



# Soğuk Hava Odasında Evaporatör Yerleşiminin Depo Ürünlerine Etkisinin CFD Analizi

Fevzi Balkan<sup>1\*</sup>, Ayşe Bilgen Aksoy<sup>2</sup>

## ÖZ

Soğuk hava depoları, gıdaların tazeliklerinin korunması hususunda büyük öneme sahiptir. Gıdaların besin değerlerini koruyabilmeleri, oda havasının doğru sıcaklık ve nemde şartlandırılmasına bağlıdır. Sıcaklık ve nem dengesi evaporatörlerden ortama sağlanan şartlandırılmış hava ile gerçekleştirilir. Bu çalışmada; soğuk hava depolarında, soğuk havanın depo ortamına dağılımını sağlamak amacıyla kullanılan evaporatörlerin odaya yerleşim yerlerinin, sıcaklık ve hız dağılımlarına hava akışının sebep olduğu ürün kayıplarına etkisi incelenmiştir.

Deneysel çalışma, içerisinde narenciye bulunan soğuk odada gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmalarda elde edilen veriler, aynı depo şartları için CFD programında simüle edilerek karşılaştırılmış ve sonuçların örtüştüğü ve kullanılabilirliği belirlenmiştir. Çeşitli evaporatör konumlandırmaları simüle edilerek, sıcaklıkları ve ürün istifleme şartları belirlenmeye çalışılmıştır. Evaporatörün tek duvarda konumlandırılması durumunda; ürün istiflenmesi ile şartlandırılmış hava dağılımı ve sıcaklık rijit olmamaktadır. Evaporatörlerin dar duvarlarda karşılıklı konumlandırılması durumunda, ürün istiflenmesinin deponun orta kısmında ve uygun aralıklarda yapılmasının daha uygun olacağı belirlenmiştir. Evaporatör yerleşiminin geniş tek duvarlarda olması, sıcaklığın eşit dağılmasını sağlarken diğer yandan üründe nem kaybına sebep olabilir.

Soğuk hava tesisi kurulması esnasında veya mevcut soğuk odalarda, ürün istifleme biçimleri ile hava akımlarının ve sıcaklık dağılımlarının öncelikle CFD analiz programıyla simüle edilmesi, ürün kayıplarında azalma, enerji tasarrufu, zaman ve işletme maliyetinde kazanımlar elde edileceği düşünülmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Soğuk hava deposu, evaporatör konumu, CFD

## CFD Analysis of the Effect of Evaporator Placement on Warehouse Products In A Cold-Storage Depot

### ABSTRACT

Cold storages are of great importance in preserving the freshness of foods. The ability of foods to preserve their nutritional value depends on conditioning the room air at the right temperature and humidity. The temperature and humidity balance is realized with the conditioned air supplied from the evaporators to the environment. In this study; in cold storage rooms, the position of the evaporators in the room, which are used to distribute the cold air to the storage environment, on the temperature and speed distributions, on the product losses caused by the air flow, has been investigated.

\* İletişim Yazarı

Geliş/Received : 27.07.2021

Kabul/Accepted : 06.12.2021

<sup>1</sup> Manisa Celal Bayar Üniversitesi Hasan Ferdi Turgutlu Teknoloji Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği, Manisa balkanfevzi@hotmail.com, ORCID: 0000-0002-6392-2358

<sup>2</sup> Manisa Celal Bayar Üniversitesi Hasan Ferdi Turgutlu Teknoloji Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği, Manisa aysebilgen.aksy@cbu.edu.tr, ORCID: 0000-0001-5456-4627



Experimental study was carried out in a cold room with citrus fruits. The data obtained in the experimental studies were compared by simulating in the CFD program for the same storage conditions, and the overlap and usability of the results were determined. Various evaporator positions were simulated and their temperatures and product stacking conditions were tried to be determined. In case the evaporator is positioned on a single wall; air distribution and temperature conditioned by product stacking are not rigid. In case the evaporators are positioned opposite each other on narrow walls, it has been determined that it would be more appropriate to stack the product in the middle of the storage and at appropriate intervals. The position of the evaporator on wide single walls provides the temperature to be evenly distributed, but on the other hand, it may cause moisture loss in the product.

During the establishment of a cold air facility or in existing cold rooms, it is thought that product stacking forms, air flows and temperature distributions firstly simulating with CFD analysis program will reduce product losses, energy savings, and gains in time and operating costs.

**Keywords:** Soğuk hava deposu, evaporatör konumu, CFD

## EXTENDED ABSTRACT

### Introduction/ Background

Cold storages are of great importance in preserving the freshness of foods. An effective cold chain stops or reduces the rate at which changes in food occur [1, 3]. Post-harvest losses due to lack of cooling are estimated to account for 30% of total production worldwide. [one]. The ability of foods to preserve their nutritional value depends on maintaining the room air at the right temperature and humidity. The temperature and humidity balance is tried to be realized with the air conditioned by the evaporators in the cold rooms. However, the inhomogeneity of the distribution of conditioned air causes losses in the stored products. In this study; The effect of the location of the evaporators used in the cold storage rooms on the temperature and velocity distributions and the effect on the product losses caused by the air flow provided to the environment were examined, and the evaporator positions were optimized for homogeneous air distribution.

### Objectives/ Research Purpose

Temperature and humidity control is one of the most important components in the refrigeration industry. Performing these analyzes before the installation of the cooling facility can prevent most of the operation and product losses. Parameters such as temperature and relative humidity that can be provided by different refrigeration cycles that can be used in existing or planned facilities are determined by CFD analysis, allowing system comparisons [10]. Each product, which is kept cold or by freezing in cold stores, requires different environmental conditions. In the literature, air velocity distribution models have been created for many products for different food products such as peach [11], apple [12], fish [13], potatoes [14], meat [8] [15]. In this study, the effect of the evaporator positions of a cold room, in which 158400 kg of tangerines are stored, on temperature and air circulation rates was investigated by CFD analysis. No study has been found in the literature on the effect of tangerine storage and evaporator placement on the product.

### Methods/ Methodology

The airflow distribution depends on the product, the storage temperature, the product arrangement, the geometry, and the characteristics of the cooling chamber. For the airflow distribution analysis, in simple cases, an analytical solution can be generated based on the mass and momentum conservation equations [6-7]. Understanding heat/mass transfer and airflow in warehouses create a complex equation due to several interdependent factors acting simultaneously [3]. The Navier-Stokes equations for steady-state airflow predict velocity and pressure fields in the laminar regime. However, in the airflow, the formation of small



eddies and turbulence leads to variable Reynolds numbers and makes an analytical solution of this equation impossible. In such a case, although LES, DES, and DNS from CFD models provide good results and the best fit with the experimental values, most of the researchers prefer the RANS (Reynolds mean Navier-Stokes formulation) model for cold storage simulation because it requires large computational capacity and time. The RNG K- $\epsilon$  and k- $\epsilon$  models provide results with around 24% errors, This model is easy to use for modeling because it requires low computational capacity [5]. In this study, CFD analyzes were performed using the k- $\epsilon$  turbulence model.

Cold room velocity and temperature data are taken from real measurement points for numerical analysis of the program used. An experimental study to be used in CFD analyzes was carried out in Selçuk Municipality Deppo EFES cold storage facility. The cold room facility has 25 cold rooms, with a total storage capacity of 10 thousand tons. In the experimental study, the measurement of temperature and air velocity was carried out in the cold room of the facility, which is partitioned with a panel of 10x20x8 m, where 158400 kg of tangerines are stored. Evaporator outlet velocity values were measured with the Testo 435 Multifunctional Anemometer. Temperature values were determined by thermal imaging method using a Testo brand 875-1i thermal camera. In experimental studies, instantaneous measurements of temperature and speed were recorded. The evaporator airspeed was determined as 13 m/s and the average temperature of 5 °C in the cold room

### Findings and Discussion

In case the evaporator is positioned reciprocally on narrow walls, the temperature distribution, and air circulation rate increase at the midpoints and are collected at equal density and remain in balance. It was determined that the air distribution is laminar around the material. Sufficient and suitable storage conditions can be provided if the evaporator outlet temperatures are close to the storage temperatures and the air velocities are kept low. Since the high speed will cause turbulence formation and therefore uneven temperature distribution, deterioration may occur due to insufficient cooling. In this type of evaporator positioning, the velocity of the conditioned air with adequate cooling in the evaporation should be below. The fact that the storage area is in the center of the warehouse does not prevent the flow and in this type of evaporator positioning, it would be more appropriate to make the stacking in the middle of the warehouse.

In case the evaporator is placed on wide single walls, the conditioned air distribution causes turbulence at the corner points of the tank, and the transition zone flows in other regions since the given air velocity is high for the distance of the opposite wall. While this ensures that the temperature is evenly distributed, it may also cause moisture loss in the product. In this type of positioning, it is very important to determine the optimum air velocity.

### Discussion and Conclusions

In the first installation phase of cold air facilities, cold room dimensions and evaporator positions can be analyzed with CFD, and facilities that can operate with the highest energy efficiency and minimum product loss can be established. However, appropriate stacking forms and quantities should also be considered in the calculations. With CFD analyzes for existing facilities, it is foreseen that the most suitable storage conditions for the products can be provided by analyzing the product stacking type, amount, and airspeeds, and product losses can be prevented.



## 1. GİRİŞ

Gıda ürünleri yaşayan organizmalardır ve hasat sonrasında da metabolik faaliyetler devam eder. Bu aktivitenin sonucunda ise gıda ürünlerinde, mikrobiyolojik, fizyolojik, biyokimyasal ve / veya fiziksel değişimler olabilir [1]. Metabolik süreç ile oluşan duyuşal değişiklikler, ürünlerin insan tüketimi için istenmeyen veya kabul edilemez olmasına neden olur. Gıdanın bozulması, gıdanın orijinal besin değerinin, dokusunun ve aromasının zarar görmesi, gıdanın insanlara zarar vermesi ve yemeye uygun olmaması anlamına gelir. [2].

Etkili bir soğuk zincir, gıdalardaki değişikliklerin meydana gelme hızını durdurur veya azaltır [1, 3]. Soğutma eksikliğinden kaynaklanan hasat sonrası kayıpların, dünya çapında toplam üretimin %30'unu oluşturduğu tahmin edilmektedir [1]. Avrupa'da ise meydana gelen gıda kayıplarının, %35 tüketici davranışına, %65'i ise üretimden dağıtımına kadar olan uygunsuz muameleye bağlıdır [3]. Bu nedenle, soğutmanın ve soğuk zincirin her aşamasında, ekipman kontrolü ve uygun tekniklerin kullanılması, kayıpların azaltılmasında önemli faktörlerdir.

