



Araştırma/Research

Anadolu Tarım Bilim. Derg./Anadolu J Agr Sci, 31 (2016)
ISSN: 1308-8750 (Print) 1308-8769 (Online)
doi:10.7161/anajas.2016.31.1.84-95



Bir soğuk hava deposunda farklı menfez kanat açılarında göre hava dağılımının hesaplamalı akışkanlar dinamiği ile tahmini

Serap Akdemir*

Namık Kemal Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, İklimlendirme ve Soğutma Programı, Tekirdağ
*Sorumlu yazar/corresponding author: sakdemir@nku.edu.tr

Geliş/Received 26/12/2015 Kabul/Accepted 14/03/2016

ÖZET

Araştırmada; soğuk depo içerisinde hava dağılımını sağlayan menfezlerin kanat açıları 0°-0°-0°, 0°-0°-45° ve 0°-22.5°-45° olarak kurgulanmış ve elma dolu depo için sıcaklık, hava hızı ve bağıl nemin dağılımı hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD) yöntemleri kullanılarak modellenmiştir. CFD modellerden elde edilen veriler farklı kanat açılarının ortam koşullarının depoda yersel değişkenliği üzerindeki etkisini karşılaştırmak için kullanılmıştır. Senaryo 1 (0°-0°-0°) için dolu depoda yapılan menfez kanat açısı modelleme değerlendirmelerinde sıcaklıklar 1.85 °C ile 2.01 °C arasında değişirken Senaryo 2 (0°-0°-45°) ve Senaryo 3'de (0°-22.5°-45°) kanat açıları sıcaklıkları 1.85 °C ile 1.95 °C arasında görülmüştür. Hava hızının modellenmesi için sınır şartı, belirlenen senaryolara göre 1.525 m/s ile 3.99 m/s arasında seçilmiştir. Belirlenen bütün senaryolar için depo içerisindeki hava hızı model değerleri 0.03 m/s ile 0.12 m/s arasında değişkenlik göstermiştir. Modellemede bağıl nem sınır şartı %88 olarak belirlenmiştir. Orta düzlemde alınan bağıl nem model değerleri bütün kanat açıları için %87 ile %88 arasında değişmiştir. Araştırmada menfez kanat açılarının CFD modelleri ile elde edilen sonuçlar dikkate alındığında; soğuk depolama açısından 0°-0°-45° ile 0°-22.5°-45° kanat açıları modelleri istenen değerlere daha yakın çıkmıştır. Hesaplamalı akışkanlar dinamiği ile 3 farklı kanat açısının ortam koşullarının değişimi üzerindeki etkisinin araştırıldığı bu çalışmanın sonucuna göre Senaryo 2 (0°-0°-45°) ve Senaryo 3 (0°-22.5°-45°) deki menfez açılarının sonuçları elma depolamada gereksinim duyulan sıcaklık, hava hızı ve bağıl nem değerlerine Senaryo 1 (0°-0°-0°)'den daha yakın olduğu için önerilmektedir.

Anahtar Sözcükler:
Bağıl nem
CFD
Elma
Menfez açıları
Sıcaklık
Soğuk hava deposu

Estimation of air distribution due to different blade angles of vents computational fluid dynamics in a cold store

ABSTRACT

In this research, the angle of the blades assumed to be 0°-0°-0° (Scenario 1), 0°-0°-45° (Scenario 2) and 0°-22.5°-45° (Scenario 3) for pressure and vacuum vents in an experimental cold storage fully loaded with apple were used, and distributions in ambient temperature, air velocity and relative humidity were modelled by using computational fluid dynamics (CFD) methods. Data determined from CFD Models were used to compare the effect of different blade angle scenarios on spatial ambient temperatures in the storage. Spatial ambient temperatures varied between 1.85 °C and 2.01 °C for Scenario 1 (0°-0°-0°) whereas they were 1.85 °C and 1.95 °C for Scenario 2 (0°-0°-45°) and Scenario 3 (0°-22.5°-45°). Boundary conditions for modelling air velocity were accepted between 1.525 m/s and 3.99 m/s according to the determined scenarios. Air velocity data determined using CFD models for 3 scenarios varied between 0.03 and 0.12 m/s. Boundary condition of relative humidity for CFD modelling assumed to be 88%. Relative humidity model data determined from the middle plane of the cold storage changed between 87% and 88% for all blade angles. According to the CFD results, the values of Scenario 2 (0°-0°-45°) and Scenario 3 (0°-22.5°-45°) were found to be close to the required value for an apple cold storage. According to the results of this study regarding the effect of different blade angles of vents on ambient factors changing in an experimental cold storage, the blade angles in Scenario 2 (0°-0°-45°) and Scenario 3 (0°-22.5°-45°) were suggested because their results were more close to the required ambient temperature, air velocity and relative humidity values for apple storage than Scenario 1 (0°-0°-0°).

Keywords:
Relative humidity
CFD
Apple
Angles of vent
Temperature
Cold store

1. Giriş

Soğuk hava depoları tarımsal üretimden sonra elde edilen ürünlerin gerektiği zaman tüketiciye sunulmasına kadar bu ürünlerin muhafaza edilmesi için kullanılan yapılar. Soğuk hava depolarının gereksinim duyduğu soğuk hava yaygın olarak kullanılan kompresör, kondenser ve evaporatörden oluşan soğutma sistemleri aracılığı ile üretilmektedir. Ancak ayrı bir üniteye suyun ve daha sonra da soğuk su aracılığı ile soğutucu akışkanı soğutarak deponun ihtiyaç duyduğu soğuk havayı üreten Çiller üniteli soğutma sistemleri de giderek yaygınlaşmaktadır. Bu sistemde soğutulan hava üfleme menfezleri aracılığı ile depoya üflenmekte ve emme menfezleri aracılığı ile de soğuk odadan alınarak tekrar sisteme gönderilmektedir. Menfezlerin boyutları, sayısı ve yönlendirme açıları soğuk havanın ortamda dağılımını etkilemektedir. Bu çalışmada Çiller üniteli bir soğuk hava deposunda menfezlerde bulunan kanatların açılarındaki değişimin ortam hava hızı, sıcaklık ve bağıl nemin oda içindeki dağılımını nasıl etkilediğini tahmin etmek üzere hesaplamalı akışkanlar dinamiği ile modellenmiştir.

Modelleme, gerçeğe benzer görüntüler yaratmaktır. Birçok endüstri dalında bir ürünün performansının daha ürün tasarım sürecindeyken bilinmesi oldukça önemlidir. Böylece ürünün artan performans isteklerini karşılayıp karşılamadığı daha tasarım aşamasında görülebilir, probleme sebep olan etkenler bu aşamada ortadan kaldırılabilir ve optimize edilmiş ürün piyasaya sürülerek ürünün rekabet gücünü ve müşteri memnuniyetini artırma imkanına sahip olunabilir (Açıkgöz ve ark., 2007).

Sevilgen ve Kılıç (2007), Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiğini (CFD) akışkanlar mekaniği problemlerinin çeşitli nümerik ve ağ oluşturma metotları ile bilgisayara çözdürülme işlemi olarak tanımlamışlardır. Günümüzde CFD artan bir hızla gelişmektedir. Karmaşık Isıtma, Havalandırma ve Hava Şartlandırıcı (HVAC) sistemlerin sayısal hesaplama yöntemlerine dayanan analiz yöntemleri, gelişen bilgisayar teknolojileri yardımıyla araştırmacılar için yeterli hassasiyette ve kabul edilebilir sonuçlara ulaştığı bir duruma doğru hızla ilerlemektedir. Kapalı ortamlarda, akış analizi, ısı ve kütle transferinin dikkate alındığı birleşik hesaplamalı modeller kullanılmıştır.

