_{τ}	Sürtünme hızı
U	Toplam ısı transfer katsayısı
W	Watt
Q_x	x doğrultusunda iletilen ısı miktarı
A	Yüzey alanı
ρ	Yoğunluk

Kısaltmalar	Açıklama
NPLA	Amerikan ulusal bozulabilir gıdalar lojistik derneği
FAO	Birleşmiş milletler gıda ve tarım örgütü
ATP	Bozulabilir ürünlerin taşınması sözleşmesi
HAD	Hesaplamalı akışkanlar dinamiği
FRC	Mekanik soğutuculu ağır izolasyonlu araç
RTF	Soğutmalı ulaşım vakfı
TAİD	Türkiye araç ihracatçıları derneği
TCDD	Türkiye Cumhuriyeti devlet demiryolları

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Çekici araç ve treyler genel görünümü	5
Şekil 2.2. Türkiye’de yük Ttaşımacılığında kullanılabilecek demiryolu ağları	6
Şekil 2.3. Yük treni	6
Şekil 2.4. Swap body intermodal treyler	7
Şekil 2.5. Konteyner taşıyıcı gemi	7
Şekil 2.6. Hava kargo	8
Şekil 2.7. Türkiye’de 2010-2019 yılları arasında satılan treylerlerin dağılımı	10
Şekil 2.8. 2010- 2019 yılları arasında Türkiye treyler pazarındaki üreticiler	11
Şekil 2.9. Treyler Ppanelindeki ısı geçişi şematik gösterimi	15
Şekil 2.10. Temel soğutma çevrimi	18
Şekil 2.11. Soğutucu ünitenin araç üzerindeki konumu.....	18
Şekil 2.12. Soğutuculu treyler kabini iç görünümü.....	20
Şekil 2.13. Treyler içi alt hava dağıtım sistemi şematik gösterimi	22
Şekil 2.14. Treyler içi üst hava dağıtım sistemi şematik gösterimi	23
Şekil 2.15. Üst hava dağıtım brandası.....	24
Şekil 2.16. Treyler içi zemin türleri	26
Şekil 2.17. Standart europalet ölçüleri	27
Şekil 2.18. Yan duvarlara bitişik yükleme – boyuna	33
Şekil 2.19. Yan duvarlara bitişik yükleme – enine	34
Şekil 2.20. Ofsetli yükleme	34
Şekil 2.21. Kilitli yükleme	34
Şekil 2.22. Merkezci yükleme.....	34
Şekil 3.1. Soğutuculu treyler kabini genel ölçüleri	35
Şekil 3.2. Thermo king mekanik soğutma ünitesi.....	36
Şekil 3.3. 1 Numaralı Hava Kanalı'nın Araç İçerisindeki Konumu.....	36
Şekil 3.4. 1 Numaralı hava kanalının kesit görünüşü	37
Şekil 3.5. 2 Numaralı hava kanalının araç içerisindeki konumu.....	37
Şekil 3.6. 2 Numaralı hava kanalının kesit görünüşü	37
Şekil 3.7. Araç içi yükleme koşulu yan görünüş.....	38
Şekil 3.8. Araç içi yükleme koşulu üst görünüş.....	38
Şekil 3.9. Boş araç çözüm ağı karşılaştırması – 0.1mm sınır tabaka yüksekliği	40
Şekil 3.10. Boş araç çözüm ağı karşılaştırması – 0.05mm sınır tabaka yüksekliği	40
Şekil 3.11. Boş araç çözüm ağı karşılaştırması – 0.02mm sınır tabaka yüksekliği	40
Şekil 3.12. Boş araç çözüm ağı karşılaştırması – 0.01mm sınır tabaka yüksekliği	40
Şekil 3.13. Hava kanalı bulunmayan yüklü araç modeli çözüm ağı yapısı.....	41
Şekil 3.14. 2 numaralı hava kanalı bulunan yüklü araç modeli çözüm ağı yapısı	41
Şekil 3.15. 2 numaralı hava kanalı bulunan yüklü araç modeli çözüm ağı yapısı – detay gösterim	41
Şekil 3.16. Araç içi yükleme koşulu üst görünüş.....	44
Şekil 3.17. Sıcaklık ölçüm noktaları	45
Şekil 4.1. Hava kanalı bulunmayan standart araçtaki HAD akım çizgileri	46
Şekil 4.2. 1 numaralı hava kanalı bulunan araçtaki HAD akım çizgileri.....	46
Şekil 4.3. 2 numaralı hava kanalı bulunan araçtaki HAD akım çizgileri.....	47

Şekil 4.4. Standart araçtaki test ve HAD sonuçların karşılaştırılması	47
Şekil 4.5. 1 numaralı hava kanalı eklenen araçtaki test ve HAD analizi sonuçların karşılaştırılması	49
Şekil 4.6. 2 Numaralı hava kanalı eklenen araçtaki HAD analizinden alınan sonuçlar..	51
Şekil 4.7. 1 Numaralı kanal ve standart aracın HAD sonuçlarının karşılaştırması.....	52
Şekil 4.8. 1 numaralı ve 2 numaralı kanalların HAD sonuçlarının karşılaştırması.....	52
Şekil 4.9. Hava kanalı bulunmayan, yüklü araçtaki HAD akım çizgileri	53
Şekil 4.10. 2 numaralı hava kanalı bulunan, yüklü araçtaki HAD akım çizgileri.....	53
Şekil 4.11. İçi dolu araçta, hava kanalı bulunmayan ve 2 numaralı hava kanalı bulunan araçların HAD sonuçlarının karşılaştırması	54



ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 2.1. Dünya yaş sebze ve meyve üretimi.....	8
Çizelge 2.2. Türkiye yaş sebze ve meyve üretimi.....	9
Çizelge 2.3. Türkiye’de 2010-2019 yılları arasında satılan treyler adet.....	9
Çizelge 2.4. İzolasyon sınıfı ve soğutucu üniteye göre araç sınıfları.....	12
Çizelge 3.1. Çözüm ağı karşılaştırması.....	39
Çizelge 3.2. Veri ölçüm senaryoları.....	45



1. GİRİŞ

Dünya genelinde üretilen tüm sebze ve meyveler, ürünlerin bölgesel tüketim veya ihracat ürünü olmasından bağımsız olarak, son kullanıcıya ulaşana kadar tedarik zinciri içerisinde defalarca bir yerden başka bir yere taşındığı görülmektedir. Taze ürünler kara, deniz, hava veya demiryolu ile taşınabilmektedirler.

Taze sebze ve meyvelerin taşınması ülkemizde ve Dünya’da oldukça dinamik bir sektördür. Soğutuculu treylerler taze meyve sebzelerin taşınmasında genellikle ilk seçenek olarak kullanılırlar. Ürünler üreticiden toptancılara, daha sonra yerel dağıtıcılara ve tüccarlara, en sonunda da tüketicilere ulaşmaktadır. Taze sebze ve meyvelerin tedarik zinciri içerisindeyken çürümeleri için optimum sıcaklıklarda taşınmaları gerekmektedir.

TAİD tarafından paylaşılan verilere göre Türkiye’de 2010-2019 yılları arasında satılan araçların oransal olarak dağılımlarına bakılacak olursa yaklaşık %55.5 oranında tenteli perdeli araçlar müşterilerin en çok tercih ettiği araç olarak öne çıkmaktadır. Tenteli perdeli araçlardan sonra gelen, en çok tercih edilen ikinci araç türü ise yaklaşık %14 oranla soğutucu üniteye sahip frigorifik araçlar olmuştur (Ticari Araç İthalatçıları Derneği [TAİD], 2019). Ülkemizdeki lojistik ağının çok büyük bir bölümünün karayolu taşımacılığı ile yapıldığı düşünüldüğünde frigorifik araçların sektörde çok önemli bir yer tuttuğu görülmektedir.

Lojistik ağımızın önemli bir bölümünü oluşturan frigorifik araçlarda karşılaşılan problemlerin, nakliye sırasında harcanan enerjinin ve doğaya salınan zararlı emisyonların oranı göz önüne alındığında bu tür araçlarda yapılacak çok küçük iyileştirmelerin dahi kümülatif olarak bakıldığında etkileri çok büyük olacaktır.

Bu çalışma kapsamında Tırsan Treyler tarafından üretilmiş bir frigorifik araç detaylı şekilde incelenmiştir.

Treyler içerisinde uygun bir hava akışının bulunması taşınan ürünlerin sıcaklıklarının etkileyen en önemli etkenlerden bir tanesidir. Araştırmalar hava akışının dışında, ilk yükleme sıcaklığı, soğutucu ünite performansı ve dış ortam şartlarının da ürün sıcaklığını etkileyen temel faktörlerden olduğunu göstermektedir. Ürünlerin araca yüklenirken

optimum sıcaklıklarda olmasını sağlamak amacıyla çeşitli ön soğutma işlemleri uygulanmaktadır. Bununla birlikte teknolojinin de devreye girmesi ile, çeşitli sıcaklık sensörü ve veri işleme yöntemleri sayesinde treyler içerisindeki sıcaklığı optimum seviyelerde tutmak mümkündür. Araçlardaki soğutucu üniteler ürünlerin çok sıcak veya çok soğuk ortamlarda da taşınmasına olanak sağlamaktadır. Araç içerisindeki optimum sıcaklık dağılımını sağlamak için karşılaşılan en büyük zorluk ise araç içerisinde homojen bir hava akışı elde etmektir.

Problemin tanımı:

Treyler içerisindeki homojen hava akışı yüklerin etrafındaki hava dağıtım kanalları ile mümkün olabilmektedir. Yapılan literatür taraması hava akışını etkileyen çeşitli aksesuarlara ve yükleme koşullarına işaret etmektedir.

Bu çalışma sektörde kullanılan ekipman ve uygulamaları özetlemeyi ve hava kanalı tasarımları ile kabin içi soğutma performansını iyileştirmeyi amaçlamaktadır. Treyler içerisinde kullanılan aksesuarlara ve yükleme koşullarına ayrı ayrı kısaca değinilmiştir. Yük etrafındaki hava akışı, hesaplamalı akışkanlar dinamiği yöntemleriyle bilgisayar ortamında modellenmiştir. Kabin içerisindeki hava akışını iyileştirecek hava kanallarının etkileri araç yüksüz ve yüklü durumdayken analiz edilmiş, analiz sonuçları gerçek araç testleri ile karşılaştırılmıştır.

Amaçlar:

Bu çalışmanın amaçları aşağıda maddeler halinde gösterilmiştir:

- 1- Taze sebze meyve taşımacılığı sektöründe kullanılan ekipman ve uygulamaların incelenmesi,
- 2- Hava kanalı bulunmayan soğutuculu treyler içerisindeki hava akışının homojenliğinin belirlenmesi,
- 3- Farklı hava kanalları ve yükleme koşulları altında soğuma davranışının gösterilmesi,
- 4- Hesaplamalı akışkanlar dinamiği analizleri ile test verilerinin karşılaştırılması.

Çalışmanın Kapsamı:

Bu çalışma; Tırsan Treyler A.Ş.'ye gelen ürünlerin taşıma sırasında aşırı soğuma sebebiyle donması veya yeterli soğutamama sebebiyle bozulması gibi müşteri şikayetlerine istinaden üretilen frigorifik araçların geliştirilmeleri amacıyla yapılmıştır.

Hatta üretilen standart donanımlı FRC sertifikalı frigorifik bir araç ATP (Anonim 2016) sertifikasyonları için kullanılan iklimatik test kabini içerisinde kabin içi boş olacak şekilde, +30°C dış ortam sıcaklığı altında araç soğutma sistemi çalıştırılmıştır. Araç içerisine konulan sıcaklık sensörleri vasıtasıyla zaman içerisindeki sıcaklık değişimleri kaydedilerek standart donanımlı aracın kabin içi sıcaklık dağılımı ve soğuma süreleri belirlenmiştir. Daha sonra kabin için özel olarak tasarlanmış hava dağıtım kanallarının montajı yapılmış ve standart araç için yapılan testler tekrar edilmiştir.

Testlerden elde edilen veriler ışığında hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) analizleri yapılmış ve analiz sonuçları ile test sonuçları karşılaştırılmıştır. Daha sonra hava kanalı tasarımı değiştirilmiş ve araç içine yükleri temsil edecek boş karton kutular yüklenmiş ve HAD analizleri tekrar edilmiştir. İlk yapılan HAD analiz modelleri ile test verilerinin benzerlik göstermesi sebebiyle son yapılan HAD analizleri için araç testleri yapılmamış, analizler kendi içerisinde karşılaştırılmıştır.

Test imkanları kısıtlı olduğundan dolayı araç içerisine ısı üretimi yapmayan, boş karton kutular yüklenmiştir. Çalışmayı ileri bir aşamaya taşımak için kabin içerisine solunum yolu ile ısı üreten bir ürünün yüklenmesi ve gerçek çevre şartlarında yol testleri yapılması gerekmektedir.

2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI

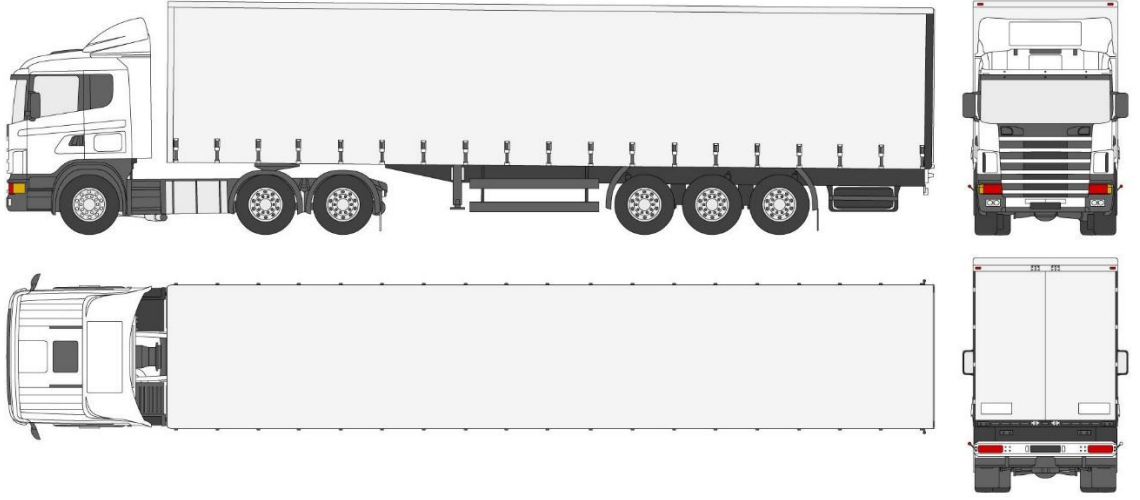
2.1 Taze sebze meyve taşıma yöntemleri

Taze meyve ve sebzeler kara, deniz, hava veya demiryolu ile taşınmaktadır. Ürünlerin taşıma yöntemleri genellikle hedef pazarın uzaklığı, ürünlerin adetleri ve değeri, bozulma hızları, taşıma süresi ve nakliye masraflarına göre belirlenir. Ayrıca, gereken taşıma sıcaklığı, nakliyenin başladığı ve bittiği bölgeler arasındaki sıcaklık farkı, altyapı yeterliliği gibi unsurlar da önemli etkenlerdendir.

2.1.1 Karayolu taşımacılığı

Ülkemizde ürünlerin taşınmasında en yaygın kullanılan yöntem karayolu taşımacılığıdır. Gelişmiş karayolu ağı, taşıma araçlarının güvenilirliği, ortalama yol masrafları ve neredeyse her bölgeye nakliye yapabilme esnekliği karayolu taşımacılığının yaygın olarak kullanılmasındaki önemli etkenlerdendir. Ayrıca karayolu taşımacılığı daha uzun mesafelere ürün taşıyabilmek amacıyla diğer taşıma yöntemleri ile kombine olarak kullanılmaktadır. Karayolu taşımacılığında genellikle 3 tip araç kullanılır; soğutuculu treyler, intermodal konteyner taşıyıcılar ve tenteli perdeli treyler.

Ülkemizde tenteli perdeli araçlardan sonra soğutuculu treylerler karayollarında ikinci en çok kullanılan taşıma aracıdır. Soğutuculu treylerler genellikle iki dingilli şasi, havalı süspansiyon, izolasyonlu kabin, mekanik soğutma ünitesi ve çekici araçtan oluşur. Daha eski araçlarda mekanik yaylı süspansiyonlara da rastlansada günümüzde yaygın olarak kullanılan araçlar havalı süspansiyonlu araçlardır. Havalı süspansiyon kullanımı yoldan gelen ani tepkileri ve titreşimleri sönmüleyerek yüklerin hareket etmesi riskini azaltır. Soğutuculu ve izolasyonlu treyler kingpin ve 5.teker vasıtasıyla çekici araca bağlanır. Soğutuculu treyler ölçüleri ülkeden ülkeye farklılık göstermekle birlikte 12m, 13.7m, 14.6m veya 16.2m boyundadırlar (McGregor, 1989, s. 35). Karayollarında kullanılan araçlar ve yük kapasiteleri ülkemizde yasalarla belirlenmiştir.



Şekil 2.1. Çekici araç ve treyler genel görünümü

2.1.2 Demiryolu taşımacılığı

Ülkemizde ticari amaçla kullanılabilen demiryolu ağları karayolu ulaşım ağına göre yeteri kadar gelişmemiştir. Daha ekonomik ve güvenli bir taşıma yöntemi olmasına rağmen yetersiz demiryolu ağı sebebiyle taze sebze ve meyve taşımacılığında yeterince kullanılmamaktadır.

Üretim yoğun merkezler ile tüketicilerin yoğun olduğu bölgeler arasında geliştirilebilecek elektrikli demiryolu ağları yol güvenliği ve soğutucu ünitelerde kullanılabilecek elektrik kaynakları sebebiyle daha ekonomik ve güvenli bir soğuk zincir ağı oluşturulabilir.



Şekil 2.2. Türkiye’de yük Ttaşımacılığında kullanılabilecek demiryolu ağları



Şekil 2.3. Yük treni

2.1.3 Deniz taşımacılığı

Deniz aşırı nakliyelerde ürünler geleneksel soğutmalı gemilere veya konteyner gemilerine dökme yük olarak yüklenirler. Üretim bölgelerinden karayolu ile veya demiryolu ile limanlara taşınan ürünler büyük ölçekli nakliye gemileri vasıtasıyla denizaşırı ülkelere taşınırlar. Taşıma kabı değiştirilmeden en az iki farklı taşımacılık modu kullanılarak yapılan taşıma şekline intermodal taşımacılık adı verilir. Intermodal taşımacılıkta ürünler genellikle konteynerlere yüklenerek, demiryolu vagonları ile veya

konteyner taşıyıcı araçlarla karayolu vasıtasıyla limanlara taşınır ve büyük yük gemilerine aktarılırlar. Konteyner taşımacılığının yanısıra karayolu taşımacılığında kullanım oranları son yıllarda artmaya başlayan swapbody türü araçlar da kullanılmaktadır. Şartlandırılmış bir ortam sıcaklığında taşınması gereken ürünler genellikle soğutuculu swapbody araçlar vasıtasıyla limanlara taşınırlar.



Şekil 2.4. Swap body intermodal treyler

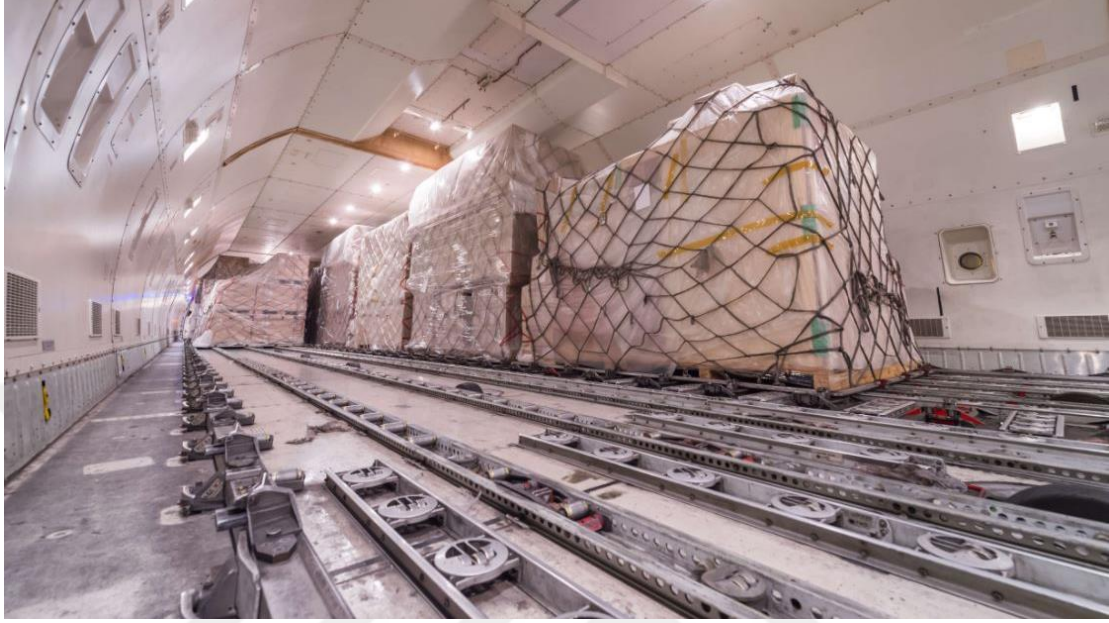


Şekil 2.5. Konteyner taşıyıcı gemi

2.1.4 Havayolu taşımacılığı

Hava taşımacılığı esas olarak yüksek değerli ve kolay bozulabilen ürünleri taşımak için kullanılır. Çok hızlı ancak yüksek maliyetli bir taşıma yöntemidir. Uçaklardaki ağırlık

sınırlamaları nedeniyle, ürünü taşımak için kullanılan kaplar herhangi bir soğutma sistemi ve sınırlı bir yalıtım ile donatılmamıştır. Ürün sıcaklıkları genellikle uçak konteynerlerinin içine yerleştirilen kuru buz paketleri kullanılarak korunurlar.



