





Examination of economically and practically homogeneous air and temperature distribution in cold stores by CFD analysis

Faruk Kaynaklı^{1*} , Nurettin Yamankaradeniz² 

¹Machinery Program, Gemlik Asım Kocabıyık Vocational School, Bursa Uludağ University, 16600 Gemlik-Bursa, Türkiye

²Mechanical Engineering Department, Engineering Faculty, Bursa Uludağ University, 16059 Nilüfer-Bursa, Türkiye

Highlights:

- Providing homogeneous air distribution with economical and practical way
- Improvement of air distribution in cold store
- CFD analysis of air velocity and temperature distribution

Keywords:

- Cold storage
- Thermal optimization
- Airflow optimization
- CFD
- ANSYS-Fluent

Article Info:

Research Article

Received: 02.11.2021

Accepted: 27.02.2022

DOI:

10.17341/gazimmfd.1018170

Correspondence:

Author: Faruk Kaynaklı

e-mail:

fkaynakli@uludag.edu.tr

phone: +90 224 512 34 93

Graphical/Tabular Abstract

As a result of the analyzes made for 14 different panel angles, it was determined that the panel angle that provided the most improvement in air velocities and temperature distribution was 63° as can be seen in Figure A.

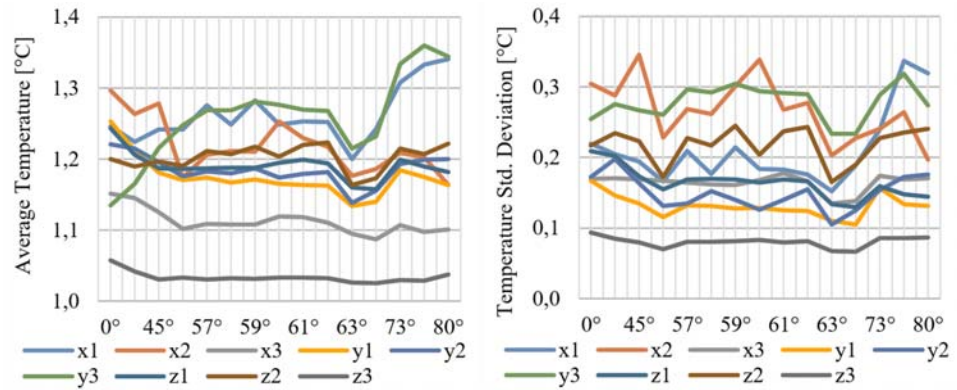


Figure A. Average and standard deviation of temperature in reference planes relative to panel angle

Purpose:

In this study, the most suitable angle was decided by using CFD for the deflector panel placed as an economical and practical method to improve the airflow and temperature distribution in a cold store.

Theory and Methods:

An existing cold store was modeled in Ansys Fluent program and the model was verified with measurements taken from the real store. With the analyzes made on the model, the areas where the airflow is problematic have been determined. In order to solve the problem, a deflector panel was placed and the ideal angle was calculated for this panel.

Results:

When the panel angle is 63°, it has been observed that there are significant improvements in air velocities and temperature distribution in all 9 reference planes compared to the case where the panel is not used. While achieving a decrease of up to 10% in average temperatures in all reference planes, up to 41% reductions in temperature standard deviation were achieved, thus achieving a more homogeneous temperature distribution. While an increase of up to 50% is achieved in average speeds, there is an increase of up to 35% in speed standard deviations with increasing speeds. Thus, thanks to the panel, better cooling, humidification, and faster removal of ethylene, which causes aging in fruit, will be ensured by providing better access of cold air to each region in the warehouse, and both the storage times of the stored products will be extended and the losses in product quality will be reduced.

Conclusion:

The proposed solution is economically extremely cost-effective, it is anticipated that it can be applied to all cold storage regardless of size, location, and stored product. As a result of this practical, easy, and economical application, both product losses and energy consumption will be reduced, and the products will be preserved for a longer period of time while maintaining their quality.



Soğuk depolarda ekonomik ve pratik olarak homojen hava ve sıcaklık dağılımının HAD analizi ile incelenmesi

Faruk Kaynaklı^{1*}, Nurettin Yamankaradeniz²

¹Bursa Uludağ Üniversitesi, Gemlik Asım Kocabıyık Meslek Yüksekokulu, Makine Programı, 16600 Gemlik-Bursa, Türkiye

²Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 16059 Nilüfer-Bursa, Türkiye

ÖNEÇIKANLAR

- Ekonomik ve pratik olarak homojen hava dağılımı sağlanması
- Soğuk depoda hava dağılımının iyileştirilmesi
- Hava hızı ve sıcaklık dağılımının HAD analizi

Makale Bilgileri

Araştırma Makalesi
Geliş: 02.11.2021
Kabul: 27.02.2022

DOI:

10.17341/gazimmfd.1018170

Anahtar Kelimeler:

Soğuk depo,
sıcaklık dağılımı
optimizasyonu,
hava hızı optimizasyonu,
HAD,
ANSYS Fluent

ÖZ

Soğuk depolarda meyvelerin depolama maliyetlerini düşürmek için genellikle gereğinden fazla ürün konmaktadır. Soğuk depolardaki aşırı yüklemeye dolaylı olarak homojen hız ve sıcaklık dağılımı sağlanamadığından ürünlerde kısmi kayıplar ve kalite düşümü ortaya çıkmaktadır. Homojen hava ve sıcaklık dağılımını sağlamak için önerilen kanal ve fan kullanımı gibi metotlar ilk yatırım maliyetleri yüksek olduğundan çok büyük oranda kullanılmamaktadır. Bu çalışmada; soğuk depo içerisindeki hava ve sıcaklık dağılımını analiz etmek ve iyileştirmek için öncelikle içerisi Granny Smith cinsi elma dolu olan bir soğuk depoda belirli noktalardan sıcaklık ve hız ölçümleri yapılmıştır. Homojen hız ve sıcaklık dağılımını sağlamak için farklı açılarda yerleştirilmiş sapırtıcı paneller kullanılmıştır. Bu ölçümlerden yararlanarak HAD modeli oluşturulmuş ve doğrulanmıştır. HAD analizi için ANSYS Fluent programından yararlanılmıştır. Model üzerinde yapılan analizler ile hava ve sıcaklık dağılımının problemleri olduğu noktalar tespit edilmiş ve bu aksaklıkları gidermek için farklı açılarda yerleştirilen sapırtıcı panellerden en iyi sonucu verenin düşey ile 63° açılı panel olduğu görülmüştür. Önerilen çözüm ekonomik olarak son derece düşük maliyetli olduğundan, büyüklük, konum ve depolanan üründen bağımsız olarak tüm soğuk hava depolarına uygulanabileceği öngörülmektedir. Bu pratik, kolay ve ekonomik uygulama sonucu hem ürün kayıplarında ve enerji sarfiyatında azalma sağlanabilecek, hem de ürünler daha uzun süre kalitesini koruyarak muhafaza edilebilecektir.

Examination of economically and practically homogeneous air and temperature distribution in cold stores by CFD analysis

HIGHLIGHTS

- Providing homogeneous air distribution with economical and practical way
- Improvement of air distribution in cold store
- CFD analysis of air velocity and temperature distribution

Article Info

Research Article
Received: 02.11.2021
Accepted: 27.02.2022

DOI:

10.17341/gazimmfd.1018170

Keywords:

Cold storage,
thermal optimization,
airflow optimization,
CFD,
ANSYS Fluent

ABSTRACT

In order to reduce the storage costs of fruits in cold stores, more products are placed than necessary. Since homogeneous speed and temperature distribution cannot be achieved due to overloading in cold stores, partial losses and quality reductions occur in products. Since the initial investment costs of methods such as using ducts and fans recommended for homogeneous air and temperature distribution are high, they are not used to a large extent. In this study; In order to analyze and improve the air and temperature distribution in the cold store, first of all, temperature and velocity measurements were made at certain points in a cold store filled with Granny Smith apples. Deflector panels that are placed at different angles are used to provide homogeneous velocity and temperature distributions. Using these measurements, the CFD model was created and validated. ANSYS-Fluent program was used for CFD analysis. With the analyzes made on the model, the problematic points in the air and temperature distribution were determined and it was seen that the panel with a vertical angle of 63° gave the best results among the deflector panels placed at different angles to eliminate these problems. Since the proposed solution is economically extremely cost-effective, it is anticipated that it can be applied to all cold storage regardless of size, location, and stored product. As a result of this practical, easy, and economical application, both product losses and energy consumption will be reduced, and the products will be preserved for a longer period of time while maintaining their quality.

*Sorumlu Yazar/Yazarlar / Corresponding Author/Authors : *fkaynakli@uludag.edu.tr, nyk@uludag.edu.tr / Tel: +90 224 512 34 93

1. Giriş (Introduction)

Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü kayıtlarına göre her yıl 1,3 milyar ton yiyecek çöpe gitmektedir. İnsan nüfusu ile orantılandığında tüm dünya ülkelerinin kişi başına israf ettiği değer ortalama 572,4 kg/yıldır. Yakın gelecekte açlık ile mücadelede sonuç alınmak istenirse mutlaka ürünlerin pazara ulaşımında iyi ve kontrollü bir nakliye, uygun bir ambalajlama ve en önemlisi uzun süreli muhafaza için depolama tesisleri inşa edilmelidir [1].

