

# Klimatik Kontrollü Treyler İçerisindeki Hava Akışının Optimizasyonu

Tayfun Güler<sup>\*1</sup>, Muhsin Kılıç<sup>2</sup>

## ÖZ

Klimatik kontrollü treyler yaş meyve sebze, dondurulmuş ürün ve hayvansal gıdaların taşımacılığında önemli rol oynayan araçlardan biridir. Bu treyler bir soğutucu ünite, izolasyonlu üst yapı ve şasiden oluşmaktadır. Bu çalışma kapsamında genellikle dondurulmuş ürünlerin taşınmasında kullanılan ağır izolasyonlu sınıftaki bir treyler üzerinde çalışılmıştır. Çalışmanın temel amacı kabin içi soğutma performansının iyileştirilerek taşınan ürünlerin kalitesini arttırmak ve soğutma yüklerini azaltarak yakıt tasarrufu sağlamaktır. Bu amaç doğrultusunda standart olarak sunulan araç içerisindeki hava akışı modellenmiş ve görülen eksiklikleri giderecek bir tasarım yapılmıştır. Daha sonra yapılan analizler gerçek araç modelleri üzerinde yapılan testlerde doğrulanmıştır. Son olarak ilk yapılan tasarımda iyileştirme yapılmış ve farklı bir hava dağıtım metodolojisi düşünülmüştür ve modellenmiştir. Sonuçlar birbiri ile kıyaslanmış ve araç içi hava akışında elde edilen iyileştirmeler gösterilmiştir. Çalışma sonunda, havanın yeni tasarlanan kanallar vasıtasıyla aktarılması sayesinde soğuma performansının arttığı ve araç içi sıcaklık dağılımının homojen hale geldiği görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** klimatik kontrollü treyler, hesaplamalı akışkanlar dinamiği, hava akış optimizasyonu

## Optimization of Air Flow in Refrigerated Semi-Trailer

### ABSTRACT

Refrigerated semi-trailers have the significant role on the transportation of fresh vegetables, foods, frozen products and animal origin foods. A typical refrigerated semi-trailer consists of a cooler unit, isolated upper structure and typical underframe. The subject of the present work is a heavy isolated semi-trailer which is generally used for the transportation of the frozen foods. Main aim of this work is improving the quality of transported foods and reduce the fuel consumption of trailer by means of better cooling performance. Therefore, air circulation of the inside of the common semi-trailer have been numerically modelled and inside of the semi-trailer have been re-designed to overcome to deficiencies which are seen in the first analysis. Numerical analyses have been compared with the test results. Finally, the new design also has been improved with the different air channel methodology. All results have been compared with each other and improvements have been showed. Final results have showed that the air channels let the homogeneous air distribution inside the refrigerated semi-trailer.

**Keywords:** Refrigerated semi-trailer, computational fluid dynamic, air circulation optimization

\* İletişim Yazarı

Geliş/Received : 23.05.2018

Kabul/Accepted : 27.08.2019

<sup>1</sup> Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği - tayfunguler92@gmail.com  
ORCID: 0000-0002-1405-4400

<sup>2</sup> Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği - mkilic@uludag.edu.tr  
ORCID: 0000-0003-2113-4510

## 1. GİRİŞ

Türkiye İhracatçılar Meclisi'nin yayınladığı bir araştırmada yaş sebze ve meyve sektöründeki gelişmelere ve öngörülere yer verilmiştir. Bu çalışmaya göre yaş sebze ve meyve ihracat sektörünün 2008 yılındaki büyüklüğünün yaklaşık olarak 90 Milyar \$ olduğu ve bu büyüklüğün 2023 yılına gelindiğinde yaklaşık 1.3 katına çıkarak 120 Milyar \$ olacağı öngörülmüştür. Türkiye'nin bu ihracat içerisinde aldığı pay ise 2008 yılında %1.9 iken 2023 yılında %8,2 ile 9.8 Milyar \$ olacağı öngörülmüştür [1].

Klimatik kontrollü treyler yaş meyve sebze, dondurulmuş ürün ve hayvansal gıdaların taşımacılığında önemli rol oynayan araçlardan biridir. Sektörde beklenen büyümeye paralel olarak treyler üreticileri de ürünlerindeki kaliteyi arttırarak bu pazardan daha fazla pay almak istemektedir. Üretilen ürünlerin kalitelerinin arttırılması amacıyla da şirketler ar-ge ye ayırdıkları payları arttırmakta ve daha teknolojik ve rekabetçi ürünler ortaya koymaktadırlar.