Şekil 2.6. Hava kargo

2.2. Ülkemizde Soğuk Zincir Taşımacılığı

Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO, 2018) tarafından yayınlanan 2018 yılı verilerine göre Dünya çapında 2 Milyar 750 Milyon Ton meyve ve sebze üretildiği tahmin edilmektedir (Çizelge 2.1). Yine FAO (2018) tarafından paylaşılan verilere göre 2018 yılında Türkiye’de yaklaşık 48 Milyon Ton yaş meyve ve sebze üretildiği tahmin edilmektedir (Çizelge 2.2).

Çizelge 2.1. Dünya yaş sebze ve meyve üretimi (FAO, 2018)

	Üretim Alanı (ha)	Üretim Miktarı (Ton)
Yaş Meyve	83,536,541	1,111,366,486
Yaş Sebze	82,067,487	1,640,395,949
TOPLAM	165,604,028	2,751,762,435

Çizelge 2.2. Türkiye yaş sebze ve meyve üretimi (FAO, 2018)

	Üretim Alanı (ha)	Üretim Miktarı (Ton)
Yaş Meyve	1,368,124	23,598,623
Yaş Sebze	705,705	24,137,627
TOPLAM	2,073,829	47,736,250

TAİD (2019)'in paylaştığı verilere göre Türkiye’de 2010-2019 yılları arasında satılan toplam 69,545 adet treylerin 9,646 adedi soğutma ünitesine sahip olan frigorifik araçlardan oluşmaktadır (Çizelge 2.3). Ülkemizde yıllık ortalama 1,000 adet satılan soğutucu üniteli yarı-römork araçlar soğuk zincir taşımacılığının en önemli unsurlarından birisidir.

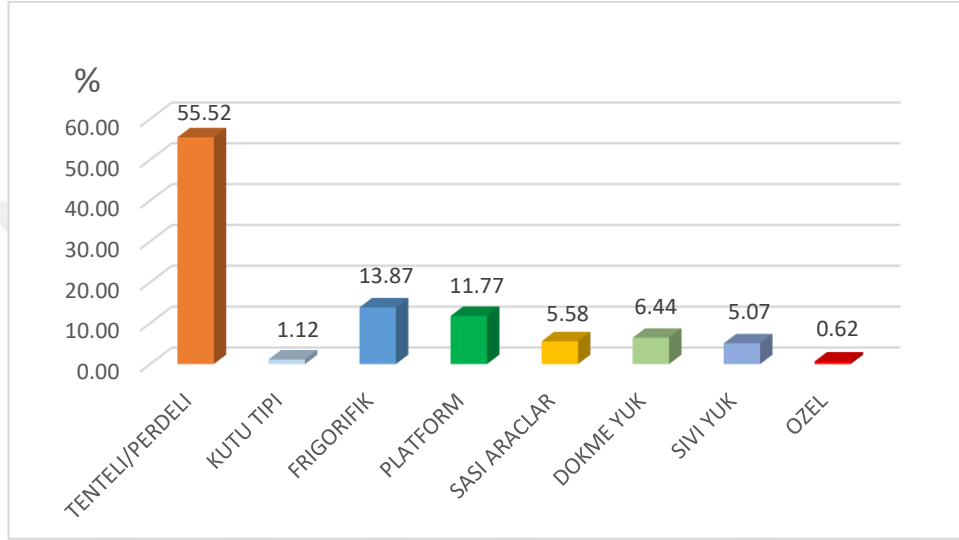
Çizelge 2.3. Türkiye’de 2010-2019 yılları arasında satılan treyler adet (TAİD, 2019)

MARKA	KOLUMAN	KRONE	FRUEHAUF	SCHMITZ	TIRSAN	TOPLAM
TENTELİ/PERDELİ	2503	5487	4205	3121	23294	38610
KUTU TİPİ	0	51	0	0	729	780
FRIGORİFİK	7	1726	3071	1777	3065	9646
PLATFORM	1115	794	764	12	5503	8188
ŞAŞI ARAÇLAR	173	270	367	0	3070	3880
DÖKME YÜK	434	0	0	2	3473	4481
SIVI YÜK	503	0	829	0	2195	3527
ÖZEL	5	0	0	0	428	433
TOPLAM	4740	8328	9236	4912	41757	69545

TAİD tarafından paylaşılan verilere göre Türkiye’de 2010-2019 yılları arasında satılan araçların oransal olarak dağılımlarına bakılacak olursa yaklaşık %55.5 oranında tenteli perdeli araçlar müşterilerin en çok tercih ettiği araç olarak öne çıkmaktadır. Tenteli perdeli araçlardan sonra gelen, en çok tercih edilen ikinci araç türü ise yaklaşık %14 oranla soğutucu üniteye sahip frigorifik araçlar olmuştur (Şekil 2.7). Ülkemizdeki lojistik

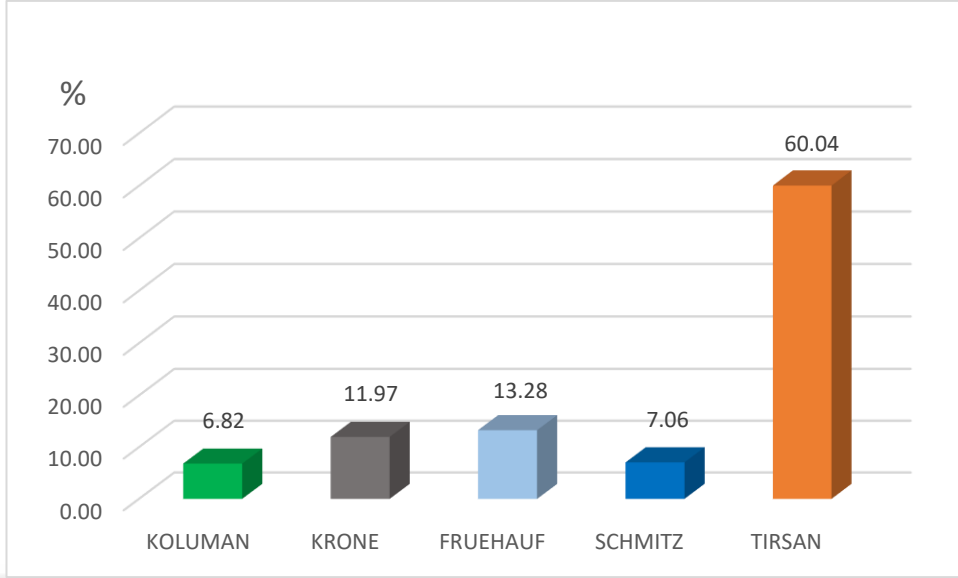
ağının çok büyük bir bölümünün karayolu taşımacılığı ile yapıldığı düşünüldüğünde frigorifik araçların sektörde çok önemli bir yer tuttuğu görülmektedir.

Lojistik ağımızın önemli bir bölümünü oluşturan frigorifik araçlarda karşılaşılan problemlerin, nakliye sırasında harcanan enerjinin ve doğaya salınan zararlı emisyonların oranı göz önüne alındığında bu tür araçlarda yapılacak çok küçük iyileştirmelerin dahi kümülatif olarak bakıldığında etkileri çok büyük olacaktır.



Şekil 2.7. Türkiye’de 2010-2019 yılları arasında satılan treylerlerin dağılımı (TAİD, 2019)

Yine TAİD tarafından paylaşılan 2010-2019 yılları arasında ülkemizde satılan toplam treyler verilerine bakıldığında Tırsan Treyler’in ülkemizde açık ara sektör lideri olduğu görülmektedir (Şekil 2.8). Bu açıdan bakıldığında çalışmaya konu olan aracın yurtiçi pazarda önemli etkiye sahip bir araç olduğu görülmektedir.



Şekil 2.8. 2010- 2019 yılları arasında Türkiye treyler pazarındaki üreticiler (TAİD, 2019)

Klimatik kontrollü bir treyler İzolasyon sınıflarına göre 2 sınıfa ayrılır;

- IN (Normal izolasyonlu araç): Bu sınıftaki araçların kabinlerinde $0.70 \text{ W/m}^2\text{K}$ veya daha düşük ısı geçiş katsayısı olması gerekmektedir.
- IR (Ağır izolasyonlu araç): Bu sınıftaki araçların kabinlerinde $0.40 \text{ W/m}^2\text{K}$ veya daha düşük ısı geçiş katsayısı olması gerekmektedir.

Klimatik kontrollü bir treyler soğutucu ünite tipine göre 4 sınıfa ayrılır. Soğutucu ünite, araç dış sıcaklığı $+30^\circ\text{C}$ iken araç içi sıcaklığı indirebildikleri seviyelere göre sınıflandırılırlar;

- A sınıfı: azami $+7^\circ\text{C}$
- B sınıfı: azami -10°C
- C sınıfı: azami -20°C
- D sınıfı: azami 0°C

Çizelge 2.4. İzolasyon sınıfı ve soğutucu üniteye göre araç sınıfları

Ekipman	Kod Tanımı
Normal izole edilmiş ekipman	IN
Ağır izole edilmiş ekipman	IR
A Sınıfı soğutuculu, normal izoleli ekipman	RNA
A Sınıfı soğutuculu, ağır izoleli ekipman	RRA
B Sınıfı soğutuculu, ağır izoleli ekipman	RRB
C Sınıfı soğutuculu, ağır izoleli ekipman	RRC
D Sınıfı soğutuculu, normal izoleli ekipman	RND
D Sınıfı soğutuculu, ağır izoleli ekipman	RRD
A Sınıfı, mekanik soğutuculu, normal izoleli ekipman	FNA
A Sınıfı, mekanik soğutuculu, ağır izoleli ekipman	FRA
B Sınıfı, mekanik soğutuculu, normal izoleli ekipman	FNB
B Sınıfı, mekanik soğutuculu, ağır izoleli ekipman	FRB
C Sınıfı, mekanik soğutuculu, normal izoleli ekipman	FNC
C Sınıfı, mekanik soğutuculu, ağır izoleli ekipman	FRC
D Sınıfı, mekanik soğutuculu, normal izoleli ekipman	FND
D Sınıfı, mekanik soğutuculu, ağır izoleli ekipman	FRD
E Sınıfı, mekanik soğutuculu, normal izoleli ekipman	FNE
E Sınıfı, mekanik soğutuculu, ağır izoleli ekipman	FRE
F Sınıfı, mekanik soğutuculu, normal izoleli ekipman	FRF
A Sınıfı ısıtıcılı, normal izoleli ekipman	CNA
A Sınıfı ısıtıcılı, ağır izoleli ekipman	CRA
B A Sınıfı ısıtıcılı, ağır izoleli ekipman	CRB

Klimatik kontrollü treylerler izolasyon sınıfı ve soğutucu türüne göre (Çizelge 2.4) yetkili kurumlar tarafından sertifikalandırılırlar. Çalışma kapsamında incelenen araç FRC (Ağır izolasyonlu, mekanik soğutuculu araç) sertifikalı bir araçtır.

2.3. Ürün Sıcaklığını Muhafaza Etmenin Önemi

Satış noktasına ulaşana kadar elde edilen ürünün kalitesi çevredeki ortamdan etkilenen bir dizi fizyolojik sürece bağlıdır. Taze meyve ve sebzeler yaşayan organizmalardır. Dokuların sürekli büyümesi ve gelişmesi için gerekli olan bir dizi fizyolojik sürece maruz kalırlar. Ürünler hasat edilmeden önce metabolizması için gereken besinleri ana bitki gövdesinden alırlar. Bu metabolik süreçler ürünler hasat edildikten sonra da devam eder. Ürünler ana bitkiden ayrıldıktan sonra yaşamlarını devam ettirmek için kendi bünyelerindeki besin rezervlerini kullanırlar, kullanılan besin rezervleri ürün ana bitkiden yarıldığı için artık yenilenmez. Hasat sonrası da devam eden bu metabolik süreçler ürünün bozulmasına ve kalitesinin düşmesine yol açar.

Tüm canlılarda olduğu gibi taze meyve ve sebzelerde de sıcaklık metabolizma hızını doğrudan etkiler. Sıcaklık artışı metabolizma hızını ve bozulma oranını artırır. Hasat sonrası sıcaklık arttıkça ürün daha kolay bozulabilir hale gelir. Sıcaklık, bahçe ürünlerinin kalitesini etkileyen "en önemli tek faktör" olarak kabul edilir (Wills, McGlasson, Graham, ve Joyce, 1998). Sıcaklık aynı zamanda hasattan sonra ürüne saldıran çürüme organizmalarının büyüme ve gelişme oranlarını da etkiler. Meyve ve sebzelerin bozulması kaçınılmaz ve geri döndürülemez bir işlem olsa da, hasattan hemen sonra posa sıcaklığı düşürülürse ve bu optimum sıcaklık dağıtım zinciri boyunca korunursa ürün daha uzun süre korunabilir. Sıcaklığın meyve ve sebzeler üzerindeki etkisi birikimlidir. Ürün kısa ve aralıklı olarak olumsuz sıcaklıklara maruz kalsa bile kalite etkilenecektir (Thompson, Mitchell, Rumsey, Kasmire ve Crisosto, 1998). Nakliye, üretim zincirinin saatler hatta aylar sürebilen önemli adımlarından birisidir. Marul gibi son derece bozulabilir ürünler, hasat sonrası ömrünün neredeyse yarısını taşıma araçlarında geçirebilir. Bu nedenle, taşıma sırasında meyve ve sebzelerin istenen sıcaklıkta tutulması önemlidir.

2.4 Soğutuculu Treyler İçerisindeki Sıcaklık Kontrolü

Nakliye sırasında kaliteyi korumak için ürünler uygun bir ortamda tutulmalıdır. Bu, taşıma ortamının istenilen düzeyde yönetilmesini gerektirir. Sıcaklık, ürün kalitesinin korunmasında en kritik faktör olduğundan, yarı römorklar, ürünün çevresindeki ortamın

sıcaklığını düzenleyen sistemlerle donatılmıştır. Yarı römork içine yüklenen ürün sıcaklığını römorkun içindeki ve dışındaki ısı kaynakları, ısıtma ve soğutma kaynağı, hava sirkülasyonu miktarı ve dağıtımı, ürünün paketlenme ve yükleme düzeni gibi çeşitli faktörler etkiler.

2.4.1. Isı kaynakları

Nakliye sırasında ürün sıcaklığını korumak için kontrol edilmesi gereken üç ısı kaynağı vardır. Başlangıçta treyler ve ürün içinde tutulan artık ısı yükü, nakliye sırasında araca giren dış ısı yükü ve ürün tarafından üretilen iç ısıdır.

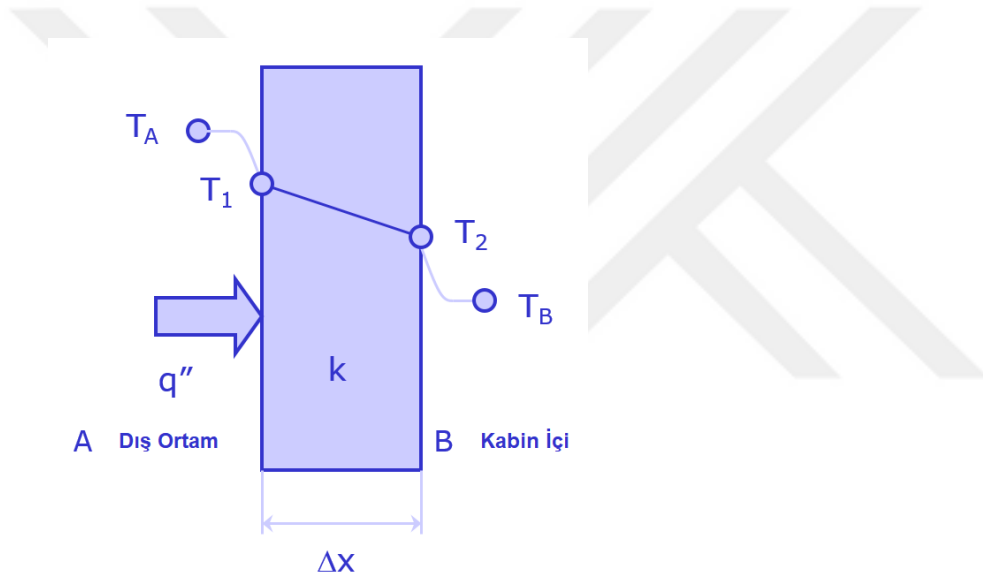
Kalıntı ısı yükü: Kalıntı ısı yükü, üründe ve ambalaj malzemelerinde bulunan ısıyı ve yüklenmeden önce yarı römork içinde başlangıçta tutulan herhangi bir ısıyı içerir. Başlangıçta römorkun içinde bulunan sıcak havanın ısı, römorkun yalıtımında ve iç astarında bulunan ısı (Ashby, 1999, s. 2), römork aksesuarları ve destek malzemeleri tarafından tutulan ısı, yükleme ekipmanı tarafından üretilen ısı yükleme öncesi yarı-römork tarafından tutulan kalıntı ısı türleridir. Ürünü optimum sıcaklığında tutabilmek için, yarı römorkun ve ürünün kendisinin nakliye öncesinde optimum sıcaklıkta olması gerekir. Bir römorka monte edilen soğutma ünitesi genellikle sadece nakliye sırasındaki harici ve uluslararası ısı yüklerini kaldıracak şekilde tasarlanmıştır. Artık ısı yükünü aynı anda idare etmek için ekstra kapasiteye sahip değildir. Bu nedenle, yarı römorkun ve ürünün yüklenmeden önce iyice soğutulması gerekir.

Meyve ve sebzeler ortam sıcaklığında toplanır ve genellikle ılıktır. Ürün kalitesini korumak için tarla ısı, hasattan sonra hızla uzaklaştırılır. Hasattan sonra üretimi önceden soğutmak için basınçlı hava soğutma, hidro soğutma, vakum soğutma veya buzlanma kullanılabilir. Önceden soğutulmamış ürünler aynı zamanda toplam ısı yükü miktarını da arttırır (Hui, Raghavan, Vigneault ve Castro, 2006). Bu nedenle, ürünü sevkıyattan önce tavsiye edilen taşıma sıcaklığına önceden soğutmak çok önemlidir. İyi önceden soğutulmuş ürünler taşıma sırasında da ısı kazanabilir. Römorkların yüklenmesi ve boşaltılması bazen açık yükleme havuzlarında ortam sıcaklığında yapılır. Ürün, kısa süre için bile ortam sıcaklığında bırakılırsa çevreden ısı kazanabilir. Ürünü şartlandırılmış bir ortamda saklamak ve ürünün yeniden ısınmasını önlemek için yükleme ve boşaltma işlemindeki gecikmeleri önlemek önemlidir.

Dış ısı yükü: Dış ısı yükü, römork ile dış ortamı arasındaki etkileşimden kaynaklanır. Genellikle taşıma sırasında sıcaklığı etkileyen en önemli ısı yüküdür. Harici ısı treylere iletim, taşınım, sızıntı veya radyasyon yoluyla girer.

İletim ve taşınım ısı, tavandan, zeminden, duvarlardan ve kapılardan bir römorkun iç yüzeylerine iletilebilir. Römorkun dış ve iç yüzeyleri arasında bir sıcaklık gradyanı olduğunda, bu yüzeyler boyunca belirli miktarda ısı akar. Isı hareketinin miktarı ve yönü, toplam ısı transfer katsayısının, ilgili yüzeylerin alanının ve dış ve iç yüzeyler arasındaki sıcaklık değişiminin bir fonksiyonudur.

$$Q_x = -kA \frac{dT}{dx} \quad (2.1)$$



Şekil 2.9. Treyler Ppanelindeki ısı geçişi şematik gösterimi

$$q'' = h_A(T_A - T_1) = \frac{k}{\Delta x}(T_1 - T_2) = h_B(T_2 - T_B); \quad (2.2)$$

$$\frac{1}{U} = \left(\frac{1}{h_A} + \frac{\Delta x}{k} + \frac{1}{h_B} \right) \rightarrow q'' = U(T_A - T_B); \quad (2.3)$$

Toplam ısı transfer katsayısı, yalıtım malzemelerinin ısı iletkenliğine ve römorkun iç ve dış yüzeylerini kaplayan hava filmlerinin ısı iletim katsayısına bağlıdır (Hui ve diğerleri, 2006). İletim ısı yükü miktarını azaltmak için yalıtım malzemeleri kullanılır. Römorklarda kullanılan yalıtım malzemeleri yangına, aşırı sıcaklıklarda bozulmaya,

çatlamaya, ufalanmaya, kaymaya, titreşime veya diğer herhangi bir mekanik aşınmaya karşı dayanıklı olmalıdır (American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers [ASHRAE], 1998). Ayrıca düşük nem geçirgenliği ve su tutma kapasitesine sahip, uygun maliyetli, uygulaması kolay ve hafif olmalıdır (ASHRAE, 1998). Fiziksel hasar ve nem penetrasyonu genellikle malzemelerin yalıtım değerini azaltır. Bu nedenle, römork yüzeylerindeki hasarlar derhal onarılmalı ve su birikmesini önlemek için tahliye delikleri kazalara karşı korunmalıdır. Zaman içerisinde ve kullanım sırasında dış etkenlere bağlı olarak fiziksel hasarlar meydana gelir, bu nedenle eski römorklarda iletim ısı yükü miktarı genellikle daha yüksektir.