Bir soğuk oda içindeki hava akışı CFD kullanılarak Hoang ve ark. (2000) tarafından araştırılmıştır. Hava akışı modeli daimi ve sıkıştırılmaz olarak kabullenilen koşullara göre yapılmış ve türbülans k-ε modeli kullanılarak dikkate alınmıştır. Soğutucu ünitenin zorlanmış hava sirkülasyonu evaporator hava kanalının ve fanın karakteristikleri ile ilişkili yaklaşık bir gövde kuvveti ve direnci ile uyumlu olarak modellenmiştir

(Hoang ve ark., 2000). Nahor ve ark. (2005) geçici bir üç boyutlu CFD modelini mevcut bir soğuk oda için, boş ve dolu koşullarda, hız, sıcaklık ve nem dağılımını hesaplamak için geliştirmişlerdir. Fan ve soğutucunun dinamik davranışı modellenmiştir. Model, standart duvar profilleri ile standart k-ε modelinin ortalamaları ile oluşturulan türbülans dikkate almıştır. Boş soğuk odada hız değerleri için ortalama doğruluk değeri %22 iken, dolu odada %20 olmuştur. Model hava ve ürün sıcaklığını kabul edilebilir bir doğrulukta tahmin etmiştir. Kim ve ark. (2007) sislemeli soğutma sistemi olan seralarda hava sıcaklığı ve bağıl nemin dağılımını simüle etmek için FLUENT programını kullanarak bir CFD modeli geliştirmişlerdir. Geliştirilen modelin geçerliliğini bitki olmayan sislemeli soğutmalı bir seradan alınan verileri kullanarak test etmişlerdir. Ölçülen ve simülasyonla elde edilen hava sıcaklığı değerleri 0.1 °C ile 1.4 °C arasında, bağıl nemler arasındaki farklılık ise %0.3 ile 6.0 arasında değişmiştir.

Depolarda sıcaklık derecesinin hafif düşmesi, bağıl nemin yükselmesine ve çığlenmeye neden olmuştur. Ürün yüzeyinde oluşan çığ damlacıkları, çeşitli enfeksiyonlara ortam oluşturmuştur. Buna karşın sapma nedeniyle depo sıcaklığının yükselmesi, bağıl nem oranının düşmesine, dolayısı ile terleme hızının artarak ürünün su kaybetmesine neden olmuştur. Depo sıcaklık derecesinde 1 °C artış, bağıl nemin yaklaşık %6 oranında düşmesine yol açmıştır (Cemeroğlu ve ark., 2001). Bundan dolayı depolarda sıcaklık derecesi ve bağıl nemin kontrol edilmesi ve ayarlanması gerekmektedir.

Soğutulan araçlarda hava dağılım sistemlerini optimize etmek ve iyileştirmeyi amaçlayan bir çalışma (Moureh ve Flick, 2004) tarafından yapılmıştır. Denemeler soğutucu araçların (1:3:3) oranında küçültülmüş bir modelinde gerçekleştirilmiştir. Ventilasyon ve sıcaklık homojenliği ile ilgili performans hava kanallı ve hava kanalsız bir sistemle karakterize edilmiştir. Hava akışının sayısal modellemesi Hesaplamalı Akışkan Modeli (CFD) ve Reynolds Gerilim Modeli (Reynolds Stress model-RSM) kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Nahor ve ark. (2004) dolu ve boş soğuk odada hız, sıcaklık ve nem dağılımını hesaplamak için üç boyutlu bir CFD model geliştirmişlerdir. Fanın ve soğutucunun dinamik davranışı modellenmiştir.

Bayboz ve ark (2004) soğuk oda havasındaki homojenliği, soğuk oda havasının her kesimde aynı sıcaklıkta olması ve soğutucu üniteye karlama olayının azaltılması olarak tanımlamışlardır.

Doğan (2010) tarafından yapılan çalışmada havanın mahaldeki dağılımının, havanın hızı ve üfleme (menfez) ağzının yapı şekline bağlı olduğu belirtilmiştir. İyi bir hava dağılımı sağlamak için hava

dağıtım etkenlerinin (havanın hızı, basıncı, sıcaklığı, v.s.) iyi belirlenmesi gerektiği ve hava dağıtım elemanlarının işe başlamadan doğru seçilmesinin de iyi bir hava dağıtımı için önemli olduğu vurgulanmıştır.

Mekanik soğutmalı depolarda istifleme, soğutucu tarafından üflenen havanın odanın her tarafına engelsiz bir şekilde yayılmasını sağlayacak şekilde yapılmalıdır. Mümkünse odanın soğutucularının bulunduğu yerin karşısına gelen duvarı ile en gerideki istif arasında bir açıklık bırakmalı böylece karşı duvara çarpan soğuk havanın aşağı indirilerek en dipteki kasalardaki meyvelerin soğutması temin edilmelidir. Soğutucuların önü daima açık bırakılmalı dönüş havasının rahatça dolaşımı sağlanmalıdır (Anonim, 2012).

Bu çalışmada; Çillerli bir soğuk hava deposunda menfez levhalarının kanal açıları değiştirilip ortam koşullarının değişimi Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) ile modellenmiştir. Araştırmada kullanılan soğuk depo içerisine hava, depo tavanında bulunan menfezler tarafından üflenmekte yine menfezler tarafından emilmektedir. Bu menfezler havayı tabana dik olarak üflemede ve emmektedir. Dolayısıyla hava tabana çarptıktan sonra depo içine yayılmaktadır. Seçilen menfez açısı ile soğuk hava deposunda daha homojen hava dağılımı sağlanmaya çalışılmıştır. Bunun için elma dolu bir soğuk depo kullanılarak menfezlerin kanat açılarına göre depoda istenilen hava hızı, sıcaklık ve bağıl nem dağılımı

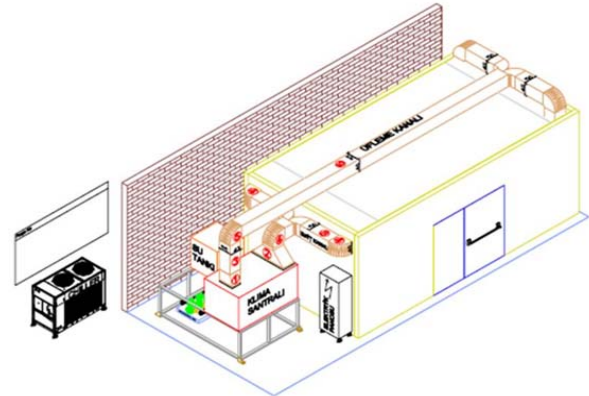
modeller üzerinde belirlenmeye çalışılmıştır.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Materyal

2.1.1. Soğuk depo

Araştırmada kullanılan soğuk depo 60 m³ (4 x 5 x 3 m) hacindedir. Soğutma kapasitesi 15 kW olup genel özellikleri Şekil 1’de ve Çizelge 1’de verilmiştir.



Şekil 1. Panel soğuk depo

Çizelge 1. Soğuk deponun ve soğutma sistem elemanlarının teknik özellikleri

Genel özellikler	Hava şartlandırma cihazı	Su soğutma grubu
Depo ölçüleri: 4 m x 5 m x 3 m (h)	Vantilatör tipi : Aksiyal	Kompresör : Yarı-Hermetik Pistonlu
Nem aralığı ve Toleransı %55 – 95 RH, ± %5	Soğutucu Batarya Kapasitesi 10 kW	Kapasite : 15 kW
Sıcaklık kontrol adımları ve toleransı: 0.1 °C, ± 0.5 °C	Hava Giriş: 19 °C %65RH Hava Çıkış: 15 °C %85RH Su Giriş/Çıkış : 6/11 °C	Nominal Kompresör Gücü: 4.59 kW C.O.P : 3.27 Su Giriş/Çıkış Sıcaklığı: 10/6 °C

Menfezler havanın depo içerisinde dağılımını sağlamak için kullanılmıştır. Üç emme ve üç üfleme menfezi depo tavanına monte edilmiştir. Üfleme menfezleri kapının üzerindeki tavan bölgesine yerleştirilirken emme menfezleri ise deponun arka duvarına denk gelen tavan bölgesine eşit aralıklarla yerleştirilmiştir (Şekil 2).



Şekil 2. Emme ve üfleme menfezlerinin genel görünümü

Şekil 3’de menfez levhalarının konumları belirtilmiştir. Menfezlerin kanat ayarları hava akımının yayılmasını sağlamak amacıyla 0°-0°-0° kanat açısı değerlerine göre monte edilmiştir 30x60 cm boyutlarında, çift sıralı kanatlı, boyanabilir sac malzeme, hava akışı ayarlamalı menfezler kullanılmıştır.