Bu doğrultuda araç içerisindeki hava akışının, dolayısıyla soğuma performansının iyileştirilmesi hem sektörel olarak rekabet gücünü arttıracaktır hem de yakıt tüketimini düşüreceği için doğaya salınan zararlı gazların da azaltılmasına imkan sağlayacak. Ayrıca, doğal kaynakların hızla tüketildiği, milyonlarca insanın açlık ile karşı karşıya olduğu bir dünyada taşınan ürünlerin yolculuk esnasında bozulmalarını önleyecektir. Bu sebeplerden dolayı, yapılan çalışmanın sektördeki gelişmelere katkı sağlaması, hem ticari açıdan ülke ekonomisi için hem de doğal yaşamın sürdürülebilirliği için önemli olduğu düşünülmektedir.

Klimatik kontrollü treylerler izolasyon özelliklerine göre 2'ye ve soğutucu ünite sınıflarına göre 4'e ayrılmakta ve bu özelliklerine göre sertifikalandırılmaktadır. İzolasyon sınıfına göre araçlar:

- IN (normal olarak izole edilmiş ekipman)
  - ▶ Bu sınıftaki araçlarda  $0.70 \text{ W/m}^2\text{K}$  veya daha düşük ısı geçiş katsayısı olması gerekmektedir.
- IR (çok iyi izole edilmiş (ağır izole edilmiş) ekipman), olarak sınıflandırılırlar.
  - ▶ Bu sınıftaki araçlarda  $0.40 \text{ W/m}^2\text{K}$  veya daha düşük ısı geçiş katsayısı olması gerekmektedir.

Soğutucu üniteler ise, izolasyonlu aracın içerisindeki havanın sıcaklığını istenilen seviyeye getiren ve bu seviyede tutmak için kullanılan ekipmanlardır. Araç dış gövdesinin  $+30^\circ\text{C}$  olduğu düşünüldüğünde araç içerisindeki sıcaklığı belirli seviyelere düşürebilme yeteneklerine göre soğutucu üniteler aşağıdaki gibi sınıflandırılır:

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



- D sınıfı: azami 0°C

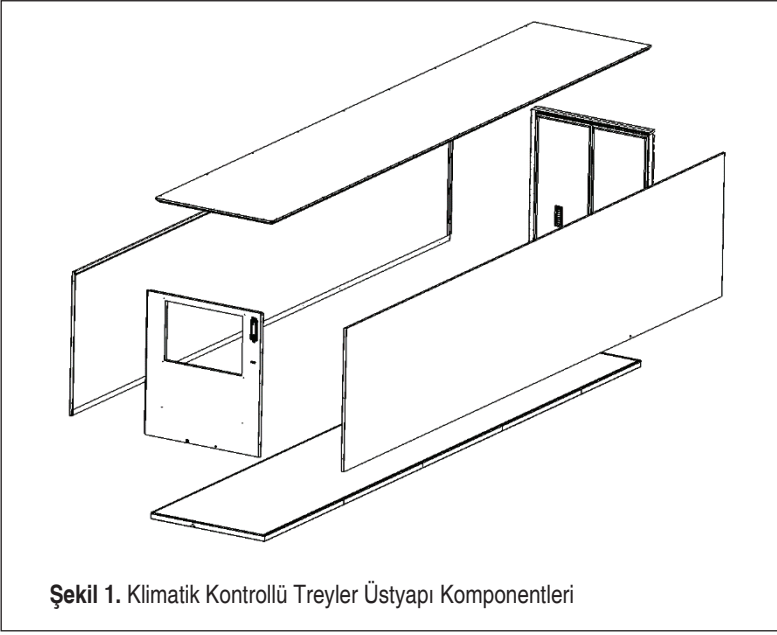
Sonuç olarak, sektörde kullanılan klimatik kontrollü treylerle kullanılan izolasyon sınıfı ve soğutucu ünite tiplerine göre aşağıdaki gibi tariflenir ve sertifikalandırılır [2]

Bu çalışma kapsamında ağır izolasyona sahip FRC sertifikalı bir araç incelenmiştir.

Treyler üst yapıları genel olarak Şekil 1'deki gibidir ve basitçe tanımlamak gerekirse altı adet araları izolasyon malzemesi ile doldurulmuş panelin birleştirilmesinden oluşurlar. Treylerin ön tarafında soğutucu ünitenin geleceği yerde hava girişi ve çıkışı için boşluklar bulunur. Bu boşluklar daha sonra soğutucu ünite tarafından kapatılır ve aracın içi tamamen dış ortamdan yalıtılmış olur.