Isı sızması iklimik kontrollü treylerlerdeki en önemli dış ısı kaynaklarından biridir. Sıcak hava genellikle römorkun küçük delikleri, çatlakları, drenaj delikleri ve kırık kapı contalarından girer. İnceleme veya çoklu teslimatlar için römork kapısının açılması ve kapatılması da harici ısı yükünü önemli ölçüde artırır. ASHRAE (1998) çoklu teslimatlar sırasında kapıların açılıp kapanmasından kaynaklanan ısı kazanımının, treylerin iç yüzeylerindeki iletim ısı yükünden beş kat daha fazla olabileceğini ortaya koymuştur.

Güneş radyasyonu, soğutmalı bir römorkta dış ısı yükünü artırır. ASHRAE (1998) 'de bildirilen bir çalışmada, sabit araçların soğutma ihtiyacının birkaç saat boyunca güneş ışığına maruz kaldığında %20 oranında arttığı bulunmuştur. Güneş radyasyonu ile ısı kazanımı, römorkun dış yüzeylerinde yüksek derecede parlak çelik, alüminyum plakalar veya yansıtıcı boyalar kullanılarak en aza indirilebilir (Ashby, 1999, s. 2). Dış yüzeylerin yansıtıcı özelliklerini korumak için bu yüzeylerin sık sık temizlenmesi gerekir. Kasmire ve Hinsch (1987), yol ısısının ürün sıcaklığı üzerinde duvarlar ve çatıdan iletilen ısıdan daha büyük bir etkiye sahip olabileceğini öne sürmüştür. Çünkü güneş altında bekleyen, iyi sıkıştırılmış ve koyu renkli bir asfalt muazzam miktarda ısı tutma kapasitesine sahiptir. Bu ısı, ilkbaharın ortasından sonbahar ortasına kadar gün boyunca treylerin alt tarafından treyler içerisine yayılır (Kasmire ve Hinsch, 1987). Zemine yayılan ısı genellikle gündüzleri gecedan daha fazladır.

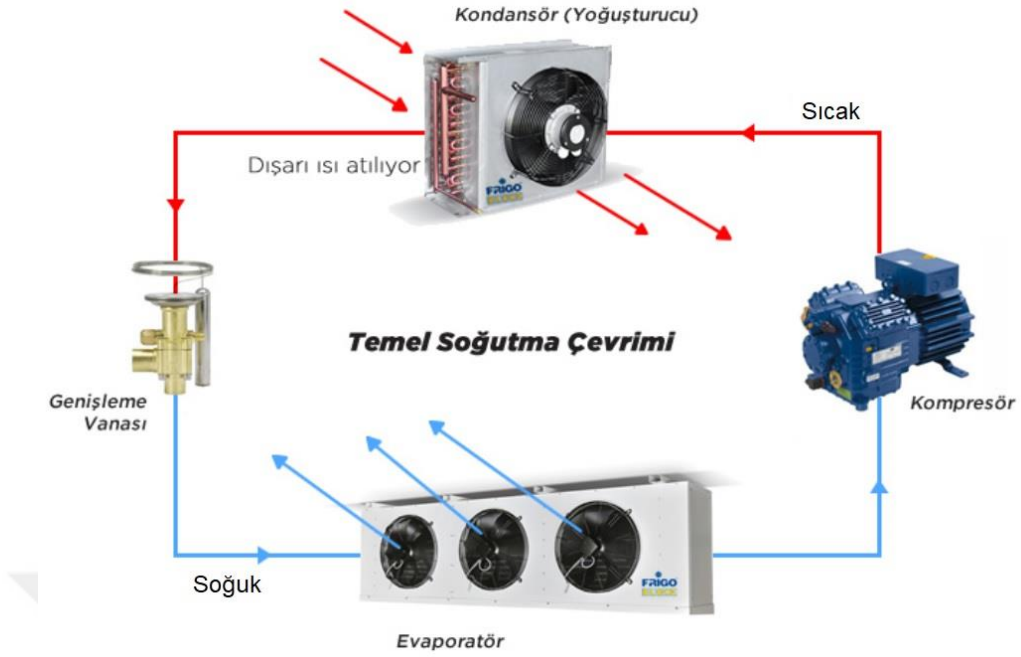
İç ısı yükü: Treyler içerisindeki iç ısı yükü, taşıma sırasında ürün tarafından üretilen solunum ısısını içerir. Biyolojik materyaller metabolik süreçlerinin bir parçası olarak solunum yapar. Bahçecilik ürünleri hasattan sonra bile solunum yapmaya devam eder.

Solunum sırasında CO₂, nem ve ısı açığa çıkar. Solunum hızı ürün tipine göre değişir. Kuşkonmaz, mısır ve çilek gibi ürünler, elma, portakal ve patatesden daha fazla solunum yapar (Ashby, 1999, s. 28). Solunum oranı ürünün sıcaklığı ile arttığından, uygun şekilde önceden soğutulmamış ürün daha yüksek bir solunum hızına sahip olma ve daha fazla iç ısı üretme eğilimindedir (Hui ve diğerleri, 2006).

2.4.2. Mekanik soğutucu

Yarı römorklarda optimum sıcaklığı korumak için çeşitli yöntemler mevcuttur. Mekanik soğutma, soğutucu yarı römorklarda en yaygın kullanılan sıcaklık kontrolü yöntemidir. Yarı römorkun ön tarafına takılan mekanik soğutucular ev tipi buzdolaplarına benzer şekilde bir soğutma çevriminde çalışırlar. Bu tür sistemlerde, bir soğutucu akışkan kapalı bir döngüde sıvıdan buhara ve tekrar sıvıya dönüşür. Bu faz değişikliklerinin bir sonucu olarak, soğutucu, römorkun içindeki buharlaştırıcıdan ısıyı emebilir ve römorkun dışındaki kondanserden dışarı aktarabilir. Mekanik soğutma sisteminin ana bileşenleri evaporatör, kompresör, kondenser ve genleşme vanasıdır.

Sıvı haldeki soğutucu akışkan evaporatör bobinlerinin içinden geçerken sıcaklığı evaporatör bobinlerinin etrafından akan, kabin içerisine gönderilen soğutma havasının sıcaklığından düşüktür. Bu sebeple soğutucu kabin içerisine gönderilen havadan ısı çekerek buharlaşır ve havanın sıcaklığını düşürür. Sıcaklığı düşen hava kabin içerisindeki ortam sıcaklığını istenen seviyelere kadar düşürür. Evaporatörde buharlaşan soğutucu akışkanın kompresörden geçerken sıcaklığı ve basıncı artar. Kompresör sonrası sıcaklığı dış ortam sıcaklığından fazla olan soğutucu akışkan yoğuşturucu bobinlerinden geçerken dış ortama ısı verir ve sıvı faza geçer. Kompresörde uygulanan basıncın bir sonucu olarak soğutucu akışkanın sıcaklığı soğutma havasının sıcaklığından yüksektir. Bu sebeple yoğuşturucudan çıkan soğutucu akışkan genleşme vanasından geçer. Genleşme vanasından geçerken basıncı düşer ve sıcaklığı soğutma havası için gereken sıcaklığın altına düşer. Soğutma çevrimi bu döngüyü devam ettirerek kabin içerisine gönderilen havanın, dolayısıyla kabin içerisindeki istenilen sıcaklıkta şartlandırılmasına olanak sağlar.



Şekil 2.10. Temel soğutma çevrimi

Yarı römork üzerindeki soğutma sistemi tipik olarak bir dizel motor veya haricen eklenen bir elektrik motoru tarafından tahrik edilir. Soğutma sisteminin tüm bileşenleri, bir römorkun ön duvarına monte edilen bir ünite içerisinde yer alır. Sistemde genellikle ön duvarın dışına monte edilmiş motor, kondanser ve diğer aksesuarlar bulunur, yalnızca buharlaştırıcı ve fan yarı römorkun içine yerleştirilir.



Şekil 2.11. Soğutucu ünitenin araç üzerindeki konumu

Yarı römorklara monte edilen mekanik soğutma sistemleri sadece taze ürünler için tasarlanmamıştır, aynı zamanda derin dondurulmuş ürünler için daha düşük sıcaklıklar da sağlayabilir. Soğutma sisteminin kapasitesi farklı modellere göre değişir. Performansı dış hava sıcaklığı ve evaporatöre dönen havanın sıcaklığından etkilenir.

Mekanik soğutma sistemi sürekli veya otomatik (başlat / durdur) modda çalıştırılabilir. Sürekli modda, kompresör ve fan sürekli çalışır ve sıcaklık ayar noktasına çok yakın tutulur. Otomatik modda, kompresör aralıklı olarak çalışır, ancak römorkun içindeki havayı dolaştıran üfleyici sürekli çalışır. Otomatik modun kullanılması yakıt tasarrufu sağlar, ancak sürekli moda kıyasla ayar noktası etrafında daha geniş bir sıcaklık dalgalanması oluşturur.

Termostatlar, römork içindeki hava sıcaklığını düzenlemek için kullanılır. Modern soğutma üniteleri, hem besleme hem de dönüş havası sıcaklıklarını ölçer. Gelişmiş mikroişlemci tabanlı kontrol sistemleri, sıcaklığı ayar noktasına çok yakın tutmak için kullanılır. Örneğin, ticari olarak temin edilebilen sıcaklık kontrol sistemlerinden biri, ayar noktası -12°C 'nin üzerindeyken besleme ve dönüş havası sıcaklıklarını ayar noktasının $\pm 1,1^{\circ}\text{C}$ içinde tutabildiğini iddia eder. (Anonim, 1995). Bu sistem evaporatör bobini boyunca sıcaklıktaki dalgalanmayı azaltır ve geleneksel sistemlerde oluşan ısınma-soğuma döngüsünü ortadan kaldırır.

Nominal sıcaklık ayarı, taşınan yükün türüne göre belirlenir. Farklı ürünler farklı optimum taşıma sıcaklıklarına sahiptir. Örneğin, marul ve çilek gibi kolay bozulabilir ürünler 0°C 'de tutulurken, olgun yeşil domates 12.8°C ile 21.1°C arasında tutulmalıdır (Thompson ve diğerleri, 1998). Taşınan yük yalnızca bir tip ürün içeriyorsa, ayar noktası genellikle ürüne özel olarak ayarlanır. Farklı ürünler birlikte karışık olarak taşınırsa, geçiş sıcaklığı dikkatlice seçilmelidir. Karışık yük için, ayar noktası genellikle en yüksek tutma sıcaklığına ihtiyaç duyan ürünler için ayarlanır. Bu sıcaklık, daha düşük sıcaklıklar gerektiren diğer ürünler için ideal olmasa da soğumayı veya donma yaralanmasını önlemek için taviz verilir. Bu sıcaklık uyumsuzluğu sorunu, farklı sıcaklıklarda ürünlerin aynı treylere yüklendiği dağıtım durumlarında yaygın olarak bulunur.

Farklı tipte ürünlerin aynı araçta taşınabilmeleri için geliştirilen bazı uygulamalar mevcuttur. Örneğin treyler kabininin içerisine portatif olarak eklenebilen ayırım duvarları

kabin içerisindeki ortamın ikiye ayırarak bu ortamları büyük oranda birbirlerinden yalıtır. Bölmelere gönderilen hava miktarları kontrol edilerek sıcaklıklar taşınan ürünlere göre optimum bir seviyede tutulmasına imkan sağlar. Bu tür bir uygulamada bile verimli bir taşıma için taşınan ürünlerin taşınma sıcaklıklarının birbirlerinden çok farklı olmaları istenmez.



Şekil 2.12. Soğutuculu treyler kabini iç görünümü

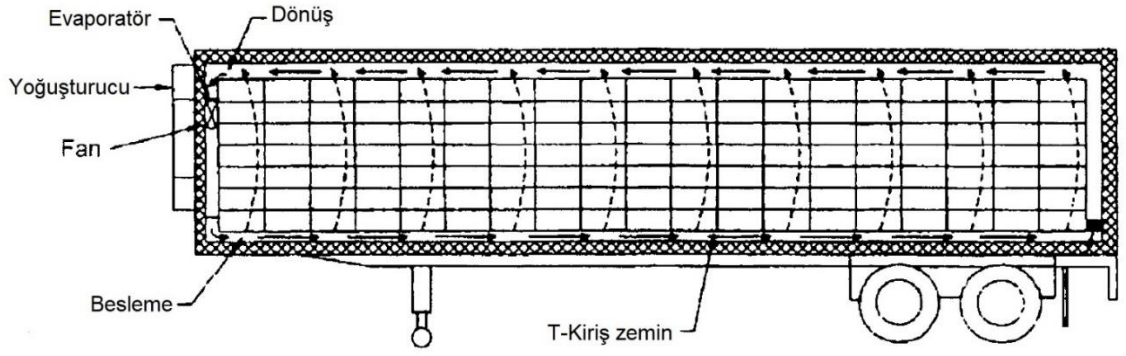
2.4.3. Hava akışı

Hava sirkülasyonu, meyve ve sebzelerin taşınması sırasında ürün sıcaklığının korunmasında kritik bir rol oynar. Koşullandırılmış havanın, iç ve harici ısı yüklerini emebilmesi için yükün içinde ve çevresinde eşit bir şekilde sirküle edilmesi gerekir. İç ısı yükü genellikle ürün tarafından üretilen solunum ısısından oluşur. Posa sıcaklığındaki hızlı artışı önlemek için bu solunum ısısı uzaklaştırılmalıdır. Koşullandırılmış havanın yükün içinde ve çevresinde dolaştırılmasıyla, ısı birikmesi önlenir ve ürün sıcaklığının optimum seviyelerde tutulması sağlanır. Harici ısı, taşıma sırasında sürekli olarak yarı römorka nüfuz eder. Römorkun yalıtımı dışarıdan içeriye nüfuz eden ısı akışını azaltabilir ancak tamamen durduramaz. Şartlandırılmış havanın yük ile römork yüzeyleri arasında

dolaşımı ile bu alandaki ısıнын ürünler'e nüfüz etmesi geciktirilir. Römork duvarlarındaki ısı hava tarafından emilir ve soğutma ünitesi tarafından uzaklaştırılır. Heywood (1998, s. 55), optimum sıcaklıktaki bir hava ceketinin yükün etrafındaki "en iyi yalıtım" olduğunu vurgulamıştır. Hava zarfının varlığı nedeniyle ürün bu yüzeylere temas etmiyorsa römork yüzeylerinin sıcaklığı önemsiz hale gelir (Heywood 1998, s.55). Hava ayrıca kışın ürünün soğumasını veya donmasını önlemek için yükün etrafında ısıtılarak dolaştırılabilir.

(Ashby, 1999, s. 4). Genel olarak, yükün etrafında dolaşan hava harici ısıyı giderir, ısı akışını azaltır ve yükü römork içindeki sıcak / soğuk yüzeylerden izole eder. İyi bir hava sirkülasyonu, havanın yükün çevresinden ve içinden soğutma ünitesine daha hızlı bir şekilde aktarılmasını sağlar. Koşullandırılmış hava düzgün bir şekilde sirküle edilmezse, soğutma sisteminin kapasitesi önemsiz olur (Ashby, 1999, s. 4). Çoğu soğutma sistemi aşırı soğutma kapasitesine sahip olmasına rağmen, hava sirkülasyonu treyler içindeki fazla ısıнын giderilmesinde genellikle yetersizdir (Kasmire ve Hinsch, 1987). Yüksek hava akış hızının yanı sıra, tüm yük boyunca istenen üretim sıcaklığını korumak için düzgün bir hava dağılımı gereklidir. Eşit olmayan hava dağılımı, yükün farklı kısımlarında aşırı ısınmaya veya aşırı soğumayla sonuçlanır, bu da raf ömrünün kısılmasına ve ürünlerin bozulmasına neden olabilir.

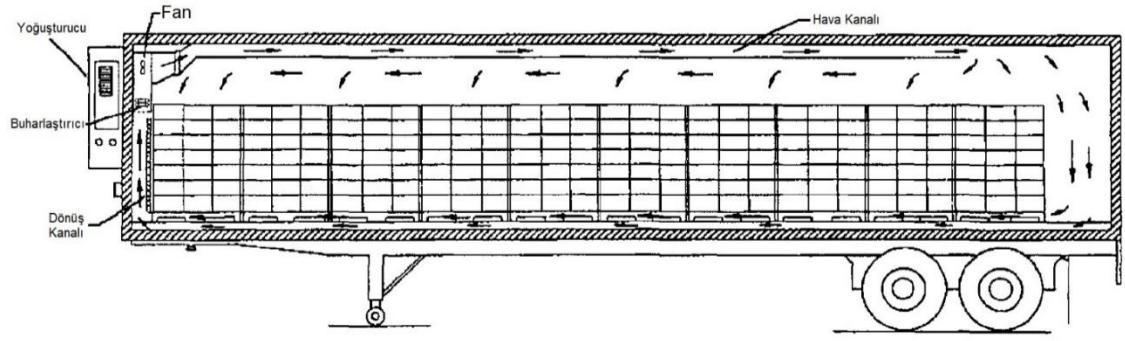
Hava tedarik sistemi: İntermodal konteynerlerde yaygın olarak kullanılan alt hava dağıtım sistemi, soğutmalı yarı römorklarda çok sınırlı bir kullanıma sahiptir (Ashby, 1999, s. 5). Bu tip taşıma sistemini kullanan konteynerler genellikle yatay T-kirişli zemin, dikey yivli arka kapılar ve dikey yivli yan duvarlarla donatılmıştır. Alt-hava iletim sistemindeki hava hareketi çoğunlukla dikeydir. Zemin alanının tamamen yük tarafından kaplanmasını gerektirir. Soğutma sistemi şartlandırılmış havayı kabin T-kiriş tabanının altına zorlar. Basıncı hava kabinin içinde önden arkaya doğru akar ve oluklu yan duvarlardan yukarıya doğru iletilir. Hava kabinin tavanına ulaştığında, ön duvara doğru akar ve soğutma ünitesinin evaporatörüne geri döner.



Şekil 2.13. Treylar içi alt hava dağıtım sistemi şematik gösterimi (Hui, 2006, s. 15)

Bu sistem havayı sirküle etmek için etkili bir yöntem sağlamasına rağmen, soğutuculu yarı römorklarda kullanımını sınırlayan bazı dezavantajlara sahiptir. Nervürlü yan duvarlar ve derin T-kirişli zeminler, yükleme ve boşaltma sırasında forkliftler tarafından kolayca hasar görebilir. Römork tabanı tamamen kaplanmadığında, özellikle römork farklı boyutlarda ambalaj kaplarından oluşan karışık bir yük taşıyorsa, hava kolayca kanallar dışına çıkıp soğutma performansını ciddi oranda düşürebilir. Ek olarak, aksesuarların ekstra ağırlığı karayollarının brüt araç ağırlık sınırlarına sahip olması nedeniyle treylere yüklenebilecek ürün miktarını azaltır. Sonuç olarak, taban hava dağıtım sistemleri normalde sadece çevrim sürelerinin nadir olduğu ve ağırlık kısıtlamasının olmadığı uzun mesafe taşımacılığı için intermodal araçlarda kullanılır.

Üstten hava dağıtım sistemi, soğutuculu yarı römorklarda en yaygın kullanılan hava sirkülasyon yöntemidir. Bu sistem, römorkun içinde uzunlamasına yüksek hızlı, düşük basınçlı hava akışı sağlar. Hava, römorkun önünden arkasına yükün üzerinden geçer. Yol boyunca bir miktar hava duvarlar ve yükün arasından aşağı akar. Hava römorkun arka ucuna ulaştığında, arka kapı ile yük arasında aşağıya doğru akar. Daha sonra hava yükün altından, zeminden arkadan öne doğru hareket eder, ön tarafa geldiğinde hava yukarı doğru akar ve evaporatöre geri döner. Hava, römorkun yüzeyleri boyunca ve yük boyunca dolaştıkça, römorka gelen ısıyı ve ürün tarafından üretilen ısıyı alır.



Şekil 2.14. Treyler içi üst hava dağıtım sistemi şematik gösterimi (Hui, 2001, s. 6)

Soğutuculu yarı romörklerde hava sirkülasyonuna yardımcı olan çeşitli özellikler mevcuttur. Yarı römorklar hava dağıtım kanalı, derin kanallı zemin ve basınçlı dönüş havası perdesi ile donatılabilir. Bu özellikler, yarı römorkun önünde ve arkasında olduğu gibi yükün üstünde ve altında hava yollarının korunmasına yardımcı olur. Bu özelliklerin kullanılması hava sirkülasyonunu artırır ve sonuç olarak nakliye sırasında yük sıcaklığının kontrolünü iyileştirir (Ashby, 1999, s. 5).