Soğuk hava deposu, gıda maddelerinin şartlandırılmış hava ile uzun süre muhafaza edilebilmesi için oluşturulmuş depolardır. Endüstriyel soğuk hava depolarında, genel olarak mekanik buhar sıkıştırma soğutma çevrimleri kullanılır. Bu çevrimlerin ana elemanları kompresörler, hava-su soğutmalı kondenser, kısılma valfleri ve evaporatörlerdir. Soğuk hava depolarının, soğutma hacimleri, kurulu olduğu iklim bölgesi veya çevrimin kaskad olması gibi sebepler ana elemanların kullanım sayılarını artırır veya azaltabilir. Amonyak vb. akışkanların aracı akışkanlar olarak kullanılması durumunda ise çevrime likit tankı gibi yardımcı elemanlar eklenir.

Buhar sıkıştırma soğutma çevrimlerinde, kompresörde akış enerjisi kazanan aracı akışkan, kızgın buhar halinde kondensere gönderilir. Kondenserde, ısısını çevre ortama bırakarak kısılma valflerine girer. Kısılma valflerinde, aracı akışkanın basınç ve sıcaklığı, evaporatör basınç ve sıcaklığına düşürülmesi sağlanır. Bir ısı değiştiricisi olan evaporatörlerden geçerken ortamdaki ısı, soğutucu akışkan tarafından çekilerek, akışkanda tutulması sağlanır. Akışkan yeniden kompresöre dönerek çevrim tamamlanır.

Soğuk hava depoları veya soğuk odalarda havanın şartlandırılması genel olarak evaporatörler ile sağlanır. Evaporatif soğutma olarak da adlandırılan bu teknik, gıda ürünlerinin sıcaklığının, soğutucu akışkanın buharlaşmasını kullanan sistemler aracılığıyla, ortam çığ noktası sıcaklığının 2-3 °C üstündeki sıcaklığa düşürülmesidir [4].

Bozulabilir öğeleri soğuk depolamada korumak için, çevre ortama göre çok düşük, sıcaklık koşulları gereklidir. Bu sebeple soğuk hava deposunda, soğutma sistemi yardımıyla, hava dağıtımının uygun soğutma etkisi üretebilmesi ürünler için hayati bir rol oynar [5].



Hava akışı dağılımı ürüne, depolama sıcaklığına, ürün dizilimine, soğutma odasının geometrisine ve karakteristiğine bağlıdır. Hava akışının eşit olmayan dağılımı nedeniyle endüstriyel soğutma odalarında taze mahsulün depolanması zordur.

Wu ve arkadaşları tarafından, gömülü boru soğutmalı soğuk hava deposunda sıcaklık dağılım aralıkları ve düzensizlik katsayıları deneysel olarak inceleme ve dikey yönünde önemli sıcaklık farkları bulunduğunu göstermişlerdir. Alt katmanda, sıcaklık en yüksekken, orta katmanda sıcaklık dağılımı ve düzensizliğinin sıcaklığa duyarlı ürünlerin depolanması için daha elverişli olduğunu belirtmişlerdir [6].

Bishnoi ve Aharwal, soğuk oda performansını optimize etmek için tam yüklü koşullar sırasında çalışma değişkenlerinin (hava akışı alanı, hava sıcaklığı) ve bunların oda soğutma prosesleri üzerindeki etkilerini deneysel olarak incelemiştir. Dikey yönde ve üst düzlemdeki uzunluk boyunca önemli hava akışı hızı değişimleri olduğunu, soğuk havanın ürünlere, yığımların ön kısımlarından gönderilmesi durumunda, soğuk odanın uzunluğu boyunca maksimum soğutma değişkenliğinin mevcut olduğunu ve hava akış alanı ve hava sıcaklığından etkilendiğini göstermişlerdir [7].

Soğutma sanayinde sıcaklık ve nem kontrolü en önemli bileşenlerdendir. Soğutma tesisi kurulumundan önce bu analizlerin yapılması ürün ve işletme maliyet kayıplarının oluşmasının büyük kısmını önleyebilir. Bu amaçla öncelikle tesis, yerine laboratuvar ortamında deneysel veriler alınabilir. Ancak laboratuvar ortamında bu şartların oluşturulması ciddi bir maliyet ve zaman gerektirecektir. Hesaplamalı akışkanlar Dinamiği (CFD) analizleri ile sıcaklık ve hava dolanım hız verileri sayısal olarak çok daha hızlı ve ekonomik olarak çözülebilir. Akışkan akış problemlerini çözmek için CFD tekniği iyi bir seçenektir ve çeşitli endüstriyel veya endüstriyel olmayan alanlara uygulanabilir [8,9].

Hesaplamalı akışkanlar Dinamiği (CFD) analizleri ile yapılan çalışmalarda, bir soğuk hava deposunda sabit, izotermal 3 boyutlu zorlanmış hava akışını tanımlayan matematiksel bir model geliştirmek ve çözmek [8], soğutucudaki hava hızlarını tahmin etmek ve ürünlerin havalandırma homojenliğini iyileştirmek için [10] kullanılabilirliği gösterilmiştir.

Ayrıca Gajdhar ve ark.(2018) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, hava ve ürün sıcaklığını, ürün ağırlık kaybını tahmin etmek için tarımsal ürün içeren boş ve yüklü bir soğuk depoda 2 fazlı momentum, ısı ve kütle transferi için basitleştirilmiş bir model oluşturulmuştur. Model denklemleri, bir soğutma odasından alınan deneysel veriler vasıtasıyla çözülmüş ve doğrulanmıştır. Her iki durumdaki soğuk depo için hız büyüklüğü tahmini için yaklaşık %20'lik bir hata elde edilmiştir. Model, ürünün soğutma hızı ve ağırlık kaybı hızı açısından oldukça iyi bir eğilim göstermektedir ve endüstriyel soğutma depolarının tasarımı ve işletiminde farklı parametrelerin etkilerini incelemek için kullanılabilirliği gösterilmiştir. Ancak k-3 türbülans modelinin neden



olduğu hava hızının yerel olarak eksik tahmin edilmesi, kutular içinde tek tip başlangıç sıcaklık dağılımı varsayımı ve ürünler içindeki gradyanların göz ardı edilmesi ile sıcaklık tahmininde tutarsızlık oluşabilir [11].

Mevcut veya kurulması düşünülen tesislerde kullanılacak farklı soğutma çevrimleri aynı şartlarda çalıştırılması durumunda sağlayabilecekleri sıcaklık bağıl nem gibi parametreler CFD analizleri ile belirlenerek, sistem karşılaştırması yapılmasına da olanak sağlar [12].

Soğuk depolarda soğukta veya dondurarak muhafaza edilen her bir ürün farklı ortam şartları gerektirmektedir. Literatürde soğuk depoda seftali depolanması sırasında hava hızları ölçümleri alınmış ve hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD) ile hava hızı dağılım modelleri oluşturularak, analizlerin kullanılabilirliği değerlendirilmiştir.

(CFD) Model ile ölçümler arasındaki ölçümlerin sınırlı sayıda olması ve modellemede sınır koşullarının belirsizliği tahmin hatasını %39.73 gibi yüksek bir oranda olmasına sebep olmuştur [13].

Akdemir (2016) tarafından yapılan çalışmada Elma depolanmış bir soğuk hava deposu için olası menfez kanat açısı senaryoları CFD ile modellemeler oluşturularak incelenmiştir. Hesaplamalı akışkanlar dinamiği ile 3 farklı kanat açısının ortam koşullarının değişimi üzerindeki etkisinin araştırıldığı çalışmada  $0^{\circ}$ - $0^{\circ}$ - $45^{\circ}$  ve  $0^{\circ}$ - $22.5^{\circ}$ - $45^{\circ}$  kanat açısına sahip menfezlerde, istenilen ortam koşullarına yakın değerler elde edilmiştir [14].

Balık gibi çabuk bozulan ürünlerin depolama sırasında kalitesi ve güvenliği büyük ölçüde sıcaklık ve sıcaklık dalgalanmalarına bağlıdır. Margeirsson ve Arason (2008) yaptıkları çalışmada, gerçek ölçekli balık depo edilen soğuk depolar ve konteynerlerdeki sıcaklık dağılımı, sıcaklık kaydediciler ile 1 – 3 hafta boyunca kaydetmişlerdir. Bazı soğuk hava depolarında önemli sıcaklık dalgalanmaları gözlemlenirken, konteynerlerdeki sıcaklığın, soğutma elemanlarının uzaklaştırıldığı aralıklar dışında daha sabit olduğu belirlenmiştir. Bina dışındaki rüzgâr hızının etkisini ve soğuk depo girişlerinden birinin dışına bir koridor eklenmesi durumu için soğuk hava depolarından bir tanesi göz önüne alınarak, hava akışı ve sıcaklık dağılımının sayısal modellemesi, Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (CFD) kodu Fluent kullanılarak yapılmıştır. Simülasyonlar, girişin önüne bir koridor eklenmesinin kapı açma sırasındaki sıcaklık dağılımı üzerinde çok olumlu sonuçlar verdiğini göstermiştir [15].

Patateslerin depolanması sırasında hava hızı, ürün sıcaklığı ve nem kaybının deneysel değerlerinin, CFD modeli oluşturularak elde edilen model tahmin değerleri ile iyi bir uyum içinde olduğu Chourasia ve ark. (2007) tarafından yapılan çalışmada bulunmuştur. Dolayısıyla oluşturulan modellemeler, yığın içindeki olası soğuk noktaların yanı sıra sıcak noktaların belirlenmesi için kullanılabilirliği gösterilmiştir. Hava dağılımı

nın nispeten zayıf olduğu üst üste yığınlarda, kararlı durumdaki bağıl nemin çevredeki havaya kıyasla yaklaşık %7 düşmektedir ve bu tür yığınların ciddi nem kaybına maruz kalacaklardır. Soğuk hava deposundaki soğutma serpantinleri ve tavan fanlarının soğuk havayı depolama odası boyunca eşit şekilde dolaştıramadığı açıkça gösterilmiştir. Mevcut modelleme stratejileri, tek tip bir hava dağılımı ve dolayısıyla tek tip ürün sıcaklığı ve depolama odası boyunca nem kaybı elde etmek amacıyla soğutma serpantinlerinin ve tavan fanlarının konumunu optimize etmek için kullanılabilir [16]. Optimum patates yığını yüksekliğinin seçilmesinin yığınlar boyunca havanın hareketini iyileştirebileceğini ve ayrıca yığın içindeki ısı transferini iyileştirebileceğini ortaya koyulmuştur. Patates kalite parametrelerini iyileştiren 3 ve 6 m istif yüksekliği uygulamaları ile yığın içi sıcaklık azalmıştır [17].