**Tablo 1.** İzolasyon Sınıfı ve Soğutucu Üniteye Göre Araç Sınıfları [2]

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
<b>C Sınıfı, mekanik soğutuculu, ağır izoleli ekipman</b>	<b>FRC</b>
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



Şekil 1. Klimatik Kontrollü Treyler Üstyapı Komponentleri

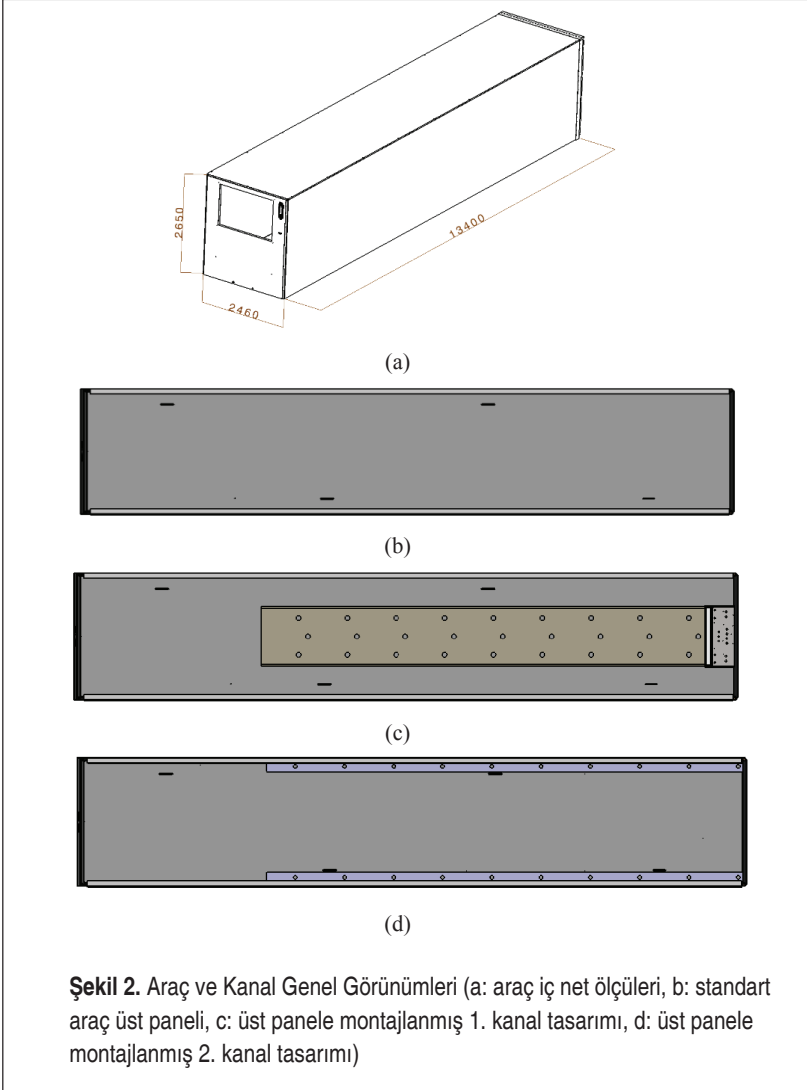
Bu tür FRC sertifikalı araçlarda genellikle dondurulmuş gıdalar taşınır. Taşınacak ürünler genellikle 1200x800mm ebatlarındaki Euro paletlerin üzerine yüklenir ve yardımcı araçlar vasıtasıyla treyler içerisine yüklenir. Yaygın olarak yükler aracın önüne yüklenmeye başlar ve yük yüksekliği yüklenen ürünlerin cinsine göre değişiklik gösterebilir. FRC sınıfı araçların dışındaki düşük izolasyonlu araçlarda yine paletlerin üzerine yükleme yapıldığı gibi ürünlerin doğrudan treyler içerisine herhangi bir düzen olmaksızın doldurulduğu durumlarla da sıklıkla karşılaşabilmektedir [3]. Bu çalışma kapsamında aracın boş olduğu durumlar incelenmiştir. Araç yüklenip soğutulmaya başlandığında ön taraftaki yüklerin gereğinden fazla soğuduğu, arka tarafta kalan yüklerin ise yeterince soğutulmadığı ve soğuk havanın kötü şekilde dağıtılmasından dolayı araç içi ortalama sıcaklığın  $-20^{\circ}\text{C}$  ye ulaşmasının çok zaman alması standart olarak kullanılan araçlarda görülen başlıca sorunlardandır. Bu çalışmanın temel amacı da bu iki sorunu ortadan kaldırmaya yönelik bir optimizasyon yapmaktır. Çalışmaya genel hatlarıyla bakıldığında; soğuk zincir taşımacılığında sıklıkla kullanılan araç modeli belirlenmiştir. Daha sonra modelde görülen sorunlar hesaplamalı akışkanlar dinamiği yöntemiyle modellenmiştir ve oluşturulan model gerçek ölçekli testlerle doğrulanmıştır. Son olarak araç içerisindeki hava akışını iyileştirmek adına iki ayrı tasarım yapılmış ve tasarımların etkilerinin görülebilmesi için araçlar yeniden modellenmiştir. Ortaya konulan sonuçlar karşılaştırılmış ve yapılan tasarımların araç içi soğuma performansını artırdığı gösterilmiştir.