Hava kanalı: Hava dağıtım kanalı havayı soğutma ünitesinin çıkışından yükün arkasına ve her iki tarafına dağıtmaya yardımcı olur. Kanal genellikle kanvas veya kalın muşambadan yapılır (Kasmire, Hinsch ve Thompson, 1996) ve bir adaptör aracılığıyla soğutucu ünite fan girişine bağlanır. Hava kanalı cırtcıt, halka veya plastik büküm bağlantı elemanları kullanılarak tavanın ortasına veya hafifçe kenara monte edilir (Anonim, 1999). Soğutucu ünitenin bakımı veya kontrolünün kolay yapılabilmesi için ise adaptör bağlantısı olarak hızlı sökölüp takılabilen bağlantı elemanları kullanılır.



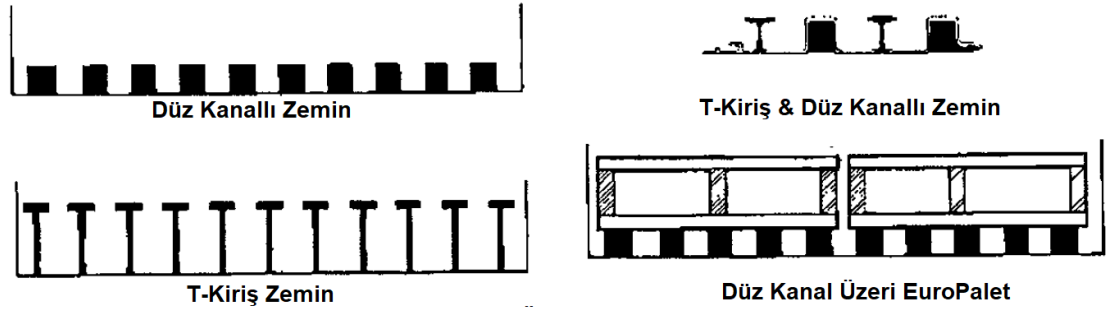
Şekil 2.15. Üst hava dağıtım brandası

Hava kanalı tasarımı için, Amerikan Ulusal Bozulabilir Gıdalar Lojistik Derneği / Soğutmalı Ulaşım Vakfı (NPLA / RTF) en az 0,15 m²'lik kesit alanı önermektedir (Ashby, 1999, s. 6). Hava kanalı, aracın ön duvarından soğutucu fanını da içine alacak şekilde arka kapılara en az 3 ila 5 m mesafeye kadar uzanır (Craig, 1990, s. 17). Hava kanalındaki havayı ürünlerin üzerine yönlendiren boşluklar, soğutucudan sonraki ilk 3 m hariç, kanal uzunluğu boyunca yerleştirilir (Ashby, 1999, s. 6). İlk 3 m boyunca kanalın kenarları tavana sıkıca tutturulur (Craig, 1990, s. 17). Bağlantı sıkı değilse, hava bölmeye kısa devre yapabilir, bu nedenle termostat okumasını etkiler ve düşük sıcaklık regülasyonuna neden olur (Craig, 1990, s. 18). Hava kanalının boyutu normalde kullanılan soğutma ünitesi tipi ve römorkun tavan alanı ile orantılıdır. Hava kanalının uygun boyutuna ilişkin bilgiler genellikle römork soğutma sistemi üreticisi tarafından da paylaşılabilmektedir. Hava kanalının dezavantajlarından biri yükleme veya boşaltma işlemleri sırasında forkliftin hareketini engelleyebilmesidir. Hasarı önlemek için, kanal tavanının en fazla 0,15 m altına asılmalı ve paletin içine sıkışmasını önlemek için arka açıklığın ortası sabitlenmelidir (Craig, 1990, s. 19). Arka açıklığın sabitlenmesi, kanal içindeki havayı da basınçlandırır ve havanın yanlara dökülmesini iyileştirir.

Hava kanalının tıkanarak hava hareketini engellemesini önlemek için, ürün hava kanalı seviyesinin altında yüklenmelidir. Hava kanalının tıkanması, yan duvarlarda hava kanalı seviyesinin altındaki izin verilen maksimum yükleme yüksekliğini gösteren bir çizgi boyayarak önlenabilir (Ashby, 1999, s. 6). Hava kanalı her yolculuktan önce hasar ve temizlik açısından kontrol edilmelidir. Yırtık kanallar, römorkların içinde eşit olmayan bir hava dağılımı yaratır (Craig, 1990, s. 19). Hava kanalı içinde biriken kir hava ile üflenecek ve yükü kirletecektir. Hava kanalı, resmi kurumlar tarafından onaylanmış temizlik maddeleri kullanılarak düzenli aralıklarla çıkarılmalı ve temizlenmelidir (Craig, 1990, s. 20).

Zemin: Üstten hava dağıtım sisteminde, yük ile römorkun zemini arasındaki boşluk, evaporatöre geri dönüş havası için bir kanal görevi görür. Zemin ve yük arasında yeterli miktarda geri dönüş boşluğu yoksa, hava akışı kısılr ve soğutucu fan verimli çalışamaz. Ashby (1999, s. 7), ortalama bir römorkun fanının yüzde 100 kapasitede çalışabilmesi için yaklaşık 0,15 m²'lik dönüş havası alanının gerekli olduğunu belirtir. Kasmire ve diğerleri (1996), maksimum kapasiteye ulaşmak için yaklaşık 0,19 m²'lik engelsiz bir dönüş havası geçişine ihtiyaç olduğunu önermektedir. Soğutmalı yarı römorklarda bulunan en yaygın zemin tipleri düz zemin (kanalsız), düz kanallı zemin, T kanallı zemin ve T-kiriş zemindir. Her tasarım, dönüş havası geçişi için farklı bir kesit alanı sunar. Yine de taban tasarımları değiştirilerek yeterli miktarda dönüş havası sağlanması oldukça zordur. Bu sebeple ürünler genellikle paletler üzerine yüklenerek taşınır (Kasmire ve diğerleri, 1996).

T-kiriş zemin, diğer tüm tasarımlardan daha fazla dönüş havası geçişi sağlar, ancak birkaç dezavantajı vardır. Yükleme ve boşaltma işlemleri sırasında diğer zemin tiplerine kıyasla forklift hasarına karşı daha hassastır. Nakliye ve taşıma sırasında biriken artık maddeler derin kanallarda kolayca birikebilir. Zeminin sıklıkla temizlenmezse zemin tasarımının etkinliğini azalabilir. Ayrıca forklift, zemin ve lastikler arasındaki azaltılmış temas alanı nedeniyle yükleme ve boşaltma sırasında kaymaya karşı daha hassastır.



Şekil 2.16. Treyler içi zemin türleri (Hui, 2001, s. 20)

Dönüş havası perdesi: Dönüş havası perdesi temel olarak havanın evaporatöre rahatça dönmesi için eklenen bir duvar olarak düşünülebilir. Yükün buharlaştırıcıya giden havayı engellemesini önler, fan ile içeri beslenen havanın kısa devre yaparak kısa yoldan buharlaştırıcıya gitmesini engeller. (Kasmire ve diğerleri, 1996). Dönüş hava perdesi bölmesi, ön duvar genişliğinde ve araç yüksekliğinin yarısına kadar yükseklikteki bir alanı kaplayabilir. Çerçeve şeklinde, rijit veya basınçlı havanın yönlendirilmesiyle oluşturulan hava perdeleri yaygın olarak kullanılırlar.

Diğer unsurlar: Hava kanalı, derin kanallı zemin ve basınçlı perdelerin kullanılması dışında hava dolaşımını iyileştirmek için başka birçok özellik eklenebilir. Kasmire ve diğerleri (1996), bölmenin alt kenarının kıvrılması, ön duvara hava yönlendirici unsurların takılması, kapılara hava akışını yönlendirecek kanatçıklar takılması gibi uygulamalar da kabin içi hava akışını iyileştirecektir.

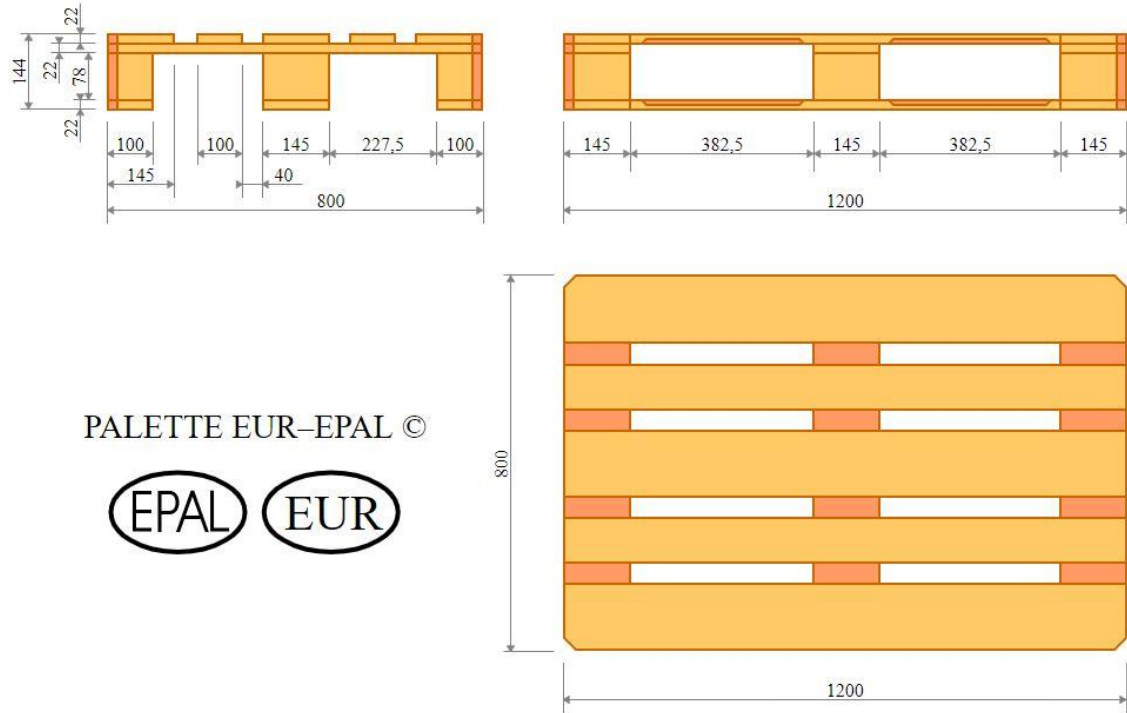
2.4.4 Yük karakteristikleri

Römorkun içindeki yük sadece bir ısı kaynağı değil, aynı zamanda hava akışını da engeller. Ürünün ambalajlanması ve daha sonra bu ambalajların treyler içinde düzenlenmesi havanın dolaşımını önemli ölçüde etkiler ve sonuç olarak treylerin içinden ısının alınmasının verimliliğini etkiler. Hava kanallarının mevcudiyeti ve hava akımı modeli, ürün ambalajı tasarımı, ambalaj düzenlemesi, dış ambalaj tipi, palet yükleme modeli, destek malzemelerinin kullanımı veya bu faktörlerin bir kombinasyonu ile değişir. Ambalaj seçimi, ambalaj düzenlemesi ve harici ambalaj malzemesi seçimi, yük boyunca hava sirkülasyonunun verimliliğini etkilerken, yükleme düzeni yük etrafındaki

hava hareketini etkiler. Ürünler arasına koyulan ek destekler, yükün hareket etmesi sebebiyle yük çevresindeki hava kanallarının tıkanmasını önlemek için yaygın olarak kullanılır.

Paketler yarı römorkun içine ya parçalı şekilde ya da paletlenmiş bir şekilde yüklenir. Parçalı yüklerde ürün paketleri alanı optimize etmek için genellikle zeminden tavana kadar kabinin içine ayrı ayrı elle istiflenir. Paletlenmiş bir yükte, paketler önce paletler üzerine yerleştirilir ve paletler daha sonra forklift tarafından römorkun içine yüklenir. Parçalı şekilde genellikle daha fazla miktarda ürün taşınabilmesine rağmen, taşıma kolaylığı, azaltılmış yükleme ve boşaltma süresi ve azaltılmış iş gücü gereksinimleri nedeniyle paletli yük daha çok tercih edilir.

Ürün genellikle 0.8m genişliğinde ve 1.20m uzunluğundaki standart tip Europaletler üzerine yüklenir. Farklı palet konfigürasyonları da mevcuttur.



Şekil 2.17. Standart europalet ölçüleri

Paletlenmiş yükler araç içerisinde tek bir tip üründen (düz yük) veya birkaç tip üründen (karışık yük) oluşabilir. Toptan satış ve toplu dağıtım zinciri içerisinde ürünler çoğunlukla paletli hale getirilir ve araç içerisinde karışık yükler bulunur. Düz yükler genellikle

Üreticiler tarafından kullanılır. Çalışmanın bundan sonraki bölümü paletlenmiş meyve ve sebzelere odaklanacaktır.

Ambalaj malzemeleri: rnlerin ambalaj seçimleri genellikle ürünün özelliklerine, n soğutma yöntemine, paketleme yöntemine, mukavemete, maliyete, bulunabilirliğe, alıcı spesifikasyonlarına ve navlun oranlarına dayanır (McGregor, 1989, s. 45). En yaygın ambalaj malzemeleri; oluklu karton kutular, ahşap sandık ve tel bağlı kasalar, plastik kutular ve variller, kağıt veya örgü sepetler, strafor kutular ve sepetlerdir. Mevcut tüm seçenekler arasında, karton kutular endüstride en yaygın kullanılan ambalaj malzemesidir. Çeşitli boyutlarda, şekillerde, ağırlıklarda, kalınlıkta, mukavemette ve kaplamalarda ambalaj kartonları mevcuttur.

Karton kutuların çoğu çift yüzlü oluklu kartondan yapılmıştır. Çift yüzlü karton, iki düz karton tabakası arasına sıkıştırılmış bir oluklu kağıt tabakasından oluşur. Karton kutuların taşıma kapasiteleri, patlama ve ezilme mukavemeti ile ölçülür. İhracata yönelik kutular için, minimum 1896 kPa patlama mukavemetine sahip bir karton önerilir (McGregor, 1989, s. 53). Paketlenmiş rn katmanları bir palet üzerine istiflendiğinde, kenar ezilme mukavemeti, patlama mukavemetinden ziyade ambalaj malzemesinin yk kapasitesinin bir göstergesi olarak kullanılır. Kutuların altına yazdırılan sertifikalar genellikle kutuların mukavemet özelliklerini ve sınırlamalarını gösterir. Oluklu karton kutu kullanımındaki en büyük zorluk kartonun çevredeki ortamdan veya üründen nem emmesidir. Nemin emilmesi, kutuların mukavemetini % 75'e kadar azaltabilir (Boyette, Sanders, ve Rutledge, 1996). Bu nedenle, su, buz veya yüksek neme maruz kalan karton kutulara, balmumu veya plastik gibi nem önleyici kaplamalar uygulanır.

Ambalaj kabının yan duvarlarında havalandırma deliklerinin bulunması, ürün boyunca hava akışı miktarını etkiler. Solunum ısısının giderilmesi için kaplarda yeterli miktarda açıklığa ihtiyaç vardır. Oluklu karton kutular için, el delikleri ve havalandırma yuvalarının tasarımı öncelikle cebri hava soğutması için optimize edilmiştir. Bu tasarımlar ayrıca nakliye sırasında paketlerden hava akışına izin vermek için yeterli açıklığı sağlar. Oluklu karton kutular, mukavemetinden ödün vermeden toplam yan yüzey alanının % 5'ine kadar havalandırma deliklerine sahip olabilir (Thompson ve diğerleri, 1998). Birkaç büyük havalandırma deliği, aynı yüzey alanına sahip birçok küçük delikten

daha iyidir. Dikey havalandırma açıklıkları oldukça iyi çalışır fakat istifleme yükü daha çok kabın köşelerinde yoğunlaştığı dikey açıklıkların için karton kutunun köşelerinden en az 51 mm uzakta tutulması gerekmektedir (Kader, 2002, s. 519).

Yeterli havalandırma deliklerine sahip olmanın yanı sıra, ürün paketlerinin rijit bir yapıda olması gerekir. Güçlü paketleme ürünü sadece fiziksel hasardan korumakla kalmaz, aynı zamanda paletli yükün bütünlüğünü de korur ve hava geçişlerini engelleyebilecek kutuların çökmesini önler. Ürün paketleri aynı zamanda ön soğutma, nakliye ve depolama sırasında oluşabilecek yüksek neme de dayanabilmelidir (McGregor, 1989, s. 54).

Yeniden kullanılabilir ve geri dönüştürülebilir plastik paketleme ürünleri iyi havalandırmaya ihtiyaç duyan ürünlerin dayanıklı bir şekilde paketlenmeleri için geliştirilmiştir. Bu kaplar ayrıca çeşitli ön soğutma yöntemleri için optimize edilmiştir ve yan yüzeylerinde % 20 ile % 30 oranında havalandırma açıklıkları bulunur (Pathare, Opara, Vigneault, Delele, ve Al-Said, 2012, s. 2035). Astarlar, tepsiler, sargılar, ayırıcılar veya pedler gibi iç ambalaj malzemeleri, havalandırma açıklıklarını engellemedikleri sürece ambalaj kaplarında kullanılabilir. Örneğin; Üzüm gibi ürünler plastik bir astarla kaplandığında veya torbalara pakletlendiğinde, ambalaj malzemelerinin üstünde hava akışına izin vermek için genellikle üzüm torbalarından biraz daha yüksek bir kutuda paketlenir (Thompson ve diğerleri, 1998).

Ambalaj düzenleme ve paketleme: Ürün paketleri genellikle bir palet üzerinde katmanlar halinde istiflenir. Paletlerde ürünler istiflenirken iki önemli faktör dikkate alınmalıdır. Birincisi, hava akış yönü boyunca kutulardaki havalandırma deliklerinin hizalanması; ve ikincisi, tabakalar halinde istiflenen paketlerin stabilitesi. Havalandırma deliklerinin havanın solunum ısısını gidermesine izin vermedeki etkinliği, ürün kutusu boyunca ne kadar havanın eşit şekilde aktığına bağlıdır. Havalandırma deliklerinin hizalanması ve kutuların stabilitesi, düz ambalajlarda, ambalaj kapları aynı boyut ve konfigürasyonda olduğu için kolayca elde edilebilir. Bununla birlikte, bir paletin bir veya birkaç tip kap kullanılarak yüklenebildiği karışık yüklerde bu duruma ulaşmak çok daha zordur. Bahsedilen ikinci senaryoda çeşitli kap stillerinin havalandırma deliklerini bir arada hizalamak zordur

Farklı paketler kullanılarak yapılan karışık yüklemelerde ürünlerin palet üzerinde stabil şekilde durabilmelerini sağlamak için palet üzerindeki ürünler topluca plastik film ile sarılır. Plastik film kullanımı, paketler arasında hava sirkülasyonunu ciddi şekilde kısıtlar fakat palet üzerindeki yüklerin stabilitesi, hava sirkülasyonundan daha çok dikkat edilen bir konudur.

Uygun şekilde istiflenmiş paletler sadece iyi hava sirkülasyonu sağlamakla kalmaz, aynı zamanda ürünleri fiziksel yaralanmalardan korur. Ayrıca stabil bir yükleme paketlerin düşmesini önleyerek yükleme personelinin güvenliğini sağlar. Palet üzerindeki dengesiz paketler nakliye sırasında düşebilir ve hava sirkülasyon kanallarını bloke edebilir. Palet üzerindeki yüklerin stabilitesini sağlamak için, paketlerin doğal mukavemetlerinden en iyi şekilde yararlanacak şekilde istiflenmesi gerekir (Ashby, 1999, s. 12). Çoğu paket, içeriğe zarar vermeden belirli alanlarda bir miktar yükü destekleyecek şekilde tasarlanmıştır. Oluklu karton kutuların yan panelleri üzerine gelecek yükleri destekleyecek şekilde tasarlanmıştır (Ashby, 1999, s. 17). Karton kutuların en güçlü bölgeleri köşeleridir. Sonuç olarak, oluklu karton kutular dik bir şekilde, üst üste istiflenmelidir. Üst kutunun alt köşeleri, alt kutunun üst köşelerine hizalanmalıdır. Bu köşe hizalaması, basıncın üst tabakadan palete kadar aktarılmasını sağlar.

Düz veya karışık bir yükün paletlemesi yapılırken paketlerin palet alanının dışında kalmaması önemlidir. Paketlerin paletlerin kenarlarının dışına taşması yük taşıma kapasitesini azaltarak yükü dengesiz hale getirir. Örneğin, bir karton kutusunun paletin dışına sarkması paketin dayanımı üçte bir oranında azaltır (McGregor, 1989, s. 54). Benzer şekilde, kutular palet yüzey alanının %90'ından daha azını kaplıyorsa ve paletin kenarlarıyla hizalanmamışsa, taşıma sırasında yük kayma eğilimi gösterecektir (McGregor, 1989, s. 55).

Pratik uygulamalarda, karışık yükleme durumlarında tüm paletin stabilitesini arttırmak için karton kutuların birbirine kenetlenecek şekilde (çapraz yükleme) yüklenmesi oldukça yaygındır. Çapraz yükleme alttaki kutuların taşıma kapasitelerini azaltacağından, ağır yüklerde alttaki kutuların hizalı, üst tarafta kalan kutuların çapraz şekilde yüklenmeleri gerekmektedir. (Boyette ve diğerleri, 1996). Önceki bölümde bahsedilen yeniden kullanılabilir plastik kutular, karton kutulardan daha fazla yükleme mukavemetine

sahiptir. Üstteki plastik kasa ile alttaki kasanın birbirine kenetlenmeleri için köşelerde çıkıntı ve girintiler vardır. Bu daha rijit bir yükleme sütunu elde etmeye yarar. Bu tür plastik kutuların yükleme dayanımları daha fazla olduğundan dolayı palet üzerindeki tüm yükün çapraz olarak istiflenmesi mümkün olmaktadır.