Kaya ve ark (2013) tarafından, yazılım programı ve hesaplamalı akışkanlar dinamiği programı ile bilgisayar destekli analizler yapılmıştır. İki farklı programla elde edilen sonuçlar yakın bulunmuş ve analizlerin kullanılabilirliği gösterilmiştir. Deney için seçilen 2 m/s fan hızının yerine 1 m/s hızda olması, boş kabin içinde daha fazla homojen sıcaklık dağılımı sağlayacağı görülmüştür. Elde edilen yüksek yakınsama sebebiyle analiz programları kullanılarak farklı gıda maddelerinin depolama şartlarına uygun sıcaklık ve bağıl nem değerlerine bağlı olarak hava hızları, evaporatör yerleşim yerleri, çalışma süresi, enerji tüketimine bağlı olarak verimlilik analizleri gibi tespitler kolaylıkla gerçekleştirilebileceği belirtilmiştir [9].

Soğutma hızının tahminin yanı sıra, depolanan meyvenin olgunlaşması için oluşturulan modellerin, CFD analizi kullanarak sıcaklık dağılımı ve akış tahminleri ile birlikte daha iyi sonuçlar vereceği saptanmıştır [18].

Maurya ve ark. gerçekleştirdikleri deneysel çalışma için, boş bir soğuk hava deposunda evaporatör, kanal ve fanlardan oluşan bir düzenek hazırlamışlardır. Evaporatör fanından atılan havanın odanın uç kısmına, haznede yapay hava akımı oluşturmak için düşük basınç alanı oluşturan aksel fan ile donatılmış kanallar kullanılmıştır. Evaporatör konumunun karşısındaki odanın en uzak ucuna yerleştirilen kanallarla, 2 farklı deney düzeneği oluşturulmuştur. Birinci düzenekteki kanal düz duvarlı olup yuvasız, diğer kanal ise odaya bakan tarafta eşit aralıklı yuvalara sahiptir. Deneysel çalışmada akış hızı, depo içine yerleştirilen ölçüm cihazıyla dikey düzlem boyunca farklı konumlarda ölçülmüştür. Soğuk hava depolarında kanallı kanal sayesinde hava akışı iyileştiği ve CFD çalışmasının, farklı tasarım parametrelerinin sıcaklık alanları ve soğuk hava deposu içindeki akış üzerindeki etkilerini tahmin etmede en iyi olduğu kanıtlanmıştır [19].

Soğuk depolamalar sırasında önemli kriterlerden bir tanesi de ürünlerin yerleşim düzenleridir. MajidSajadiyea ve ark. (2017) çalışmalarında palet kutusu düzenlemesinin, soğutma performansı üzerindeki etkisini göstermek için hesaplamalı akışkanlar dinamiği modelleri deneylere alternatif olarak uygulamış ve çalışmada palet kutuları

ve soğutma havası akışı arasındaki uzunlamasına boşluklar yaygın olarak uygulanan üç seviyede (alt, orta ve üst) değişiklik göstermiştir. Çalışma sonucunda, kademeli dizinin palet kutuları duvarındaki yüzey ısı transfer katsayısını %18'den %53'e çıkardığını ve bunun da hat içi ile karşılaştırıldığında  $\frac{3}{4}$  soğutma süresinde %28 ila %38 azalmaya neden olduğu göstermişlerdir. Ayrıca boylamsal boşlukların 0,1 m'den 0,25 m'ye artmasının,  $\frac{3}{4}$  soğutma süresinde %10 azalmaya neden olduğunu göstermiştir. 0,25 m'den fazla artış, soğutma performansında makul bir gelişme göstermediği belirtilmiştir [20].

Bu çalışma literatür yer alan çalışmalardan farklı olarak, bir entegre soğuk hava tesisinde yer alan, mandalina muhafaza edilen bir soğuk odanın evaporatör konumlarının, sıcaklık ve hava dolanım hızlarına etkisi CFD analizi ile incelenmiştir.

## 2. MATERYAL – METOT

### 2.1 Soğuk Hava Deposu

Deneysel çalışma Selçuk Belediyesi Deppo EFES soğuk hava tesislerinde gerçekleştirilmiştir. 40 bin metrekare alan üzerine kurulan Deppo Efes'in, 14 bin m<sup>2</sup> kapalı alanı, 4 bin m<sup>2</sup> yükleme alanı 14 bin 600 m<sup>2</sup> inşaat alanı, 5 bin 540 m<sup>2</sup> depo alanı bulunuyor. 3 bin 600 m<sup>2</sup> meyve sebze işleme holü, 4 ü sarartma özellikli 25 soğuk odaya sahip tesisin, toplam saklama kapasitesi 10 bin tondur. Deppo EFES soğuk hava deposu Resim 1 de verilmiştir.

Deneysel çalışmada sıcaklık ve hava hızları ölçümü tesisin 25 soğuk odasından birinde 10x20x8 m ölçülerinde panel ile bölümlenmiş tip soğuk odasında gerçekleştirilmiştir. Soğuk oda görüntüsü Resim 2'de verilmiştir.



**Resim 1.** Selçuk Belediyesi Deppo EFES Soğuk Hava Deposu





**Resim 2.** Soğuk Oda

Odanın yapısı ve çalışma kabulleri  $-5^{\circ}\text{C}$  Evaporatör/ $+40^{\circ}\text{C}$  kondenser çalışma aralığı sahip soğuk deponun  $10 \text{ m} \times 20 \text{ m} \times 8 \text{ m}$  ölçülerinde, yalıtım malzemesi Poliüretan olup kalınlığı  $10 \text{ cm}$ 'dir. Deppo EFES soğuk hava deposunda  $1620 \text{ kW}$  kapasiteli amonyaklı soğutma sistemi kullanılmaktadır.

### **2.1.1 Soğuk Hava Deposu Deneysel Parametreler**

Soğuk oda hız ve sıcaklık verileri, kullanılan programın sayısal analizi için gerçek ölçüm noktalarından alınmıştır. Evaporatör çıkış hızı değerleri Testo 435 Çok Fonksiyonlu Anemometre ile ölçüm alınmıştır.



**Resim 3.** Dijital Anemometre ile Evaporatör Çıkış Hızı Ölçümü

Soğuk hava tesisinde yapılan deneysel çalışmalarda, dijital anemometre probu yardımıyla hava hızı ölçümleri anlık olarak gerçekleştirilmiştir. Kullanılan Anemometre teknik özellikleri, ölçüm aralıkları ve hassasiyet oranları Tablo 1’de verilmiştir.

Anemometre ile birlikte kullanılan Prob, Testo marka Pervane tip teleskopik hava hızı ölçüm probu  $\varnothing$  60mm çap pervane ve maksimum 910mm’ye uzayabilen teleskopik sap olup, ölçüm aralığı/hassasiyeti 0,25-20 m/s’dir.

Sıcaklık değerleri Testo marka 875-1i model termal kamera kullanılarak termal görüntüleme yöntemi ile belirlenmiştir. 9 Hz görüntü yenileme hızı ve 8...14m spektral band aralığında, -15...+40°C ve %20...%80 RH ortam şartlarında kullanılabilen, Termal Kamera teknik özellikleri Tablo 2’de verilmiştir.

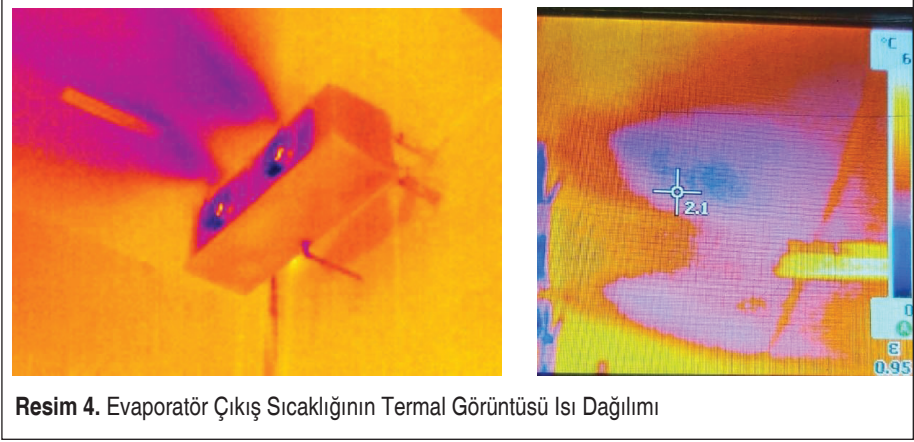
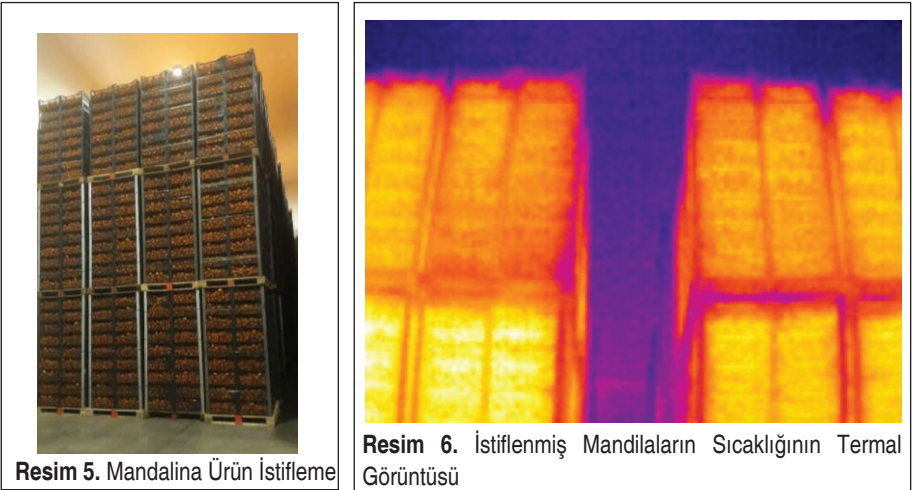
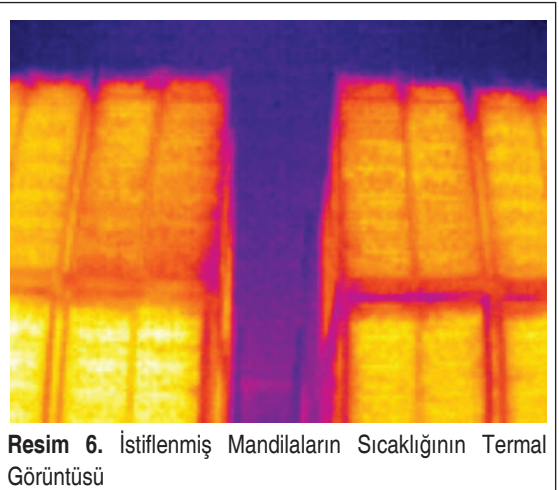
**Tablo 1.** Anemometre Teknik Özellikleri

| Ölçülebilen parametreler:     | Ölçüm aralığı:                      | Hassasiyet:  |
|-------------------------------|-------------------------------------|--|
| Sıcaklık (NTC)                | -40...150 °C                        | 0,2C (-25...75C arası)   |
| Sıcaklık (K)                  | -200...1370 K                       | 0,3C (-60...60C arası)   |
| Bağıl nem                     | 0...100 %RH                         | 3%RH   |
| Hava hızı (Pervane)           | +0.25 ... +20 m/sn                  | $\pm 0.3$ °C   |
|                               | Çalışma sıcaklığı<br>-20 ... +60 °C | $\pm 2$ %RH (+2 ... +98 %RH)<br>0 $\pm(0.03$ m/sn +4% ölç.değ.)                              |
| Hava hızı (Hot wire)          | -20 ... +70 °C                      | $\pm 0.3$ °C   |
|                               | 0 ... +100 %RH<br>0 ... +20 m/sn    | $\pm 2$ %RH (+2 ... +98 %RH)<br>$\pm(0.03$ m/sn +4% ölç.değ.)                                |
| CO <sub>2</sub> seviyesi (IR) | 0 ... +50 °C                        | $\pm 0.3$ °C   |
|                               | 0 ... +100 %RH                      | $\pm 2$ %RH (+2 ... +98 %RH)   |
|                               | 0 ... +10000 ppm CO <sub>2</sub>    | $\pm(75$ ppm CO <sub>2</sub> $\pm 3\%$ ölç.değ.) (0 ... +5000 ppm CO <sub>2</sub> )          |
|                               | +600 ... +1150 hPa                  | $\pm(150$ ppm CO <sub>2</sub> $\pm 5\%$ ölç.değ.)<br>(+5001 ... +10000 ppm CO <sub>2</sub> ) |
| Fark Basıncı                  | 0 ... +2000 hPa                     | $\pm 3$ hPa<br>$\pm 5$ hPa   |