## 2. MATERYAL VE YÖNTEM

### 2.1 Geometrik Özellikler

Bu çalışma kapsamında giriş bölümünde de değinildiği üzere FRC sertifikasına sahip, ATP (Agreement on the International Transportation of Goods – Malların Uluslararası Taşınmasına İlişkin Anlaşma) [2] ve HACCP (Hazard Analysis and Critical Control Points – Tehlike Analizi ve Kritik Kontrol Noktaları) [11][4] belgelerine uygun olarak



üretilmiş bir treyler incelenmiştir. Çözüm alanı olarak kullanılan aracın iç ölçüleri 2650x2460x13400 mm (yükseklik x genişlik x uzunluk) alınmıştır. Araç yan panelleri 60mm kalınlıkta ve 0.0226 W/m.K ısı iletim katsayısına sahip izolasyon malzemesinden oluşmaktadır. Hesaplamalı akışkanlar dinamiği modeli için araç üzerindeki çözüme etkisi çok küçük olan detaylar modelin çözüm süresini kısaltmak amacıyla ihmal edilmiştir.

## 2.2 Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) Modeli

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

- Çözüm geometrisi:  
Treyler içerisindeki hava akışının çeşitli geometrilerde ve yüklenme 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 yüklenme durumları inceleneceği için çözümün de bu düzleme göre simetrik olacağı öngörülmüştür [5]. Bu sebeple çözüm süresini kısaltmak adına aracın tam modeli yerine simetri ekseninden itibaren yarım modeli üzerinde çalışılmıştır.
- Çözüm ağı oluşturulması:  
Araç içerisindeki hava hareketlerinin doğru bir şekilde modellenebilmesi 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 [6].  $y^+$  değerini etkileyen faktörlerden birisi de sınır tabakadaki ilk ağın yüksekliğidir ve çözüm alanı oluşturulurken bu değerler göz önünde bulundurulmalıdır [7].

$$y^+ \equiv \frac{y u_\tau}{\nu} \quad (1)$$

Boş araç modeli için doğru sonuçları hızlı bir şekilde almamızı sağlayacak ağ yapısının belirlenmesi için farklı yoğunlukta oluşturulan dört ayrı ağ yapısı karşı-

**Tablo 2.** Çözüm Ağı Karşılaştırması

No	Cell sayısı	Hız (m/s)	Değişim (%)
1	98451	0,261	-
2	241215	0,314	20
<b>3</b>	<b>482430</b>	<b>0,331</b>	<b>5</b>
4	964860	0,332	0,3

laştırılmıştır. Simetri düzlemi üzerinde, zeminden 2600mm yükseklikteki düz bir çizgi boyunca 1 metre aralıklarla hız değerleri ölçülmüş ve ortalamaları alınmıştır.

Tablo 2’de görüldüğü üzere, ilk oluşturulan ağ yapısından alınan sonuçlar ile ikinci oluşturulan ağ yapısından alınan sonuçlar arasında yaklaşık %20 oranında değişim varken, ikinci ve üçüncü çözümler arasındaki değişim %5 ve üçüncü ve dördüncü çözümler arasındaki değişim oranı %0.3 mertebesinde. Üçüncü ve dördüncü ağ yapıları arasındaki değişim kabul edilebilir seviyede olduğundan dolayı bundan sonraki analizlerde daha hızlı çözüm verecek olan üçüncü ağ yapısı kullanılmıştır.

- 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 0.0229 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/s<sup>2</sup> olarak girilmiştir. Soğuk havanın girişi 200x300mm bir kesitten 253K sıcaklıkta ve 0.97 kg/s debide olacak şekilde belirlenmiştir. Bu değer Thermo King SLXe-300 model C sınıfı soğutucunun ürün özelliklerine bakılarak belirlenmiştir [8].

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 [9]. 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 [6].

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 çö-

zümlelerdir. 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 [10].

Her 1 dakikalık zaman dilimlerinden sonra çözümler kaydedilerek sonuçlar değerlendirilmiştir.

- Kullanılan denklemler ve kabuller:

Oluşturulan hesaplamalı akışkanlar dinamiği modelinin çözümlenebilmesi için bazı kabuller ve bu kabullere bağlı denklemler kullanılmaktadır. Bu çalışma kapsamında incelenen problemde yapılan kabuller sırasıyla; 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:

$$\rho \frac{DV}{Dt} = \rho g + \nabla \cdot \tau'_{ij} - \nabla p \quad (2)$$

Buradaki  $\tau'_{ij}$  stress tensörünü temsil eder.

$$\tau'_{ij} = \mu \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) + \delta_{ij} \lambda \nabla \cdot V \quad (3)$$

#### ► Enerji denklemi

Genel haliyle enerji denklemi:

$$\rho \frac{Dh}{Dt} = \frac{Dp}{Dt} + \nabla \cdot (k \nabla T) + \tau'_{ij} \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \quad (4)$$