Büyük miktardaki gıdanın uzun süre saklanmasında en çok kullanılan yöntemlerin başında soğuk depolar gelmektedir. Gıda türü, bölge ve mevsimlere göre değişiklik göstermekle beraber Türkiye’de hasat sonrası ürünlerde kayıp oranı %10 ile %30 arasında değişmektedir bu da yaklaşık 5-13 milyon ton meyve veya sebzenin tüketiciye ulaşmadan zayı olduğunu göstermektedir [2]. Yaş meyve ve sebzeler canlı ürünler olduğundan biyokimyasal reaksiyonlar sonucunda çok sayıda farklı gazlar çıkarılır. Bu gazlar depo içerisindeki havada aromatik bir kokuya sebep oldukları gibi aynı zamanda ürünün metabolizmasını hızlandırarak ürünün dayanma ömrünü azaltır. Bu gazlardan en önemlileri karbondioksit ve etilendir. Depo içerisindeki karbondioksit ve etilen miktarının artması meyve ve sebzelerin filizlenmesi, çürümesi ve hızlı olgunlaşması gibi sonuçlara sebep olmaktadır. Etilen ise olgunlaşmayı ve yaşlanmayı hızlandıran bir gazdır. Bu sebeple örneğin elma depolarında 1 ppm, kivi depolarında 0,05-0,1 ppm’in üzerinde olması dayanma gücünü azaltır. Aynı şekilde turuncu depolamada da karbondioksit birikiminin %0,1’in altında tutulması gerekir [3]. Çok miktarda meyve aynı hacim içerisine koyulduğunda içerideki hava akışı her yerde eşit olmadığından dengeli bir soğutma sağlanamamakta, bunun sonucu olarak da ürünlerde kısmi bozulmalar veya kalite kayıpları söz konusu olmaktadır. Soğuk depo içerisinde daha homojen bir hava akışı sağlamak için uygulanan çok çeşitli yöntemler mevcuttur. Ancak bunların birçoğu depoların inşası sırasında uygulanması gereken yüksek maliyetli sistemlerdir [4]. Atıl vd. [5] çalışmasında saray helvasının depolanması sırasında bağıl nemin %75’den %85’e çıkmasıyla oksidasyon düzeyinin üç kattan fazla arttığı gözlemlenmiştir. Dolayısıyla istiflerin arasında kalan ve iyi havalandırılmayan bölümlerde ciddi kalite kayıpları söz konusu olmaktadır. Benzer amaçla Liu vd. [6] yaptığı çalışmalarında boş ve dolu soğuk depodaki hava hızı ve sıcaklık dağılımını karşılaştırdıklarında gıda doldurulması ile hız ve sıcaklık dağılımının homojenliğinin bozulduğunu göstermişlerdir. Ayrıca soğuk depodaki hava hızlarının artan fan hızıyla beraber arttığını göstermiştir ancak artan hava hızıyla beraber hem enerji tüketimi hem de gıdalardaki nem kaybı da arttığından hızın belirli bir değerin üzerine çıkması tavsiye edilmemektedir.

Mishra ve Aharwal [7] çalışmalarında yardımcı hava kanalları ile çok noktadan hava akışı oluşturarak daha homojen bir hava dağılımının soğutmaya etkisini incelemişlerdir. Yapılan ölçümlerde COP %21 artarken soğuma süresi %23 ve enerji tüketimi %26 azalmıştır. Bu çalışmada homojen bir hava dağılımının ne kadar önemli olduğunu ortaya koymuşlardır. Ancak uygulanan yöntem maliyetli ve yüklenme şartlarını etkilediği için pratik ve ekonomik bir alternatif ihtiyacı mevcuttur.

Akdemir ve Bal [8] çalışmalarında elma depolamada kasa tipine ve kasanın depo içerisindeki konumuna bağlı olarak sıcaklık ve nem dağılımının farklılık gösterdiği ve bu farklılıkların ürün kalitesi ve depolama süresini olumsuz etkilediği sonucuna varmışlardır. Akdemir ve Bartzanas [9] çalışmalarında elma dolu bir soğuk depodaki sıcaklık ve nem dağılımının tespiti için HAD metodunun başarıyla kullanılabilceğini göstermişlerdir. Analiz sonucunda buharlaştırıcıdan üflenen havanın sandıkların etrafındaki boş

alanlardan tabana doğru indiği ve bunun da homojen olmayan bir hava dağılımına sebep olduğu görülmüştür ki bu çalışmanın amacı da görülen bu olumsuzlukların giderilmesidir. Xiaofei ve Xiaohong [10] çalışmalarında soğuk depoda üniform hava, sıcaklık ve nem dağılımının önemi üzerinde durmuş ve bunu sağlamak için kullanılacak üniform hava besleme kanalı önerisinde bulunmuştur. Uygulanan çözümden olumlu sonuçlar alınmıştır ancak önerilen sistem ürün yüklenme şekline bağımlı ve yüksek maliyetlidir. Chourasia ve Goswami [11] çalışmalarında patates dolu bir soğuk depodaki hava, sıcaklık ve nem dağılımını HAD metoduyla incelediğinde depo içerisindeki dağılımın homojen olmamasından kaynaklı yerel ürün hasarları olduğunu görmüştür. Buna çözüm olarak fan ve hava kanallarının yerleşimin değiştirilmesini önermişlerdir ancak bu çözüm de yine yüklenme durumuna bağımlı ve yüksek maliyetlidir. Hoang vd. [12] çalışmalarında HAD modelinin gerçek depodan elde edilen ölçümlere yakınlığını kıyaslamıştır. Türbülans modeli olarak k-ε ve RNG k-ε modelini kullanmışlar ancak RNG k-ε modelinin sonuca olumlu bir katkısını görememişlerdir.

Yukarıda incelenen çalışmalar göstermiştir ki, soğuk depo içerisinde ürünlerin yüklenme miktarına da bağlı olarak istifler arasında çok farklı sıcaklık, nem ve hız dağılımlarıyla karşılaşmaktadır. Buharlaştırıcıdan yönlendirilen havanın depo içerisindeki dağılımının homojenliğinin sağlanamaması, hatta yatay ve düşey bazı düzlemlerde ve kasa diplerinde hava akışının çok ciddi oranda azalması, ürünlerde yerel olarak sıcaklığın ve biyogazların artmasına ve böylece ürün kalitesi ve gıda güvenliğinin önemli ölçüde bozulmasına sebep olmaktadır. Belirtilen problemlerin çözümü için özgün ve önemli katkı ortaya koyan bu çalışmada, soğuk depoda hava akışının iyileştirilmesi için önerilen karmaşık, pahalı ve ürün yüklenme durumuna bağımlı yöntemler yerine, inşası sırasında homojen hava dağılımı için bir yöntem uygulanmamış çok sayıda mevcut soğuk depoda hava akışını iyileştirmek için kullanılabilen ekonomik, etkili ve hızlı uygulanabilecek bir tasarım üzerinde durulmuştur. Oluşturulan HAD modeli mevcut bir soğuk depodan alınan ölçümler ile doğrulanmış ve yapılan HAD analizlerinde sorunlu bölgeler tespit edilerek buradaki hava ve sıcaklık dağılımının daha homojen hale getirilmesi için çalışmalar yapılmıştır. Sistem tasarımının iyileştirilmesi için ANSYS-Fluent programından yararlanılmıştır.

2. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

Bu çalışmada; 578x470x280 cm boyutlarında, içerisinde Granny Smith cinsi elma dolu olan ve Bursa yöresinde bulunan bir soğuk deponun hava sıcaklığı ve hava hızı dağılımı analizi ANSYS-Fluent programında yapılmıştır. Yapılan analizler, mevcut depodan alınan ölçümler ile doğrulandıktan sonra depo içerisindeki hava akışını iyileştirmek için farklı çözümler denenmiş ve en ideal çözüm bulunmaya çalışılmıştır. Granny Smith türü elma +3°C ve %90 bağıl nemde 9 ay dayanabilmektedir. Homojen bir hava dağılımı ve soğutma sayesinde elmaların en uzun süre kalite kaybına uğramadan muhafazası amaçlanmıştır.

2.1. Akış ve Isı Transferi İçin Korunum Denklemleri (Conservation Equations for Flow and Heat Transfer)

Bu çalışmada denklemlerin çözümünde, sonlu hacimler yöntemi ile çözüm yapan ANSYS-Fluent programı kullanılmıştır. Fluent programı momentum ve enerjinin korunumu denklemlerini çözerek sonuca ulaşmaktadır. Korunum denklemleri kartezyen koordinatlarda en genel haliyle aşağıdaki gibidir (Eş. 1- Eş. 5).

Süreklilik denklemi;

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

Momentum denklemleri x, y ve z yönlerinde sırasıyla;

$$\rho \left(\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right) = -\frac{\partial P}{\partial x} + \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) + F_x \quad (2)$$

$$\rho \left(\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} \right) = -\frac{\partial P}{\partial y} + \mu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) + F_y \quad (3)$$

$$\rho \left(\frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} \right) = -\frac{\partial P}{\partial z} + \mu \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) + F_z \quad (4)$$

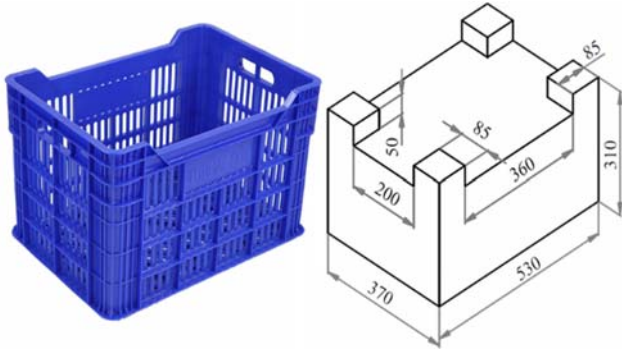
Enerji denklemi;

$$P.C_p \cdot \left(\frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} + w \frac{\partial T}{\partial z} \right) = \left(\frac{\partial P}{\partial t} + u \frac{\partial P}{\partial x} + v \frac{\partial P}{\partial y} + w \frac{\partial P}{\partial z} \right) + k \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) \quad (5)$$

Ayrıca bu çalışmada türbülanslı akış durumları incelendiğinden bunlara ek olarak kullanılan türbülans modelinin denklemleri de eşlenik olarak çözülmektedir. Akış alanı içerisinde hız ve sıcaklık dağılımlarının bulunabilmesi için yukarıda verilen korunum denklemlerinin çözülmesi gerekmektedir.

2.2. HAD Modeli (CFD Model)

Soğuk depoda elmaları istiflemek için Şekil 1'de görülen meyve kasaları kullanılmaktadır. Bu kasalar yan yana 12x8 ve üst üste 8 sıra halinde istiflenmektedir. Ayrıca orta kısımlarda kalan meyvelere hava akışını kolaylaştırmak için yatayda her 4 sırada bir boşluk verilerek 3 grup halinde istiflenmektedir.