Şekil 3. Menfez

2.2. Yöntemler

2.2.1. CFD ile modelleme

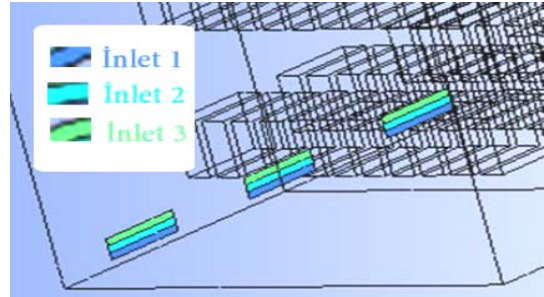
Bu çalışmada soğuk hava deposunda elma depolandığı varsayılmıştır. Elmanın depolanma sıcaklığı +2 °C ve %90 olarak kabul edilmiştir (Pekmezci, 1975).

Menfezler için hesaplamalı akış analiz süreci, geometrik modelleme, çözüm ağı oluşturma, sınır koşullarının belirlenmesi ve sonuçların değerlendirilmesi olarak belirlenmiştir. Modelin gerçeğe yakın olarak hazırlanması ve hazırlanan modelin üzerinde oluşturulan çözüm ağının hassasiyeti ile elde edilen sonuçların doğruluğu orantılıdır.

Bu çalışmada başlangıçta, soğuk depoya giren akışkanın doğru yönlendirilebilmesi ve depo içerisinde homojen dağılımının sağlanabilmesi için 3 boyutlu analizler ile menfez geometrisi tasarlanmıştır. Daha sonra soğuk depo içerisinde sirkülasyon halinde olan havanın istenilen nem ve sıcaklık değerlerinde homojen olarak dağılabilmesi için dolu deponun 3 boyutlu modelleri yapılmıştır. Depo içerisindeki ürünler sistemin çözümünü karmaşıklaştıracağı ve analiz süresini uzatacağı için kasalar halinde modellenmiştir. Dairesel yüzeylerde oluşan ısı geçişlerinin dikdörtgen kasalar üzerinden yapıldığı kabul edilerek model oluşturulmuştur. Giriş menfezlerine açılacak akış girişlerinin verilebilmesi için 50 mm uzunluğunda 3'er eşit parçaya bölünmüştür. Menfez geometrilerinde çözüm ağı oluşturulmuştur.

Problemin doğru şekilde çözülebilmesi için giriş

menfez kanallarına ait numaralar Şekil 4'de renklere göre numaralandırılmış ve 0°-0°-0° açıları için Senaryo 1, 0°-0°-45° açıları için Senaryo 2 ve 0°-22.5°-45° açıları için Senaryo 3 olarak belirlenmiştir.



Şekil 4. Üç farklı senaryo için belirlenen açı renkleri ve numaraları

Analizini yaptığımız soğuk depoda sınır şartlarına göre ANSYS paket programı içinde bulunan CFD analiz programı (Fluent) ile model analizi yapılmıştır.

Soğuk depo içerisinde hava dağılımını sağlayan menfezlerin açıları 0°-0°-0°, 0°-0°-45° ve 0°-22.5°-45° olarak ayarlanmıştır. Kanat ayarları havalandırılması istenen mahalin içinde hava akımının yayılmasını en uygun şekilde sağlayan kanat konumlarına göre seçilmiştir. Bu konumlar; 0° konumu, 22.5° konumu ve 45° konumudur. Kanat açıları 0° konumunda iken kanatlar hava akışına engel olmayacağı için atış mesafesi maksimum, statik basınç ise minimum olacaktır (Anonim, 2015).

Çizelge 2. Sınır koşulları

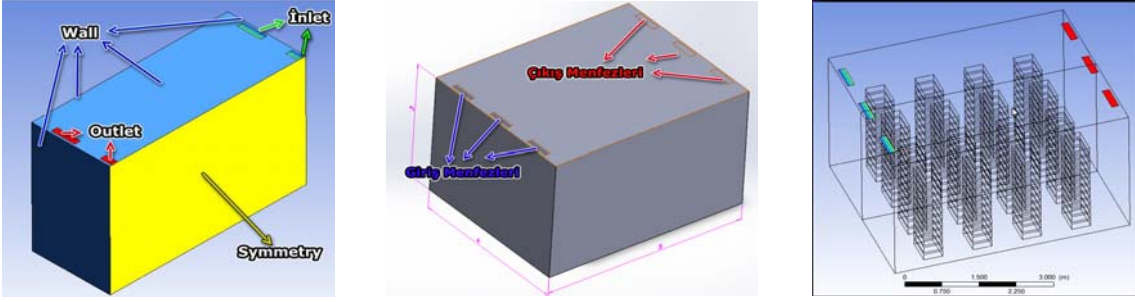
Model	Y Yönüne Göre Giriş Açısı			Sıcaklık	Nem	Türbülans modeli
	Inlet 1	Inlet 2	Inlet 3			
Senaryo 1	0°	0°	0°	1.85 °C	0.0037944	k-ε
Senaryo 2	0°	0°	45°	1.85 °C	0.0037944	k-ε
Senaryo 3	0°	22.5°	45°	1.85 °C	0.0037944	k-ε

Çizelge 3. Hız sınır şartı

Model	Y Yönünde Hava Hızı			Z Yönünde Hava Hızı		
	Inlet 1	Inlet 2	Inlet 3	Inlet 1	Inlet 2	Inlet 3
Senaryo 1	3.99 m/s	3.99 m/s	3.99 m/s	0.00	0.000	0.000
Senaryo 2	3.99 m/s	3.99 m/s	2.823 m/s	0.00	0.000	2.823 m/s
Senaryo 3	3.99 m/s	3.687 m/s	2.823 m/s	3.99 m/s	1.525 m/s	2.823 m/s

Çizelge 4. Diğer sınır şartı

Sınır koşulu	Koşul türü	Sıcaklık	Koşul bilgileri	
			Isı geçişi (h)	Isı üretimi
Çıkış	Basınç çıkışı	-	-	-
Yan yüzeyler	Isı geçişi	15 °C	0.3 W/m ² K	0
Zemin	Heat flux	0	0	0
Tavan		15 °C	0.3 W/m ² K	0
Kasalar	Isı üretimi	15 °C	0.3 W/m ² K	0.07096 W/m ²

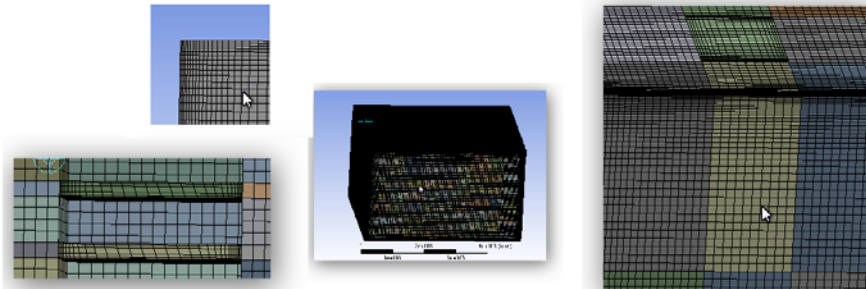


Şekil 5. Dış sınır şartları, katı model üzerinde giriş ve çıkış menfezleri ve depo kasa yerleşimi

Gerekli türbülans modeli için sınır şartları Çizelge 2’de, hız sınır şartı Çizelge 3’de ve diğer sınır şartları Çizelge 4’te verilmiştir. Çizelge 2 ‘de nem sınır şartı olarak bağıl nem için H_2O su kütle oranı 0.0037944 alınmıştır. Bu değer %88 bağıl neme eşittir.