#### ► Süreklilik denklemi

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

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho V) = 0 \quad (5)$$





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

$$\nabla \cdot V = 0, \text{ olacaktır.} \quad (6)$$

### 2.3 Test Çalışması

Bu çalışma kapsamında yapılan HAD analizlerinin doğrulanması amacıyla gerçek araç modeli üzerinde testler yapılmıştır. Aynı araç üzerinde hava kanalı ekliken ve hava kanalı ekli değilken olmak üzere, araçlar boşken 2 ayrı test yapılmıştır. Testler için klimatik test kabininde treyler panellerinin dış sıcaklıklarının test süresi boyunca yaklaşık olarak 303 K kalması sağlanmıştır. Treylerin içerisindeki 3 noktadan test süresi boyunca termokupullar yardımıyla 1 dakika aralıklarla sıcaklık değerleri ölçülmüştür ve kaydedilmiştir [11].

Ölçüm noktalarının gösterimi Tablo 3'deki gibidir.

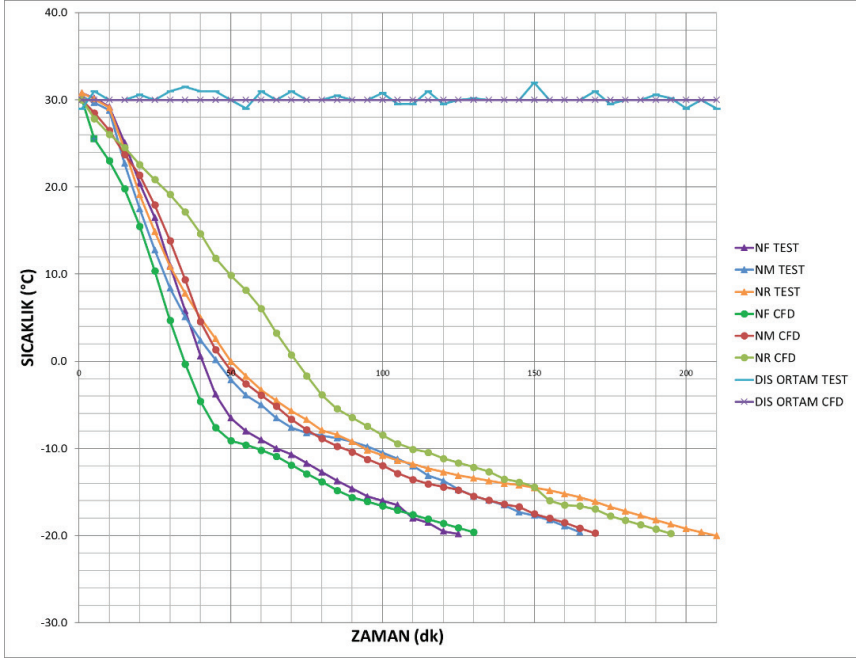
**Tablo 3.** Çalışılan Modellerin Gösterimleri

Ölçüm kodu	Hava kanalı 1	Hava kanalı 2	Hava kanalı yok	Ölçüm yeri Ön	Ölçüm yeri Orta	Ölçüm yeri Arka
YF	X			X		
YM	X				X	
YR	X					X
NF			X	X		
NM			X		X	
NR			X			X
YF2		X		X		
YM2		X			X	
YR2		X				X

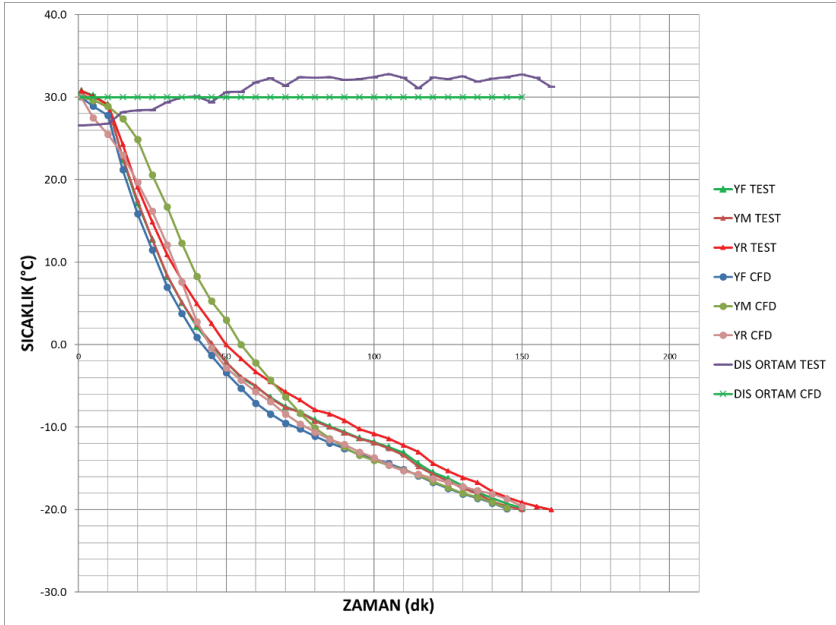
## 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

HAD analizleri ve testler yapıldıktan sonra sonuçlar ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Bu bölümde test sonuçları ve bu testlerle ilgili olan HAD analizi sonuçları ayrı ayrı karşılaştırılmıştır. Daha sonra tasarlanan iki farklı hava kanalının HAD analizlerinin sonuçları birbiri ile karşılaştırılmıştır. Testlerde ve analizlerde aynı noktalardan ölçümler alınmıştır.