**Tablo 2.** Termal Kamera Teknik Özellikleri

|                        |                           |
|------------------------|---------------------------|
| Ölçüm aralığı          | 20 ile +350°C             |
| Termal duyarlılık      | <0,05°C @ 30°C NETD <50mK |
| Hassasiyet             | ± 2°C veya ±2%            |
| Min. Odaklama uzaklığı | 0,1 m                     |

Termal kamera ile evaporatör çıkış sıcaklıklarının görüntüsü ve evaporatör çıkış havası fotoğrafları Resim 4’te verilmiştir.

**Resim 4.** Evaporatör Çıkış Sıcaklığının Termal Görüntüsü Isı Dağılımı**Resim 5.** Mandalina Ürün İstifleme**Resim 6.** İstiflenmiş Mandılların Sıcaklığının Termal Görüntüsü

**Tablo 3.** Deneysel Ölçüm Parametreleri ve Birimleri

| Deneysel ölçüm parametreleri ve birimleri | Değeri    |
|---|-----------|
| Ürün Sıcaklığı (°C)                       | + 5 °C    |
| Evaporatör üfleme sıcaklığı (°C)          | +1 °C     |
| Evaporatör üfleme hızı (m/s)              | 13 m/s    |
| Ürün miktarı (kg)                         | 158400 kg |

Deneysel çalışmanın gerçekleştirildiği soğuk odada yer alan ürünlerin ve ürünlerin istiflenme biçimleri Resim 5'te ve ürünlerin sıcaklıklarının termal kamera görüntüsü Resim 6'da verilmiştir.

Deneysel çalışmalarda sıcaklık ve hız anlık ölçümleri kayıt altına alınmıştır. Evaporatör hava hızı 13 m/s ve soğuk oda içi sıcaklığı 5 °C ortalama olarak belirlenmiştir ve CFD analizinde de kullanılan ölçüm sonuçları Tablo 3'te verilmiştir.

## 2.2 Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (CFD) Analizi

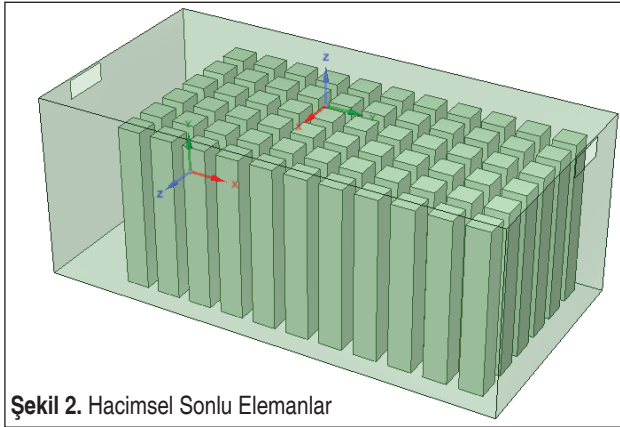
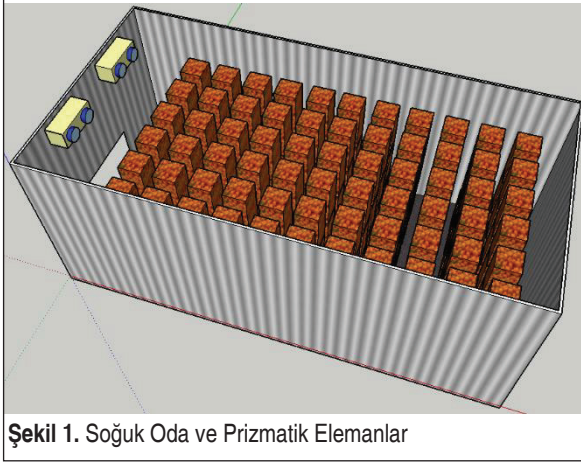
Soğuk hava depolarında, sağlamak istenilen ortam şartlarının iyi analiz edilememesi, ürünlerde bozulmaya, raf ömrünün kışalmasına, ağırlık ve enerji kayıplarına sebep olur. Depolardaki ısı / kütle transferi ve hava akışının anlaşılması, aynı anda hareket eden birbirine bağlı birkaç faktör nedeniyle karmaşık bir denklem oluşturur [3]. Hava akışında kararlı durum için Naiver-Stokes denklemleri, laminer rejimdeki hızı ve basınç alanlarını tahmin eder. Ancak hava akışında, küçük girdaplar ve türbülansın oluşumu değişken Reynolds sayılarına yol açar ve bu denklemin analitik çözümünü imkansızlaştırır. Böyle bir durumda CFD modellerinden LES, DES ve DNS deneysel değerlerle iyi sonuçlar ve en iyi uyumu sağlasa da büyük hesaplama kapasitesi ve zaman gerektirmesi sebebiyle araştırmacıların çoğu, soğuk depolama simülasyonu için RANS (Reynolds ortalama Naiver-Stokes formülasyonu) modelini tercih etmektedir. RNG K-ε ve k-ε modeli, yaklaşık%24 hata ile sonuçlar sağlar, bu model düşük hesaplama kapasitesi gerektirdiğinden, modelleme için kullanımı kolaydır [5]. Bu çalışmada da k-ε türbülans modeli kullanılarak CFD analizleri gerçekleştirilmiştir. Zamandan bağımsız olarak yapılmıştır. Soğuk hava deposundaki hava akışı ve korunacak malzeme depolama şekli ön planda tutularak akış ve sıcaklık aktarımının şekli ön planda tutulmuştur.

Deneysel çalışmaların gerçekleştirildiği soğuk hava deposunun, depolama alanı, ürün istifleme ölçüleri ve kabul edilen şartlar;

1. Soğuk oda hava deposu ölçülerini 10 m × 20 m ve yükseklik 8 m'dir.

2. Oda içerisinde kullanılan paletler  $1\text{ m} \times 1\text{ m}$  ölçülerinde, depolama yükseklikleri 2 m ve 3 palet üst üste yerleştirilmiş olup toplam yükseklikleri 7 m'dir
3. Palet tabanı ile oda dış duvarları arasında 1 m mesafe bırakılmıştır.
4. Palet aralarında 50 cm boşluk bırakılarak yerleştirilmiştir.
5. Depolama hacminde toplam 198 adet palet yerleştirilmiştir. Toplam 160 ton ağırlığında mandalina hesaplara katılmıştır.
6. Depo çalışma sıcaklığı  $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$  olarak planlanmıştır.
7. Kapı kapalı olarak kabul edilerek sistem simülasyonu yapılmıştır.

Sayısal analizler için mandalina istifleri prizma elemanlar olarak çizilmişlerdir. Analizde kullanılan ve deneysel ölçümleri gerçekleştirilen soğuk oda Şekil 1'de gösterilmiştir. Modelin hacimsel olarak sonlu elemanlara ayrılmış hali Şekil 2'de verilmiştir.



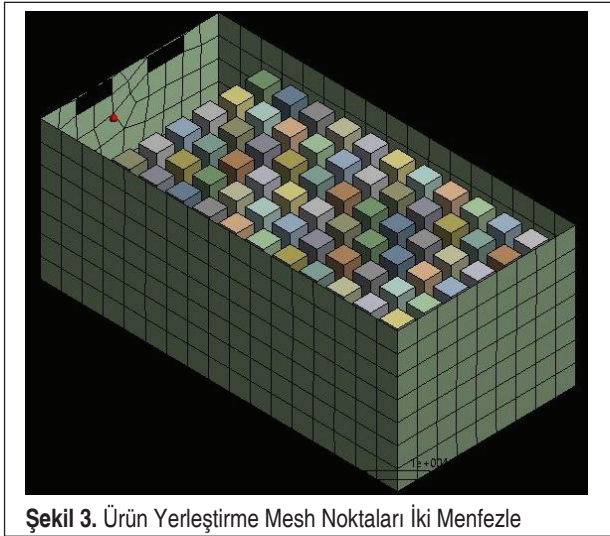
### 2.2.1 Soğuk Oda Diferansiyel Parçalara Ayrılması

Fiziksel büyük bir parçanın daha küçük bir parçalar haline bölünerek tanımlanmasına mesh üretme olarak tanımlayabiliriz. Mesh üretmekte amaç fiziksel tanımlamaların diferansiyel çözümlerini kolaylaştırmaktır. Mesh işlemlerimizde Termal dağılımları, vektörel akış değerlerine elde edilecek sonuçlara yaklaşık doğruluk sağlar. Analiz işlemlerinde doğruluğu kullanılan malzeme türüne, büyüklüğüne ve sayısına bağlıdır.

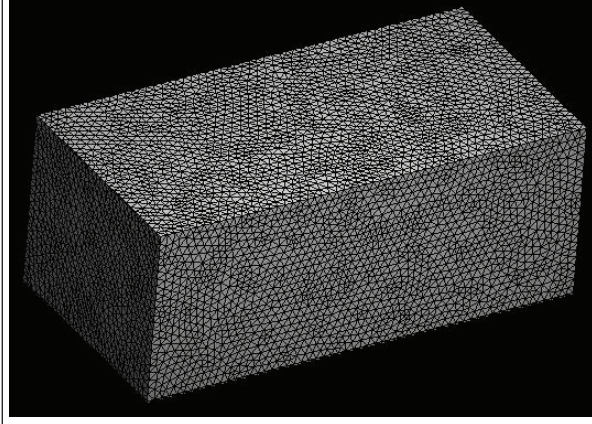
Soğuk hava deposunda çözüm ağ yapısının oluşturulmasında göz önünde bulundurulmuş kalite kriterleri ortogonal kalite,  $y^+$  değeri ve çarpıklık olarak sıralanır. Soğuk hava deposu evaporasyonunda, hava akışının davranışının doğru bir şekilde incelenmesi için sınır tabaka yapısı oluşturuldu. Analiz sırasında nümerik stabiliteyi doğrudan etkileyen parametre ortogonal kalite değeridir. Ortogonal kalite 0.50 olarak analiz yapılmıştır.