Şekil 1. Basitleştirilmiş meyve kasası modeli (Simplified fruit crate model)

Meyve kasası ve içerisindeki elmalar gerçek şekilleri ile modellendiğinde ortaya çıkan yüzey sayısı yüzlerce milyon olmakta ve kullanılan bilgisayar sistemi bu yoğunluktaki bir hesaplamının altından kalkamamaktadır. Bu sebeple sistemde basitleştirmeye gidilerek Şekil 1'de görüldüğü gibi içerisi tamamen dolu olarak modellenmiştir. Kasa üst yüzeyi tamamen meyve kabul edilerek ısı transfer yüzeyi olarak kasanın tüm üst yüzeyi alınmıştır. Zamandan bağımsız çözüm yapılmıştır ve ayrıştırma için 2. mertebe upwind algoritmalar kullanılmıştır. Basınç ve hız arasındaki düzeltmeler "Coupled" algoritmasıyla çözülmüştür [13].

2.3. Çevreden Olan Isı Kazancı (Heat Gain from Environment)

Soğuk deponun yalıtımında poliüretan köpükler kullanılmıştır. Duvarlardan olan ısı kazancı için Eş. 6 kullanılabilir [14].

$$Q = U.A.(T_{dış} - T_{iç}) \quad (6)$$

Bu eşitlikte toplam ısı transfer katsayısı U, yüzey alanı A, duvarın dış yüzey sıcaklığı $T_{dış}$ ve duvarın iç yüzey sıcaklığı $T_{iç}$ 'dir. Referans olarak alınan soğuk hava deposunun yalıtımında da ısı iletim katsayısı 0,28 W/m.K olan 80 mm poliüretan paneller kullanılmıştır [15]. Duvarın dış yüzey sıcaklıkları Bursa bölgesi için 37°C, toprak zemin sıcaklıkları ise 25°C olarak alınmıştır [16].

Soğuk deponun dört duvarı, tavan ve zemin alanlarına göre elde edilen ısı transfer miktarları için yapılan hesaplamalardan sonra Ansys Fluent programında sınır şartı için sabit ısı akışı olarak zeminden 6,16 W/m² ve diğer yüzeylerden değeri 9,52 W/m² verilmiştir.

2.4. Meyvelerin Olgunlaşma Isısı (Ripening Temperature of Fruits)

Elmanın günlük olarak ürettiği olgunlaşma (solunum) ısısı 190-225 kcal.gün.ton⁻¹'dir [16]. Bu çalışmada yapılan ölçümler yılın en sıcak sezonunda olduğundan maksimum değerler alınmıştır. Soğuk depoda elmaları istiflemek için Şekil 1'de görülen meyve kasaları kullanılmaktadır. Bu kasalar yan yana 12x8 ve üst üste 8 sıra halinde istiflenmektedir toplamda 768 kasa mevcuttur. Ayrıca daha iyi hava akışı sağlamak için yatayda her 4 sırada bir boşluk verilerek 3 grup halinde istiflenmektedir. Her bir kasa ortalama 20kg elma almaktadır yani toplamda 15.360 kg elma depolanmıştır. Bir ton granny-smith elma için olgunlaşma ısısı 10,903 W'dır [16]. Dolayısıyla depodaki tüm meyveler için toplam olgunlaşma ısısı 167,47 W olarak hesaplanmıştır.

Kasalar modellenirken sadeleştirmeye gidilerek Şekil 1'de görüldüğü gibi içerisi tamamen dolu olarak modellenmiştir. Kasa üst yüzeyi tamamen meyve kabul edilerek meyvelerin olgunlaşma ısıları için ısı transfer yüzeyi olarak kasanın tüm üst yüzeyi alınmıştır. Toplam olgunlaşma ısısı miktarı toplam kasa yüzeyi olan 240,77 m²'ye bölünerek olgunlaşma ısısı için Ansys Fluent programında sabit ısı akışı sınır şartı için 0,69557 W/m² olarak alınmıştır.

2.5. Buharlaştırıcı (Evaporator)

Buharlaştırıcı çıkışındaki hava hızları ve sıcaklıkları mevcut soğuk depoda yapılan ölçümlere göre alınmıştır. Buharlaştırıcının hemen önünde üfleme yaptığı noktada beş adet sıcaklık ve hız ölçümü yapılmış ve bunların ortalaması alınmıştır. Bu ölçümlere dayanarak Ansys Fluent programında sınır şartı olarak hava hızı 5 m/s ve üfleme sıcaklığı 1°C olarak tanımlanmıştır.

2.6. Türbülans Modeli (Turbulence Model)

Farklı HAD uygulamalarında modelin özelliklerine bağlı olarak birden fazla türbülans modeli uygun sonucu verebilmektedir. Delele vd. [17] benzer bir soğuk depoda yaptıkları çalışmalarında standard k-ε, RNG k-ε, realizable k-ε, standard k-ω ve SST-k-ω türbülans modellerini test ederek ölçüm değerlerini yakınlığını kıyaslamış ve elde edilen sonuçlara göre duvarlarda k-ω ve ince kesitlerin olduğu meyve sandıklarında k-ε kullanmışlardır. Öztürk vd. [18] kanal içerisindeki bir elektronik ekipmanın soğutulmasını incelediği çalışmalarında Realizable k-ε türbülans modeli ile oldukça iyi sonuçlar almışlardır. Bu çalışmada modelin tamamında gerek hızlı yakınsaması gerekse deneysel sonuçlara yakınlığı dolayısıyla Realizable k-ε türbülans modeli kullanılmıştır. Duvar fonksiyonu olarak da scalable wall function kullanılmıştır.

2.7. Modelin Doğrulaması (Model Validation)

Analitik ve deneysel verilere dayanarak oluşturulan HAD modelinden elde edilen veriler ile gerçek depodan yapılan ölçümleri kıyaslayarak doğrulamadan önce modelin kendi içerisindeki tutarlılığı birkaç açıdan incelenmiştir.

2.7.1. Ağ yapısından bağımsızlık (Mesh independence)

Ağdan bağımsız bir tasarım elde edebilmek için 15, 20, 25 ve 30 mm eleman boyutları için yapılan testlerde sırasıyla yaklaşık olarak 21 milyon, 11 milyon, 7 milyon ve 5 milyon elemanlık ağlar elde edilmiştir. Kesitin incelendiği meyve sandıklarının arasındaki bölgelere maksimum 2 mm eleman boyutu ve 5 kademeli inflation uygulanmıştır.

Farklı tasarımların sıcaklık ve hız dağılımının kıyaslanması ve ideal tasarıma karar verilmesi için Şekil 2'de görülen X, Y ve Z eksenlerinin her birinde üçer tane ve eksenlere paralel olmak üzere toplamda 9 adet referans düzlem ele alınmıştır. Düzlemler isimlendirilirken önce buldukları eksen adı daha sonra da sıra numarası verilmiştir. Ele alınan bu dokuz adet düzlemin isim ve konumları Şekil 2'de verilmiştir.

Sistemdeki her elemanın sıcaklıkları ve hızları farklı değerler alabildiğinden kıyaslanabilir bir grafik çizebilmek için her noktadaki sıcaklık ve hız değerini almak yerine bu değerler için aralıklar belirlenmiştir. Ayrıca sistemin toplam eleman sayısı değiştiğinde her yüzey üzerindeki eleman sayısı da değiştiğinden grafiklerin birbiri ile kıyaslanabilir olması için her bir aralıktaki eleman sayısını doğrudan kullanmak yerine, toplam eleman sayısına bölünerek rakamlar normalleştirilmiş ve yüzde olarak hesaplanmıştır. Grafiklerdeki yatay eksen sıcaklık veya hız aralıklarını gösterirken dikey eksen de bu aralıktaki eleman sayısının oranını göstermektedir. Dört farklı eleman sayısı için yapılan analizlerden elde edilen sonuçlara göre X1, X2 ve X3 düzlemleri üzerindeki sıcaklık ve hız dağılımı için çizilen histogram grafiği Şekil 3'de verilmiştir. Şekillerde görüleceği üzere 5 milyon eleman için alınan sonuçlardan 20 milyon için alınan sonuçlara kadar düzenli bir eğilim görülmektedir. 11 ve 20 milyon

için alınan sonuçlar birbirine oldukça yakındır. Tüm düzlemlerdeki sıcaklık ve hız histogramları beraber ele alındığında 11 milyon elemanlık ağ yapısının istikrarlı bir sonuç verdiği söylenebilir. Ayrıca diğer eleman sayılarında çözümün yakınsaması 2000 ile 9000 iterasyon arasında sürerken 11 milyon elemanda yaklaşık 600 iterasyonda sonuca yakınsamaktadır ki bu da modelin ve ağ yapısının istikrarlı olduğunu göstermektedir. Eleman boyutu 20 mm olduğunda yaklaşık 11 milyon elemandan oluşan bir ağ elde edilmektedir. Eleman boyutunu daha fazla küçülterek eleman sayısını artırmanın sonuçlar üzerinde önemli bir etkisi olmadığı grafiklerden görülmektedir. Bu sebeple çözümlerde 11 milyon elemanlık ağ yapısı kullanılmıştır.