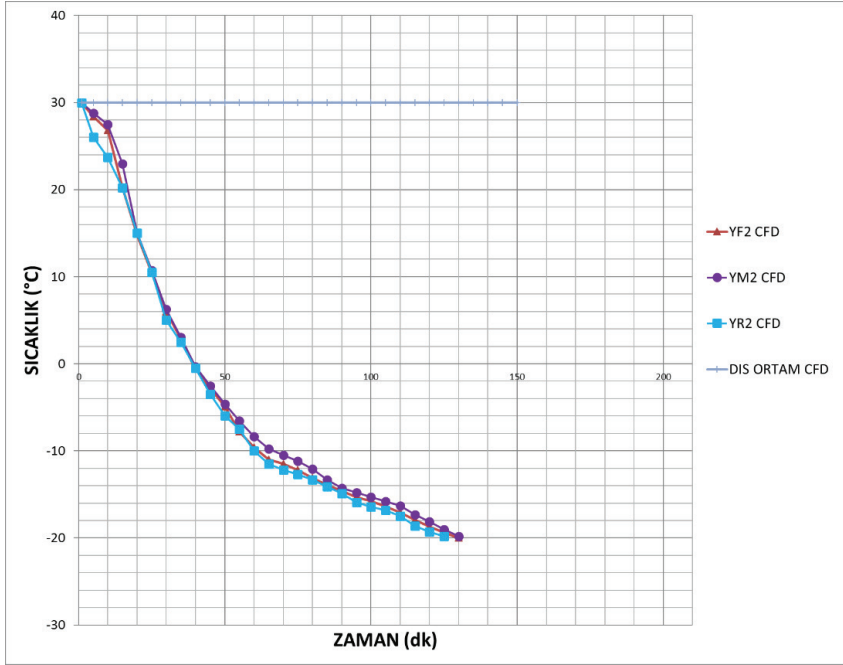
Çalışma sonucunda klimatik kontrollü treyler içerisinde herhangi bir hava kanalı kullanılmazsa ve hava kanalları kullanılırsa kabin için sıcaklık dağılımının nasıl değiştiği gösterilmiştir. Bulgular bölümündeki şekillerde gösterildiği üzere; kabin içerisinde



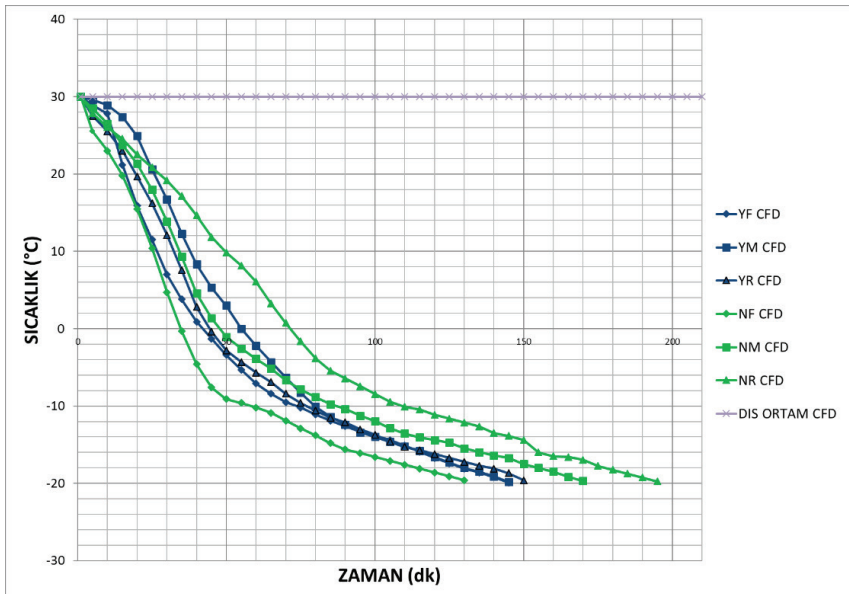
Şekil 3. Standart Araçtaki Test ve HAD Analizinden Alınan Sonuçların Karşılaştırılması