Sınır tabakasının ağ elemanlarının kalitesinin değerlendirilmesini sağlayan parametre  $y^+$  değeri 4 alınmıştır. Çözüm ağ kalitesini etkileyen en önemli parametre çarpıklık değeridir. Çalışmamızda 0,846 alınarak ideal geometrik değerler alınmaya çalışılmıştır. Mesh sayısı, cihaz için ölçümler alınmış hata payı %0,02 dolayısıyla sıcaklık  $\pm 0,1$  derecedir.

Gerçekleştirilen analizlerde, evaporatör konumları farklı konumlarda alınarak meshler sınıflandırılmıştır. Evaporatörlerin konumları ile malzeme konumlandırması için, meshlerin soğuk akışına etkileri ve ısı toplanmaları konusunda yüzeydeki tepkiler baz alınmamıştır. Değerlendirmelerimizde kullanılan mesh görüntüleri; iki menfezle ürün yerleştirme Mesh noktaları Şekil 3'te ve soğuk oda Mesh noktaları Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 3. Ürün Yerleştirme Mesh Noktaları İki Menfezle



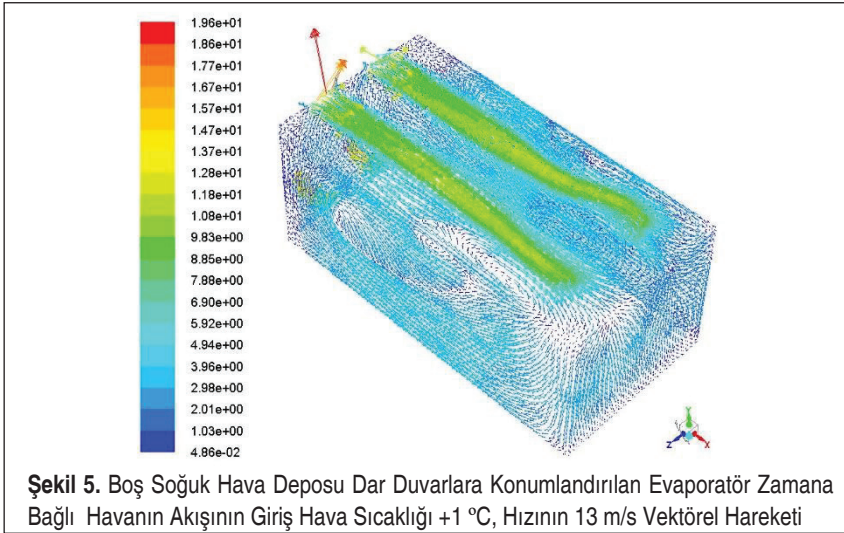
Şekil 4. Mesh Noktaları

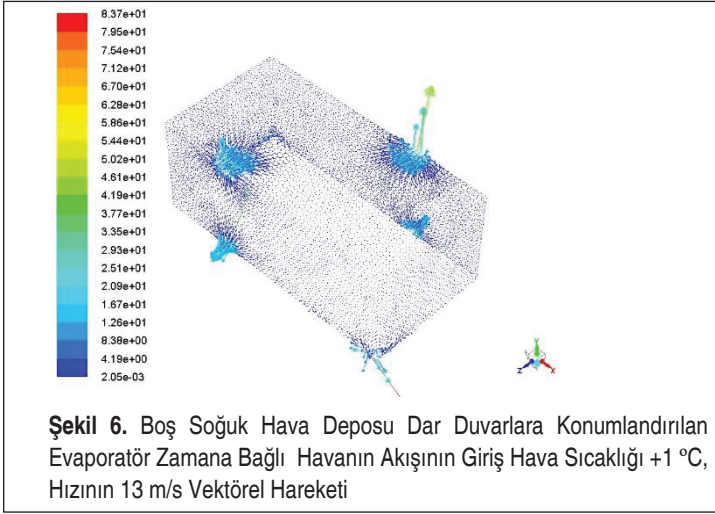
### 3. ANALİZ SONUÇLARI

Deneysel çalışmalarda elde edilen veriler kullanılarak, analizlerde, evaporasyon işleminde hava akışının depo içerisine giriş hızı 13 m/s olarak kabul edilmiştir. Giriş hava sıcaklığı +1 °C, ürün sıcaklıkları +5 °C olarak kabul edilmiştir.

#### 3.1 Dar Duvarda Bir Yönden Evaporatör Yerleşimi

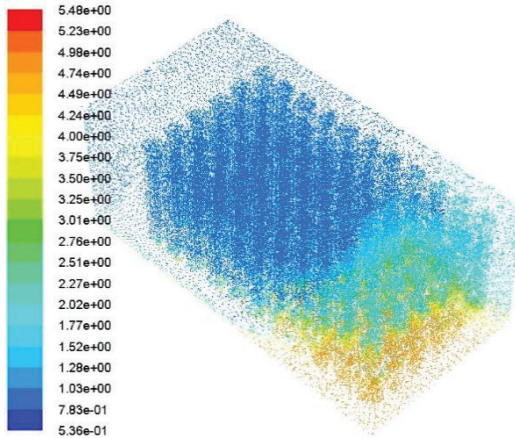
Soğuk hava deposunda, Dar duvara ve tek yöne yerleştirilen evaporatörlerle, ürün olmaması durumu için, CFD analizlerinden elde edilen sıcaklık dağılımı Şekil 5 ve hava dağılımı Şekil 6'da verilmiştir.





Soğuk depoda dar duvara tek taraflı olarak konumlandırılan evaporatörlerden elde edilecek soğutma etkisini gösteren vektörel dağılımdan, oda ortasında soğutma etkisini artığı gözlemlenmiştir.

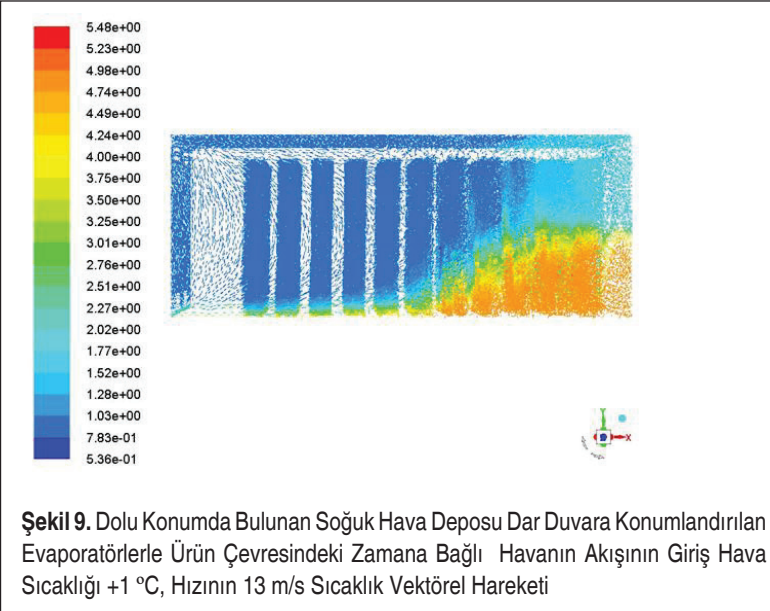
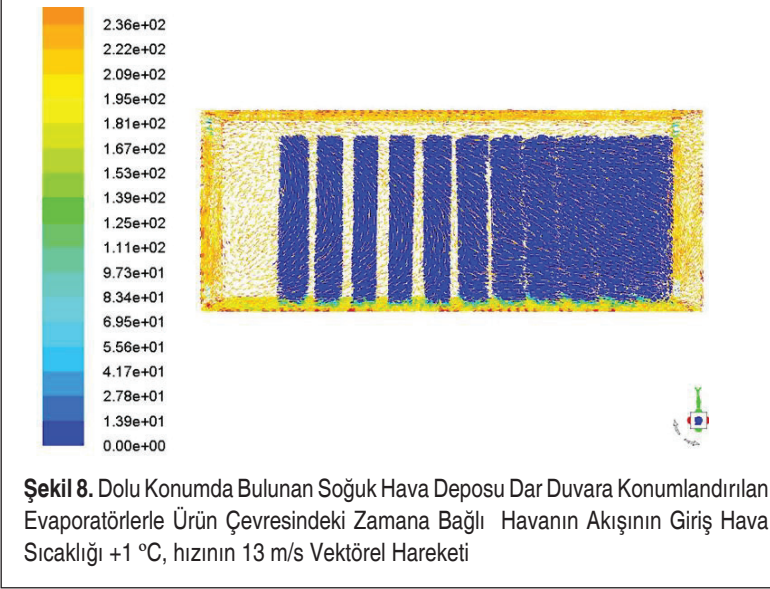
Buna paralel olarak hava sirkülasyonu hızı orta noktalarda artmaktadır. Sıcaklık dağılımının eşit olarak rijit dağıldığı gözlemlenmiştir. Bu tip evaporatör konumlandırılmasında, hava hızı yeterli düzeyde tutulmalıdır. Yetersiz olduğunda sıcaklık dağılımı rijitliği bozulacak ve soğuma yavaş olacaktır. Aynı konumdaki evaporatörlerin, ürün istiflenmesinden sonra sıcaklık dağılımı Şekil 7’de verilmiştir.

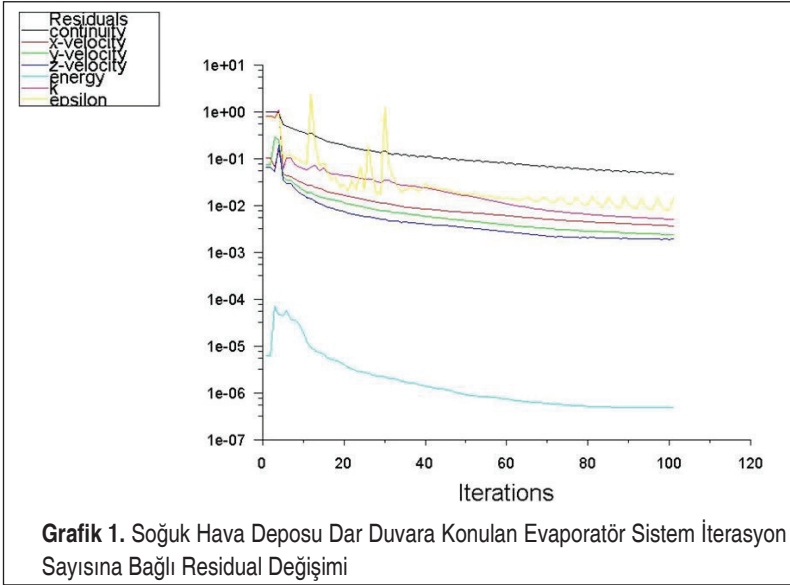




Şekil 7’de görüldüğü üzere, analizde sıcaklık dağılımı belli bir bölgede toplanmakta ve sirkülasyon rijit olamamaktadır.