Modeli oluşturan sınırlar Şekil 5’de görüldüğü gibi hava giriş yüzeyi “inlet”, zemin, alt, üst ve yan yüzeyler “wall”, modelin simetri eksenini “symmetry” ve çıkış bölümü ise “outlet” olarak tanımlanmıştır. Üç boyutlu model hazırlığından sonraki adımda hesaplamalı akışkanlar dinamiği çözümü için modelin

sayısal ağı hazırlanmıştır. Bu aşamada modelin doğru şekilde çözülebilmesi için belirli sayıda sonlu hacimlere ayrıştırma işlemi yapılmaktadır. Modelin bazı bölgelerinde özellikle ürün kasalarının etrafında ve zeminde sınır tabaka elemanları kullanılmıştır. Ayrıca çözümün doğruluğu ve hızlanması için soğuk depo simetrik kabul edilip yarım model kullanılmıştır. Modelin sonlu hacimler ağı Şekil 6’da görülmektedir. Sonlu hacimler ağı üçgen elemanlar kullanılarak oluşturulmuştur ve toplam eleman sayısı 2.598.680’dir (Nahor ve ark., 2004).



Şekil 6. Sayısal ağ kesit görünümü

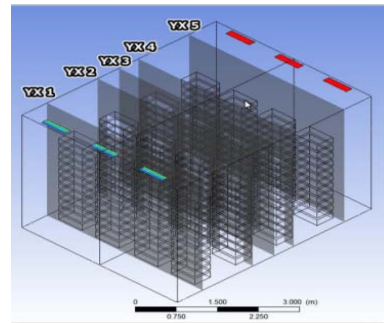
2.2.2. Düzlemlere göre modelleme

Fluent programında modellemeler dolu depoda belirlenen menfezlerin açılına göre yapılmış, sıcaklık, hava hızı ve bağıl nemin dağılımı modellenmiştir. Bağıl nem modellemelerinde alt ve üst düzlemlerde %100 nem değeri belirlendiği için orta düzlem üzerinde yapılan modellemedeki nem değerleri alınmıştır.

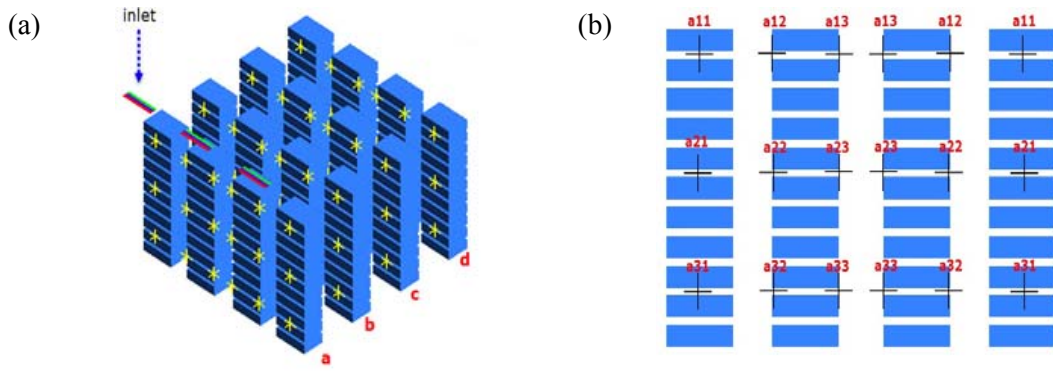
Şekil 7’de belirlenen düzlemlerden karşılaştırma amacıyla değerler alınmıştır. Elde edilen değerlerden her düzlem için 12 adet ortalama değer hesaplanmış ve modeller arasında karşılaştırma yapılmıştır.

Sıcaklık, hava hızı ve nem değerlerinin alındığı noktaların konum ve düzlemleri Şekil 8a’da, örnek olmak üzere a sırasındaki ölçüm noktalarının detayı Şekil 8b’de verilmiştir. Soğuk depoya 40x60x15 mm

boyutlarında toplam maksimum 176 adet elma dolu kasa yerleştirildiği varsayımıyla modelleme yapılmıştır.



Şekil 7. Model düzlemleri



Şekil 8. Depodaki kasaların konumu ve düzlemler (a), model değerlerinin saptandığı noktalar (b)

3. Bulgular

3.1. Hava hız akım çizgileri

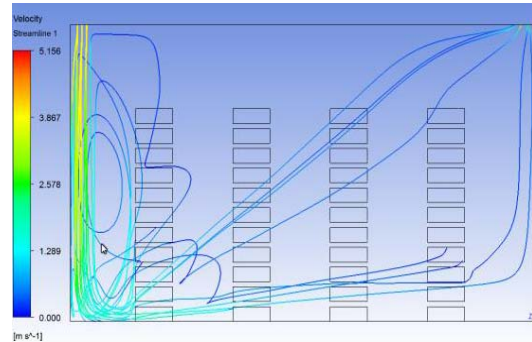
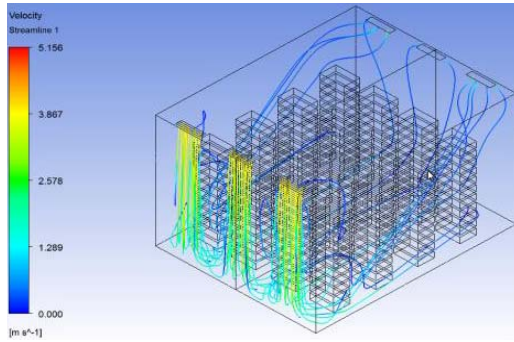
Modellenmiş olan tüm senaryolar için hava hızlarının akım çizgileri aşağıda Şekil 9, Şekil 10 ve Şekil 11’de verilmiştir.

Senaryo 1’de hava hızı tabana doğru 0.3m/s ile hareket etmiş ve alt köşeden itibaren 0.12 m/s ile depo

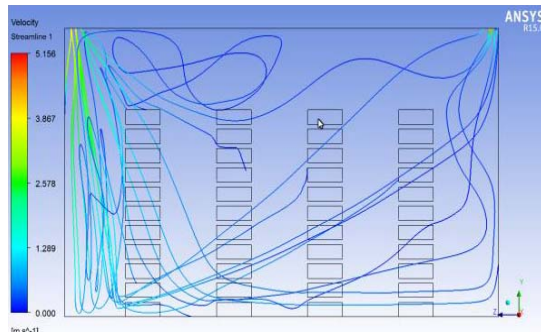
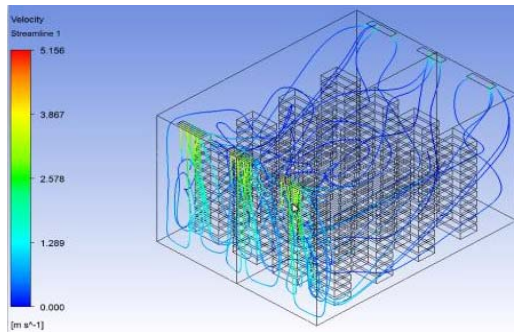
içerisine yayılmıştır.

Senaryo 2’de hava hızı tabana doğru 0.12 m/s ile hareket ederken türbülanslı bir akış görülmüştür.

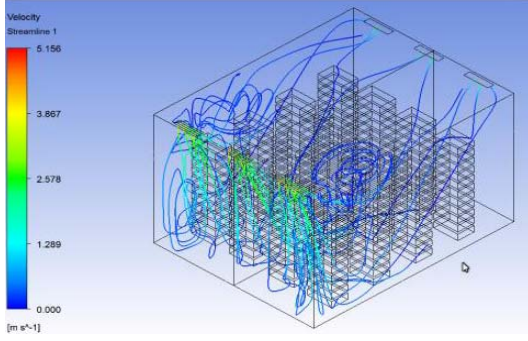
Senaryo 3’de hava hızı tabana doğru 0.3m/s ile hareket ederken ilk kasa sırası boyunca bu hızla hareket etmiştir. Tabanda orta kısma kadar olan bölümde aynı hız çizgileri görülmüştür. Düzlemin ortasına yakın bölümünde türbülanslı akış gözlemlenmiştir.