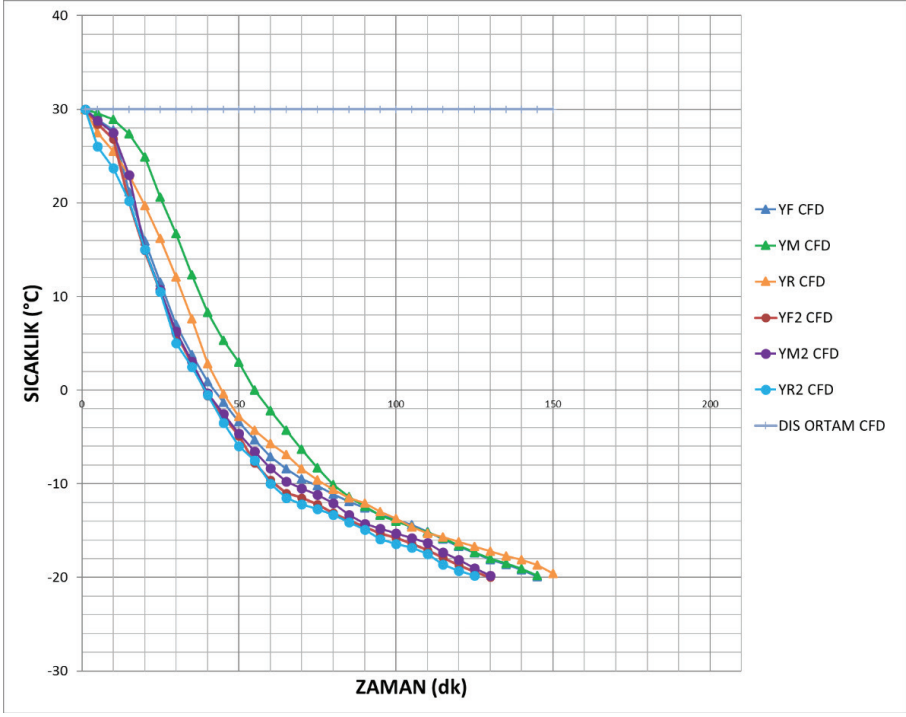
Şekil 4. 1. Numaralı Hava Kanalı Eklenen Araçtaki Test ve HAD Analizinden Alınan Sonuçların Karşılaştırılması



Şekil 5. 2. Numaralı Hava Kanalı Eklenen Araçtaki HAD Analizinden Alınan Sonuçlar



Şekil 6. 1 Numaralı Hava Kanalının ve Standart Aracın HAD Sonuçlarının Karşılaştırması



Şekil 7. 1 Numaralı ve 2 Numaralı Hava Kanallarının HAD Sonuçlarının Karşılaştırması

herhangi bir hava kanalının kullanılmadığı durumlarda soğutucu üniteden gelen soğuk havanın treylerin arka kısmını yeterince soğutamadan hava çıkışından çevrime geri döndüğü görülmektedir. Bu sebeple treylerin arka kısmı ön kısmına göre daha geç soğumaktadır. Treylerin içerisinde ön tarafa yüklenen yük daha fazla soğuk havaya maruz kalacak, arka kısımdaki yükler ise yeterince soğutulamayacaktır. Bu sorunun çözümü olarak, soğutucu üniteden gelen havayı bir kanal vasıtasıyla kabin içine dağıtınca kabin içerisindeki soğuk hava dağılımının daha homojen olduğu Şekil 5'te görülmektedir. Şekil 2'de gösterilen 1. kanal tasarımında hava üst panelin ortasından dağıtılırken yapılan 2. kanal tasarımında ise hava kabin içerisine yan paneller üzerinden verilmektedir. Bu tasarım değişikliğinin sonucu olarak Şekil 7'de gösterildiği üzere, kabin içerisindeki homojen sıcaklık dağılımı iyileştirilmiş ve soğutucu ünitenin toplam çalışma süresi azaltılmıştır.

#### 4. SONUÇLAR

Yapılan çalışma sonucunda, treyler içerisindeki hava akışı modellenmiş ve kurulan model gerçek araç testleri ile doğrulanmıştır. HAD modeli ile araç testlerinden alı-