Ürün çevresinde oluşan, vektörel olarak hava sirkülasyonu Şekil 8’de ve sıcaklık dağılımı Şekil 9’da verilmiştir. Vektörel dağılımlardan da anlaşılacağı gibi hava ve sı-





caklık dağılımları rijit olmamaktadır. Özellikle evaporatör yerleşiminin karşısındaki duvara yakın olan konumdaki ürünlerde kayıplar oluşabilir. Dolayısı ile depolama ve enerji maliyeti artabileceği gözlemlenmiştir.

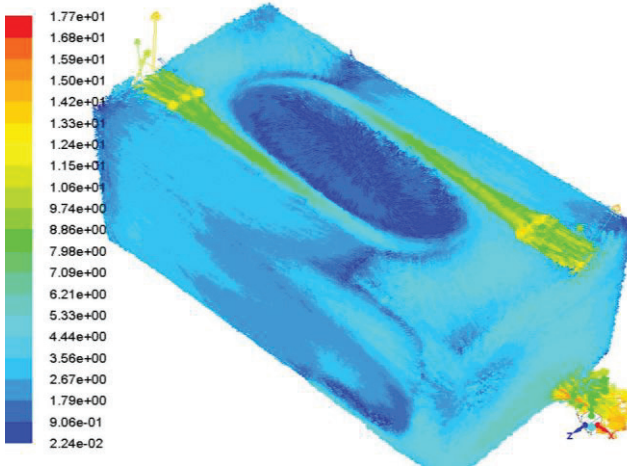
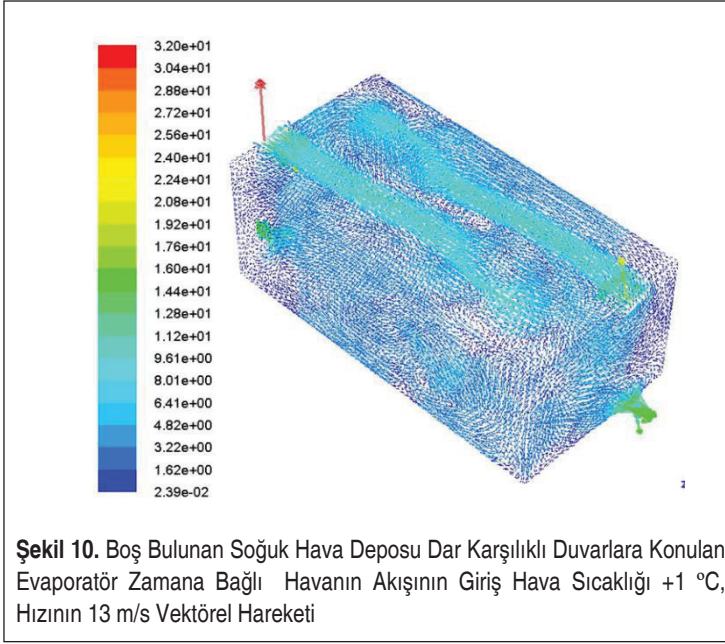
Yapılan analizin iterasyon durumu Grafik 1’de yer almaktadır. Grafik incelendiğinde, mesh sayısına bağlı olarak, yaklaşık 80 ile 100 iterasyon arasında, analizin yakınsadığı görülmektedir.

Hava sirkülasyonu malzeme çevresinde türbülans olarak akış göstermektedir. Depolanan malzemenin kurumasına sebep olma ihtimali vardır.

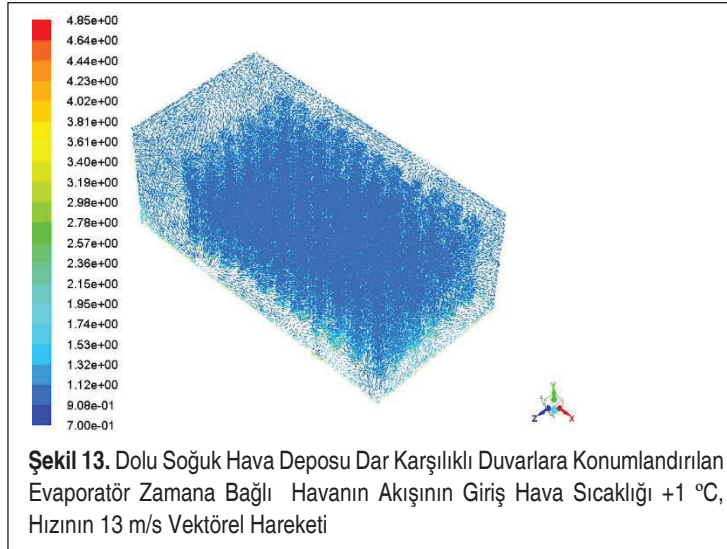
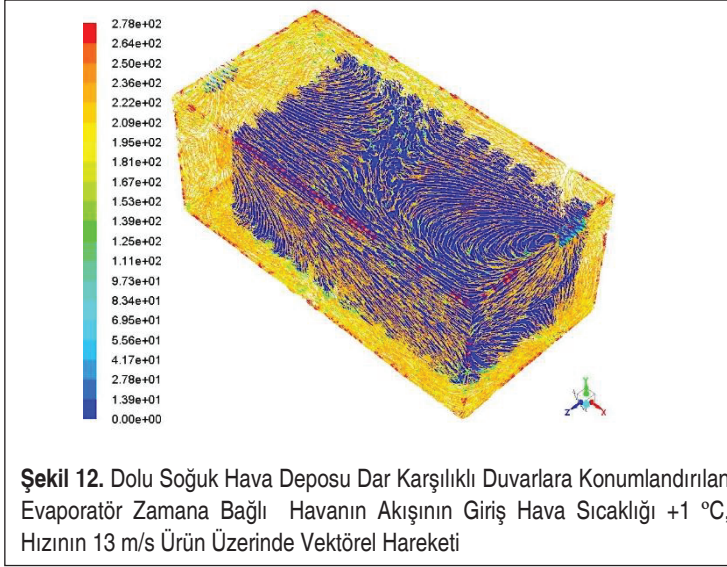
Dar duvara konumlandırılan evaporatörlerde hava akışının sağlanması için hava hızının yeterli olması gerekmektedir. Hava hızının yetersiz olması halinde sıcaklık dağılımı yetersizliğinden bozulma gerçekleşebilir. Dip bölgelerde hava akışı düzgün olmamaktadır. Bu sebeple evaporasyonda yeterli hava hızı sağlanmalıdır. Depolama alanı orta merkezde olması akışa engel değildir. Dip bölgelerde hava akışı için gerekli boşluklar bırakılmalıdır.

### 3.2 Dar Duvarda Karşılıklı Yönlerden Evaporatör Yerleşimi

Evaporatör konumları dar ve karşılıklı olması durumunda sıcaklık ve hava dağılımları CFD ile analiz edilmiştir. Yapılan analizlerde sadece evaporatör konumları değiştirilmiştir. Yapılan kabuller ve ölçüm sonuçları her konum için aynı kabul edilmiştir. Analizler öncelikle ürün yüklenmeden önceki durum için yapılmış, hava dağılımı Şekil 10’da ve sıcaklık dağılımı Şekil 11’de verilmiştir.

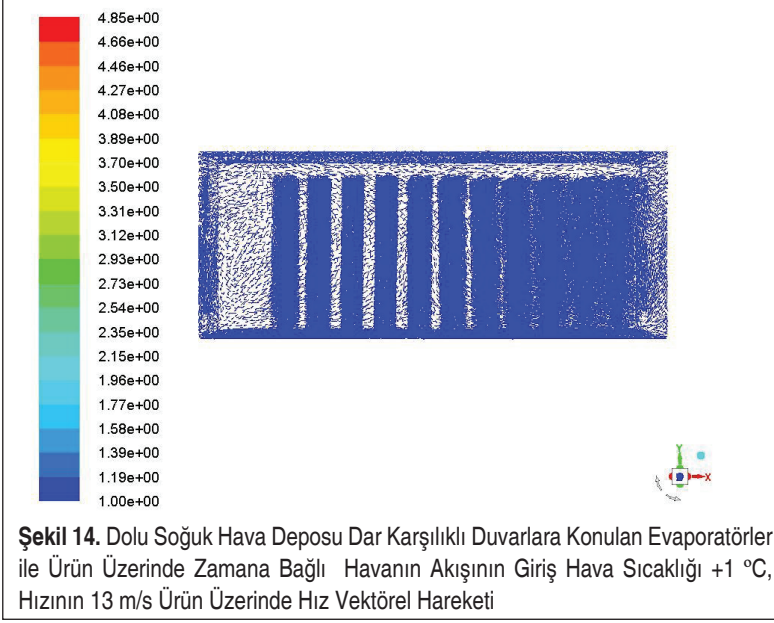


Karşılıklı ve dar duvarlara konulan evaporatörlerde hava sirkülasyonu hızı orta noktalarda arttığı ve eşit yoğunlukta olduğu görülmektedir. Sıcaklık dağılımı eşit olarak



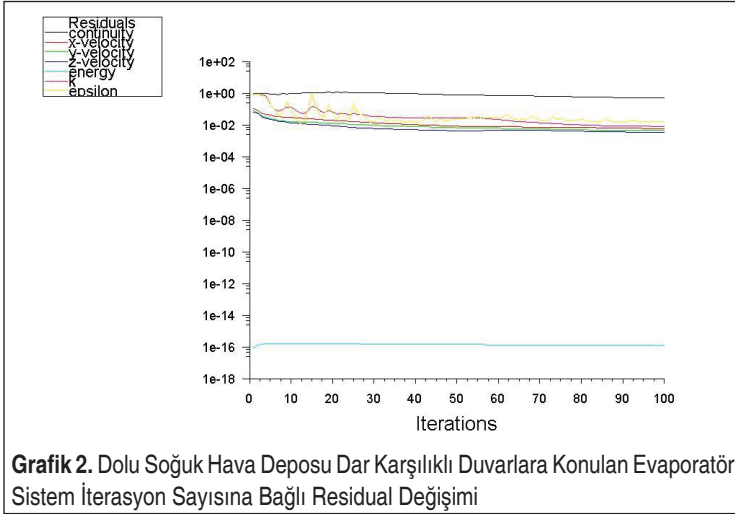
rijit dağıldığı gözlemlenmiştir. Dar duvara konumlandırılmış tek evaporatörlü analize göre, daha uygun sıcaklık ve akım dağılımı gözlemlenmektedir.