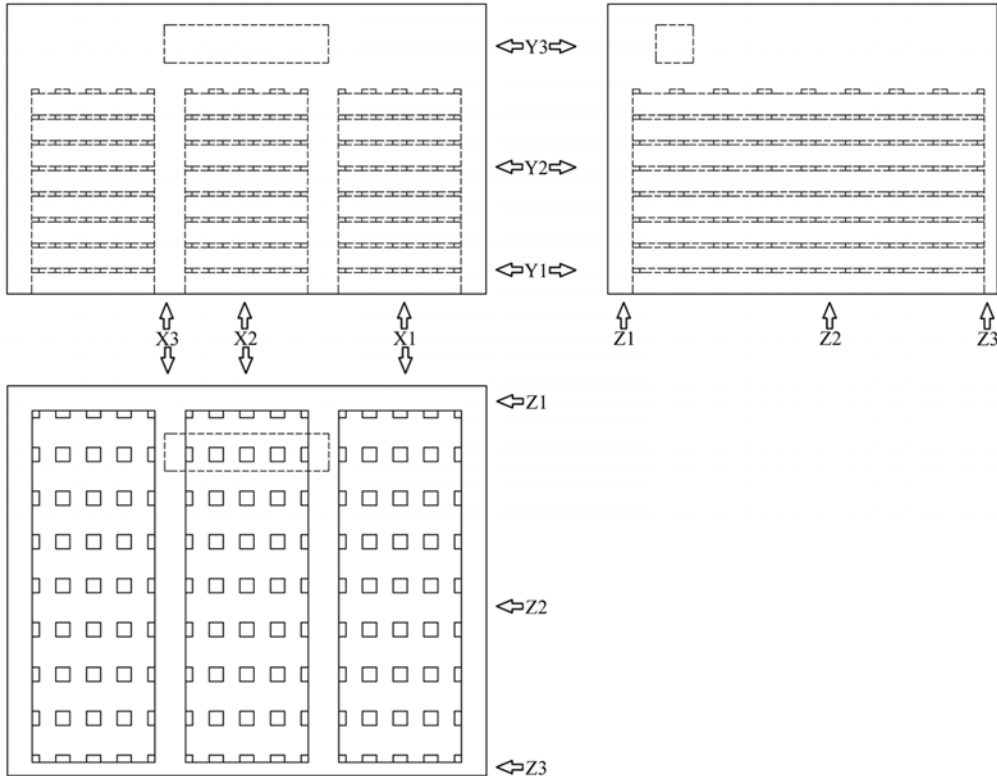
2.7.2. Toplam kütle ve ısı transfer oranı farkları (Differences in total mass and heat transfer rate)

Sistemdeki tüm sınır şartları ele alındığında Ansys Fluent programından elde edilen toplam kütle girişi 5,57865 kg/s, toplam kütle çıkışı ise 5,57625 kg/s'dir. Net fark yaklaşık olarak 0,002 kg/s'dir ve toplam kütle transferi ile orantılandığında %0,035 gibi düşük bir değerdedir.

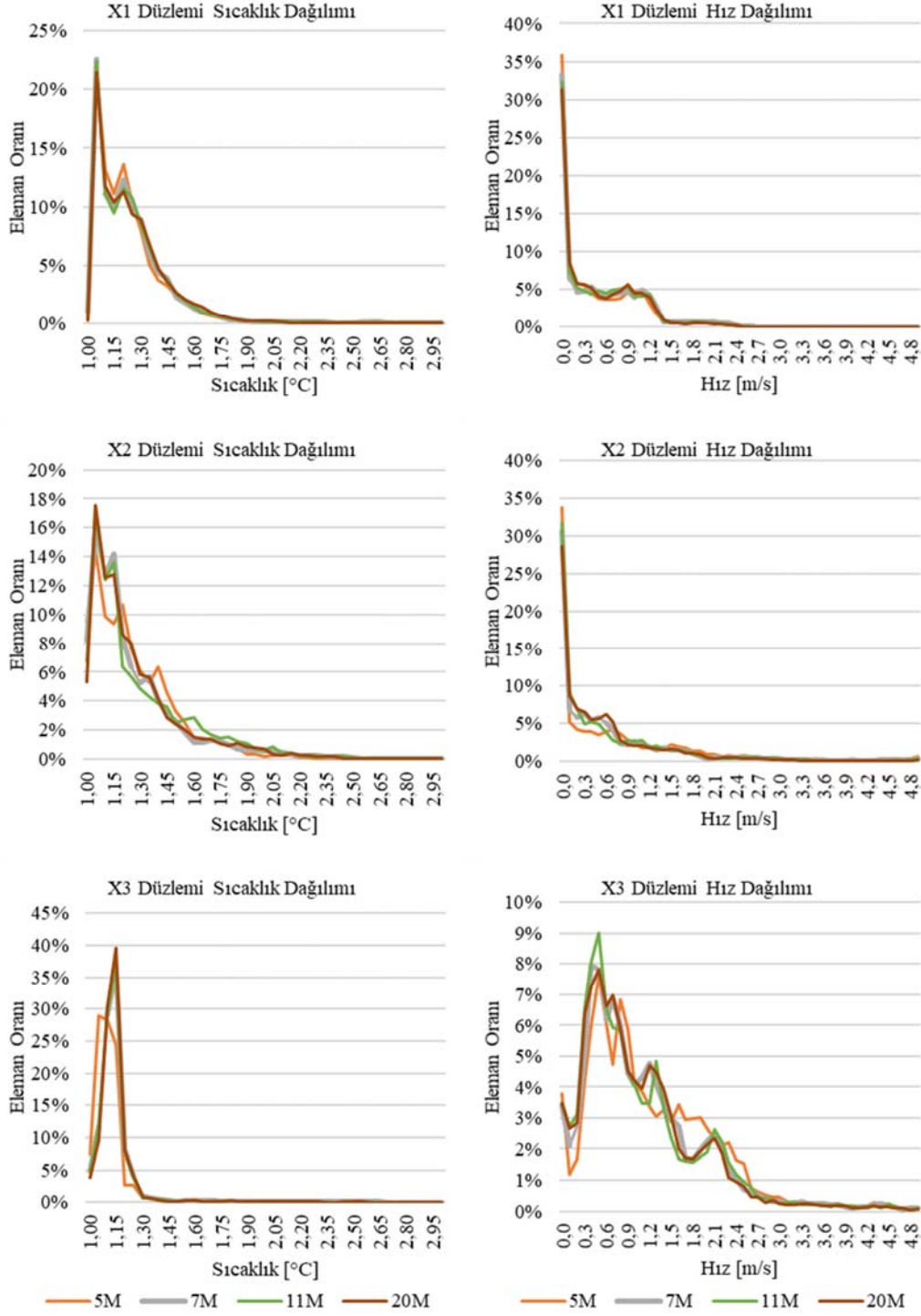
Ansys Fluent programından elde edilen net ısı transfer farkı ise yaklaşık 38 W'tır ve buharlaştırıcıdan olan ısı girişi 134.750 W ile orantılandığında $2,8 \cdot 10^{-4}$ oranında bir fark yapmaktadır ve kabul edilebilir bir değerdedir.

2.7.3. HAD modeli ile gerçek depo ölçümlerinin karşılaştırılması (Comparison of CFD model and actual cold store measurements)

HAD modelinin doğruluğunu kontrol etmek amacıyla karşılaştırma yapabilmek için 8 adet noktanın her biri için 5 defa sıcaklık ve hava



Şekil 2. Tasarım performansı karşılaştırması için tanımlanan referans düzlemlerin konumları (Positions of reference planes defined for design performance comparison)

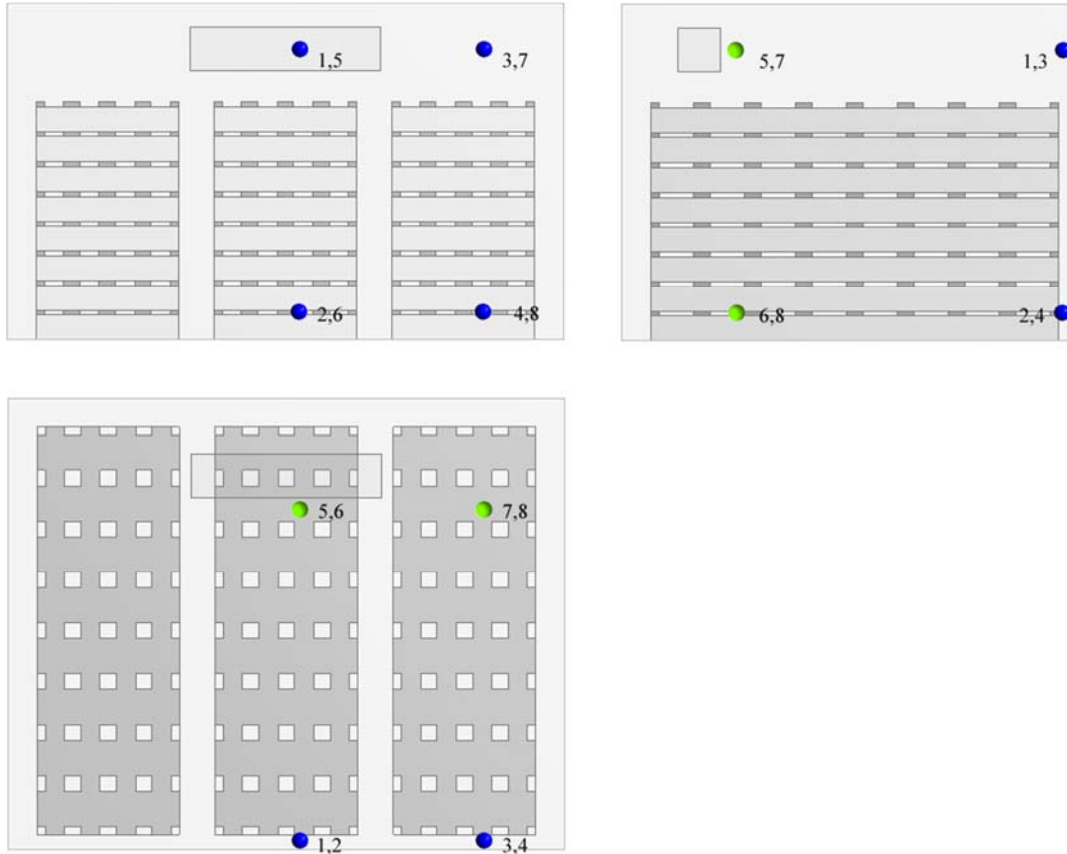


Şekil 3. Ağ elemanı sayısına göre X eksenindeki düzlemlerde sıcaklık ve hız histogramı
(Temperature and velocity histogram in planes on the X-axis according to the number of mesh elements)

hızı ölçümü yapılmış ve ortalaması alınmıştır. Ölçüm yapılan noktalar Şekil 2'de gösterildiği gibi; X1, X2, Y1, Y3 ve Z3 düzlemlerinin kesiştiği 1, 2, 3 ve 4 noktaları ile X1, X2, Y1 ve Y3 düzlemlerinin kesişim doğruları üzerinde buharlaştırıcının hemen önündeki 5, 6, 7 ve 8 noktalarıdır. Soğuk depoda Şekil 4'te görülen 8 noktada yapılan ölçümlerde elde edilen sıcaklık ve hız ortalamaları ile HAD modelinde hesaplanan değerlerin karşılaştırması Tablo 1'de

verilmiştir. Görüldüğü üzere hesaplanan değerler ölçüm sonuçlarına oldukça yakındır. Bu sebeple modelin tutarlı olduğu kabul edilmiştir.