Paketlerin sabitlemesi: Düzgün istiflemeye ek olarak, paletlerdeki paketlerin stabilitesini arttırmak için farklı sabitleme yöntemleri de kullanılır. Bu yöntemler sütunun bütünlüğünü korumaya ve ürün paketlerinin düşmesini veya kaymasını önlemeye yardımcı olur.

Plastik veya kağıt köşe destekleri, paketlerin kenarını korumak için paletli yükün köşeleri boyunca uygulanır, köşelerden desteklenen yük daha düz ve rijit şekilde taşınır. Plastik kayışlar ve bantlar genellikle paletli yükün çevresine, köşe destekleri ile beraber uygulanır. Bazı uygulamalarda her bir paketin üzerine uygulanan özel bir yapıştırıcı, istifleme sırasında paketleri sabitlemek için kullanılır (McGregor, 1989, s.55). Nem kaybına karşı duyarlı ürünlerde branda örtüleri kullanılır (Peleg, 1985).

Plastik streç film de paletlenmiş yükü korumak için yaygın olarak kullanılmaktadır. Streç film uygulaması palet üzerindeki tüm yükü kaplayacak şekilde de uygulanabilir, kısmı olarak şerit halinde de yükün etrafına uygulanabilir. Streç film kaplama aynı zamanda nem kaybını azaltmaya da yardımcı olur. Esnekliği nedeniyle, streç film uygulaması herhangi bir boyut veya yük şekline uygulanabilir. Uygulama için manuel veya yarı otomatik sistemler yaygın olarak kullanılır. Streç film sargısının en büyük dezavantajı, palet üzerindeki yükün içindeki hava sirkülasyonunu ciddi şekilde kısıtlamasıdır (Boyette ve diğerleri, 1996). Hava yoluyla çıkarılabilen solunum ısı miktarını büyük ölçüde azaltır, bu nedenle bu tür bir sargı havalandırmaya ihtiyaç duyan ürünlere uygulanmamalıdır (McGregor, 1989, s. 60). Streç film sargısına bir alternatif plastik ağdır. İyi stabilite sağlar ve yük boyunca serbest hava sirkülasyonuna izin verir. Bununla birlikte, karışık yüklü paletler için, plastik film sargısı endüstride en yaygın olarak kullanılan kısıtlama malzemesidir.

Palet yükleme düzeni: Paletlerin üzerine ürün paketleri istiflendikten ve emniyet malzemelerini uyguladıktan sonra, paletler genellikle soğuk hava depolarından soğutuculu yarı römork içine yüklenir. Endüstride çeşitli yükleme düzenleri

kullanılmaktadır. Yükleme düzeni hava sirkülasyonunu, yük ve iç duvarlar arasındaki temas miktarını, yükün stabilitesini ve yükleme hacmini etkiler. Paletlerin yüklenme şekli hava sirkülasyonunu ve bunun sonucu olarak kabin içindeki tüm ısı yüklerinin giderilmesini etkiler. Hava kanallarının mevcudiyeti ve yönü, yükün etrafında ve boyunca hava akışı düzenini etkileyen yükleme modeline bağlıdır. Yükleme düzeni aynı zamanda ürün ile treyler yüzeyleri arasındaki temas miktarını da belirler, böylece iletim nedeniyle ürün ısınma veya donma miktarını etkiler. Son olarak yükleme düzeni, belirli bir römork uzunluğunda taşınabilen paletlerin sayısını etkiler. Pratik uygulamalara bakıldığında çeşitli yükleme şekillerinin kullanıldığı görülmektedir. Bunlar; Yan duvarlara bitişik yükleme, ofsetli yükleme, kilitli yükleme veya merkezci yükleme şekilleridir.

Yan duvarlara bitişik yüklemede, ürün paletleri römorkun sol ve sağ yan duvarlarına yakın şekilde iki sıra halinde hizalanarak yüklenir. 0.8 m genişliğinde ve 1.20 m uzunluğunda standart paletlerle, paletler, genişliği veya uzunluğu römorkun arkasına bakacak şekilde düzenlenebilir. Araç iç genişliği standart olarak 2,46 m olan tipik bir yarı römork için, paletlerin kısa kenarları arkaya bakacak şekilde doğrudan yüklenmesi durumunda iki palet sırası arasında 0,86 m boş bir alan kalacaktır. Bu uzunlamasına kanal, havanın sıralar arasında serbestçe dolaşmasına imkan sağlar. Ancak, yük ortada desteklenmezse, yükler devrilebilir hava kanalını bloke edebilir. Bu boşluk ayrıca yükleyicilerin, yükün içeriğini veya durumunu kontrol etmelerine imkan verir. Karışık yük gönderilerinde bu çok pratik bir yükleme şeklidir. Paletler, uzun kenarları arkaya bakacak şekilde çevrildiğinde, römorka yüklenebilecek palet sayısında bir artış olur. Ancak, iki sıra arasındaki hava kanalı genişliği 0.06m'ye düşmektedir. Bu tip bir yük düzenlemesi için, ürün ve römork duvarları arasında önemli bir temas kaçınılmazdır. Sonuç olarak, yan duvarlara bitişik yükleme, taşıma sırasında ısınma veya donma olasılığını önemli ölçüde artırır (Kasmire ve Hinsch, 1987).

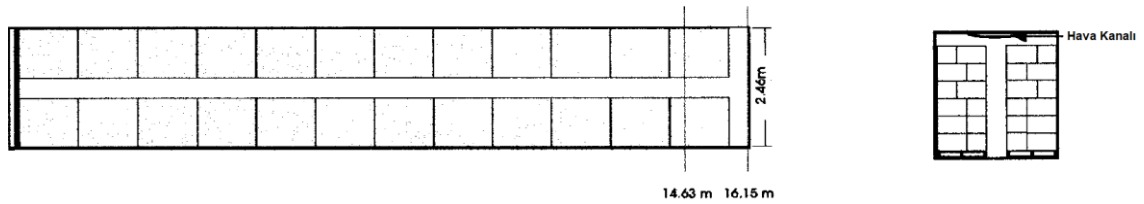
Ofsetli yüklemede, tüm paletler kısa kenarları arka kapılara bakacak şekilde yüklenir. Bir palet diğerine değecek şekilde çiftler halinde düzenlenirler. İlk çift römork duvarının bir tarafına yüklenir ve ikinci çift duvarın karşı tarafına yüklenir. Yükün geri kalanı bu şekilde zikzaklı bir yapıda yüklenir. Bu yükleme şekli, üretim paletleri çiftleri birbirleriyle kilitlendiğinden ve herhangi bir yan destek gerektirmedikinden yükün stabilitesini artırır. Yan duvarlara bitişik yükleme ile karşılaştırıldığında, ofsetli yükleme

yan yüzey temas alanını yarıya indirir. Bu yükleme şeklinde ayrıca, yükün etrafında alternatif dikey kanallar oluşur ve yükün etrafında havanın daha dolaşmasını sağlar. Bu yükleme şekli, yan duvarlara dayalı yükleme ve merkezci yükleme arasında kimi zaman kullanılan bir yükleme yöntemidir (Kasmire ve diğerleri, 1996).

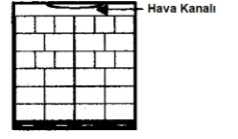
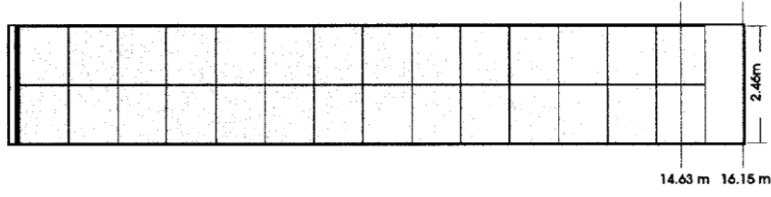
Kilitli yüklemelerde, paletler dörtlü bir set halinde yüklenir. Birinci palet çifti için, bir palet düz bırakılır ve diğer palet döndürülür. Sonraki palet çiftinde, düz paletin arkasındaki palet döndürülür ve diğeri düz bırakılır. Paletlerin genişliği ve uzunluğu arasındaki farktan dolayı, orta kısımda dikey bir hava kanalı oluşur. Kilitli yükleme, ofsetli yüklemeye göre paletler arasındaki stabiliteyi artırır.

Palet setleri birbirine iyice yakınlaştırılmışsa ve kabin içerisine ortalanmışsa, yükün her iki tarafında maksimum 0.23m boşluk bulunur. Bu boşluklar hava sirkülasyonu için kullanılabilecek bir alan sağlar.

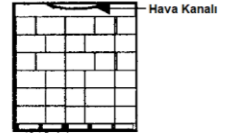
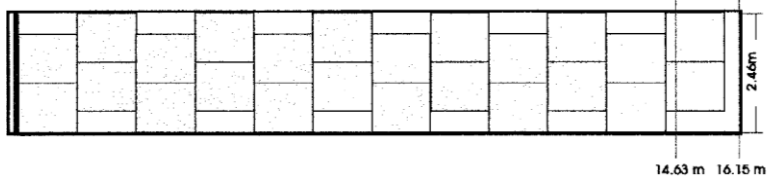
Merkezcil yüklemede, tüm paletler düz yüklenir. Palet çiftleri birbirine yakın şekilde yüklenir ve kabinin ortasına hizalanır. Paletlerin kaymasını önlemek için her iki taraftan desteklenmesi gerekir. Yükün her iki tarafında ve arka kapıların yakınındaki boşluk boyunca geniş hava sirkülasyon kanalları oluşturulur. Merkezcil yükleme, ürün ile yan duvarlar arasındaki tüm teması ortadan kaldırır. Harici ısının, solunum ısısının üründen uzaklaştırılmasını iyileştirir ve ısınma veya donma riskini azaltır. Taşıma sırasında çilek, mantar ve kesme çiçek gibi çok kolay bozulabilen emtiaların korunması için merkezcil yüklemenin kullanılması tavsiye edilir (Kasmire ve diğerleri, 1996).



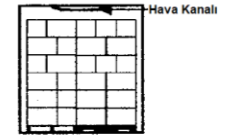
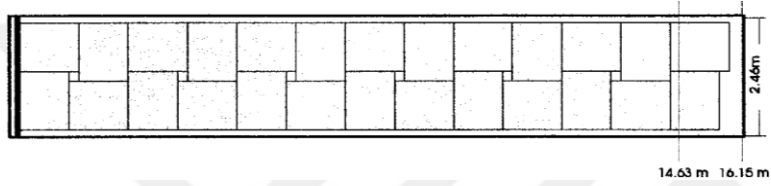
Şekil 2.18. Yan duvarlara bitişik yükleme – boyuna (Hui, 2001, s. 30)



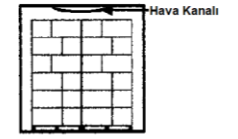
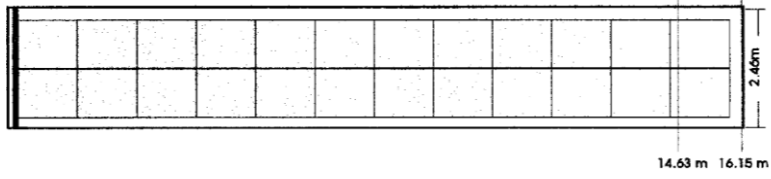
Şekil 2.19. Yan duvarlara bitişik yükleme – enine (Hui, 2001, s. 30)



Şekil 2.20. Ofsetli yükleme (Hui, 2001, s. 30)



Şekil 2.21. Kilitli yükleme (Hui, 2001, s. 30)

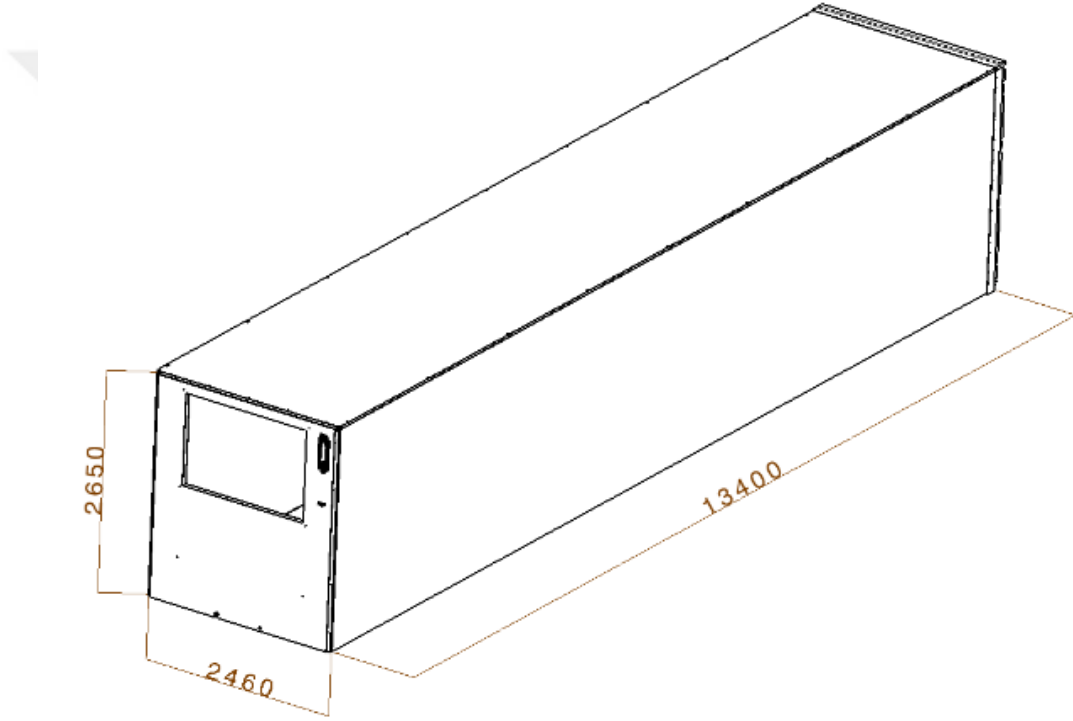


Şekil 2.22. Merkezci yükleme (Hui, 2001, s. 30)

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Geometrik Özellikler

Çalışma kapsamında FRC sertifikasına sahip, ATP sözleşmesine uygun olarak üretilmiş bir treyler incelenmiştir. Araç genel ölçüleri Şekil 3.1’de gösterilmiştir. Hesaplamalı akışkanlar dinamiği analizlerinde kullanılan çözüm alanı 2650 mm x 2460 mm x 13400 mm ölçülerindedir. Aracın izolasyonlu panellerinin kalınlığı 60 mm, kullanılan panellerin ısı iletim katsayısı ise 0.226 W/m.K’dir.

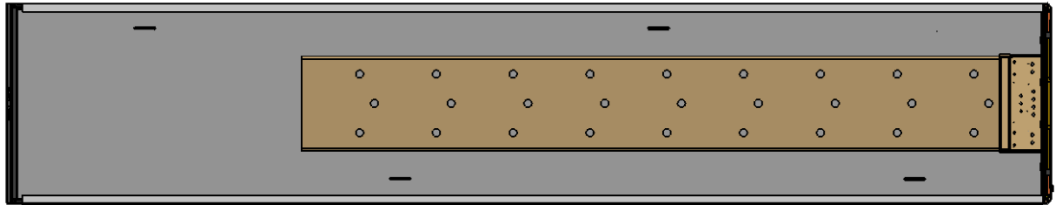


Şekil 3.1. Soğutuculu treyler kabini genel ölçüleri

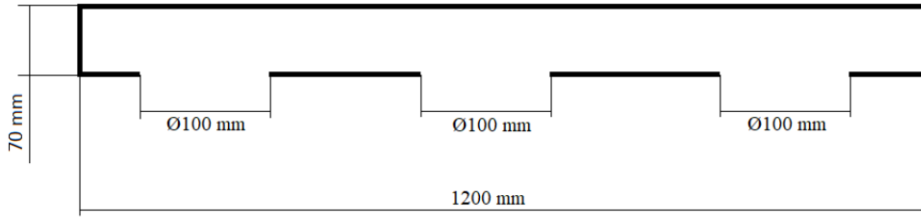


Şekil 3.2. Thermo king mekanik soğutma ünitesi

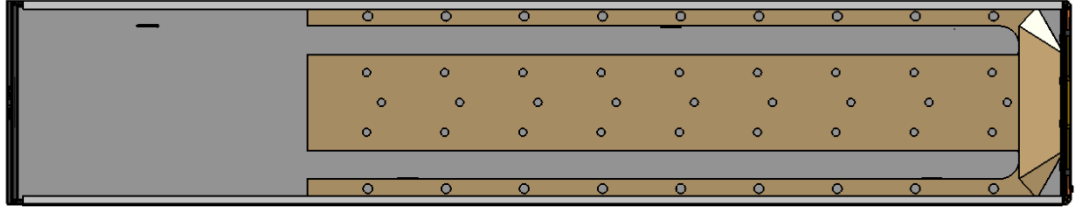
Araç içerisinde kullanılan hava dağıtım kanallarının ölçüleri Şekil 3.4 ve Şekil 3.6’da gösterilmiştir.



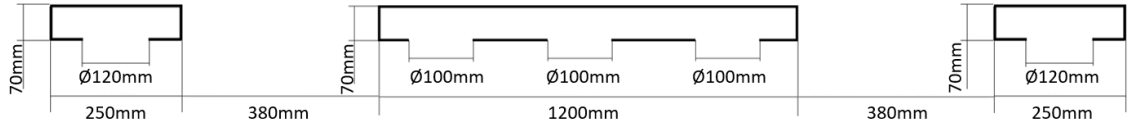
Şekil 3.3. 1 Numaralı Hava Kanalının Araç İçerisindeki Konumu



Şekil 3.4. 1 Numaralı hava kanalının kesit görünüşü



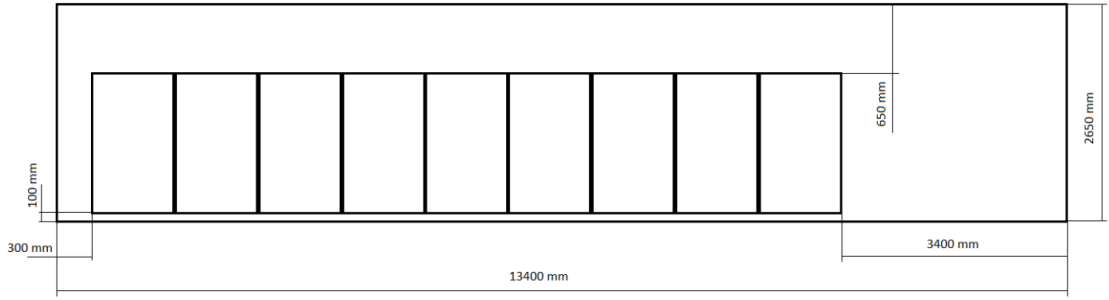
Şekil 3.5. 2 Numaralı hava kanalının araç içerisindeki konumu



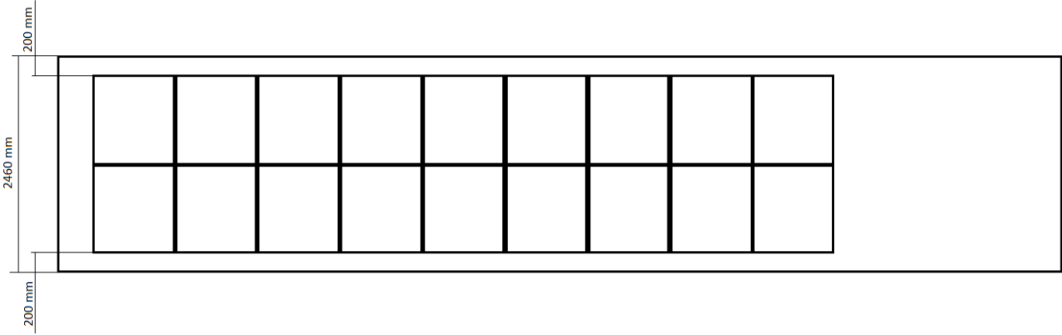
Şekil 3.6. 2 Numaralı hava kanalının kesit görünüşü

3.2. Kabin İçi Yükleme Koşulları

Yapılan pazar araştırmalarından görüldüğü üzere araç kabininin efektif olarak kullanılabilmesi için üreticiler tarafından önerilen kesin yükleme koşulları yoktur fakat kullanıcılar tarafından genellikle taşınacak ürünün mahiyetine bağlı olarak kabin içerisinde homojen bir dağılım yapıldığı görülmüştür (Hui ve diğerleri, 2006). Şekil 3.7'de bu çalışma kapsamında dikkate alınan yükleme koşulu gösterilmiştir. Hava kanallarının etkisini gözlemleyebilmek amacıyla aracın içerisi tamamen doldurulmamış, kısmi bir yükleme yapıldığı kabul edilmiştir. Araç içerisine yüklenen kutular paletlerin üzerine yüklenmiştir ve yüklerin altında 100 mm'lik bir boşluk bırakılmıştır. Yine kutular aracın ön tarafına doğru (soğutucu üniteye yakın tarafa) yüklenmiştir. Aracın en ön kısmında 300 mm'lik bir boşluk bırakılmıştır. Bu boşluk uygulamada soğutucu ünitenin önünü kapatmamak ve yükleme sırasında forklif'in kabinin ön tarafına çarpmasını engellemek için bırakılan bir boşluktur. Yine aracın sağ ve sol yanında 200'er mm'lik boşluklar bırakılmıştır.