nan sonuçlar paralellik göstermektedir ve bu sonuçlar HAD modeli oluşturulurken tanımlanan sınır şartlarının gerçeğe yakın olduğunu kanıtlamaktadır. Bu çalışma sonucunda treyler içerisindeki havanın herhangi bir yardımcı dağıtıcı unsurun olmadığı durumlarda yeterince iyi şekilde kabin içerisine yayılmadığı ve homojen olmayan bir kabin için sıcaklık dağılımına sebep olduğu gösterilmiştir, bu durumun sebebi kabinin ön kısmında oluşan düşük basınç bölgesinin soğuk havanın aracın arka kısımlarına gitmesini önlemesi olarak yorumlanabilir. Havanın kabinin ortasına konumlandırılan ve araç boyunca devam eden bir kanal vasıtasıyla yönlendirildiği zaman, kabin içerisinde daha iyi yayıldığı ve ortalama sıcaklığın  $-20^{\circ}\text{C}$  ye düşme süresinin kanal olmayan tasarıma göre yaklaşık 45 dakika kısaldığı görülmüştür. Ayrıca sistemin herhangi bir yerinde sıcaklığın  $-20^{\circ}\text{C}$ 'ye düştüğü anda kabin içerisindeki en sıcak nokta ölçüldüğünde sıcaklık farkının yaklaşık %28,75 iyileşerek  $-12,15^{\circ}\text{C}$ 'den  $-18^{\circ}\text{C}$ 'ye düştüğü görülmektedir. Soğutucu ünitenin sıcaklık sensörünün çıkış bölgesindeki havanın sıcaklığına göre ölçüm yaptığı ve sıcaklık  $-20^{\circ}\text{C}$ 'ye geldiğinde çalışmasına ara verdiği düşünüldüğünde bu sıcaklık farkının düşük olması kabin içerisinde daha ideal bir soğuma alanı elde etmemize olanak sağlayacaktır. Havayı dağıtmak için kullanılan kanalın tasarımı değiştirilerek havanın yan duvarlardan araç içerisine aktarıldığı durumda ise sistemdeki soğuma performansının ilk yapılan kanal tasarımına göre iyileştiği görülmektedir. Ortalama sıcaklığın  $-20^{\circ}\text{C}$ 'ye düşme süresinin yaklaşık olarak 20 dakika daha kısaldığı görülmüştür. Sistemin herhangi bir yerinde sıcaklığın  $-20^{\circ}\text{C}$ 'ye düştüğü anda kabin içerisindeki en sıcak noktanın da yaklaşık % 5 daha fazla iyileşerek  $-18^{\circ}\text{C}$ 'den  $-19,25^{\circ}\text{C}$ 'ye düştüğü görülmektedir.

Bu çalışma kabin içerisinin boş olduğu durumlar için yapılmıştır. Soğutucu ünitenden gelen havanın kabin içerisindeki dağılımını etkileyen en önemli faktörlerden birisi olan yüklem koşulları dikkate alınmamıştır. Buna rağmen yapılan çalışmanın sonuçlarının, kabin içerisine yüksekliği fazla olmayan yükler yüklendiğinde de benzer olacağı öngörülmektedir.

## KAYNAKÇA

1. URL 1: TIM. 2010. "Türkiye İhracatçılar Meclisi. Yaş Meyve ve Sebze Sektörü Proje Raporu", [http://www.iib.org.tr/files/downloads/PageFiles/%7BD9EA6F30-4116-4805-9BBD-7732D63C25C8%7D/Files/Yas\\_meyve\\_%202023\\_%20Proje%20Raporu.pdf](http://www.iib.org.tr/files/downloads/PageFiles/%7BD9EA6F30-4116-4805-9BBD-7732D63C25C8%7D/Files/Yas_meyve_%202023_%20Proje%20Raporu.pdf), 2018.
2. URL 4:UNECE. 2016. "United Nations Economic Commission for Europe. ATP Handbook", [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), 2018.
3. **Marshall, R., Lawton, R., Lawson, I.** 2006. "Energy Usage During Refrigerated Trans-



- port”, Brunel University, School of Engineering and Design, Technical document.
4. URL 5: FDA. 2018. “U.S. Department of Health and Human Services. Hazard Analysis Critical Control Point”, <https://www.fda.gov/Food/GuidanceRegulation/HACCP/>, 2018.
  5. **Smale, N.J., Moureh, J., Cortella, G.** 2006. “A review of numerical models of airflow in refrigerated food applications” *International Journal of Refrigeration*, 29, pp. 911-930.
  6. URL 2: ANSYS. 2009. “ANSYS Inc. Ansys Fluent 12.0 Theory Guide”, [http://www.afs.enea.it/project/neptunius/docs/fluent/html/th/main\\_pre.htm](http://www.afs.enea.it/project/neptunius/docs/fluent/html/th/main_pre.htm), 2018.
  7. **Bradshaw, P., Huang, P.** 1995. “The Law Of The Wall In Turbulent Flow” *AIAA Journal*, 33, 4 , pp. 624-632.
  8. URL 3: NYSE:IR. 2012. “Ingersoll-Rand Company Limited TK 65000. Single and Multi Temperature Refrigeration System for Trailers”, [http://www.ap.thermoking.com/content/tk-innovation-ap/region/au/Products/Trailer/SLXe/\\_jcr\\_content/callouts/download/file.res/SLXe%20Brochure.pdf](http://www.ap.thermoking.com/content/tk-innovation-ap/region/au/Products/Trailer/SLXe/_jcr_content/callouts/download/file.res/SLXe%20Brochure.pdf), 2018.
  9. **Wilcox, D.C.** 1988. Re-assessment of the scale-determining equation for advanced turbulence models” *AIAA journal*, 26, 11, PP, 1299-1310.
  10. **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, pp. 389-398.
  11. **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 & Environment*, 4,1,pp. 109-114.