Tablo 1'de ayrıca hız ve sıcaklık ölçülen ve hesaplanan değerler arasındaki farklarının yüzde olarak karşılaştırması da verilmiştir. Oransal olarak en büyük farkların 2, 4 ve 8 noktalarında olduğu görülmektedir. Hız için en büyük oran %36,7 ile ikinci noktada,



Şekil 4. Sıcaklık ve hız ölçüm noktaları (Temperature and speed measurement points)

Tablo 1. Hesaplanan hız ve sıcaklık ile ölçülen değerlerin kıyaslaması
(Comparison of the speed and temperature calculated values with the measured values)

	Ortalama Hız [m/s]			Ortalama Sıcaklık [°C]		
	Ölçüm Değeri	Hesaplanan Değer	% Fark	Ölçüm Değeri	Hesaplanan Değer	% Fark
1	2,68	2,49	7,6	1,18	1,02	15,7
2	1,34	0,98	36,7	1,38	1,07	29,0
3	1,46	1,66	12,0	1,32	1,06	24,5
4	0,76	0,60	26,7	1,54	1,19	29,4
5	4,72	5,03	6,2	1,14	1,00	14,0
6	0,39	0,47	17,0	1,48	1,39	6,5
7	0,62	0,57	8,8	1,38	1,13	22,1
8	0,20	0,26	23,1	1,70	1,42	19,7

sıcaklık için en büyük oran %29,4 ile dördüncü noktadadır. Şekil 4'de görülen bu noktalar incelendiğinde ölçüm yapılan noktaların kasaların arasındaki boşluklarda ve çok ince kesitlerde olduğu görülecektir. İnce kesit içerisinde probun da akış hızını etkilemesinden dolayı bu farkların oluştuğu düşünülmektedir.

2.7.4. Belirsizlik Analizi (Uncertainty Analysis)

Deneysel çalışmalarda sıcaklık ve hız ölçümünde Testo 435-2 cihazı ve Testo 0635-1535 probe kullanılmıştır. Probu ölçüm aralığı ve hassasiyeti Tablo 2'de verilmiştir.

Kullanılan cihazlar belirli bir ölçüm hassasiyetine sahip olduğundan ölçülen değerler bir miktar hata içermektedir. Bu cihazların oluşturduğu toplam hatayı belirlemek için Moffat'ın [19] önerdiği Eş. 7 kullanılmıştır.

Tablo 2. Ölçüm parametreleri, cihaz hassasiyeti ve ölçüm aralığı
(Comparison of the speed and temperature calculated values with the measured values)

Parametre	Hassasiyet	Ölçüm Aralığı
Hız	±0,03 m/s + %4 mv	0 ile 20 m/s
Sıcaklık	±0,3°C	-20 ile +70°C

$$\text{Hata} = \sqrt{\left(\frac{\Delta v}{v}\right)^2 + \left(\frac{\Delta T}{T}\right)^2 + \dots} \quad (7)$$

Söz konusu probun ölçüm hassasiyeti ve Tablo 1'de verilen ölçüm değerleri için Eş. 7 kullanılarak yapılan hesaplamalarda deneysel hata oranı %0,64-%15 aralığında bulunmuştur ve kabul edilebilir degerdedir. En büyük hata özellikle düşük hız ölçümünden (0.12 m/s)

kaynaklanmaktadır. Sıcaklık ölçümü için kullanılan cihazın hassasiyetinin ölçüm değerlerine göre çok küçük olması nedeniyle, bu parametrenin ölçümünden kaynaklanan hatanın toplam hata içindeki oranı çok küçüktür.

2.8. Soğuk Depo İçin Referans Türü Seçimi (Selecting Reference Type for Cold Storage)

Bu çalışmada amaç; ele alınan soğuk depoda yapılacak geometri değişiklikleri ile sıcaklık ve hız dağılımının iyileştirilmesidir. Ele alınan hacim içerisinde yerleştirilen meyve kasalarından dolayı çok fazla ve oldukça değişken kesit farklılıkları vardır. Bu sebeple ele alınan hacim için düzlemsel referanslar kullanılmıştır.

Şekil 2'de gösterilen referans düzlemler üzerinde çok sayıda düğüm bulunduğundan hava sıcaklık ve hızlarını farklı tasarımlar arasında karşılaştırabilmek için her bir yüzey üzerindeki düğüm değerleri için ağırlıklı ortalamalar alınmıştır. Ayrıca hesaplanan ortalamalar içerisinde dağılımın homojenliğini ve uç değerlerin değişimini de karşılaştırmak için histogramlar kullanılmıştır.

3. Sonuçlar ve Tartışmalar (Results and Discussions)

Hem meyve ve sebze hem de diğer gıdalarda don zararına sebep olmamak için doğrudan gıda üzerine üfleme yapılamamaktadır. Bu sebeple depoların tavana yakın kısımlarında buharlaştırıcıdan üflenen havanın doğrudan gıdalara çarpmayacağı kadar boşluk bırakılır. Ancak mevcut soğuk depo içerisindeki hava hızları ve sıcaklık dağılımları için yapılan analizde bu boş bölgenin hava dağılımında büyük farklılıklara sebep olduğu görülmüştür.

Depo içerisinde daha homojen bir hava dağılımı ve soğutma elde etmek için ekonomik, pratik ve kolay uygulanabilir bir çözüm olarak buharlaştırıcıdan üflenen soğuk havayı aşağılara doğru yönlendirmek için buharlaştırıcının tam karşısındaki duvara eğimli bir saptırıcı panel konulması düşünülmüştür. Bu çalışmanın da amacı; depo içerisindeki sıcaklık ve hız dağılımını iyileştirecek en ideal panel açısını bulmaktır. Bunun için düşey ile 30° ve 80°'den başlayarak analizler yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar incelenerek bu iki değer arasındaki aralık daraltılarak en homojen dağılımı sağlayan ideal çözüme ulaşılmaya çalışılmıştır.

3.1. Mevcut Soğuk Depo Tasarımının Analizi (Inspection of Existing Cold Store Design)

Soğuk hava deposunda mevcut geometri ve yüklem şartlarında yapılan analizlerde hava dolaşımının büyük bölümünün meyve

sandıkları üzerinde tavana yakın bölümdeki boş alanda meydana geldiği görülmüştür. Buharlaştırıcıdan çıkan havanın büyük bölümü tavana yakın boş alanda dolaşarak tekrar buharlaştırıcı tarafından emilmektedir. Hava akış eğrileri incelendiğinde buharlaştırıcının üflendiği havanın karşısındaki duvara vurduktan sonra az bir kısmının aşağıdaki meyvelere doğru indiği, büyük bir kısmının ise iki yana doğru yayılarak yan duvarlardan tekrar buharlaştırıcıya döndüğü görülmüştür ki alınan bu sonuçlar Praeger vd. [20] yaptığı çalışmayla da paralellik göstermektedir.

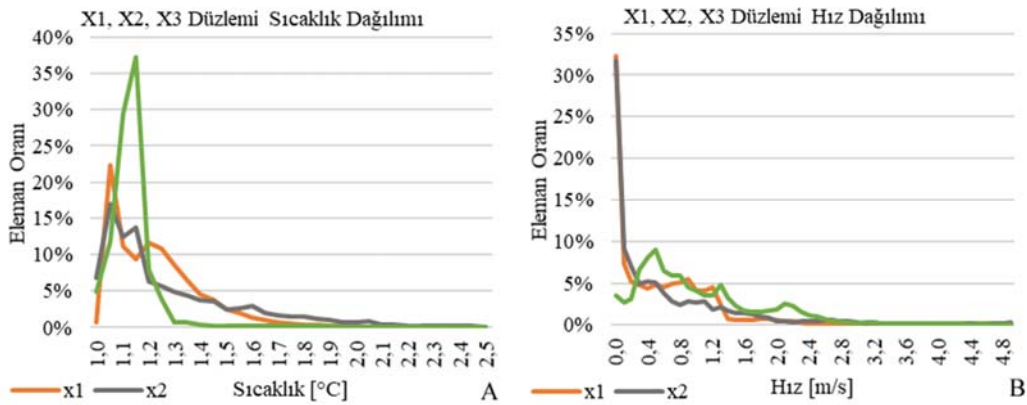
Mevcut tasarım için X1, X2, X3 düzlemlerindeki sıcaklık ve hız dağılımları Şekil 5'de verilmiştir. X eksenine dikey olarak seçilen 3 adet referans düzlem üzerindeki düğümlerdeki sıcaklık dağılımı Şekil 5a'da ve hız dağılımı da Şekil 5b'de verilmiştir. Yatay eksenler sırasıyla sıcaklık ve hız değerlerini gösterirken, düşey eksenler ise bu sıcaklık ve hız aralığındaki düğüm oranını göstermektedir. Her düzlem üzerindeki düğüm sayısı farklı olduğundan grafikleri kıyaslanabilir kılmak için değerler yüzde olarak normalize edilerek oransal olarak alınmıştır.

Tanımlanan 9 düzlemde elde edilen sıcaklık ve hız dağılımları incelendiğinde bize hava hızları ile homojen sıcaklık dağılımı arasında paralellik olduğunu göstermektedir. Dolayısıyla eğer çok düşük hızların söz konusu olduğu ve soğuk havanın giremediği bölgelere havanın ulaşmasını sağlayabilirsek daha homojen bir hava dağılımı elde edebileceğimizi söyleyebiliriz.

