

Standart Buhar Çevrimi ile Çalışan Bir Soğuk Depoda Hava Hızının Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği ile Analizi

Serap Akdemir

Namık Kemal Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu, Elektrik ve Enerji Bölümü, İklimlendirme ve Soğutma Programı, 59030 Tekirdağ
sakdemir@nku.edu.tr

Geliş Tarihi (Received): 06.05.2016 Kabul Tarihi (Accepted): 27.07.2016

Özet: Bu çalışmada standart buhar çevrimi ile çalışan bir soğuk depoda şeftalinin depolanması sırasında hava hızları farklı seviyeler için ölçülmüş ve aynı zamanda hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) ile Ansys Fluent programı kullanılarak hava hızı dağılım modelleri oluşturulmuştur. Ölçüm ve model hava hızı değerleri karşılaştırılarak depo için modelin geçerliliği test edilmiştir. Ayrıca depolama sırasında hava hızı ölçüm değerleri ile modellemeden elde edilen değerler karşılaştırılarak oluşturulan HAD hava hızı dağılım modellerinin geçerliliği istatistiksel açıdan değerlendirilmiştir. Modellemeden elde edilen değerler ile ölçümden elde edilen değerler arasındaki fark ortalama olarak 0.49 m/s olarak saptanmıştır. HAD Model ile ölçümler arasındaki tahmin hatası ölçüm sayısının sınırlı olması ve modellemede sınır koşullarının belirlenmesindeki zorluklardan dolayı %39.73 olarak hesaplanmıştır.

Anahtar kelimeler: Buhar çevrimi, hava hızı, hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD), modelleme, şeftali

Air Velocity Analyses by Computational Fluid Dynamics in A cold Store with Standard Steam Cycle

Abstract: Air velocity were measured for different levels and air speed distribution models created by using ANSYS Fluent program based on Computational Fluid Dynamics (CFD) during the storage of peaches in a cold storage works with standard steam cycle in this research. The validity of the model was tested by comparing the measurements and models air velocity data for the cold store. In addition, validity of the developed CFD models were statistically evaluated by comparing model and measurement data. Differences between model and measurement data as estimation error was calculated as 0.49 m/s because of number of measurement limited by sensor number and difficulties to determine correct boundary conditions for this cold storage.

Key words: Air velocity, computational fluid dynamics (CFD), modelling, steam cycle, peach

GİRİŞ

Meyve ve sebze sektöründe, hasattan tüketiciye ulaşana kadarki süreçte çeşitli teknikler ile kayıp oranlarının azaltılması, dolaylı olarak tarımsal üretimi ve üretici gelirinin artmasını sağlayacaktır. Bu kayıpların en az düzeye indirilmesi için, en uygun hasat zamanının yanında, soğukta muhafaza işleminin çok bilinçli yapılması gerekir. Ürünlerin muhafazası ise, birçok kez ürünlere bağlı olarak özel uygulamaları

gerektirdiği gibi; her aşaması da mutlak titizlik ile takip edilmesi gereken bir diğer önemli safhayı oluşturmuştur. Bu konuda muhafaza sıcaklığı ve nemi, depo içi hava hareketi, depolamada ambalaj ve istif şekli, depolama öncesi yapılan uygulamalar ürünlerin başarılı depolanmasının en önemli kriterlerini oluşturmaktadır (Eriş, 2001).

Soğuk hava deposundaki tarımsal ürünlerin soğutma miktarı ve kalitesi oldukça büyük oranda hava akış alanları ile ilişkili sıcaklık alanlarına bağlıdır. Xie ve ark. (2006) model bir soğuk odada iki boyutlu matematiksel modellemeyi yapan bir bilgisayar programı yazdılar. Simülasyon sonuçları hava hızı ve sıcaklık dağılımının karakteristiklerini belirledi. Bu da CFD'nin soğuk odalarda tasarım ve optimizasyon için çok güçlü bir araç olduğunu göstermiştir.