Şekil 3.7. Araç içi yükleme koşulu yan görünüş



Şekil 3.8. Araç içi yükleme koşulu üst görünüş

3.3. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) Modeli

Bu bölümde aracın HAD modeli oluşturulurken izlenen yol açıklanmıştır. Sırasıyla geometrinin analize uygun hale getirilmesi, çözüm ağ yapısının oluşturulması, sınır şartları, türbülans modeli seçimi ve çözüm denklemlerinden bahsedilmiştir.

3.3.1 Çözüm geometrisi

Treyler içerisindeki hava akışının çeşitli geometrilerde ve yükleme koşullarında doğru ve hızlı bir şekilde modellenebilmesi için standart olarak üretilen araç geometrisi üzerinde bazı sadeleştirmeler yapılmıştır. Bunlar kısaca, bağlantı elemanlarının ve bağlantı deliklerinin ihmal edilmesi, üretim yöntemlerinden kaynaklanan büküm ve pahların ihmal edilmesi, yük sabitleme ve yük dayama için araca eklenen profillerin ihmal edilmesi ve kapı detaylarının ihmal edilmesidir. Ayrıca aracın merkez düzlemine göre simetrik yükleme durumları inceleneceği için çözümün de bu düzleme göre simetrik olacağı öngörülmüştür (Smale, Moureh ve Cortella, 2006). Bu sebeple çözüm süresini kısaltmak

adına aracın tam modeli yerine simetri ekseninden itibaren yarım modeli üzerinde çalışılmıştır

3.3.2 Çözüm ağı oluşturulması

Araç içerisindeki hava hareketlerinin doğru bir şekilde modellenenebilmesi için çözüm ağının da uygun olarak oluşturulması HAD analizleri için oldukça önemli bir aşamadır. Bu noktada çözüm ağı oluşturulurken gradyanların hızlı değiştiği noktalardaki ağ boyutlarının doğru bir şekilde belirlenmesi analizin çözümü ve doğru sonuçların alınabilmesi için gereklidir. Ayrıca analiz programında kullanılan türbülans modelinin sınır tabakadaki akışı doğru bir şekilde modelleyebilmesi için y^+ değerinin de kullanılan türbülans modeline ve duvar fonksiyonuna uygun olması gerekmektedir. y^+ değerini etkileyen faktörlerden birisi de sınır tabakadaki ilk ağın yüksekliğidir ve çözüm alanı oluşturulurken bu değerler göz önünde bulundurulmalıdır (Bradshaw ve Huang, 1995).

$$y^+ \equiv \frac{yu_\tau}{v} \quad (3.1)$$

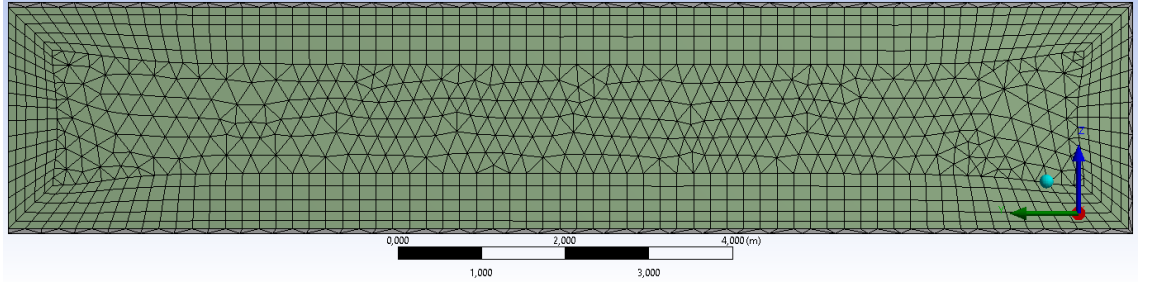
Boş araç modeli için doğru sonuçları hızlı bir şekilde almamızı sağlayacak ağ yapısının belirlenmesi için farklı yoğunlukta oluşturulan dört ayrı ağ yapısı karşılaştırılmıştır. Simetri düzlemi üzerinde, zeminden 2600mm yükseklikteki düz bir çizgi boyunca 1 metre aralıklarla hız değerleri ölçülmüş ve ortalamaları alınmıştır.

Çizelge 3.1. Çözüm ağı karşılaştırması

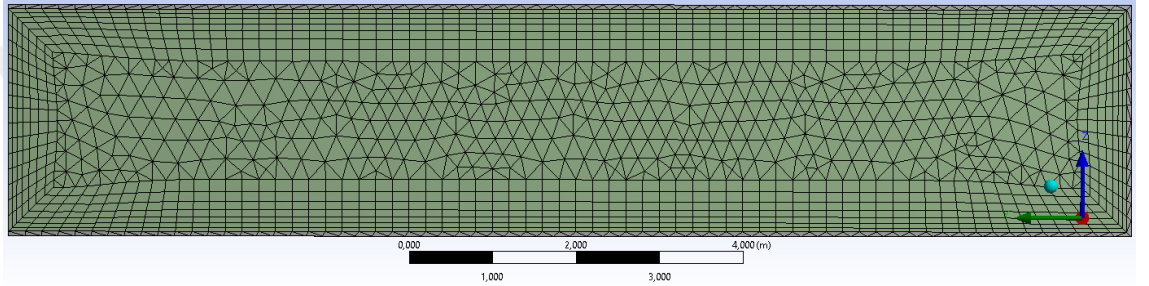
No	İlk sınır tabakanın yüksekliği	Cell sayısı	Hız (m/s)	Değişim (%)
1	0.1 mm	41 300	0,261	-
2	0.05 mm	54 899	0,314	20
3	0.02 mm	264 019	0,331	5
4	0.01	473 140	0,332	0,3

Çizelge 3.1’de görüldüğü üzere, ilk oluşturulan ağ yapısından alınan sonuçlar ile 2’nci oluşturulan ağ yapısından alınan sonuçlar arasında yaklaşık %20 oranında değişim varken, 2’nci ve 3’üncü çözümler arasındaki değişim %5 ve 3’üncü ve 4’üncü çözümler arasındaki değişim oranı %0.3 mertebesinde dir. 3’üncü ve 4’üncü ağ yapıları arasındaki değişim kabul edilebilir seviyede olduğundan dolayı bundan sonraki analizlerde daha hızlı çözüm verecek olan 3’üncü ağ yapısı kullanılmıştır.

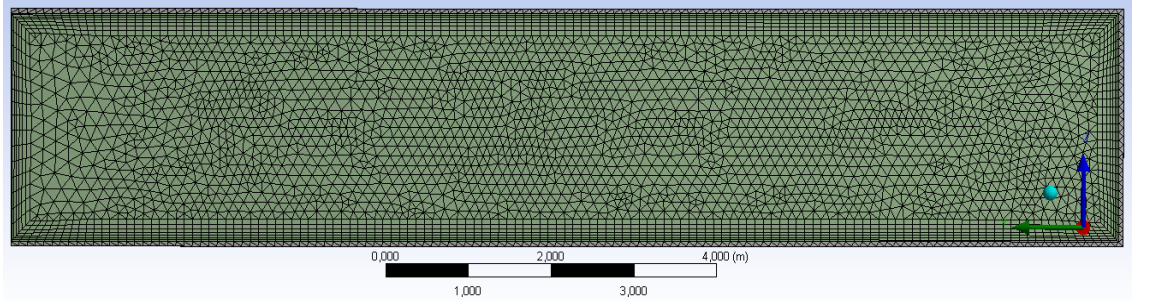
Dolu araç için yapılan analizlerde sınır tabaka boş araçtaki ile benzer şekilde modellenmiştir.



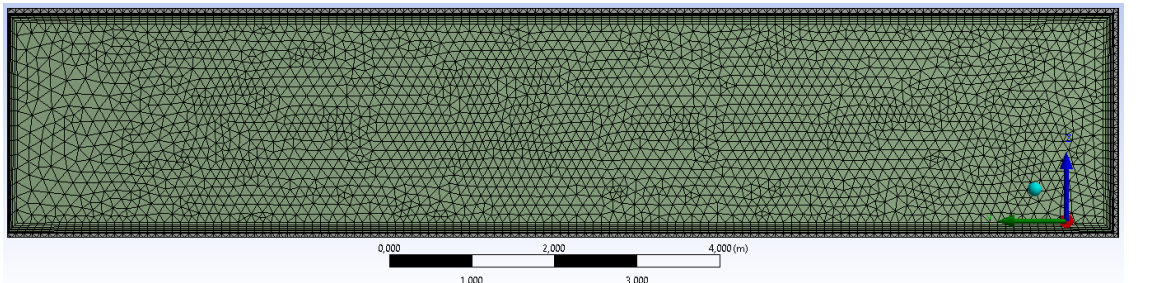
Şekil 3.9. Boş araç çözüm ağı karşılaştırması – 0.1mm sınır tabaka yüksekliği



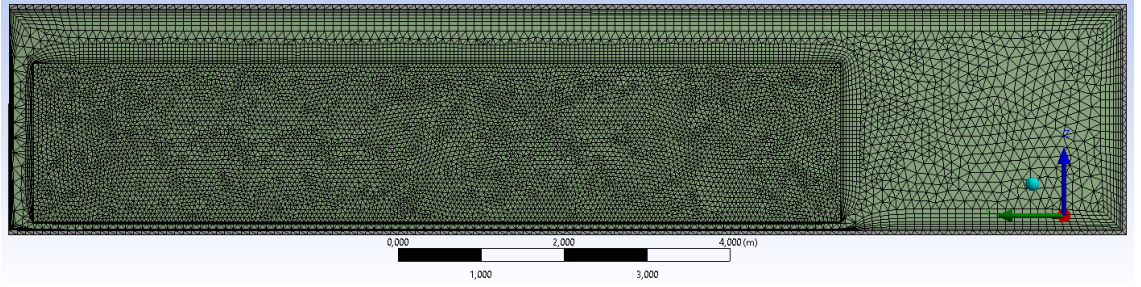
Şekil 3.10. Boş araç çözüm ağı karşılaştırması – 0.05mm sınır tabaka yüksekliği



Şekil 3.11. Boş araç çözüm ağı karşılaştırması – 0.02mm sınır tabaka yüksekliği

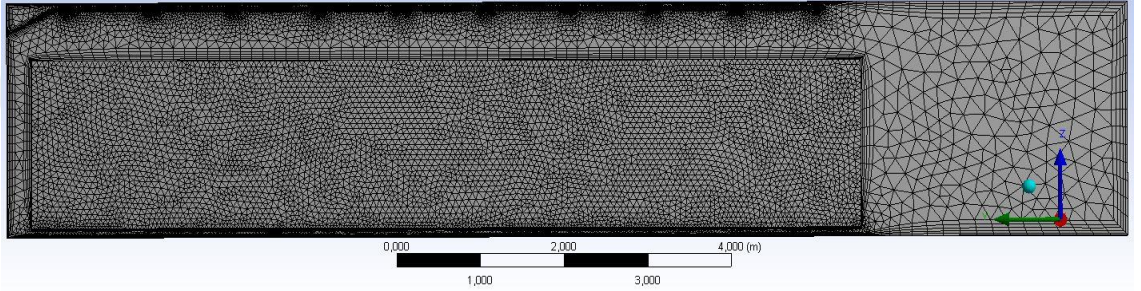


Şekil 3.12. Boş araç çözüm ağı karşılaştırması – 0.01mm sınır tabaka yüksekliği

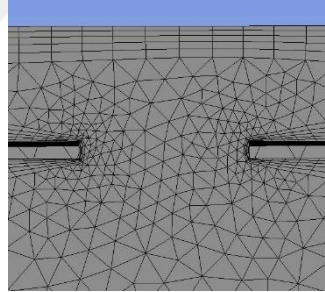


Şekil 3.13. Hava kanalı bulunmayan yüklü araç modeli çözüm ağı yapısı

Şekil 3.13’de gösterilen içerisine yük eklenmiş, hava kanalı bulunmayan araç modelinin HAD analizleri için hazırlanan ağ yapısında 625 331 adet çözüm hacmi bulunmaktadır.



Şekil 3.14. 2 numaralı hava kanalı bulunan yüklü araç modeli çözüm ağı yapısı



Şekil 3.15. 2 numaralı hava kanalı bulunan yüklü araç modeli çözüm ağı yapısı – detay gösterim

Şekil 3.14’de gösterilen içerisine yük eklenmiş, 2 numaralı hava kanalı bulunan araç modelinin HAD analizleri için hazırlanan ağ yapısında toplamda 3 074 661 adet çözüm hacmi bulunmaktadır.

3.3.3. Sınır şartları

Çözüm ağı oluşturulduktan sonra modelde sınır şartları tanımlanmıştır. Oluşturulan modelde dış ortam sıcaklığı FRC sertifikasında da dikkate alınan 303 K (+30°C) olarak girilmiştir. İzolasyon malzemesi olarak yeni bir katı malzeme tanımlanmış ve bu malzemenin ısı iletim katsayısı 0.0226 W/m.K olarak girilmiştir. Yan, üst, ön ve arka duvarlarda aynı malzeme kullanılmıştır. Kabin içerisinde dolaştırılan hava ideal gaz olarak kabul edilmiştir ve yer çekimi ivmesi aşağı yönde 9.81 m/s² olarak girilmiştir. Soğuk hava 200x300mm'lik bir kesitten 253K sıcaklıkta ve 0.97 kg/s debide kabin içerisine gönderilmiştir. Bu değer Thermo King SLXe-300 model C sınıfı soğutucunun ürün özelliklerine bakılarak belirlenmiştir.

Türbülans modeli olarak iki denklem ile türbülanslı modelleyen $k - \epsilon$ türbülans modeli seçilmiştir. Yapılan literatür araştırmasında, bu tür kabin içi düşük hızlı ve geçiş bölgesinde olmayan türbülanslı akışlarda $k - \epsilon$ türbülans modelinin iyi sonuçlar verdiği görülmüştür (Wilcox, 1988). Türbülans modelinin yanı sıra sınır tabaka akışını doğru modellemek için FLUENT programında verilen standart duvar fonksiyonu kullanılmıştır. Bu duvar fonksiyonunun kullanımı y^+ değeri 50 ile 500 arasında olduğu durumlarda önerilmektedir.

Çözüm alanının başlangıç sınır şartları; aracın iç sıcaklığı ile dış sıcaklığının aynı olduğu ve araç içerisindeki havanın durgun olduğu ilk andaki duruma göre belirlenmiştir.

Bu çalışma kapsamında incelenen çözümler zamana bağlı olarak değişen çözümlerdir. Soğutucu ünitenin ilk çalışmaya başladığı anda araç içerisindeki hava akışının durumunu doğru modelleyebilmek için ilk aşamada zaman adımı olarak 0.01s alınmıştır. Belirli bir süre sonra, araç içerisindeki havanın hız gradyanlarının zamana göre değişiminin azaldığı durumdan sonra zaman adımı çözüm süresini kısaltmak amacıyla arttırılarak 1s yapılmıştır (Hoang, Laguerre, Moureh ve Flick, 2012). Her 1 dakikalık zaman dilimlerinden sonra çözümler kaydedilerek sonuçlar değerlendirilmiştir.

3.3.4. Kullanılan denklemler ve kabuller

Oluşturulan hesaplamalı akışkanlar dinamiği modelinin çözümlenebilmesi için bazı kabuller ve bu kabullere bağlı denklemler kullanmak gerekmektedir. Bu çalışma kapsamında incelenen problemde yapılan temel kabuller aşağıdaki gibidir;

- Problemin çözümü zamana bağlı olarak değişir.
- Kabin içerisinde dolaşan hava ideal gaz gibi davranır ve sıkıştırılabilir.
- Sistemdeki toplam kütle ve enerji korunur.

➤ Navier-Stokes Denklemleri

Navier-Stokes denklemleri akışkanlar için Newton'ın ikinci yasasını ifade eder. Euler terimlerine göre genel ifadesi:

$$\rho \frac{DV}{Dt} = \rho g + \nabla \cdot \tau'_{ij} - \nabla p \quad (3.2)$$

Buradaki τ'_{ij} stress tensörünü temsil eder.

$$\tau'_{ij} = \mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) + \delta_{ij} \lambda \nabla \cdot V \quad (3.3)$$

➤ Enerji denklemi

Genel haliyle enerji denklemi:

$$\rho \frac{Dh}{Dt} = \frac{Dp}{Dt} + \nabla \cdot (k \nabla T) + \tau'_{ij} \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \quad (3.4)$$

➤ Süreklilik denklemi

En genel gösterimle, akışkanlar için kütle korunumu denkleminin Euler terimlerine göre genel ifadesi:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho V) = 0 \quad (3.5)$$

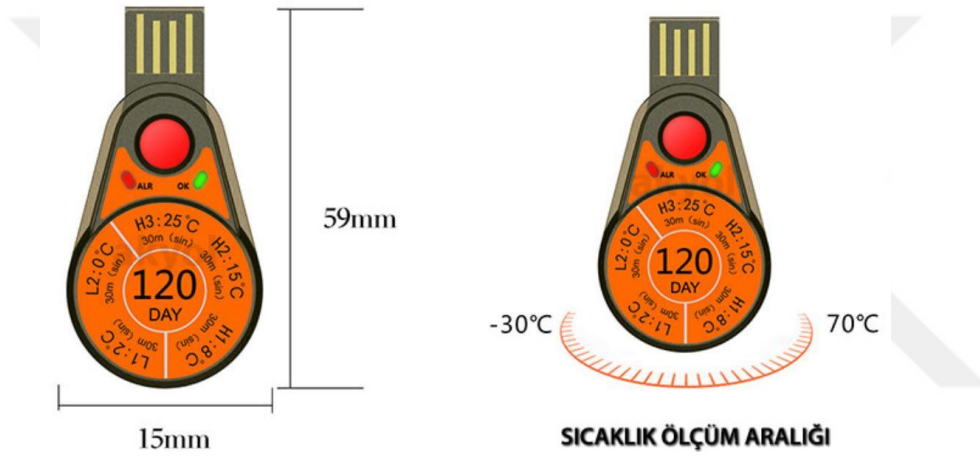
Burada sıkıştırılmaz (başka bir deyişle sabit yoğunlukta olan) akışlar için:

$$\nabla \cdot V = 0 \quad (3.6)$$

olacaktır.

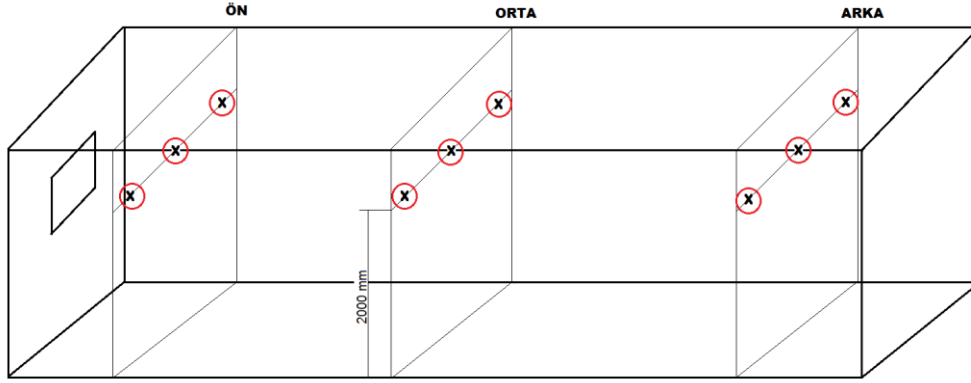
3.3.5. Test çalışması

Yapılan hesaplamalı akışkanlar dinamiği analizlerini doğrulamak amacıyla test düzeneği kurulmuş ve gerçek araç modeli üzerinde testler yapılmıştır. Testler için Tırsan Treyler A.Ş. bünyesinde bulunan, Ticari ürünlerin ATP sertifikasyonu için kullanılan iklimik test kabini kullanılmıştır. Kullanılan iklimik test kabini ortam sıcaklığını $+35^{\circ}\text{C}$ ile -25°C arasında tutabilecek kapasitede ve tam ölçekli bir treylerin rahatlıkla sığabileceği ölçülerdedir. Sıcaklık ölçümü için 9 adet Elitech RC-55 sıcaklık veri kaydedicileri kullanılmıştır (Şekil 3.9). Bu sıcaklık sensörü -30°C ile $+70^{\circ}\text{C}$ arasında 0.1°C hassasiyetle sıcaklık verisi kaydedebilen bir üründür.



Şekil 3.16. Araç içi yükleme koşulu üst görünüş

Testler sırasında kabinin içinden Şekil 4'te gösterilen 3 ayrı düzlemde 3'er noktadan sıcaklık değerleri alınmıştır. Aynı düzlemde alınan sıcaklık değerlerinin aritmetik ortalamaları hesaplanmış ve bu ortalama değerler belirli notasyonlarla sonuçlarda (Çizelge 3.2) gösterilmiştir.