3.2. Optimum Panel Açısının Bulunması (Finding the Optimum Panel Angle)

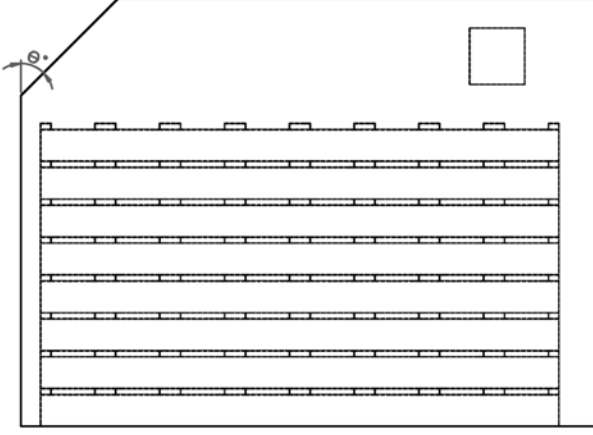
Soğuk depo içerisinde hava akışını iyileştirmek üzere Şekil 6'da görülen ve düşey ile Θ açısı yapan bir saptırıcı panel yerleştirilmiştir. Farklı panel açılarının sıcaklık dağılımı ve hava hızları üzerine etkisini kıyaslamak için ortalama sıcaklık ve sıcaklık standart sapması ile ortalama hız ve hız standart sapması referans düzlemler bazında panel kullanılmayan standart durum ile kıyaslanmıştır. Elde edilen bilgiler ışığında en uygun panel açısına karar verilmiştir. Son olarak da ideal olarak belirlenen panel açısı için bu parametrelerin referans düzlemler bazında karşılaştırması yapılarak elde edilen iyileştirme irdelenmiştir.

Saptırıcı panelin düşey ile yaptığı 14 farklı açı için sıcaklık ve hız dağılımı analizi yapılmıştır. Her bir analizde sıcaklık ortalaması, sıcaklık standart sapması, hız ortalaması ve hız standart sapması tanımlanan 9 adet referans düzlem bazında orijinal tasarım ile kıyaslanmıştır ve bu parametrelerde en fazla iyileşme sağlayan panel açısı tespit edilmiştir. Referans düzlemler için panel açılarına göre



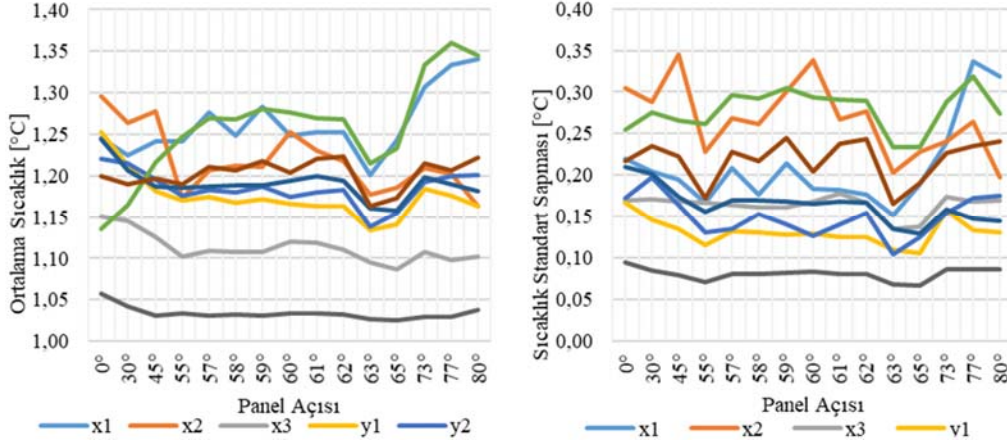
Şekil 5. Mevcut tasarım için X1, X2 ve X3 düzlemlerindeki sıcaklık (A) ve hız (B) dağılımı
(Temperature (A) and velocity (B) distribution in the X1, X2 and X3 planes for the existing design)

sıcaklık ortalaması ve standart sapmaları için elde edilen sonuçlar Şekil 7'de, hız ortalamaları ve standart sapmaları Şekil 8'de grafik olarak verilmiştir.

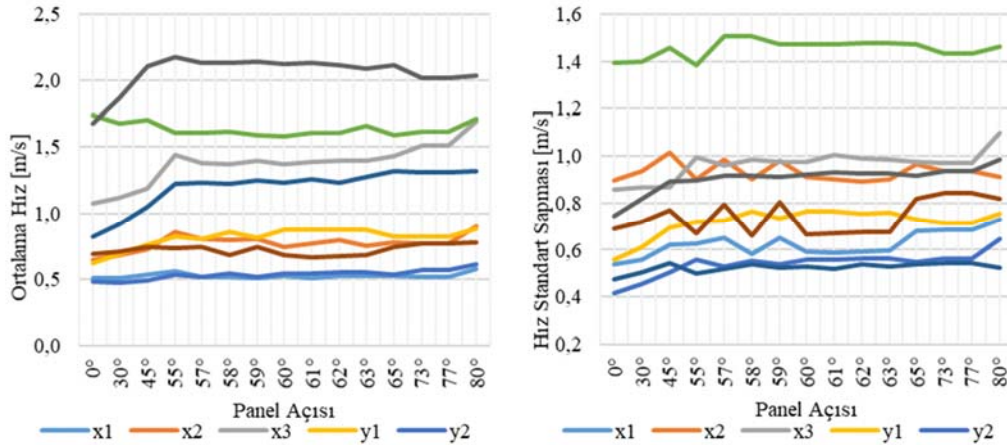


Şekil 6. Θ açılı saptırıcı panelin yerleşimi
(Placement of the Θ angled deflector panel)

Şekil 7'den görüleceği üzere neredeyse tüm eksenlerde en düşük sıcaklıklar 63° 'lik panel açısında elde edilmiştir. Ayrıca sıcaklık



Şekil 7. Panel açısına göre referans düzlemlerdeki sıcaklık ortalaması ve standart sapması
(Average and standard deviation of temperature in reference planes relative to panel angle)



Şekil 8. Panel açısına göre referans düzlemlerdeki hız ortalaması
(Velocity average in reference planes relative to panel angle)

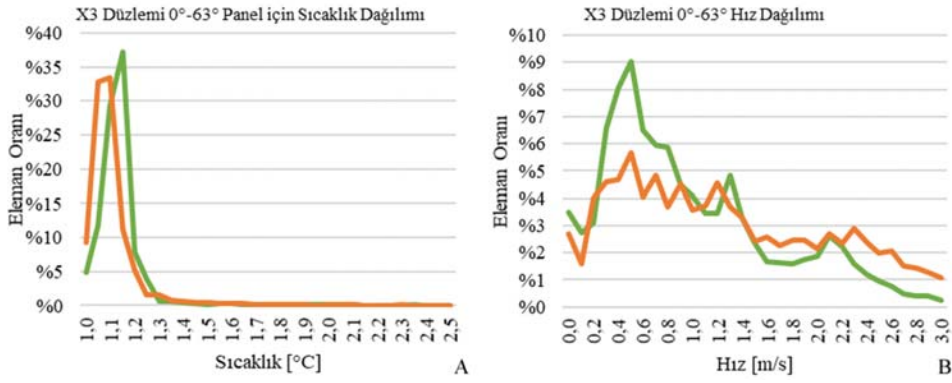
standart sapmalarına bakıldığında en düşük standart sapmaların yine 63° 'lik panel açısında elde edildiği görülmektedir. Bu da daha homojen bir sıcaklık dağılımı olduğunu doğrulamaktadır. Şekil 8'e bakıldığında ortalama hızlarda pek fazla bir değişiklik olmadığı görülmektedir. Ancak hız standart sapmalarına bakıldığında yine 63° panel açısı için en düşük standart sapmaların elde edildiği görülmektedir. Bu da önceki tablo ve şekilleri destekleyerek daha homojen bir hız dağılımı olduğunu göstermektedir.

3.3. Düşey ile 63° Açılı Panel için Detaylı Sonuçlar (Detailed Results for Panel Angled 63° to Vertical)

Buharlaştırıcının karşısına konan düşey ile 63° açılı yerleştirilen panel için yapılan sıcaklık ve hız analizlerinden elde edilen sonuçların referans düzlemleri bazında ortalamaları ve standart sapmaları hesaplanarak karşılaştırılmıştır. X eksenine dik olarak tanımlanmış X3 referans düzlemlerindeki sıcaklık ve hız dağılımına ilişkin grafikler Şekil 9'da verilmiştir. Ayrıca bu düzlemlerdeki sıcaklık ve hız için ortalama ve standart sapma değerleri de Tablo 3'de verilmiştir ve Şekil 11'de grafik olarak gösterilmiştir. Şekil 9a'da X3 düzlemleri için sıcaklık dağılımlarına bakıldığında her iki düzlemde de 63° açılı panel için grafikte sola doğru bir kayma olduğu yani sıcaklıkların düştüğü görülmektedir. Yine Şekil 9a'dan ortalama sıcaklıkların düşerek daha iyi bir soğutma sağlandığı görülmektedir. Ayrıca Tablo 3'de X3 düzleminin sıcaklık standart sapmalarına bakıldığında düşüş olduğu görülmektedir ve bu da daha homojen bir ısı dağılımı

olduğunu göstermektedir. Şekil 9b'de X3 düzlemleri için hız dağılımlarına bakıldığında her iki düzlemde de 63° açılı panel için hızların grafikte sağa doğru yani daha yüksek hızlara doğru kaydığı görülmektedir. Ayrıca ortalama hızlar incelendiğinde artış olduğu görülmektedir ve bu da daha iyi bir hız dağılımı olduğunu göstermektedir. Tablo 3'de X3 düzleminde ortalama hızın 1,08 m/s'den 1,40 m/s'ye arttığı görülmektedir ve Şekil 10'de verilen X3 düzlemindeki hız dağılımına bakıldığında zemine ve meyve kasalarının iç kısımlarına doğru hızların arttığı görülmektedir ki bu da panel hedeflenen amacı gerçekleştirdiğini göstermektedir. 63°C açılı panelin hız dağılımına etkisini görsel olarak analiz edebilmek için 9 adet referans düzlemi üzerinde hız dağılımı için çizilen renkli eşdeğer hız eğrilerine örnek olarak, iki kasa yığını arasındaki boş bölgede tanımlanan X3 düzlemindeki hava hızı dağılımı Şekil 10'de verilmiştir. Şekil 10a'da buharlaştırıcı çıkışındaki yüksek hızların Şekil 10b'de panelin etkisiyle azalarak aşağılara doğru yayıldığı