Bir soğuk oda içindeki hava akışı Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (CFD) kullanılarak daimi ve sıkıştırılmaz olarak kabullenilen koşullara göre hava akışı modeli geliştirilmiştir. Türbülans k-ε modeli olarak dikkate alındı. Modelin geçerliliği hesaplanan zaman-ortalama hız değerlerinin her yönde ölçülen sensor değerleri ile karşılaştırılmasıyla yapılmıştır. Hava hızının bağıl hatası %26 olarak gözlemlendi (Hoang ve ark., 2000). Bir gıda temizleme odasındaki hava akış dağılımı sonlu hacim yöntemini kullanan hesaplamalı akışkan dinamiğinin bir kodu ile (Rouaud ve Havet 2002) tarafından araştırılmıştır. Chen ve ark. (2002) soğutulan binalar için kapı aralığında içeri giren hava miktarını tahmin etmek için Tamm eşitliğini temel alan ampirik bir model geliştirildi. Modelin geçerliliği hacimleri 740 m³ ile 12000 m³ arasında değişen 7 farklı soğuk hava deposunda test edildi. Ayrıca başka bir çalışmada; hava akışı, ısı transferi ve nem kayıpları sabit koşullar için akışkan dinamiği teknikleri kullanılarak ticari ölçekteki bir patates deposunda (Chourasia ve Goswami, 2007-a) çalışmışlardır. Moureha ve Flick (2004) ise paletli kargoların tamamında sıcaklık farklılıklarının azaltılması amacıyla soğutulan araçlarda hava dağılım sistemlerini optimize etmek ve iyileştirmeyi amaçlayan bir çalışma yapmışlardır. 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 (Computational Fluid Dynamics-CFD) ve Reynolds Gerilim Modeli (Reynolds Stress model-RSM) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. RSM kullanılarak elde edilen sonuçlara deneysel veriler ile iyi bir uyum göstermiştir. Nahor ve ark. (2004) dolu ve boş soğuk odada hız, sıcaklık ve nem dağılımını hesaplamak için üç boyutlu bir CFD model ile fanın ve soğutucunun dinamik davranışı modellenmişler. Modelin geçerliliği ticari ölçekteki bir depo için geçerlidir ve model hava

hızını % 19.5 ve sıcaklığı da % 0.5 doğrulukla tahmin edecek yetenekte bulunmuştur (Chourasia ve Goswami 2007-b). Deneysel bir soğuk oda da taban, orta ve tavan düzlemlerinde sıcaklık, hava hızı ve bağıl nemin yersel değişkenliği (Akdemir ve Arın 2005) tarafından belirlenmiş ve yersel değişkenlik göstermek için ölçüm değerleri kullanılarak hava hızı dağılım haritaları oluşturulmuştur. Akdemir (2014) çillerli soğutma sistemine sahip bir soğuk hava deposunda şeftali depolanması sırasında hesaplamalı akışkanlar dinamiği ile hava hızı dağılımını tahmin etmiş ve ölçüm değerleri ile karşılaştırmıştır. Belirlenen sınır koşulları ile elde edilen CFD modelinin tahmin hatası %12.56 olarak belirlenmiştir.

Bu çalışmada bir soğuk depoda şeftali depolama sırasında hava hızı dağılımının modellenmiş ve depo içerisinde alınan ölçüm değerlerine modelin ne kadar yakınsadığı belirlenmeye çalışılmıştır. Elde edilen ölçüm ve model değerleri istatistiki açıdan karşılaştırılmıştır.

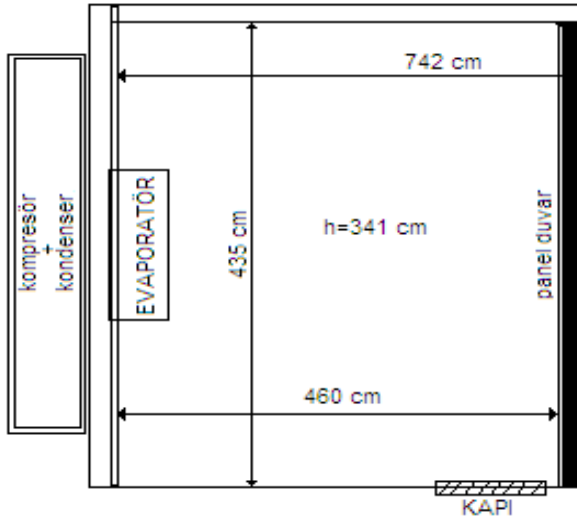
MATERYAL ve YÖNTEM

MATERYAL

Soğuk oda

Araştırmada 68.3 m³ hacminde Tekirdağ Bağcılık Araştırma Enstitüsü Deposu kullanılmıştır. 4.60m X 4.35m X 3.41 m boyutlarındaki depo şekil 1'de, soğutma sistemi ise şekil 2'de verilmiştir.

Soğuk depoda kullanılan soğutma sisteminde 10460 kJ/h kapasitesinde hermetik kompresör kullanılmıştır. Sistem -5 ile +5 çalışma aralığında soğutma yapmaktadır. Sistemdeki elektrik motorunun gücü 2BG'dür. Yoğuşturucu hava soğutmalı, bakır borulu, alüminyum lamelli, yeterli kapasitede hava debisiyle çalışan aksiyal fanlara sahiptir. Giriş-çıkış kollektörleri ve diğer ilaveleri ile birlikte komple kapasite 3000 kCal/h'dir. Buharlaştırıcı, bakır borulu yapılmış ve dış yüzü alüminyum lamelle kaplanmıştır. Soğuk havanın depoya yayılmasını sağlamak için buharlaştırıcının arkada aksiyal fan bulunmaktadır. Defrost (buzun çözünmesi) için elektrikli ısıtıcılar kullanılmıştır. Buzun çözünmesi ile oluşan suyun boşaltma borusuna iletilmesini sağlamak için buharlaştırıcının önüne defrost tavası konulmuştur. Buharlaştırıcının kapasitesi 10460 kJ/h'dir.