Şekil 3.17. Sıcaklık ölçüm noktaları

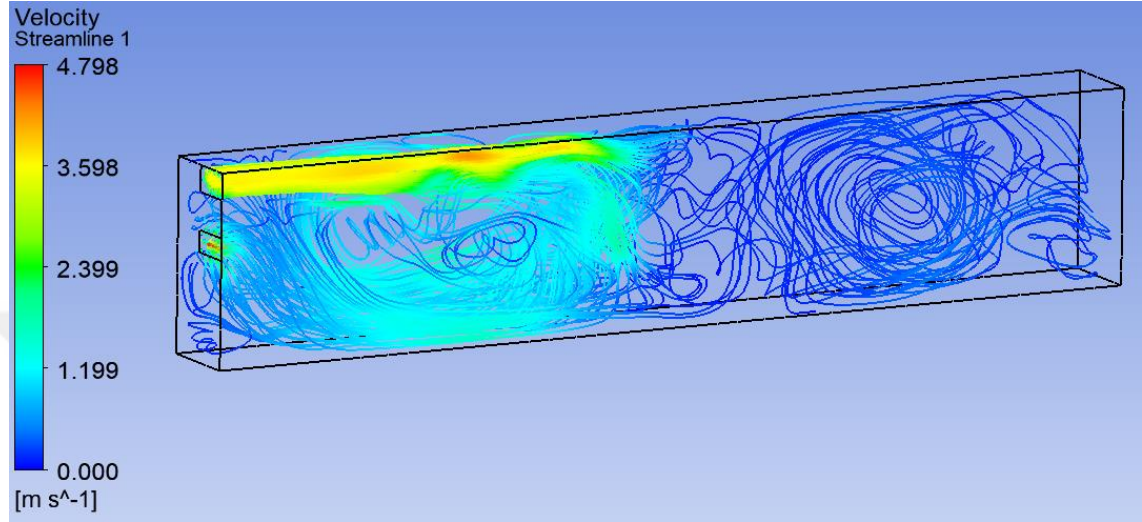
Kaydediler veriler bazı kısaltmalarla sonuçlarda gösterilmiştir. Bu kısaltmaların karşılıkları Çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Veri ölçüm senaryoları

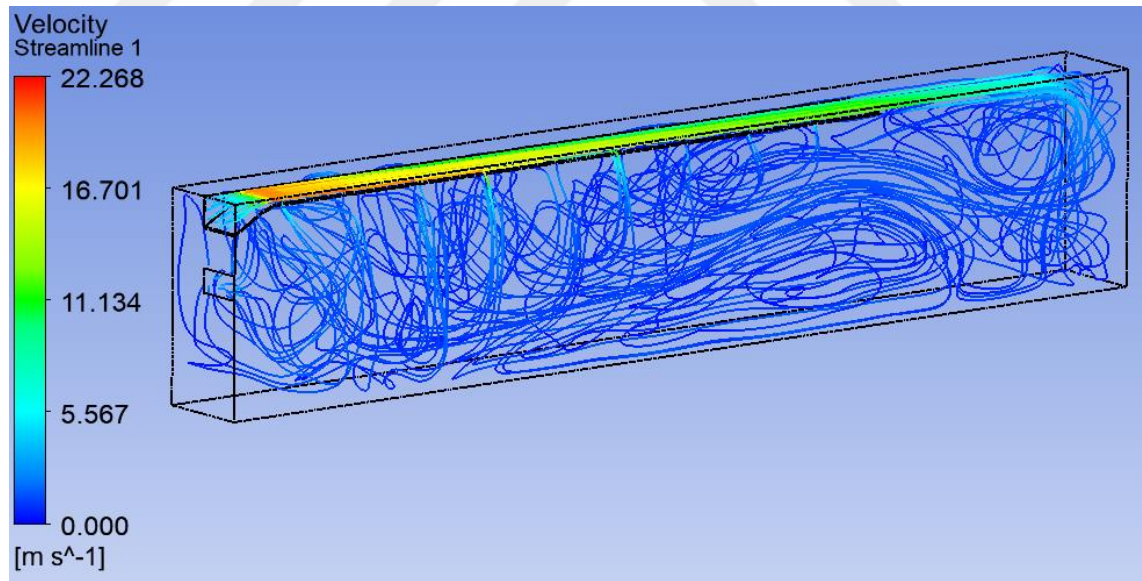
	<i>Yükleme Koşulu</i>		<i>Hava Kanalı Türü</i>			<i>Ölçüm</i>	
	<i>Boş Kabin</i>	<i>Dolu Kabin</i>	<i>Hava Kanalı Yok</i>	<i>Hava Kanalı-1</i>	<i>Hava Kanalı-2</i>	<i>CFD</i>	<i>DeneySEL</i>
Case1	X		X			X	X
Case2	X			X		X	X
Case3	X				X	X	
Case4		X	X			X	
Case5		X			X	X	

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

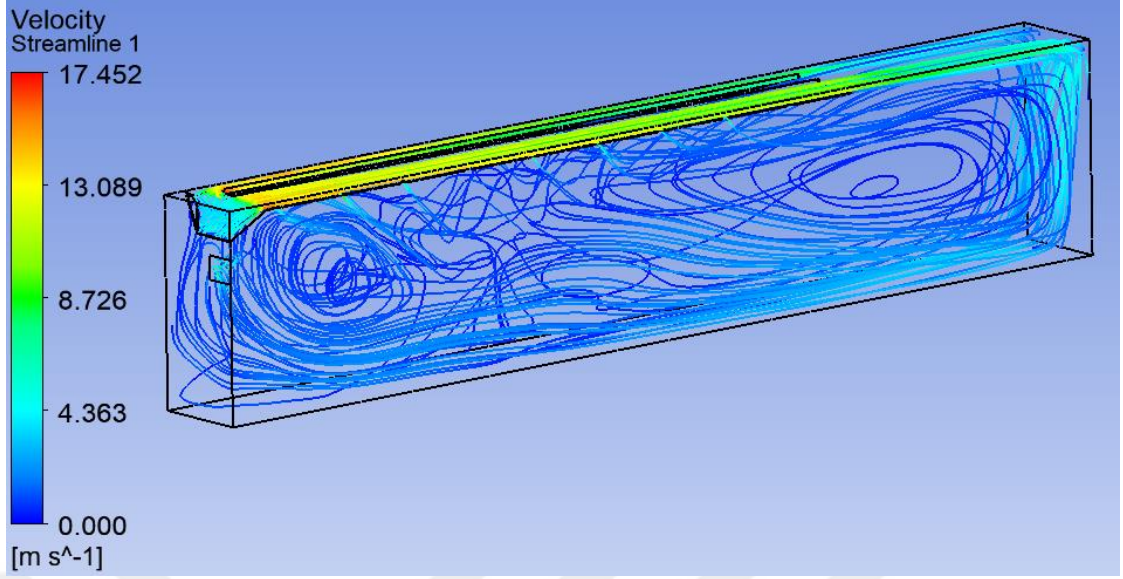
Yapılan hesaplamalı akışkanlar dinamiği hesapları ve test sonuçları değerlendirilmiştir. Temel olarak hesaplamalı akışkanlar dinamiği analizlerinin test sonuçları ile benzerliği ve tasarlanan hava kanallarının soğuma performansına etkileri üzerinde durulmuştur.



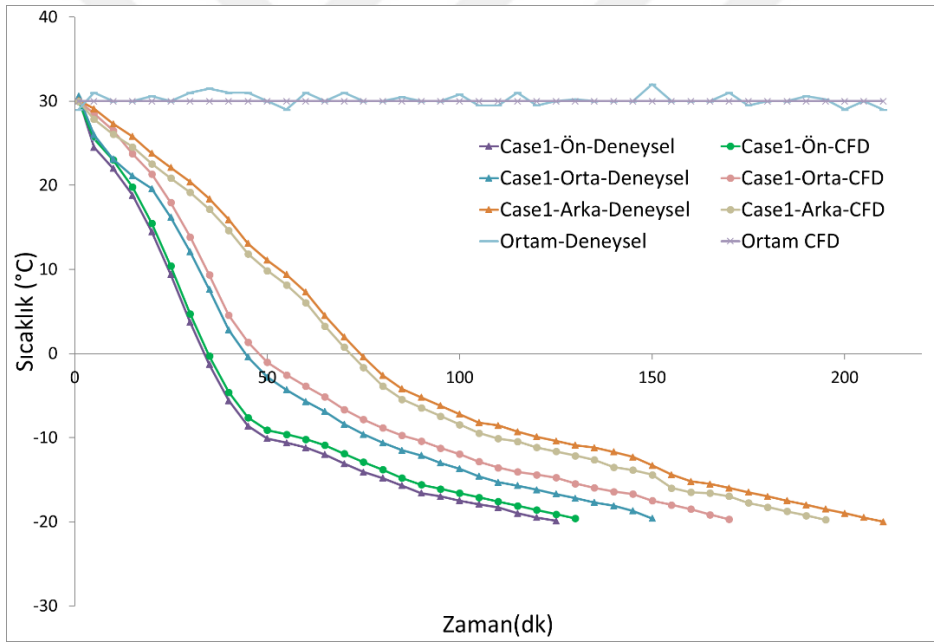
Şekil 4.1. Hava kanalı bulunmayan standart araçtaki HAD akım çizgileri



Şekil 4.2. 1 numaralı hava kanalı bulunan araçtaki HAD akım çizgileri



Şekil 4.3. 2 numaralı hava kanalı bulunan araçtaki HAD akım çizgileri



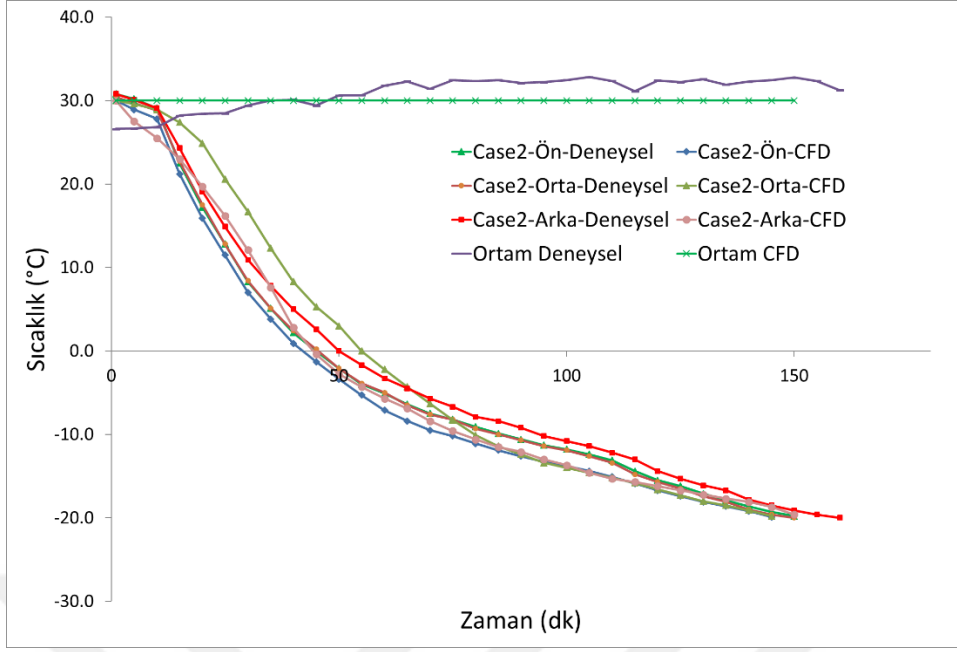
Şekil 4.4. Standart araçtaki test ve HAD sonuçların karşılaştırılması

Şekil 4.4’de standart hava kanalı bulunmayan içi boş bir aracın HAD sonuçları ile test sonuçları karşılaştırılmıştır. Grafikte görülebileceği üzere aracın ön ve orta kısmında analiz sonuçları ve test sonuçları oldukça benzerlik göstermektedir. Aracın arka kısmı ile ilgili analiz ve test sonuçlarında ise yüksek sıcaklıklarda önemli bir farklılık vardır. Bu farklılık aracın arka kısmındaki çözüm ağı yoğunluğunun oluşan hız ve sıcaklık gradyanlarını doğru bir şekilde çözümlemekte yetersiz kaldığını, çözüm alanının daha sık

özüm ağı ile modellenmesi gerektiğini göstermektedir. Daha yoğun bir çözüm alanı daha fazla bilgisayar kaynağına ve zamana ihtiyaç duyacağından ve çalışma kapsamında kullanılan kaynakların yetersiz olmasından dolayı analizler daha yoğun ağ yapıları ile tekrar edilememiştir.

Şekil 4.4.'de gözlemlenen en önemli nokta araç içerisindeki sıcaklık dağılımının homojen olmayışıdır. Aracın ön kısmı yaklaşık 130 dk. Sonra -20°C sıcaklığa düşerken orta kısmı 170 dk. ve arka kısmı 210 dk. sonra -20°C sıcaklığa düşmektedir. Araç içi sıcaklık sensörünün konumuna göre, aracın arka kısmını istenilen sıcaklıklara düşürürken ön kısımdaki ürünlerin gereğinden fazla soğutulacağı veya aracın ön kısmı istenilen sıcaklığa geldiği için soğutucunun bekleme moduna girmesi durumunda ve arka kısımdaki ürünlerin bozulabileceği çıkarımı yapılabilir.

Yapılan çalışmaların öncelikli amacı ve başlangıç noktası araç içerisinde görülen bu gibi homojen olmayan sıcaklık bölgelerinin mümkün olduğunca homojen hale getirilmesi ve taşınan ürünlerin kalitelerinin korunmasını sağlamaktır. Ayrıca araç içerisinde kalan görece sıcak bölgelerin daha verimli şekilde soğutulması sağlanarak soğutucu ünitenin yükünü ve çalışma süresini azaltarak yakıt tasarrufu sağlamak da mümkün olmaktadır. Bu gibi uzun yol kateden, yüksek yakıt tüketimine sahip araçlarda sağlanabilecek yakıt tasarrufları hem araçların yakıt takfiyesi yapmadan gidebilecekleri mesafeleri arttıracak hem de ürünlerin nakliye maliyetlerini düşürerek son kullanıcının ürünlere daha uygun fiyatlarla ulaşmasına katkı sağlayacaktır.



Şekil 4.5. 1 numaralı hava kanalı eklenen araçtaki test ve HAD analizi sonuçlarının karşılaştırılması

Şekil 4.5’de 1 numaralı hava kanalının HAD analiz sonuçları ve test sonuçları karşılaştırılmıştır. Grafikten de görülebileceği üzere analiz ve test sonuçları oldukça benzerdir. Bu sonuçlar bize hesaplamalı akışkanlar dinamiği modelimizin doğru sınır şartları ve ağ tabaka ile oluşturulduğunu göstermektedir. Bu sonuçlara göre benzer bir analiz modeli oluşturulması durumunda tasarım değişikliklerinin test sonuçları olmaksızın sadece analiz sonuçlarına göre yorumlanabileceği çıkarımı yapılabilir.

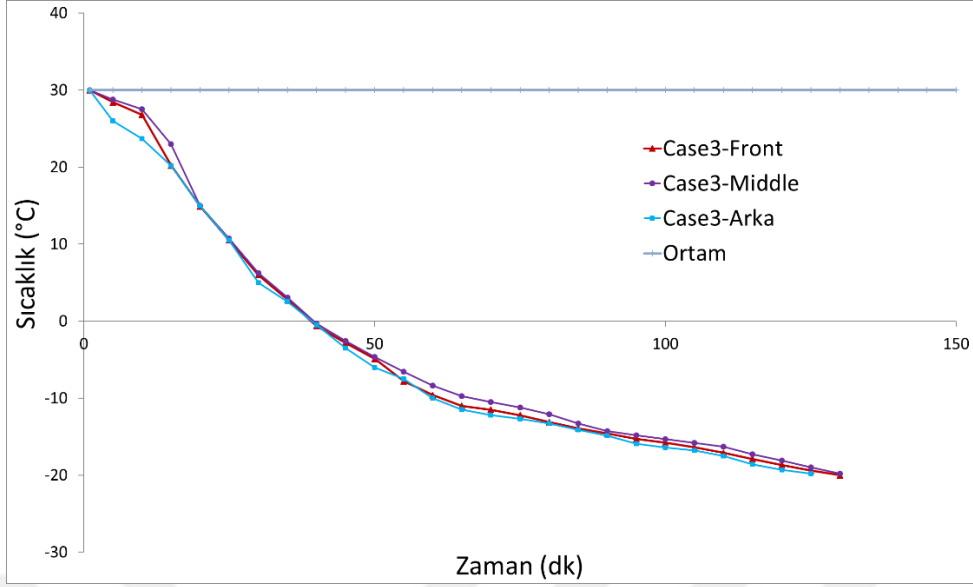
Büyük ölçekte yapılan araç testleri kullanılan ekipmanlar ve ayrılan işgücü dikkate alındığında yüksek maliyetli olabilmektedir. Ayrıca test öncesinde aracın teste hazırlanması, test süreci, test sonrası verilerin derlenerek raporlanması ve bu süreçler boyunca ortaya çıkabilecek hataların kaybettireceği zamanlar dikkate alındığında test sürelerinin hesaplamalı akışkanlar dinamiği analizlerine göre daha fazla zaman alabildiği durumlar ortaya çıkabilmektedir. Örneğin bu çalışma kapsamında hesaplamalı akışkanlar dinamiği analizleri için 8 çekirdekli işlemci ve 32GB belleğe sahip bir bilgisayar kullanılmış ve Şekil 4.5’de gösterilen analiz sonuçlarının elde edilebilmesi için analizler yaklaşık olarak 9 gün boyunca hiç durmadan devam ettirilmiştir. Yine Şekil 4.5’de gösterilen test verilerinin elde edilmesi test öncesi ve test sonrası süreçler de dikkate alındığında yaklaşık 10 iş günü, 2 haftalık bir zaman almıştır. Hesaplamalı akışkanlar

dinamiği analizlerdeki maliyetler bilgisayarın kullandığı elektrik enerjisi ve modellemeyi yapan kişinin işgücü olarak değerlendirilebilir. Araç testlerinin yapılabilmesi için ise testlere hazırlık, test süresince kontrol ve test verilerinin toplanması ve ayıklanarak raporlanabilmesi için 3 farklı kişi çalışmıştır. Bunun yanında klimatik test kabini de yaklaşık olarak 3 saat boyunca hiç durmadan çalışmaya devam etmiştir.

Bu durum bize sınırlı bilgisayar kaynakları kullanılarak bile hesaplamalı akışkanlar dinamiği analizlerinin araç testlerine oranla daha kısa sürede ve çok düşük maliyetlerle sonuçlar verebildiğini göstermektedir. Kullanılan bilgisayar kaynağının arttırılması durumunda analiz sürelerinin ciddi oranda düşebileceği de unutulmamalıdır.

şekil 4.5’de gözlemlenen bir diğer durum ise araç içi sıcaklık dağılımının hava kanalı kullanılmayan araca göre daha homojen olmasıdır. Araç içerisindeki tüm noktalar yaklaşık olarak 160 dk. sonra -20°C sıcaklığa düşmektedir. Dolayısıyla hava kanalının soğuk havayı araç içerisinde iyi bir şekilde dağıttığı çıkarımı yapılabilir.

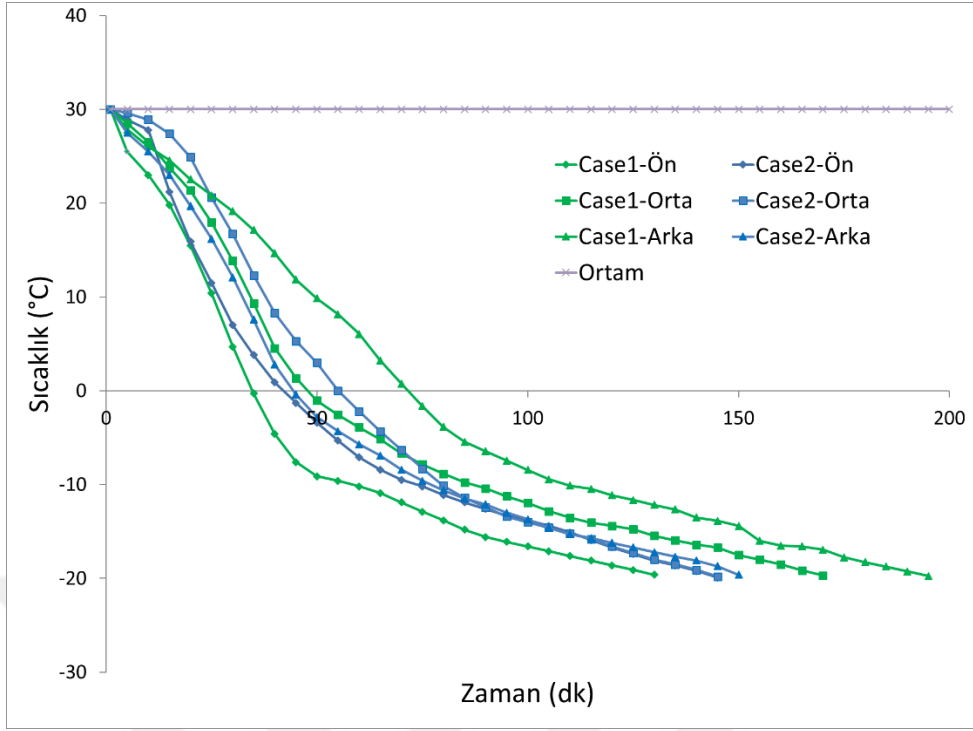
Sırasıyla hava dağıtım kanalı bulunan araçta yapılan testler ile hava dağıtım kanalı olmayan araçta yapılan testler karşılaştırıldığında (bkz. şekil 4.4 ve şekil 4.5) aracın arka bölümünün -20°C sıcaklığa gelme süreleri 160 dk. ve 210 dk. olarak görölmektedir. Bu durum hava kanalı tasarımının araç içi sıcaklık dağılımını daha homojen hale getirmesinin yanında soğutucu ünitenin çalışma süresini de ciddi oranda kısalttığını göstermektedir.