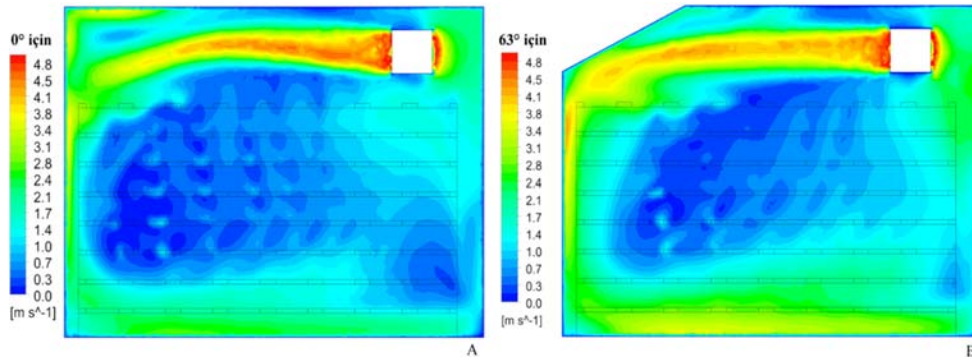
görülmektedir. Ayrıca orta bölgelerdeki düşük hızlar da panel etkisiyle yükselme göstermiş ve daha homojen bir hız dağılımı sağlanmıştır. Şekil 11a'da görüldüğü üzere ortalama sıcaklıkta azalma olmuştur ki bu da bize daha iyi bir soğutma sağlandığını göstermektedir. Buharlaştırıcıdan çıkan havanın büyük bölümü tavana yakın boş bölgede dolaşarak tekrar buharlaştırıcıya geri döndüğü için yere yakın bölgelerde hızlar çok düşüktür ve kasaların arasına doğru bir akış sağlamaya yetmemektedir. Soğutmanın büyük bölümü yan duvarlardan meyvelerin arasına giren hava ile sağlanabilmektedir ki bu da yeterli olmamaktadır. Şekil 10b'de ise ortama eklenen panel sayesinde hava aşağıya yönlendirildiği için sadece yanlardan değil önden de hava girişi sağlanmakta ve iç bölgelerde daha iyi bir soğutma sağlanabilmektedir. Ayrıca Şekil 11a'dan görüleceği üzere Y2 düzlemindeki ortalama sıcaklık azalmış, Şekil 11b'den görüleceği üzere de ortalama hız artmıştır ki bu da bize daha iyi bir soğutma yapılabildiğini göstermektedir.



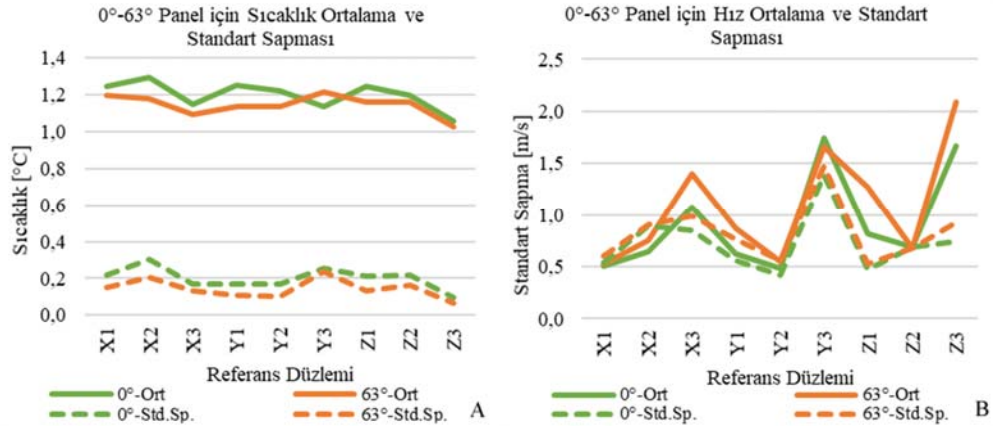
Şekil 9. 0° ve 63° için X3 düzlemindeki sıcaklık (A) ve hız (B) histogramı
(Temperature (A) and velocity (B) histogram in X3 plane for 0° and 63°)

Tablo 3. 63° panel açısı için tüm düzlemlerindeki sıcaklık ve hız ortalama ve standart sapması
(Average and standard deviation of temperature and velocity in all planes for 63° panel angle)

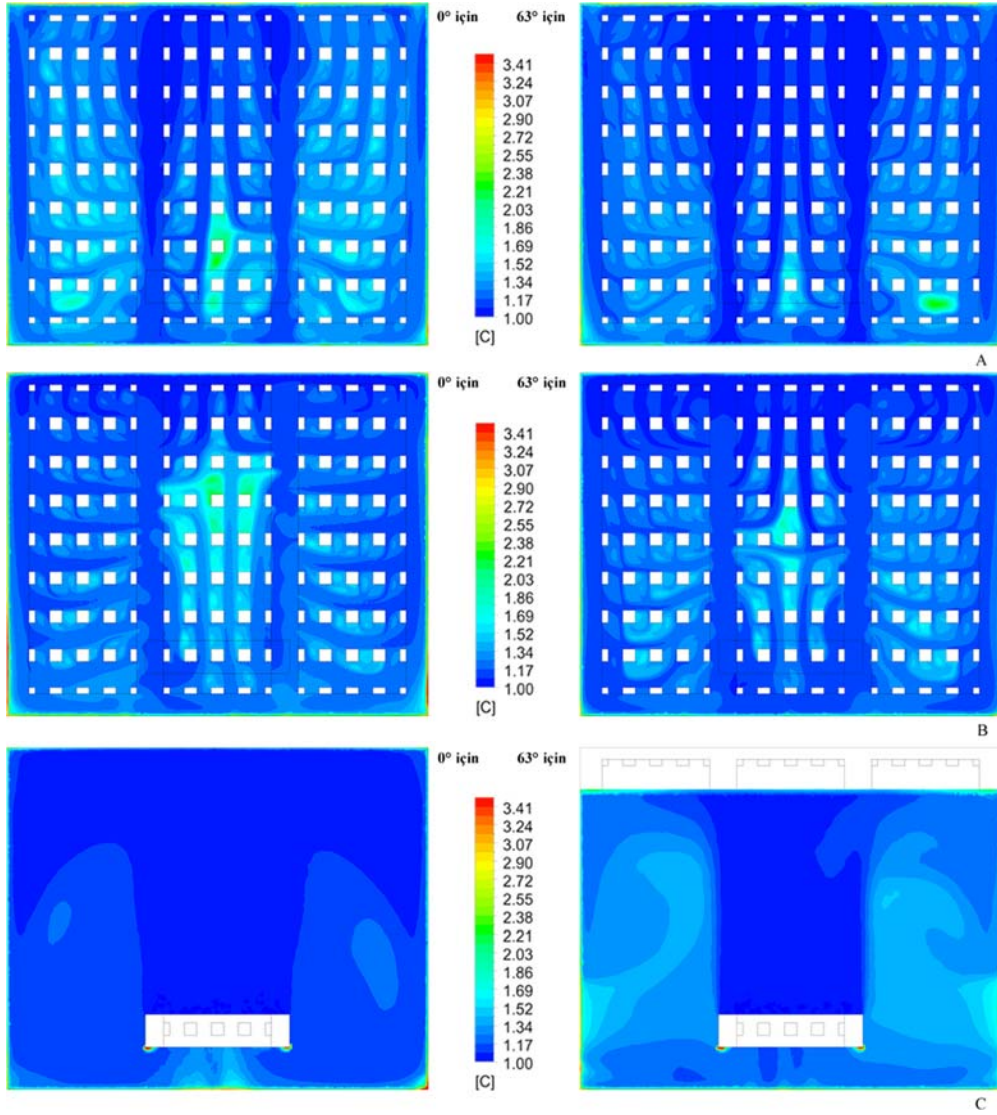
	Sıcaklık [°C]			Hız [m/s]		
	Ortalama		Standart Sapma	Ortalama		Standart Sapma
	0°	63°	Değişim [%]	0°	63°	Değişim [%]
X1	1,25	1,20	-4,0	0,22	0,15	-31,8
X2	1,30	1,18	-9,2	0,30	0,20	-33,3
X3	1,15	1,10	-4,3	0,17	0,14	-17,6
Y1	1,25	1,13	-9,6	0,17	0,11	-35,3
Y2	1,22	1,14	-6,6	0,17	0,10	-41,2
Y3	1,13	1,21	7,1	0,25	0,23	-8,0
Z1	1,24	1,16	-6,5	0,21	0,13	-38,1
Z2	1,20	1,16	-3,3	0,22	0,17	-22,7
Z3	1,06	1,03	-2,8	0,09	0,07	-22,2



Şekil 10. 0° (A) ve 63° (B) panel açılarında X3 düzleminde hız dağılımı
(Velocity distribution in the X3 plane at 0° (A) and 63° (B) panel angles)



Şekil 11. 0° ve 63° için düzlemlerdeki sıcaklık (A) ve hız (B) ortalama ve standart sapması (Average and standard deviation of temperature (A) and velocity (B) in planes for 0° and 63°)



Şekil 12. 0° ve 63° panel açılarında Y1 (A), Y2 (B), Y3 (C) düzleminde sıcaklık dağılımı (Temperature distribution in Y1 (A), Y2 (B), Y3 (C) plane at 0° and 63° panel angles)

Dokuz adet düzlemdeki hız dağılımından görüldüğü üzere 63° eğimli panelin eklenmesiyle depo içerisindeki tüm düzlemlerde daha homojen bir hız dağılımı elde edilmiştir. Önceden hızın yüksek olduğu bölgelerdeki hızlar düşerken, düşük olduğu bölgelerdeki hızlar da artış göstermiştir. Böylece soğuk havanın depo içerisinde her bölgeye daha iyi ulaşması sağlanarak daha iyi bir soğutma, nemlendirme ve meyvede yaşlanmaya sebep olan etilenin daha iyi ve hızlı şekilde uzaklaştırılması sağlanmıştır.