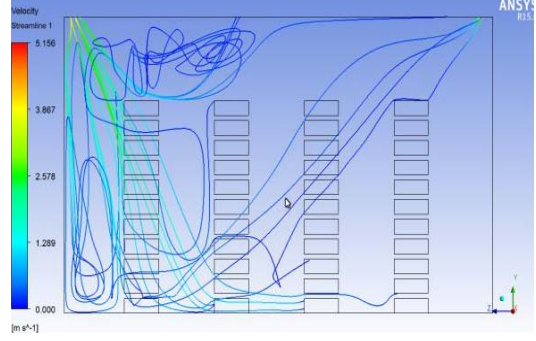
Şekil 9. Senaryo 1 akım çizgileri



Şekil 10. Senaryo 2 akım çizgileri



Şekil 11. Senaryo 3 akım çizgileri



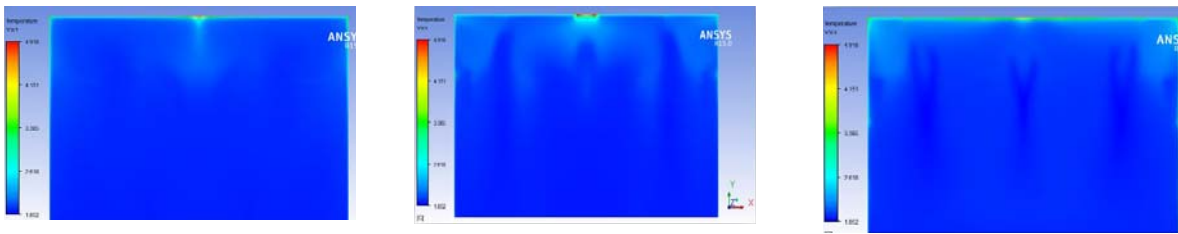
3.2. Z yönünde CFD analiz sonuçları

3.2.1. Sıcaklık

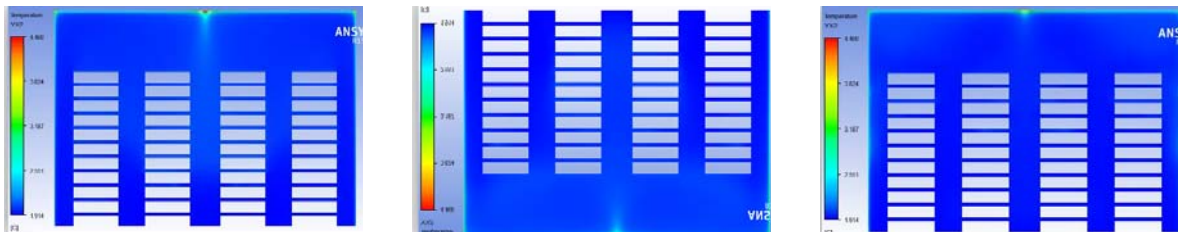
CFD Analiz sonuçlarının Z yönünde ve YX düzleminde sıcaklık dağılımları Şekil 12, Şekil 13, Şekil 14, Şekil 15 ve Şekil 16'da verilmiştir.

YX1 düzleminde sıcaklık Senaryo 1'de genel olarak yaklaşık 1.85 °C olarak gözlemlenirken Senaryo 2 ve Senaryo 3'de menfez alanı içinde kalan yerlerde yaklaşık 1.85 °C köşelerde ise 2 °C olarak belirlenmiştir. YX2 düzleminde kesit kasaların ortasından alınmıştır. Her bir senaryo için sıcaklık yaklaşık 1.90 °C olarak gözlemlenmiş, sadece orta menfeze denk gelen çok küçük bir alanda 2 °C'ye yakın değerler bulunmuştur. YX3 düzleminde sıcaklık senaryo 1'de deponun tabanında ve alt köşelerde yaklaşık 1.95 °C olurken deponun büyük bir bölümünde yaklaşık 2.01 °C olarak belirlenmiştir. Senaryo 2'de 1. ve 3. menfez üfleme alanlarında ve deponun orta

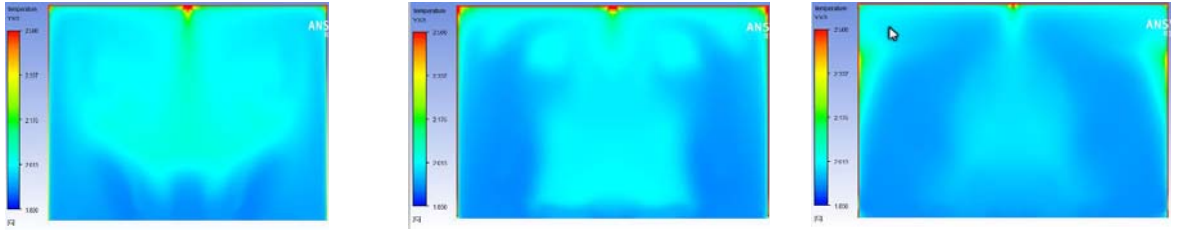
kısımında 1.95 °C gözlenirken diğer alanlarda 2.01 °C olmuştur. Senaryo 3'de menfez üfleme alanlarında ve alt köşelerde sıcaklık 1.95 °C iken üst köşelerde ve deponun ortasında 2.01 °C olarak belirlenmiştir. YX4 düzleminde kesit kasaların ortasından alınmıştır. Senaryo 1'de sıcaklık deponun tabanına yakın ara kasalarda 1.90 °C iken düzlemin büyük bir bölümünde yaklaşık 2 °C olarak belirlenmiştir. Senaryo 2'de 1. ve 3. menfez üfleme alanlarında kasaların etrafında 1.9 °C görülürken düzlemin orta kısmında 2.01 °C gözlenmiştir. Senaryo 3'de üst köşelerde ve ortadaki kasalarda sıcaklık 2.01 °C olurken diğer alanlarda 1.9 °C olarak belirlenmiştir. YX5 düzleminde sıcaklık Senaryo 1'de düzlemin ortasında bulunan 2. menfezin üflediği alanda ve duvara yakın alanlarda 2.01 °C olurken kasaların bulunduğu alanlarda 1.95 °C olarak belirlenmiştir. Senaryo 2 ve 3'de menfez çıkış ağzlarında ve duvar kenarlarında sıcaklık 1.95 °C iken düzlemin genelinde 2 °C olarak gözlenmiştir.



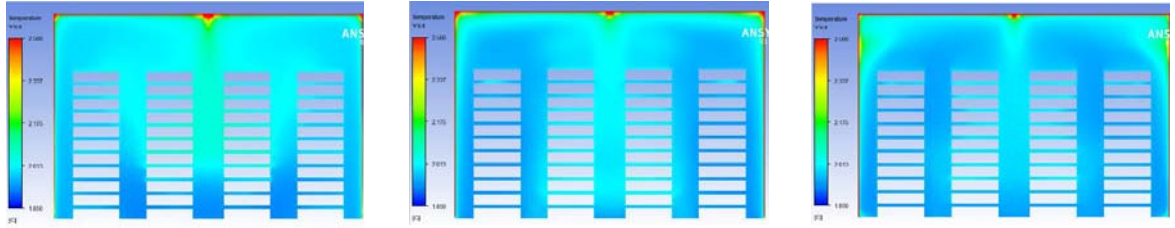
Şekil 12. Senaryo 1, 2 ve 3 için Z yönünde YX1 düzlemi için sıcaklık dağılımları



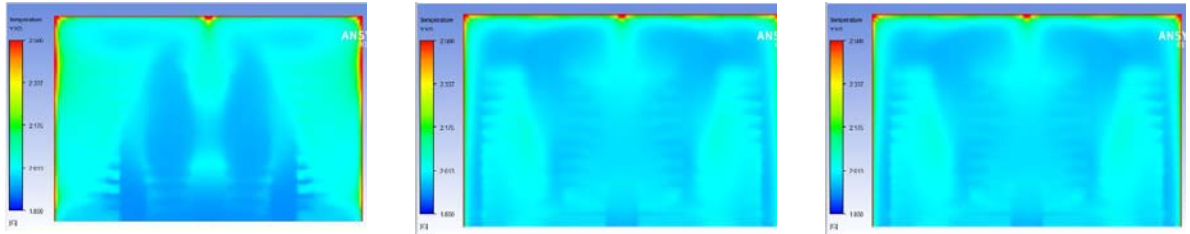
Şekil 13. Senaryo 1, 2 ve 3 için Z yönünde YX2 düzlemi için sıcaklık dağılımları