Şekil 1. Depo boyutları

Figure 1. Cold store dimensions



Şekil 2. Soğuk Oda Kapısı, Evaporatör ve Soğutma Grubu

Figure 2. Cold store door, evaporator and cooling system

YÖNTEM

Bu araştırmada standart buhar çevrimi ile çalışan bir soğuk depoda şeftalinin depolanması sırasında hava hızı ölçümleri yapılmış ve aynı zamanda hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) ile Ansys Fluent programı kullanılarak hava hızı modelleri oluşturulmuştur. Ölçüm ve model değerleri karşılaştırılarak depoda HAD ile hava hızı analizi ortaya konulmaya çalışılmıştır. Ayrıca depolama sırasında hava hızı ölçüm değerleri ile modellemeye elde edilen değerler karşılaştırılarak modelin geçerliliği istatistiksel açıdan değerlendirilmiştir.

Soğuk depoya şeftaliler 495x290x100 mm ölçülerinde kasalarda depolanmıştır. Kasaların depo içi örnek istif düzeni Şekil 3'de verilmiştir. Deponun içerisine şeftali kasaları dört sıra halinde ve her sütunda 12 kasa olacak şekilde yerleştirilmiştir.



Şekil 3. Şeftali depolama

Figure 3. Peach storage

Hava Hızı Ölçüm Sensörü

Araştırmada hava hızı ölçümleri Testo 435 ile yapılmıştır. Hava hızı sensörünün ölçüm sınırları 0 m/s ve 20 m/s arasında değişmektedir.

Bilgisayar Programı

Program olarak ANSYS Fluent kullanılmıştır. Fluent, sonlu hacimler yöntemini kullanan bir Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) yazılımıdır. Fluent, genel amaçlı bir HAD yazılımı olarak, otomotiv endüstrisi, havacılık endüstrisi, beyaz eşya endüstrisi, turbo makine (fanlar, kompresörler, pompalar, türbinler v.b.) endüstrisi, kimya endüstrisi, yiyecek endüstrisi gibi birbirinden farklı bir çok endüstriye ait akışkanlar mekaniği ve ısı transferi problemlerinin çözümünde kullanılmaktadır (Anova 2016)

Depo içerisindeki hava hızı dağılımı hesaplamalı akışkanlar dinamiği kullanılarak modellenmiştir. Analizde model geometrisi oluşturulmuş, ağ yapısı ve eleman sayısı belirlenmiş, sınır şartları girilmiş ve çözücü ayarları yapılmıştır.

Soğuk depoda ısı taşınım katsayısı 0.35 w/m.C (kasa duvarlarından yayılan ısı) olarak, ısı iletim katsayısı ise 0.87 w/m.K olarak alınmıştır. Dış sıcaklık 18 °C ve bağıl nem miktarı (species h₂O) 0.0041432 olarak belirlenmiştir. Hesaplamalı akışkanlar dinamiği yöntemini kullanan Ansys Fluent programında modelleme detayları Çizelge 1'de verilmiştir.

İstatistiksel analizlerde ise HAD ile elde edilen modellerin gerçekte yapılan ölçümlere ne kadar yakınsadığını daha doğrusu aradaki farkın istatistiksel açıdan önemli olup olmadığını saptanması amacıyla varyans analizi yapılmıştır. Bunun için SPSS paket programı kullanılmıştır. Yapılan varyans analizi sonucunda önemli çıkan faktörler Duncan çoklu karşılaştırma testi ile gruplandırılmıştır.

Çizelge 1. CFD Modelleme detayları

Table 1. CFD Model details

Model parametresi	Kabul edilen durum
Çözücü Tipi	Pressure-Based, Double Precision
Akış Rejimi	Steady State (Daimi Koşul)
Türbülans Modeli	k-ε
Basınç Hız İlişkisi	Simple
Ayrıklaştırma Yöntemi	Second Order Upwind
Yakınsama Kriteri	$< 10^{-3}$ (Residuals)

Bu araştırmada ayrıca hava hızı değerleri için model ile ölçüm arasındaki farklar, % farklar hesaplanmış, grafiklerle model, ölçüm ve aralarındaki fark değerleri gösterilmiştir.