Soğuk hava deposunda malzeme depolaması yapıldığında karşılıklı ve dar duvarlara konumlandırılan evaporatörlerde hava sirkülasyonu hızı orta noktalarda arttığı ve hava akışının türbülans olarak dağıldığı gözlemlenmiştir ve Şekil 12’de verilmiştir. Ürün



istiflemesi sıcaklık dağılımı incelendiğinde, dar duvara konumlandırılmalı tek evaporatörlü analize göre, daha uygun soğutma durumunun gerçekleştirilebileceği ve istiflenen ürünlerin her konumunda rijit bir sıcaklık dağılımı elde edildiği Şekil 13 ve 14'te görülmektedir.

Soğuk hava deposunda sıcaklık dağılımı eşit olarak dağılmıştır. Sıcaklık dağılımı de-



polama alanında toplanmaktadır. Denge halinde kalmaktadır. Evaporatör çıkış sıcaklıklarının depolama sıcaklıklarına yakın olması durumunda, yeterli ve uygun depolama şartları sağlanabilir.

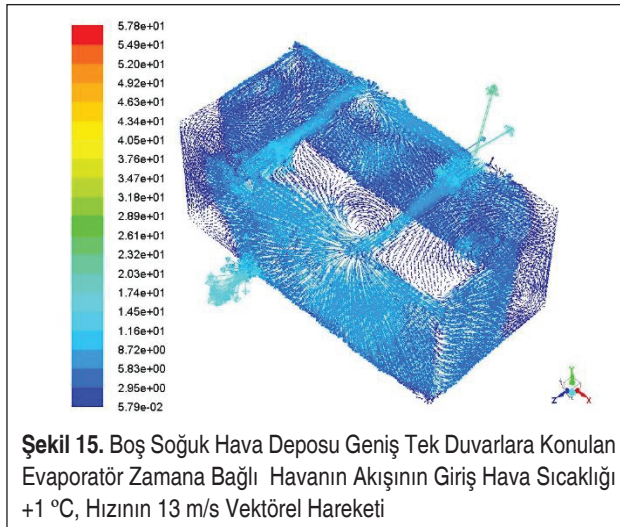
Yapılan analizin iterasyon durumu, Grafik 2. incelendiğinde, dar duvara konumlandırılan tek evaporatörlü analize göre, daha az sayıda iterasyonda yakınsama elde edildiği görülmektedir.

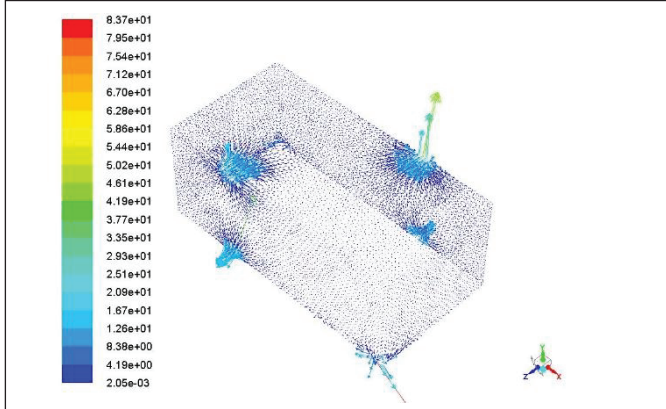
Hava sirkülasyonu malzeme çevresinde laminer olarak akış göstermektedir. Depolanan malzemenin eşit oranda dağılmaktadır. Dar duvara karşılıklı konumlandırılan evaporatörlerde hava akışının sağlanması için hava hızının düşük olması gerekmektedir. Hava hızının yüksek olması merkez noktalarda türbülansa dönmesine sebep olmaktadır. Hız yüksek olması halinde sıcaklık dağılımı yetersizliğinden bozulma gerçekleşebilir. Evaporasyonda yeterli hava hızı, düşük olmalıdır. Dip bölgelerde hava akışı düzgün olmamaktadır ve bu bölgelerde hava akışı için gerekli boşluklar bırakılmalıdır. Depolama alanı orta merkezde olması akışa engel değildir

### 3.3 Geniş Dar Duvarda Tek Yönden Evaporatör Yerleşimi

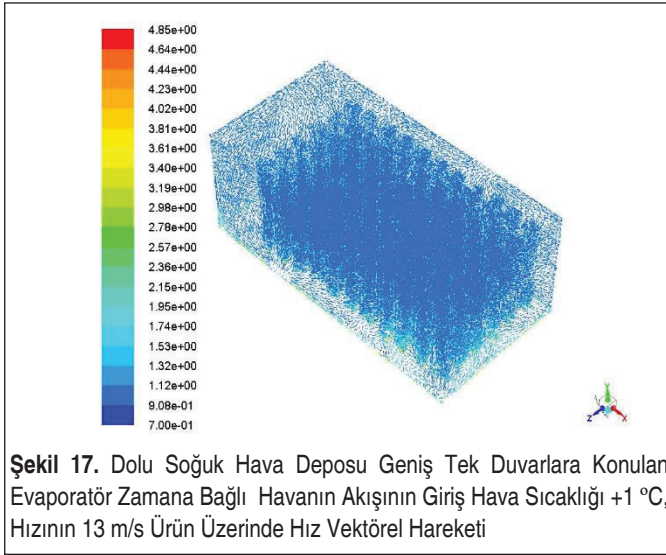
Geniş duvara konulan evaporatörlerde hava sirkülasyonu hızı orta noktalarda artığı hızın fazla olması sebebiyle Şekil 15'te görüleceği gibi akış karşı duvardan dönmektedir. Akış rijit olarak dağılmayıp köşe noktalarda türbülans oluşturmaktadır.

Geniş duvara konulan evaporatörlerde sıcaklık dağılımı rijit olarak dağıldığı ve köşe noktalarda birikme olduğu Şekil 16'da gösterildiği gibi gözlemlenmiştir.





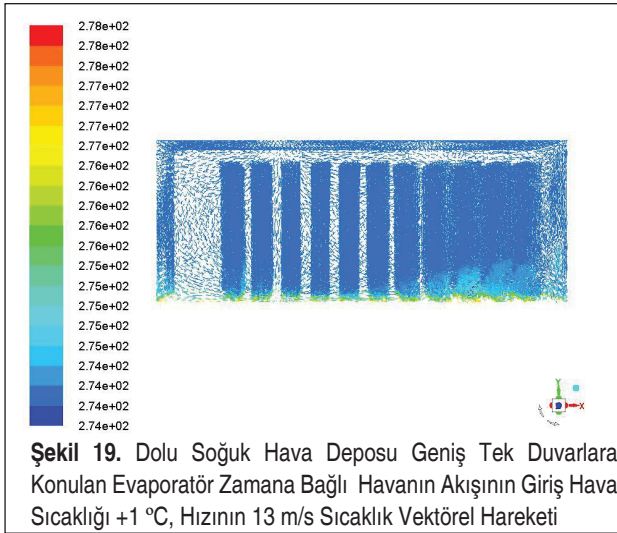
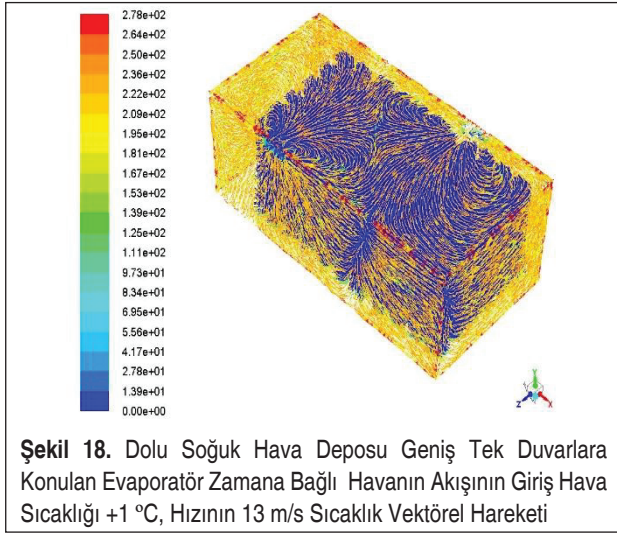
**Şekil 16.** Boş Soğuk Hava Deposu Geniş Tek Duvarlara Konulan Evaporatör Zamana Bağlı Havanın Akışının Giriş Hava Sıcaklığı +1 °C, Hızının 13 m/s Vektörel Hareketi



**Şekil 17.** Dolu Soğuk Hava Deposu Geniş Tek Duvarlara Konulan Evaporatör Zamana Bağlı Havanın Akışının Giriş Hava Sıcaklığı +1 °C, Hızının 13 m/s Ürün Üzerinde Hız Vektörel Hareketi

Soğuk hava deposuna ürün yerleşiminden sonra, sıcaklık dağılımı eşit olarak dağılmıştır. Sıcaklık dağılımı depolama alanında toplanmaktadır. Denge halinde kalmaktadır. Bu tarzda montajlarda ürünlerin orta alanda toplanması uygundur.

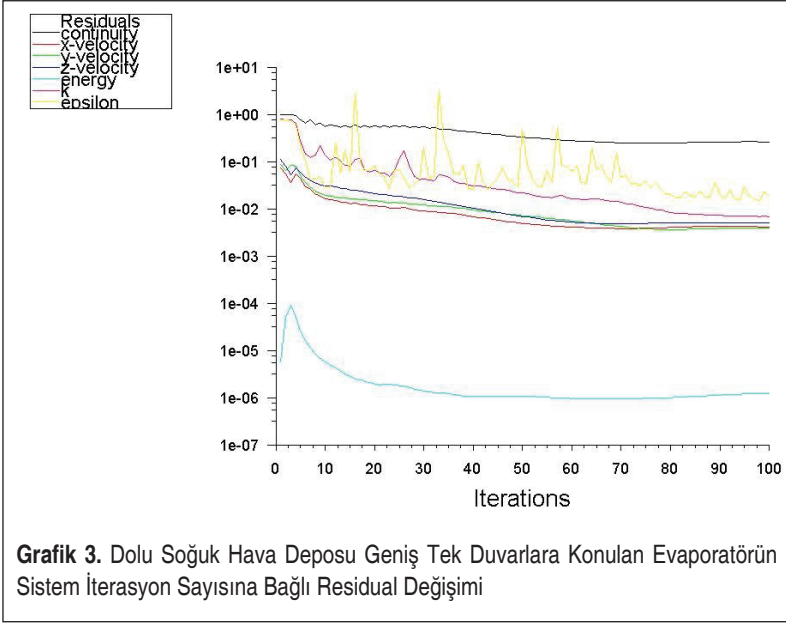
Ürün istiflemesi sıcaklık dağılımı incelendiğinde, dar duvara konumlandırılmalı tek evaporatörlü analize göre, daha uygun soğutma durumunun gerçekleştirilebileceği ve istiflenen ürünlerin her konumunda rijit bir sıcaklık dağılımı elde edildiği Şekil 17’de görülmektedir.