Şekil 14. Senaryo 1, 2 ve 3 için Z yönünde YX3 düzlemi için sıcaklık dağılımları



Şekil 15. Senaryo 1, 2 ve 3 için Z yönünde YX4 düzlemi için sıcaklık dağılımları



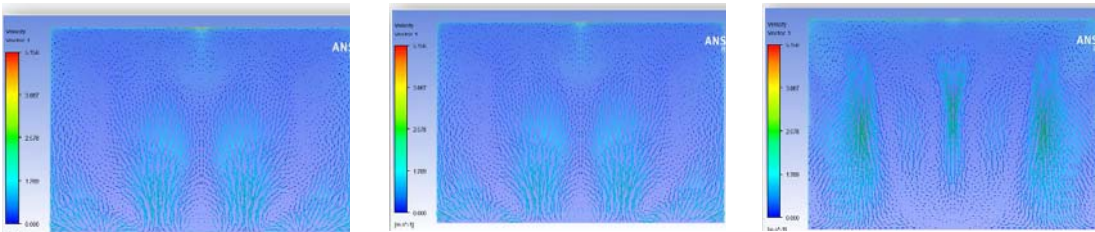
Şekil 16. Senaryo 1, 2 ve 3 için Z yönünde YX5 düzlemi için sıcaklık dağılımları

3.2.2. Hava hızı

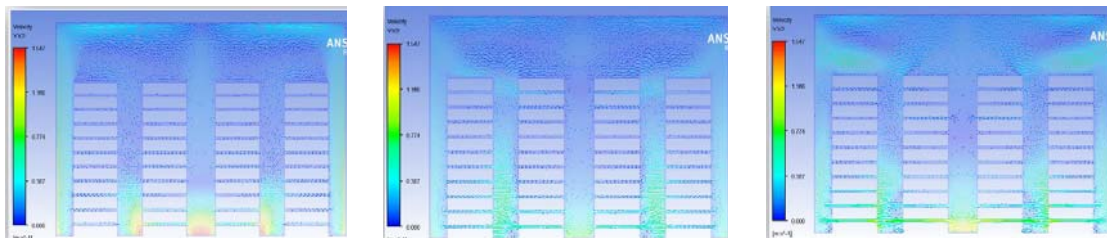
Z yönünde ve XY düzlemlerinde hava hızı dağılımları ile ilgili CFD modelleme sonuçları Şekil

17, Şekil 18, Şekil 19, Şekil 20 ve Şekil 21'de verilmiştir.

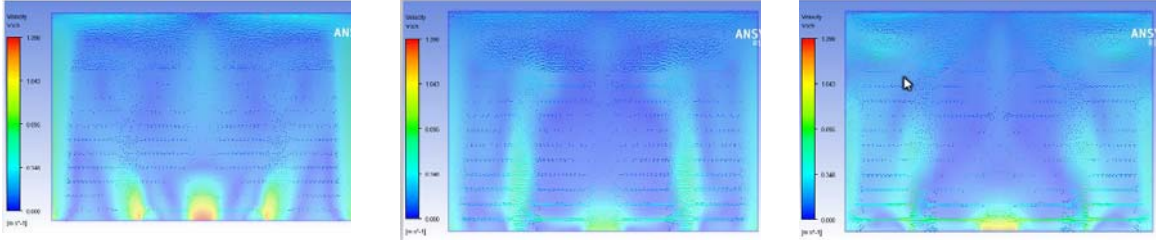
YX4 düzleminde Senaryo 1'de menfez ağızları boyunca ve düzlem kenarlarında 0.03 m/s görülürken



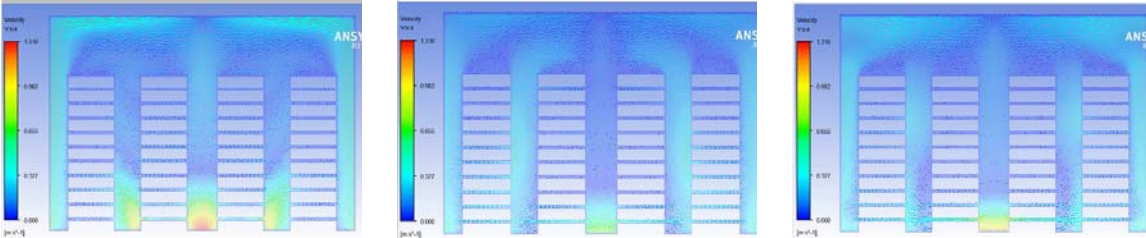
Şekil 17. Senaryo 1, 2 ve 3 için Z yönünde YX1 düzlemi için hava hızı dağılımları



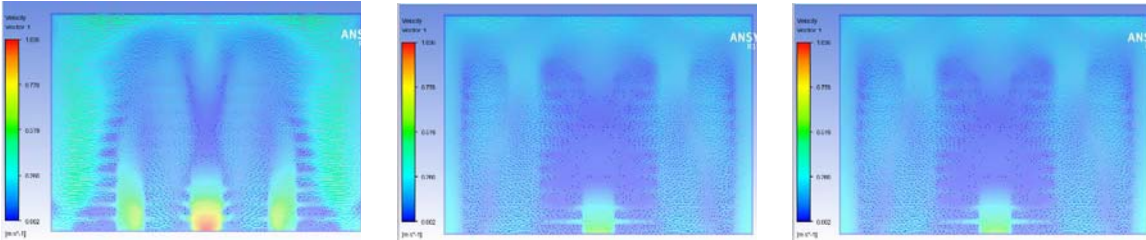
Şekil 18. Senaryo 1, 2 ve 3 için Z yönünde YX2 düzlemi için hava hızı dağılımları



Şekil 19. Senaryo 1, 2 ve 3 için Z yönünde YX3 düzlemi için hava hızı dağılımları



Şekil 20. Senaryo 1, 2 ve 3 için Z yönünde YX4 düzlemi için hava hızı dağılımları



Şekil 21. Senaryo 1, 2 ve 3 için Z yönünde YX5 düzlemi için hava hızı dağılımları

orta kasaların tabana yakın alanlarında 0.11-0.15 m/s arasında değişim görülmüştür. Senaryo 2'de 1. ve 3. menfez alanları ile duvara yakın alanlarda ve tabanda 0.03 m/s görülürken orta menfezin üst taraflarında hava hızı düşmüştür. Senaryo 3'de ise düzlemin genelinde 0.03 m/s hava hızı görülmüştür.

YX5 düzleminde Senaryo 1'de hava hızının havanın tabana çarptığı yerlerde yaklaşık 0.11 m/s olduğu görülmüş menfez alanlarında ve duvara yakın alanlarda 0.03 m/s olarak belirlenmiştir.

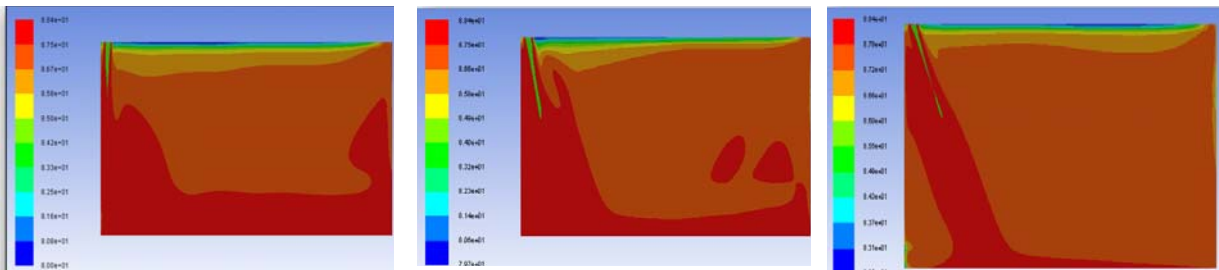
Senaryo 2 ve 3'de hava hızı düzlemin ortasında düşmüş, diğer kısımlarda 0.03 m/s olarak gözlemlenmiştir. Her iki senaryodaki düzlemlerin büyük bir bölümünde hava hızı 0.03 m/s olarak bulunmuştur.