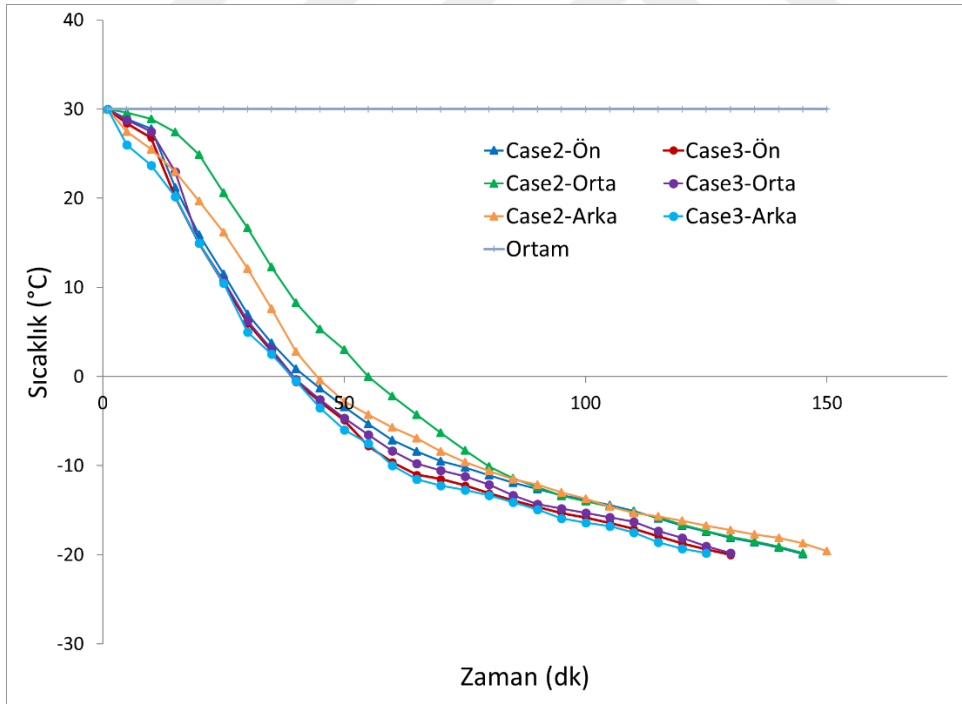
Şekil 4.6. 2 Numaralı hava kanalı eklenen araçtaki HAD analizinden alınan sonuçlar

Şekil 4.6’de tasarımı yapılan 2. numaralı hava kanalının HAD analiz sonuçları gösterilmiştir. 1 numaralı hava kanalı analizinin test sonuçları ile benzerliği göz önüne alındığında 2 numaralı hava kanalı için araç testi yapma gereği duyulmamıştır. Oluşturulan analiz modeli küçük geometrik değişikliklerin dışında 1 numaralı hava kanalı için oluşturulan analiz modeli ile uyumludur.

Şekil 4.6.’de gözlemlenen sonuçlar kabin içi sıcaklık dağılımının homojen olduğunu göstermektedir. Bu açıdan bakıldığında 1. numaralı hava kanalına göre ciddi bir avantajı görülmese de sıcaklığın -20°C ’ye düşmesi 1. numaralı hava kanalından 20dk. daha kısa, yaklaşık 130 dk. sürmüştür.



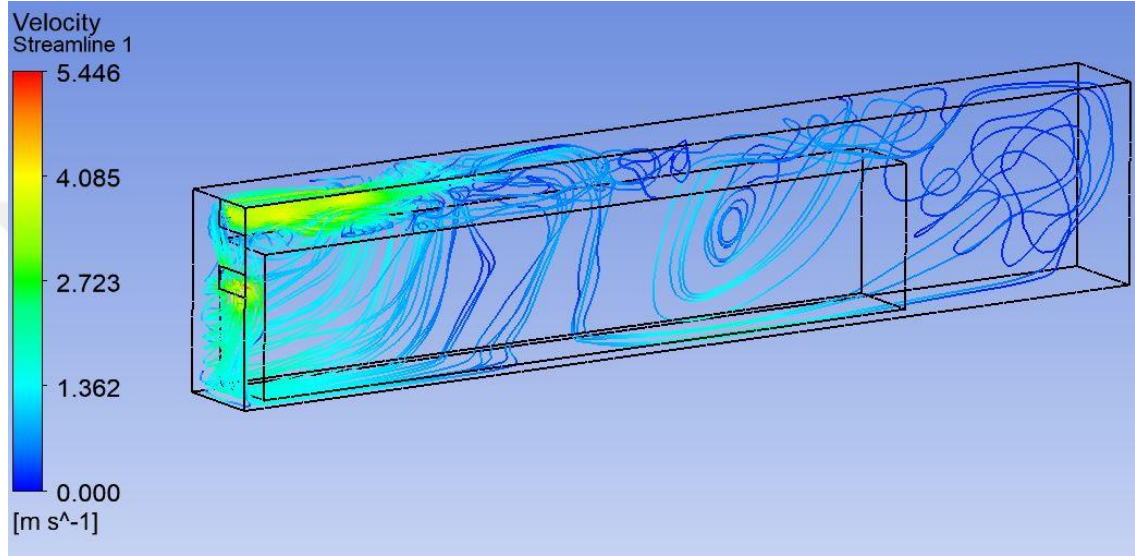
Şekil 4.7. 1 Numaralı kanal ve standart aracın HAD sonuçlarının karşılaştırması



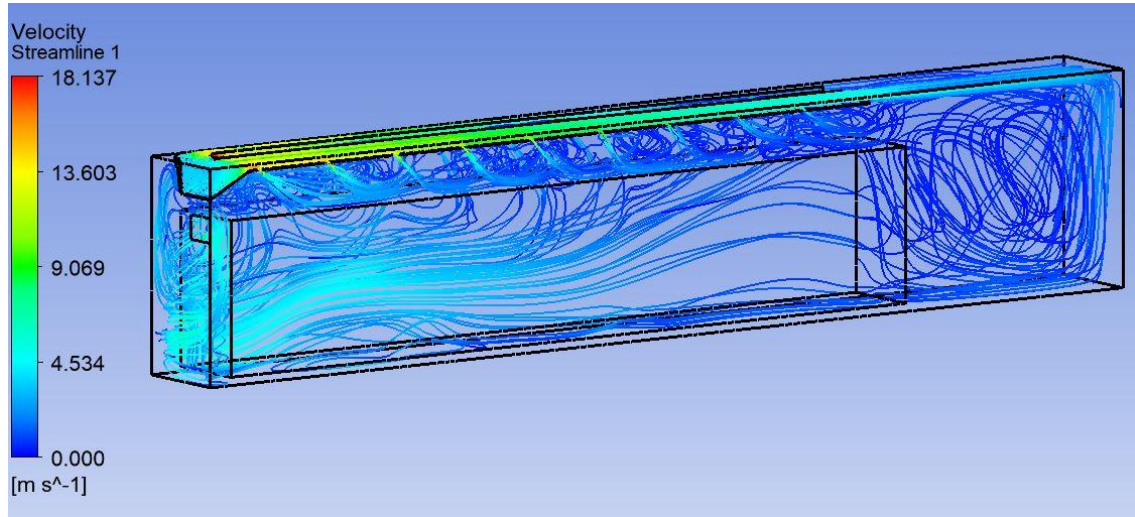
Şekil 4.8. 1 numaralı ve 2 numaralı kanalların HAD sonuçlarının karşılaştırması

Şekil 4.7’de hava kanalı olmayan araç ile 1. numaralı hava kanalının bulunduğu aracın HAD analiz sonuçları birlikte gösterilmiştir. Şekil 4.8’de ise 1 numaralı ve 2 numaralı hava kanalı bulunan araçların HAD analiz sonuçları birlikte gösterilmiştir.

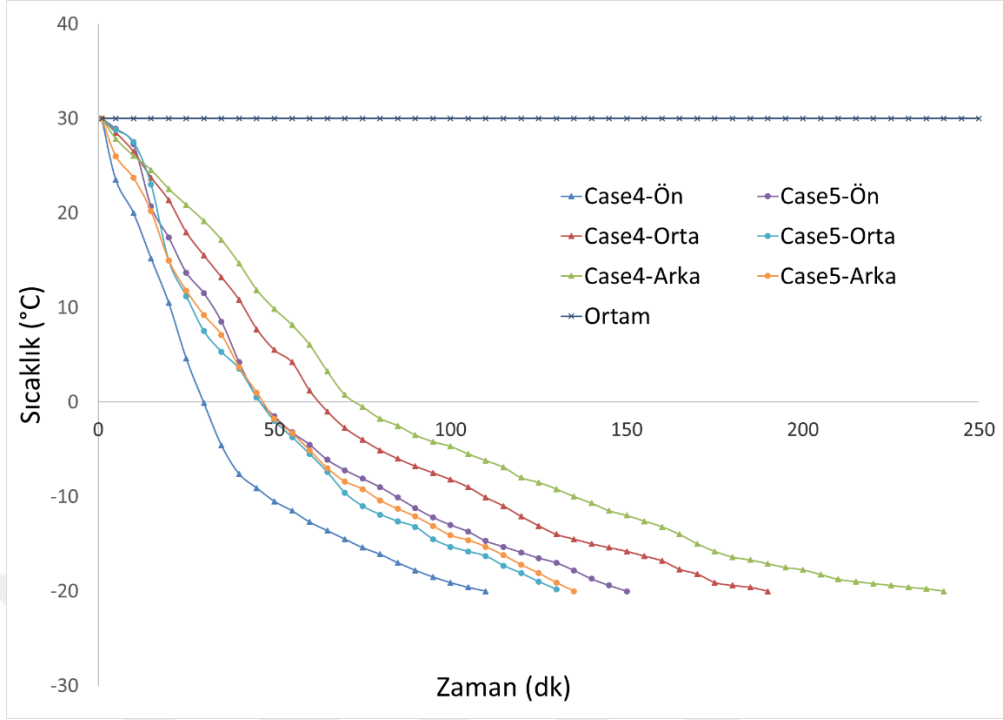
Yukarıda gösterilen sonuçlara göre kabin içi soğuma performansına en faydalı etkiyi 2 numaralı hava kanalı göstermiştir. Bu sebeple içi dolu araç analizleri 2 numaralı hava kanalının bulunduğu modelde yapılmıştır.



Şekil 4.9. Hava kanalı bulunmayan, yüklü araçtaki HAD akım çizgileri



Şekil 4.10. 2 numaralı hava kanalı bulunan, yüklü araçtaki HAD akım çizgileri



Şekil 4.11. İçi dolu araçta, hava kanalı bulunmayan ve 2 numaralı hava kanalı bulunan araçların HAD sonuçlarının karşılaştırması

Şekil 4.11’de içi dolu, hava kanalı bulunmayan ve 2 numaralı hava kanalının bulunduğu iki araç için yapılan HAD analiz sonuçları gösterilmiştir. Grafikten de görülebileceği üzere, aracın içerisine yük doldurulması durumunda hava kanalının etkinliği artmıştır. Hava kanalı bulunmayan araçta sıcaklıkların -20°C ’ye inmesi yaklaşık 240dk. süre alırken 2 numaralı hava kanalının bulunduğu araçta sıcaklıkların -20°C ’ye inmesi yaklaşık 150 dk. sürmüştür. Yine araç içerisindeki sıcaklık dağılımının hava kanalı bulunan tasarımda daha homojen olduğu, hava kanalı bulunmayan araçta ön tarafın arka tarafa oranla daha soğuk kaldığı görülmektedir.

5. SONUÇ

Yapılan çalışma sonucunda oluşturulan hesaplamalı akışkanlar dinamiği modelinin test sonuçlarıyla benzerlik gösterdiği ortaya konulmuştur. Öncül testlerle doğrulanan bir hesaplamalı akışkanlar dinamiği modeli kullanılarak tasarım optimizasyonu yapılmıştır. Benzer koşullarda bir HAD modeli ile farklı geometrilerdeki hava kanallarının etkinliklerinin değerlendirilmesine olanak sağlanmıştır. Kabin içi yükleme koşullarının kabin içerisindeki hava akışına etkisi ve hava kanalının dolu kabinlerdeki etkinliği ortaya konulmuştur. Örnek olarak üzerinde çalışılan yükleme koşulu dışındaki yükleme şekillerinde de kabin içerisindeki hava akışının HAD analizleri yardımı ile değerlendirilmesinin önü açılmıştır.

Kabin içerisinde içi boş kutuların olduğu durum göz önüne alınarak analizler yapılmıştır fakat benzer analiz koşulları ile kabin içerisine yüklenen, solunum ile ısı açığa çıkartabilen taze sebze ve meyveler için de benzer analizler yapılarak tasarımlar ve yükleme koşulları optimize edilebilir.

Kullanılan türbülans modeli ve duvar fonksiyonları akışın hızına ve sıcaklığına bağlı olarak farklı şekilde etki gösterebilir. Benzer analizler yapılırken hava sıcaklığı ve/veya akış hızı ciddi oranda değiştirilecekse kullanılan türbülans modelinin ve duvar fonksiyonlarının uygunlukları tekrar gözden geçirilmelidir.

Kabin içerisindeki havanın yönlendirilerek kabin içi sıcaklıkların homojen şekilde dağılması sağlanmıştır. Homojen sıcaklık dağılımı sayesinde kabin içerisinde taşınan ürünlerin aşırı soğumadan dolayı donma veya yetersiz soğumadan dolayı bozulma oranları azalacaktır. Bu iyileştirme taşınan ürünlerdeki fire miktarını azaltacağı için ürünlerin satış fiyatlarını düşürecek ve temel gıda maddeleri olarak değerlendirilen taze sebze ve meyvelerin son tüketiciye daha uygun maliyetlerle ulaştırılmasına katkı sağlayacaktır.

Tasarımı yapılan hava kanallarının kabin içi sıcaklığın $+30^{\circ}\text{C}$ 'den -20°C sıcaklığa düşme süresini ciddi oranda azalttığı görülmüştür. Hava kanalı olmayan içi dolu bir araçta bu süre yaklaşık 250dk. olurken 2 numaralı hava kanalı bulunan araçta bu sürenin yaklaşık 150dk. sürdüğü görülmüştür. İlk yüklemeden itibaren hava kanalı bulunan araçtaki

soğutucu ünite yaklaşık 100 dk. daha az çalışmıştır ve bu süre boyunca yakıt tasarrufu yapılmış, doğaya salınan zararlı emisyonlar azaltılmıştır. Elde edilen yakıt tasarrufu sayesinde aracın menzili artmış, yakıt takfiyesi için harcanan zaman azalmış ve ürünler üreticiden son tüketiciye daha hızlı bir şekilde aktarılabilmektedir.

Treylerin bütünü göz önüne alındığında doğaya salınan zararlı emisyonlar azalacağı için ilerleyen yıllarda uygulamaya geçmesi muhtemel olan araç emisyon ve enerji tüketim etiketinin alınmasına fayda sağlayacaktır. Yakın bir gelecekte Avrupa ülkelerinin gerekli enerji tüketim etiketine sahip olmayan araçların yollarda nakliye amacıyla kullanılmalarını yasaklaması beklenmektedir. Ortaya konulan sonuçlar soğutuculu yarı römorkların kabin içlerindeki hava akışlarını optimize ederek daha çevreci araçlar elde etmenin mümkün olduğunu göstermiştir.

Kabin içerisine solunum ile ısı üretimi yapan ürünlerin yerleştirilmesi ve/veya araç testlerinin iklimik test odası yerine belirlenecek bir güzergah dahilinde gerçek yol testleri ile yapılması bu çalışma kapsamında değerlendirilen konuları daha ileri bir aşamaya taşıyacaktır.

Kaynakların hızla tüketildiği ve çevre kirliliğinin arttığı bu dönemde temel besin maddelerinin bozulmadan, daha çevreci bir şekilde taşınması oldukça önemlidir. Çalışma kapsamında başvuru bilgisayar destekli hesaplamalı akışkanlar dinamiği analizleri gelişen bilgisayar teknolojilerinin de desteğiyle tasarım optimizasyonları için oldukça hızlı ve gerçekçi sonuçlar verebilmekte ve üreticilere daha çevreci ve verimli ürünler üretebilmeleri için imkan sağlamaktadır.

KAYNAKLAR

- Anonim (1995).** Carrier Transicold Ultrafresh Product catalog. New York.
- Anonim (1999).** Aero Industries Refrigerated Trailer Accessories Product catalog. New York
- Anonim (2016).** ATP Handbook. United Nations Economic Commission for Europe, [http://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/main/wp11/ATP_publication/ Handbook-2016e.pdf](http://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/main/wp11/ATP_publication/Handbook-2016e.pdf)-(Erişim tarihi: 01.10.2016)
- Ashby, B. H. (1999).** Protecting perishable foods during transport by truck. *United States Department of Agriculture*, Transportation and Marketing Handbook No:669, Washington.
- Boyette, M. D., Sanders, D. C., & Rutledge, G. A. (1996).** Packaging requirements for fresh fruits and vegetables. The North Carolina Agricultural Extension Service. North Carolina.
- Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü [FAO] (2018).** The State of Food and Agriculture 2018. FAO, Rome.
- Bradshaw, P., Huang, P. (1995).** The Law Of The Wall In Turbulent Flow. *AIAA Journal*, 33(4):624-632.
- Craig, W.L. (1990).** Transportation Tips - Trailer Air Ducts (OT-ID-15). Transportation tips series, USDANational Perishables Logistics Association transportation series. Washington, D.C.: Office of Transportation, United States Departement of Agriculture.
- Handbook, A. S. H. R. A. E. (1998).** Refrigeration Handbook. *American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers*, Atlanta, USA.
- Heywood, M. J. (1998).** Land transport of food: principal elements and current practice. *Food Transportation*, at: 55-56.
- Hoang, M.H., Laguerre, O., Moureh, J., Flick, D. (2012).** Heat transfer modelling in a ventilated cavity loaded with food product: Application to a refrigerated vehicle. *Journal of Food Engineering*, 113: 389-398.
- Hui, K.P.C. (2001).** Air circulation inside refrigerated semi trailers transporting fresh produce. Master thesis, McGill University, Department of Agricultural and Biosystems Engineering, Montreal, Canada.
- Hui, K.P.C, Raghavan, G.S.V., Vigneault, C. Castro, L.R. (2006).** Evaluation of the air circulation uniformity inside refrigerated semi-trailer transporting fresh horticultural produce. *Journal of Food, Agriculture & Enviroment*, 4(1): 109-114.

Kader, A. A. (2002). Postharvest technology of horticultural crops. University of California Agriculture and Natural Resources, California, USA, 519 pp.

Kasmire, R. H., Hinsch, R.T. (1987). Maintaining optimum transit temperatures in refrigerated truck shipments of perishables. University of California, Postharvest Horticulture Series, No:12. Davis, California.

Kasmire, R. F., Hinsch, R. T., Thompson, J. F. (1996). Maintaining optimum perishable product temperatures in truck shipments. University of California, No: 631, California, US.

McGregor, B. M. (1989). Tropical products transport. US Department of Agriculture, Office of Transportation, Handbook No: 668, USA.

Pathare, P. B., Opara, U. L., Vigneault, C., Delele, M. A., & Al-Said, F. A. J. (2012). Design of packaging vents for cooling fresh horticultural produce. *Food and Bioprocess Technology*, 5(6): 2031-2045.

Peleg, K. (1985). Produce handling, packaging and distribution. AVI Publishing Company, Westport, USA.

Smale, N.J., Moureh, J., Cortella, G. (2006). A review of numerical models of airflow in refrigerated food applications. *International Journal of Refrigeration*, 29(1): 911-930.

Tassou, S., A., De-Lille, G., Lewis, J. (2009). Food transport refrigeration - approaches to reduce energy consumption and environmental impacts of road transport. *Applied Thermal Engineering, Elsevier*, 29:8-9.

Ticari Araç İthalatçıları Derneği [TAİD] (2019). Kamyon, çekici ve treyler araç satış istatistikleri. <https://www.taidd.org.tr/rapor-> (Erişim tarihi: 13.12.2020)

Güler, T., Kılıç, M. (2018). Klimatik kontrollü treyler içerisindeki hava akışının homojen sıcaklık dağılımı elde etmek amacıyla optimizasyonu. OTEKON 2018, 9. Uluslararası Otomotiv Teknolojileri Kongresi, 7-8 Mayıs 2018, Bursa, Türkiye.

Güler, T., Kılıç, M. (2019). Klimatik Kontrollü Treyler İçerisindeki Hava Akışının Optimizasyonu. *Mühendis ve Makina*, 60(697): 289-302.

Thompson, J. F., Mitchell, F. G., Rumsey, T. R., Kasmire, R. F., & Crisosto, C. H. (1998). Commercial cooling of fruit, vegetables, and flowers. Division of Ag. And Natural Resources Publication, 21567.

Wilcox, D.C. (1988). Re-assessment of the scale-determining equation for advanced turbulence models. *AIAA journal*, 26(11): 1299-1310.

Wills, R., McGlasson, B., Graham, D., & Joyce, D. (1998). Postharvest: An introduction to the physiology and Handling of Fruit. *Vegetables and Ornamentals*, 4.