Soğuk hava deposunda malzeme depolaması yapıldığında geniş duvara konulan evaporatörlerde hava sirkülasyonu hızı orta noktalarda arttığı Şekil 18’de görülmektedir. Hava akışının türbülans olarak dağıldığı gözlemlenmiştir. Kenar noktalarda akış yavaşlamaktadır.

Şekil 19 incelendiğinde, ürün istiflemesi sıcaklık dağılımının, dar duvara konumlandırılmalı tek evaporatörlü analize göre, daha uygun soğutma durumunun gerçekleşebileceği ancak dar duvara yerleştirilen karşılıklı evaporatörlere göre homojen bir sıcaklık dağılımı elde edilemediği görülmektedir.





Yapılan analizin iterasyon durumu incelendiğinde, mesh sayısına bağlı olarak, yaklaşık 80 ile 100 iterasyon arasında, analizin yakınsadığı görülmektedir.

Hava sirkülasyonu malzeme çevresinde türbülans olarak akış göstermektedir. Depolanan malzemenin eşit oranda dağılmamaktadır.

Geniş duvara konumlandırılan evaporatörlerde hava akışının sağlanması için hava hızının düşük olması gerekmektedir. Hava hızının hızlı olması merkez noktalarda türbülans oluşmasına sebep olmaktadır. Hız yüksek olması halinde sıcaklık dağılım yeterliliğinden bozulma gerçekleşebilir. Dip bölgelerde hava akışı düzgün olmamaktadır.

Evaporasyonda yeterli hava hızı, düşük olmalıdır. Depolama alanının orta merkezde olması akışa engel değildir. Dip bölgelerde hava akışı için gerekli boşluklar bırakılmalıdır.

## SONUÇ

Gıda Ürünlerinin sağlıklı bir şekilde besin değerlerini en az kayıp ile saklandıkları tesisler soğuk odalardır.

Soğuk odada evaporatör ile hava sıcaklığı istenilen sıcaklığa kadar düşürülür ve hava sirkülasyonu sağlanması için belli hızlarda fan yardımı ile hızlandırılarak ortama gönderilir. Bu çalışmada evaporatör konumlarının değiştirilmesinin hava şartlandırılmasına ve ürün muhafazasına etkisi bilgisayar simülasyonu yapılarak CFD analizleri



ile incelenmiştir. Evaporatör dikdörtgen geometride soğuk deponun tek taraflı dar ve geniş duvarlarda, ayrıca karşılıklı duvarlarda olması durumu için analizler yapılmıştır. Analizlerde soğuk odanın boş ve dolu olarak analizi gerçekleştirilmiştir.

Soğuk depoda dar duvara tek taraflı olarak konumlandırılan evaporatörlerde hava sirkülasyonu hızı orta noktalarda artmakta ve soğuk depoda herhangi bir ürün olmaması durumunda sıcaklık dağılımı eşit olmaktadır. Hava hızının optimumu değerlerinin belirlenmesi ile yeterli düzeyde tutulması durumunda, istenilen muhafaza şartlarının sağlanabileceği belirlenmiştir. Ancak ürün istiflenmesi ile şartlandırılmış hava sirkülasyonu ve sıcaklık dağılımı rijit olmamaktadır. Özellikle evaporatör konumunun karşısındaki duvara yakın olan bölgede ürünlerde sıcaklığın yüksek olduğu belirlenmiştir. Belirtilen bölgede ürün kayıplarının oluşmaması için istiflenme şekli, duvar mesafesi ve ürün miktarı için depo yüklemesinde, analiz edilmesi gerekmektedir. Hava hızının, ürünlerde yüksek miktarda nem kaybına sebep olmayacak değerleri belirlenerek, bu konuda yerleştirilmiş evaporatöre sahip soğuk odalar daha az ürün kaybı ile kullanılmaya devam edilebilir.

Evaporatör yerleşimi dar duvarlarda karşılıklı konumlandırılması durumunda, Sıcaklık dağılımı ve hava sirkülasyon hızı orta noktalarda artışı ve eşit yoğunlukta toplanmakta ve denge halinde kalmaktadır. Hava dağılımı malzeme çevresinde laminer olduğu belirlenmiştir. Evaporatör çıkış sıcaklıklarının depolama sıcaklıklarına yakın olması ve hava hızlarının düşük tutulması durumunda, yeterli ve uygun depolama şartları sağlanabilir. Hızın yüksek olması türbülans oluşumuna dolayısıyla sıcaklık dağılımı eşit olmamasına sebep olacağı için, soğutma yetersizliğinden bozulma gerçekleşebilir. Bu tip evaporatör konumlandırılmasında, evaporasyonda yeterli soğutma ile şartlandırılmış havanın hızı düşük olmalıdır. Depolama alanı depo merkezinde olması akışa engel değildir ve bu tip evaporatör konumlandırılmasında istifleme deponun orta kısmında yapılması daha uygun olacaktır.

Evaporatör yerleşimi geniş tek duvarlarda olması durumunda verilen hava hızının karşı duvar mesafesi için yüksek olması sebebiyle, şartlandırılmış hava dağılımı deponun köşe noktalarında türbülansa, diğer bölgelerde ise geçiş bölgesi akışlarına sebep olmaktadır. Bu durum sıcaklığın eşit dağılmasını sağlarken diğer yandan üründe nem kaybına sebep olabilir. Bu tip konumlandırmada optimum hava hızı belirlenmesi oldukça önemlidir.

Soğuk hava tesislerinin ilk kurulum aşamasında, soğuk oda ölçüleri ve evaporatör konumları CFD ile analiz edilerek en yüksek enerji verimi ve en az ürün kaybı ile çalışabilecek tesisler kurulabilir. Ancak hesaplamalarda uygun istifleme şekilleri ve miktarları da göz önünde bulundurulmalıdır. Mevcut tesisler için CFD analizleri ile, ürün istifleme biçimi, miktarı ve hava hızları analiz edilerek ürünler için en uygun depolama şartları sağlanması, ürün kayıplarının önüne geçilebilir olduğu öngörülmektedir.



## KAYNAKÇA

1. **James, S.j., James, C.** 2010. "The Food Cold-Chain and Climate Change", Food Research International, 43.
2. **Saeed, M.A.E.** "The Relationship Between Water Activity And Fish Spoilage During Cold Storage: A review", Journal of Food Agriculture and Environment, July 2009.
3. **Laguerre, O., Duret, S., Hoang, H.m., Guillier, L., Flick, D.** 2015. "Simplified Heat Transfer Modeling in A Cold Room Filled With Food Products", Journal of Food Engineering, 149.
4. **Kıtınöja, L.** "Use of Cold Chains For Reducing Food Losses in Developing Countries", The Postharvest Education Foundation (PEF), December 2013.
5. **Mishra, P., Aharwal, K.R.** 2018. "A Review on Selection of Turbulence Model For CFD Analysis of Air Flow Within A Cold Storage", 2nd International conference on Advances in Mechanical Engineering (ICAME)
6. **Wua D., Shena J., Tiana S., Zhou C., Yang J., Hua K.** "Experimental study of temperature characteristic and energy consumption of a large-scale cold storage with buried pipe cooling", Applied Thermal Engineering Volume 140, 25 July 2018, Pages 51-61
7. **Darwish, M.** 2015. "Effect of Cold Storage Conditions on Physical Properties of Potato tubers", Misr Journal of Agricultural Engineering, 32.
8. **Bishnoi R., Aharwal K.R.** "Experimental Investigation of Air Flow Field and Cooling Heterogeneity in a Refrigerated Room", Engineering Science and Technology, an International Journal 23 (2020) 1434–1443
9. **Hoang, M.L., Verboven, P., De Baerdemaeker, J., Nicolai, B.M.** 2000. "Analysis of the air flow in a cold store by means of computational fluid dynamics", International Journal of Refrigeration, 23.
10. **Kaya, S., Yalçın, E., Koçyiğit, G.A.** 2013. "Soğuk Depo Modelinin Deneysel ve 3 Boyutlu Sayısal Analizi", Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Cilt 4, Sayı 1, Nisan.
11. **Mirade, P., Picgirard, L.** 2006. "Improvement of Ventilation Homogeneity in an Industrial Batch-Type Carcass Chiller by CFD Investigation", Food Research International, 36.
12. **Gajdhar K. M., D., Patel V., Shah K. A.** "Experiment of Air Flow in Cold Storage To Minimize The Weight Loss of Vegetable using CFD Analysis", IJSTE- International Journal of Science Technology & Engineering | Volume 5 | Issue 4 | October 2018, ISSN (online): 2349-784X
13. **Akdemir, S., Öztürk, S., Edis, F.O., Bal, E.** 2013. "CFD Modelling of Two Different Cold Stores Ambient Factors", International Conference on Agricultural and Natural Resources Engineering.
14. **Akdemir, S.** 2016. "Standart Buhar Çevrimi ile Çalışan Bir Soğuk Depoda Hava Hızının Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği ile Analizi", Tarım Makinaları Bilimi Dergisi (Journal of Agricultural Machinery Science).
15. **Akdemir, S.** "Bir Soğuk Hava Deposunda Farklı Menfez Kanat Açılımlarına Göre Hava Dağılımının Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği ile Tahmini", Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi, Mart 2016.



16. **Margeirsson, B., Arason, S.** “Temperature Monitoring and CFD Modelling of a Cold Storage”, Conference: Cold Chain Management, June 2008.
17. **Chourasia, M.k., Goswami, T.K.** 2007. “Steady State CFD Modeling of Airflow, Heat Transfer and Moisture Loss in a Commercial Potato Cold Store”, International Journal of Refrigeration, 30.
18. **Tasiya S., Gajdhar D.** “A Review on Design and Performance Enhancement of Cold Storage by CFD Analysis”, International Journal of Trend in Innovative Research (IJTI-IR), Paper ID: IJTIIR563311 @IJTIIR | Volume- 3 | Issue- 3 | June- 2021
19. **Maurya S. K., Kumar R., Mishra S. K., Vasani H. and Kumar H.** 2021. “CFD Analysis of Air Distribution for Suitable Position of Evaporator in Cold Chamber”, Advances in Clean Energy Technologies, Springer Proceedings in Energy, [https://doi.org/10.1007/978-981-16-0235-1\\_75](https://doi.org/10.1007/978-981-16-0235-1_75).
20. **Majidsajadiyea S., Zolfaghari M.** ”Simulation of in-Line Versus Staggered Arrays of Vented Pallet Boxes For Assessing Cooling Performance of Orange in Cool Storage” Applied Thermal Engineering Volume 115, 25 March 2017, Pages 337-349