3.2.3. Orta kesit nem modelleri

Modellemede nem dağılımı alt ve üst düzlemlerde %100 nem olarak görüldüğü için bir belirsizlik yaratmıştır. Bu yüzden nem dağılımı menfez açalarına göre sadece orta eksen (simetri eksen) üzerindeki düzlem için modellenmiştir (Şekil 22).

Senaryo 1'de orta düzlemin büyük bir kısmında nem yaklaşık %87 olurken depo kenarlarında ve tabanda yaklaşık %88 olmuştur. İstatistiksel ortalama %87.48 bulunmuştur.

Senaryo 2'de orta düzlemin orta kısmında nem yaklaşık %87 olurken depo yan duvarında belirli bir alanın nemi yaklaşık %88 olmuştur. İstatistiksel ortalama %87.78 bulunmuştur.



Şekil 22. Senaryo 1, 2 ve 3 için Z yönünde YX3 düzlemi için havanın bağıl nem dağılımları

Senaryo 3'de orta düzlemin büyük bir kısmında bağıl nem yaklaşık %87 olurken depo yan duvarında ve tabanda yaklaşık %88 olmuştur. Ortalama %87.71 bulunmuştur.

3.3. CFD model değerleri

ANSYS Programı ile oluşturulan modeller üzerinden saptanan veriler ve tanımlayıcı istatistikleri Çizelge 5'de verilmiştir.

Çizelge 5. Modeller üzerinden saptanan veriler ve tanımlayıcı istatistikleri

Noktalar	Senaryo 1			Senaryo 2			Senaryo 3		
	Sıcaklık (°C)	Hız (m/s)	Nem (%)	Sıcaklık (°C)	Hız (m/s)	Nem (%)	Sıcaklık (°C)	Hız (m/s)	Nem (%)
a11	2.01	0.08	87.37	1.94	0.49	87.76	1.92	1.48	87.90
a12	1.97	0.28	87.62	1.93	0.31	87.84	1.98	0.19	87.55
a13	2.07	0.10	87.00	1.96	0.24	87.69	1.99	0.29	87.49
a21	1.97	0.12	87.63	1.91	0.95	87.99	1.91	1.62	88.00
a22	1.95	1.22	87.71	1.92	0.54	87.91	1.95	0.18	87.71
a23	1.96	0.70	87.66	1.92	0.39	87.89	1.97	0.38	87.62
a31	1.94	1.34	87.78	1.90	0.93	88.01	1.94	0.82	87.77
a32	1.93	1.74	87.83	1.91	0.76	87.94	1.96	0.20	87.66
a33	1.95	0.82	87.70	1.91	0.53	87.96	1.98	0.13	87.56
b11	2.00	0.11	87.42	1.96	0.05	87.66	1.92	0.48	87.89
b12	2.02	0.05	87.28	1.99	0.04	87.44	1.93	0.46	87.85
b13	2.07	0.14	87.01	1.96	0.15	87.68	1.95	0.26	87.75
b21	1.96	0.13	87.63	1.94	0.09	87.81	1.95	0.29	87.74
b22	1.97	0.06	87.58	1.92	0.31	87.90	1.95	0.04	87.72
b23	1.99	0.08	87.50	1.94	0.14	87.80	1.95	0.34	87.72
b31	1.95	0.28	87.75	1.92	0.33	87.93	1.94	0.49	87.76
b32	1.94	0.74	87.79	1.92	0.35	87.91	1.94	0.45	87.75
b33	1.96	0.47	87.67	1.92	0.22	87.89	1.94	0.56	87.80
c11	2.01	0.14	87.38	1.96	0.07	87.68	1.96	0.14	87.63
c12	2.02	0.12	87.27	2.03	0.04	87.25	1.94	0.21	87.81
c13	2.04	0.13	87.13	1.94	0.06	87.77	1.94	0.12	87.81
c21	2.01	0.05	87.33	1.95	0.05	87.74	1.95	0.21	87.75
c22	1.97	0.06	87.58	1.92	0.31	87.90	1.95	0.04	87.72
c23	2.04	0.08	87.19	1.93	0.06	87.84	1.95	0.04	87.72
c31	1.95	0.27	87.70	1.92	0.21	87.91	1.94	0.28	87.78
c32	1.95	0.42	87.72	1.92	0.25	87.89	1.94	0.43	87.77
c33	1.96	0.48	87.65	1.92	0.23	87.89	1.95	0.31	87.75
d11	2.05	0.33	87.13	1.99	0.18	87.48	1.99	0.15	87.47
d12	2.02	0.10	87.27	1.97	0.07	87.57	1.95	0.17	87.71
d13	2.03	0.09	87.21	1.97	0.08	87.61	1.96	0.06	87.67
d21	2.00	0.13	87.41	1.97	0.22	87.60	2.00	0.18	87.41
d22	2.01	0.16	87.38	1.95	0.06	87.75	1.95	0.07	87.70
d23	2.01	0.27	87.37	1.95	0.05	87.73	1.96	0.05	87.64
d31	2.01	0.23	87.37	1.93	0.13	87.86	1.97	0.11	87.57
d32	1.95	0.45	87.72	1.93	0.13	87.87	1.95	0.20	87.71
d33	1.96	0.47	87.68	1.93	0.26	87.88	1.95	0.25	87.71
Minimum	1.93	0.05	87.00	1.90	0.04	87.25	1.91	0.04	87.41
Maksimum	2.07	1.74	87.83	2.03	0.95	88.01	2.00	1.62	88.00
Ortalama	1.99	0.35	87.48	1.94	0.26	87.78	1.95	0.33	87.71
Standart sapma	0.04	0.40	0.24	0.03	0.24	0.17	0.02	0.35	0.12
Varyasyon Katsayısı (%)	1.89	114.39	0.27	1.37	92.26	0.19	0.98	106.79	0.14

4. Sonuç ve Tartışma

Modellemede depo için sıcaklık sınır koşulu 1.85 °C olarak belirlenmiştir. Modellemede depo içinde düzlemlere göre yapılan genel sıcaklık dağılımında sıcaklığın bütün düzlemlerde 1.85 °C ile 1.90 °C arasında değiştiği bölgesel olarak bazı yerlerde 2 °C'ye ulaştığı görülmüştür. Çizelge 5'deki istatistiki verilerden bütün düzlemlerin ortalaması Senaryo 1 için 1.99 °C, Senaryo 2 için 1.94 °C ve Senaryo 3 için 1.95 °C olarak bulunmuştur. Bütün senaryolar model tahminleri içinde kalmıştır. Akdemir (2013) evaporatörle soğutulan ve elma depolanan klasik bir soğuk odada CFD modelleme ile sıcaklıkları tahmin ettiği çalışmada; seviyelere bağlı olarak sıcaklık için minimum 2.13 °C, maksimum 2.34 °C, standart sapma 0.06 °C ve varyasyon katsayısını da %2.62 olarak bulmuştur. Her iki farklı tip soğuk depo kıyaslandığında Çiller üniteli depo ile evaporatör soğutucuya sahip depo arasında sıcaklık değerleri açısından ve depolama toleransları dikkate alındığında (+1 °C...2 °C) pratikte fark yoktur. Ancak Çiller üniteli depo elma depolama sıcaklığı olan +2 °C'ye daha yakındır.