Y1, Y2 ve Y3 düzlemlerindeki sıcaklık dağılımlarını gösteren eş değer sıcaklık eğrilerine ilişkin grafikler sırasıyla Şekil 12a, Şekil 12b ve Şekil 12c'de verilmiştir. Şekilden görüleceği üzere Y1 ve Y2 düzlemlerinde meyve sandıkları arasındaki sıcaklıklar düşmüştür. Buharlaştırıcı seviyesindeki boş alanda tanımlı olan Y3 düzleminde ise sıcaklıkların yükseldiği görülmektedir.

Şekil 12'den görüldüğü üzere 63° ile yerleştirilen saptırıcı panel hedeflenen görevi yapmış, tavana yakın boş alanlardaki gereksiz düşük sıcaklıkları yükseltirken sandıklar arasındaki sıcaklıkları düşürerek daha homojen bir soğutma sağlamıştır.

4. Sonuçlar (Conclusions)

Bu çalışma kapsamında içerisi granny smith elma dolu olan soğuk hava deposu Ansys Fluent programında modellenerek hava hızları ve sıcaklık dağılımı detaylı olarak analiz edilmiştir. Ayrıca gerçek bir soğuk hava deposunda yapılan hız ve sıcaklık ölçümleri HAD analizi ile bulunan sonuçlarla mukayese edilmiş ve sonuçların oldukça uyumlu olduğu görüldüğünden uygulanan HAD analizinin de doğruluğu teyit edilmiştir.

HAD modeli ile soğuk depo içerisindeki hava hızları ve sıcaklık dağılımı incelendiğinde hava hızlarının düşük olduğu bölgelerde soğutmanın yetersiz olduğu görülmüştür. Hava hızlarının düşmesi soğutma performansını kötüleştirdiği gibi karbondioksit ve etilen gibi, meyvelerin depolama ömrünü ve kalitesini olumsuz etkileyen gazların da meyvelerden uzaklaştırılmasını zorlaştırmaktadır. Soğutma sektöründe bu problemin çözümü için uygulanan yöntemlerin ilk yatırım maliyeti yüksek olduğundan yatırımcılar tarafından pek tercih edilmediğinden bunlara alternatif olabilecek pratik, ekonomik ve kolay uygulanabilecek bir çözüm düşünülmüştür. Bu yeni çözümün çok düşük bir yatırımla mevcut soğuk depolara uygulanabilmesi, depolama hacminde kayba sebep olmaması ve farklı meyve türleri ve yükleme koşullarına kolay adapte edilebilir olması hedeflenmiştir.

Mevcut soğuk depo durumu için oluşturulan HAD modelinin analizinde en yüksek hızların ve en düşük sıcaklıkların, meyve kasalarının üzerinde bulunan ve buharlaştırıcının üflediği boş alanda olduğu görülmüştür. Ayrıca buharlaştırıcıdan üflenen havanın büyük bölümünün aşağıdaki meyvelerin arasında girmeden yan duvarlardan dolaşarak tekrar buharlaştırıcıya döndüğü görülmüştür ki alınan sonuçlar Praeger vd. [20] yaptığı çalışmayla da paralellik göstermektedir.

Bu çalışmada problemin çözümü olarak buharlaştırıcının karşısına saptırıcı bir panel koyarak havanın aşağıya yönlendirilmesi ve yerleştirilecek panel için en ideal açının belirlenmesi hedeflenmiştir. Yerleştirilecek panelin düşey ile yaptığı açı dikkate alınarak öncelikle 30° ve 80° için hesaplama yapılmış ve elde edilen sonuçlar panel kullanılmayan durum ile karşılaştırılarak hava hızları ve sıcaklık dağılımındaki değişimler mukayese edilmiştir. Bu karşılaştırma için soğutma açısından kritik olduğu düşünülen 9 adet referans düzlemi hız ve sıcaklıkların ortalaması, standart sapması ve histogram grafiklerinden yararlanarak, panel kullanılmayan durum ile kıyaslanmış ve sorunlu bölgelerde ciddi iyileştirmeler olduğu görülmüştür.

Panel açısı 30° ve 80° ile yapılan analizlerde hem hava hızlarında hem de sıcaklık dağılımında iyileşmeler olduğu görülmüştür. Ancak en fazla iyileştirmenin olacağı panel açısını bulmak için bu alt ve üst sınır arasında panel açıları değiştirilerek en ideal açığı yani en homojen hız ve sıcaklık dağılımının olduğu tasarıma doğru iterasyon yapılmıştır.

14 farklı panel açısı için yapılan analizler sonucunda hava hızları ve sıcaklık dağılımında en fazla iyileşmeyi sağlayan panel açısının 63° olduğu tespit edilmiştir. Panel açısının 63° olduğunda 9 referans düzlemin tamamında panel kullanılmayan duruma göre hava hızlarında ve sıcaklık dağılımında önemli iyileşmelerin olduğu Tablo 3'te görülmektedir. Y3 hariç tüm düzlemlerde ortalama sıcaklıklarda %10'a varan düşüş olurken aynı zamanda sıcaklık standart sapmasında %41'e varan azalmalar sağlanmış ve böylelikle daha homojen bir sıcaklık dağılımı elde edilmiştir. Y3 düzleminde ortalama sıcaklıkta artış olma sebebi ise; buharlaştırıcı çıkışına paralel düzlem olduğundan daha önce bu boş alanda büyük miktarda soğuk hava dolaşarak tekrar buharlaştırıcıya dönüyorken panel sayesinde artık soğuk hava aşağılara doğru yönlendirilmiştir. Bu düzlemdeki sıcaklık standart sapmasının %8 düşmesi de daha homojen bir sıcaklık dağılımı olduğunu göstermektedir. Ortalama hızlarda da %50'ye varan artış sağlanırken, artan hızlar ile beraber hız standart sapmalarında da %35'e varan artışlar görülmektedir. Böylece panel sayesinde soğuk havanın depo içerisinde her bölgeye daha iyi ulaşması sağlanarak daha iyi bir soğutma, nemlendirme ve meyvede yaşlanmaya sebep olan etilenin daha hızlı şekilde uzaklaştırılması sağlanacak ve depolanan ürünlerin hem saklama süreleri uzayacak hem de ürün kalitesinde kayıplar azalacaktır.

Bu çalışma sonucu önerilen çözüm son derece pratik ve ekonomik olduğundan, büyüklük, konum ve depolanan üründen bağımsız olarak tüm soğuk hava depolarında uygulanabileceği öngörülmektedir.

Kaynaklar (References)

1. Türk R., Karaca H., Ülkemizde Taze Ürün Depolayan Soğuk Muhafaza Tesislerinde Teknik ve Ekonomik Nitelikler, Tesisat Mühendisliği, 155, 1300-1309, 2016.
2. Erkan M., Cold storage facilities in Turkey, The World of Horticulture, 58, 9-13, 2018.
3. Karaçali İ., Meyve, Sebze Depolarında Havalandırma, Soğutma Dünyası, 37, 40-43, 2007.
4. Yamankaradeniz R., Horuz İ., Kaynaklı Ö., Coşkun S., Yamankaradeniz N., Soğutma Tekniği ve Isı Pompası Uygulamaları, Dora Yayıncılık, 2017.
5. Atıl Ö., Gülsünoğlu Z., Kılıç Akyılmaz M., Depo bağlı nemi ve sıcaklığının saray helvasının kalitesine etkileri, The Journal of Food, 44 (2), 260-273, 2019.
6. Liu E., Yu T., Liu S., Liu H., Flow Field Analysis and Defrosting Cycle Optimization in a Large-scale Industrial Cold-storage Facility, Journal of Food and Nutrition Research, 2 (9), 567-574, 2014.
7. Mishra P., Aharwal K. R., Auxiliary Draught Base Performance Improvement of Air Distribution System of Cold Store, International Journal of Recent Technology and Engineering, 8 (4), 4737-4748, 2019.
8. Akdemir S., Bal E., Elma Depolamada Kasa İçi Ortam Koşullarının Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği ile Modellenmesi, Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi, 11, 53-62, 2014.
9. Akdemir S., Bartzanas T., Numerical modelling and experimental validation of a cold store ambient factors, Tarım Bilimleri Dergisi, 21 (4), 606-619, 2015.
10. Xiaofei L., Xiaohong N., Improvement on characteristics of air flow field in cold storage with uniform air supply duct, Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 32, 91-96, 2016.
11. Chourasia M. K., Goswami T. K., Steady state CFD modeling of airflow, heat transfer and moisture loss in a commercial potato cold store, Int. J. Refrig., 30, 672-689, 2007.
12. Hoang M. L., Verboven P., De Baerdemacker J., Nicolai B. M., Analysis of the air flow in a cold store by means of computational fluid dynamics, Int. J. Refrig., 23, 127-140, 2000.

13. Polat Y., Yangaz M.U., Çalışır M.D., Gül M.Z., Demir A., Ekici B., Kılıç A., Effect of air pressure on nanofiber production in solution blowing method, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 35 (4), 1719-1728, 2020.
14. Can M., Avcı A., Etemoğlu A., Teknik Tesisat El Kitabı, Dora Yayıncılık, 2008.
15. Aydın H., Ekmekçi İ., Isı Yalıtım Malzemesi Olarak Poliüretan Köpüğün Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri, Üretimi ve incelenmesi, SAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, 6, 2002.
16. Özkol N., Uygulamalı Soğutma Tekniği, TMMOB Makina Mühendisleri Odası, 2016.
17. Delele M.A., Schenk A., Tijskens E., Ramon H., Nicolai B.M., Verboven P., Optimization of the humidification of cold stores by pressurized water atomizers based on a multiscale CFD model, J. Food Eng., 91, 228-239, 2009.
18. Öztürk M.S., Demircan T., Numerical analysis of the effects of fin angle on flow and heat transfer characteristics for cooling an electronic component with impinging jet and cross-flow combination, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 37 (1), 57-74, 2022.
19. Moffat R.J., Describing the uncertainties in experimental results. Exp. Therm Fluid Sci., 1, 3-17, 1998.
20. Praeger U., Jedermann R., Sellwig M., Neuwald D. A., Hartgenbusch N., Borysov M., Truppel I., Scaar H., Geyer M., Airflow distribution in an apple storage room, J. Food Eng., 269, 1-11, 2020.