Soğuk hava deposunun tamamında hava akış dağılımı doğası itibarı ile çok karmaşıktır ve genelleştirmek çok zordur (Chourasia ve Goswami, 2009). Ayrıca hava dağıtıcı ünitenin yerine ve tipine bağlı olarak da hava akış dağılımı değişir. Bu durum; evaporatörlü soğuk hava depolarında yersel değişkenlik saptanması amacıyla yapılan ölçüm değerleri ile de saptanmıştır (Akdemir ve Arın, 2005, Akdemir, 2014). Modellemede Senaryo 1 için hava hızı sınır koşulu her bir menfez kanadı için 3.99 m/s olarak belirlenmiştir. Modellemede depo içindeki düzlemlerde hava hızı değeri 0.03 m/s ile 0.12 m/s arasında değişim göstermiştir. Hava hızı ortalaması Senaryo 1 için 0.35 m/s olarak bulunmuştur. Modellemede Senaryo 2 için hava hızı sınır koşulu 1. ve 2. menfez kanadı için 3.99 m/s 3. kanat için ise 2.823 m/s olarak belirlenmiştir. Modellemede depo içinde düzlemlere göre yapılan hava hızı dağılımında hava hızının 0.03 m/s olduğu görülmüştür. Senaryo 2 için hava hızı ortalaması 0.26 m/s olmuştur. Modellemede Senaryo 3 için hava hızı sınır koşulu 1. menfez kanadı için 3.99 m/s, 2. menfez kanadı için 3.687 m/s, 3. menfez kanadı için 2.823 m/s olarak belirlenmiştir. Modellemede depo içinde düzlemlere göre yapılan hava hızı dağılımında hava hızının bütün düzlemlerde 0.03 m/s olarak belirlendiği görülmüştür. Hava hızı ortalaması Senaryo 3 için 0.33 m/s olarak hesaplanmıştır.

Evaporatörle soğutulan ve elma depolanan klasik bir soğuk odada CFD modelleme ile hava hızlarının tahmin edildiği ve ölçüm sonuçları ile karşılaştırıldığı araştırmada; minimum hava hızı 0.15 m/s, maksimum

değer 0.39 m/s, standart sapma 0.08 ve varyasyon katsayısı %27.95 olarak bulunmuştur. Çiller üniteli soğuk depo ile sonuçlar karşılaştırıldığında ise ortalama hava hız değerinin, minimum ve maksimum hava hızı değerlerinin evaporatörlü soğutma sistemine sahip depodan yüksek olduğu görülebilir. Ayrıca model standart sapma değerleri ve varyasyon katsayısının da çok yüksek olduğu görülebilir. Hava hızı tahminlerindeki bu değişkenliğin sebebi Çillerli üniteye soğuk havanın tabana yüksek hızla çarparak depo içine yayılması evaporatörlü sistemde ise tavandan soğuk havanın kasaların üstünden düz olarak evaporatörün karşı duvarına üflenmesi ve duvara çarparak yayılmasından kaynaklanmaktadır. Dolayısıyla evaporatörlü depo içinde ölçülen hava hızlarında daha az değişim olmuştur.

Modellemede nem dağılımı alt ve üst düzlemlerde %100 nem olarak görüldüğü için bir belirsizlik yaratmıştır. Bu yüzden nem dağılımı menfez açılımlarına göre sadece orta eksen (simetri ekseni) üzerindeki düzlem için modellenmiştir. Bağlı nem sınır şartı %88 alınmıştır. Belirlenen açılara göre yapılan modellemelerde bağlı nem ortalaması yaklaşık %87 bulunmuştur.

Bu çalışmada Çillerli bir deneysel soğuk hava deposu için olası menfez kanat açısı senaryoları modellemeler yapılarak incelenmiştir. Hesaplamalı akışkanlar dinamiği ile 3 farklı kanat açısının ortam koşullarının değişimi üzerindeki etkisinin araştırıldığı bu çalışmanın sonucunda Senaryo 2 (0°-0°-45°) ve Senaryo 3'de (0°-22.5°-45°) istenilen ortam koşullarına yakın değerler elde edilmiştir. Farklı soğuk hava depolarında havanın üflendiği menfeze göre bu tip çalışmalar yapılıp menfez açılarının belirlenmesi depolanan ürünün kalitesinin korunması açısından yararlı olacaktır.

Teşekkür

Soğuk Hava Deposunda Menfezlerin Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği ile Modellenmesi-NKUBAP.00.MB. AR.14.01 projesi Namık Kemal Üniversitesi tarafından desteklenmiştir. Projeye verdiği destekten dolayı Namık Kemal Üniversitesi Rektörlüğüne teşekkür ederim.

Kaynaklar

- Açıkgöz, A., Gelişli, M.Ö., Öztürk, E., 2007. Otomotiv endüstrisinde hesaplamalı akışkanlar dinamiği uygulamaları, www.anova.com.tr/dynamicContent/file/makale_otomoti v.pdf /[Erişim: 20/12/2015].
- Akdemir, S., Arın, S., 2005. Effect of air velocity on temperature in experimental cold store. *Journal of Applied Sciences*, 5(1): 70-74.
- Akdemir, S., 2013. Evaporatörle soğutulan klasik bir soğuk

- hava deposunda ortam koşullarının CFD ile modellenmesi ve geçerliliğinin test edilmesi. 28. Ulusal Tarımsal Mekanizasyon Kongresi, 4-6 Eylül 2013, Bildiri Kitabı, s. 120-129.
- Akdemir, S., 2014. Distribution of air velocity in a cold store with chiller unit. 12th International Congress on Mechanization and Energy in Agriculture, 3-6 Eylül 2014, Bildiri Kitabı, s:161-166
- Anonim, 2012. Meyve ve sebzelerin soğukta muhafazası. <http://www.food.hacettepe.edu.tr/turkish/ouyeleri/gmu809/Sogukta%20Muhafaza.pdf/> / [Erişim: 20/12/2015].
- Anonim, 2015. Doğuş Teknik. Çift sıralı menfez, Available from URL:<http://www.dogusteknik.net/pdf/cift-sirali-menfez.pdf/>[Erişim: 06/09/2015].
- Bayboz, B., Yalçın, E., Savaş, S., 2004. Soğuk depoculukta alışlagelen yöntemler, uygulanmayan doğrular ve kalite. Tesisat Mühendisliği Dergisi, 81, s:1-9.
- Cemeroğlu, B., Yemenicioğlu, A., Özkan, M. 2001. Meyve ve sebzelerin bileşimi ve soğukta depolanması. Gıda Teknolojisi Derneği Yayınları No: 24, Ankara.
- Chourasia, M.K., Goswami, T.K., 2009. Efficient design, operation, maintance and management of cold storage. e-Journal of Biological Sciences, 1(1): 70-93.
- Doğan, H., 2010. Uygulamalı havalandırma ve iklimlendirme tekniği. Seçkin yayıncılık, 4. Baskı, 416 s. ISBN: 9789750226045.
- Hoang, M.L., Verboven, P., De Baerdemaeker, J., Nicolai, B.M., 2000. Analysis of airflow in a cool store by means of computational fluid Dynamics. Int. J. Refrigeration, 23(2): 127-140.
- Kim, K., Giacomelli, G A., Yoon, J. Y., Sadeneori, S., Son, J.E., Nam, S.W., Lee, I.B., 2007. CFD Modeling to improve the design of a fog system for cooling greenhouses. Japan Agricultural Research Quarterly, 41(4): 283-290 .
- Moureh, J., Flick, D., 2004. Airflow pattern and temperature distribution in a typical refrigerated truck configuration loaded with pallets. International Journal of Refrigeration, 27: 464-474.
- Nahor, H.B., Hoanga, M.L., Verbovena, P., Baelmansb, M., Nicolai, B.M., 2004. CFD model of the airflow, heat and mass transfer in cool stores. International Journal of Refrigeration, 28: 368-380.
- Nahor, H.B., Hoanga, M.L., Verbovena, P., Baelmansb, M., Nicolai, B.M., 2005. CFD model of the airflow, heat and mass transfer in cool stores. International Journal of Refrigeration, 28: 368-380.
- Pekmezci, M., 1975. Bazı önemli elma ve armut çeşitlerinin solunum klimakterikleri (solunum hızı seyri) ve soğukta muhafazaları üzerine araştırmalar (Doçentlik Tezi), Tarım Orman Bakanlığı Yayınları, Ankara.
- Sevilgen, G., Kılıç, M., 2007. İnsan vücudundan ortama taşınım, ışınım ve nem transferi ile gerçekleşen ısı transferinin birleşik modellemeyle üç boyutlu sayısal çözümlemesi. VIII. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 25-28 Ekim 2007, Bildiri Kitabı, s: 341-354.