$$t = (t_m - t_ö) \quad (1)$$

$$RH = (RH_m - RH_ö) \quad (2)$$

$$v = (v_m - v_ö) \quad (3)$$

Burada;

t = Modelden elde edilen sıcaklık değeri ile ölçülen değer arasındaki fark (°C)

$t_ö$ = Ölçülen sıcaklık değeri (°C)

t_m = Model üzerinden saptanan sıcaklık değeri (°C)

$RH_ö$ = Sensörle ölçülen bağıl nem değeri (%)

RH_m = Modelden elde edilen bağıl nem değeri (%)

v = Modelden elde edilen hava hızı değeri ile ölçülen değer arasındaki fark (m/s)

$v_ö$ = Ölçülen hava hızı değeri (m/s)

v_m = Model üzerinden saptanan hava hızı değeri (m/s)

Modellemeler ve ölçümlerden elde edilen sonuçların değerlendirilmesinde Şekil 4'de verilen Y eksenindeki ve Z ekseninde düzlemler dikkate alınmıştır. İstatistiksel değerlendirmelerde Y eksenindeki düzlemler YDüzlem ve Z eksenindeki düzlemler ise Seviyeler (Üst, Orta ve Alt) olarak kodlanmıştır.

Soğuk deponun hava hızı değerleri, taban, orta ve tavan düzlemi olmak üzere üç düzlemde, her bir düzlem için 12 noktadan toplam 36 noktadan şeftalinin depolanması sırasında ölçüm alınarak saptanmıştır (Şekil 5).

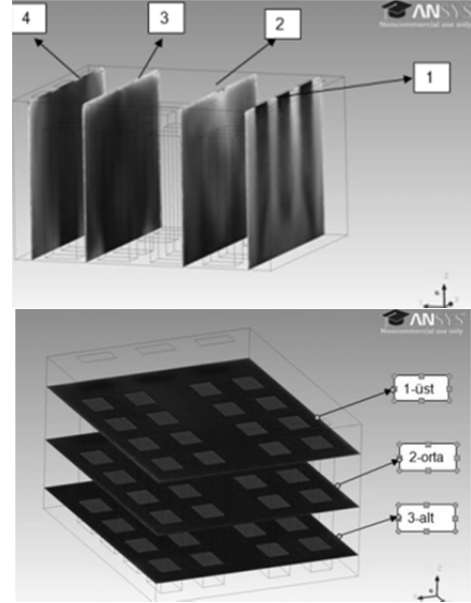
**Şekil 4. Y ve Z ekseninde düzlemler ve kodları**

Figure 4. Planes and its codes for Y and Z axis

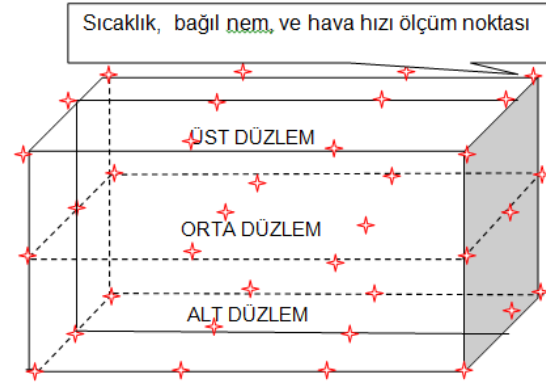
**Şekil 5. Depo içinde ölçüm noktaları**

Figure 5. Measurement points in cold store

İstatistiksel açıdan değerlendirmelerde veriler için aşağıdaki kodlar kullanılmıştır (Çizelge 2).

Önemli çıkan varyasyon kaynakları için gruplandırmalarda orijinal verilerden elde edilen ortalamalar kullanılmıştır. Varyans analizleri sonucu F testi ile karşılaştırılmıştır. Önemli çıkan varyasyon katsayıları için Duncan testi ile gruplandırılmıştır. Ancak interaksiyon etkilerinden önemli çıkanların testi MSTAT programı ile yapılmıştır. Çünkü SPSS programı sadece ana etkilerin çoklu karşılaştırmasını yapmaktadır. Bu araştırmada ayrıca hava hızı değerleri için model ile ölçüm arasındaki farklar, % farklar hesaplanmış, grafiklerle model, ölçüm ve aralarındaki fark değerleri gösterilmiştir.

Çizelge 2. İstatistiksel değerlendirmelerde kullanılan kodlar

Table 2. The cods were evaluated by using descriptive statistics

Değişken adı	Açıklaması	Kod
Model	Modelden saptanan veriler	1
	Ölçümle elde edilen veriler	2
Y Düzlem	1.düzlem	1
	2.düzlem	2
	3.düzlem	3
	4. düzlem	4
Seviyeler	1.seviye (üst)	1
	2.seviye (orta)	2
	3.seviye (alt)	3

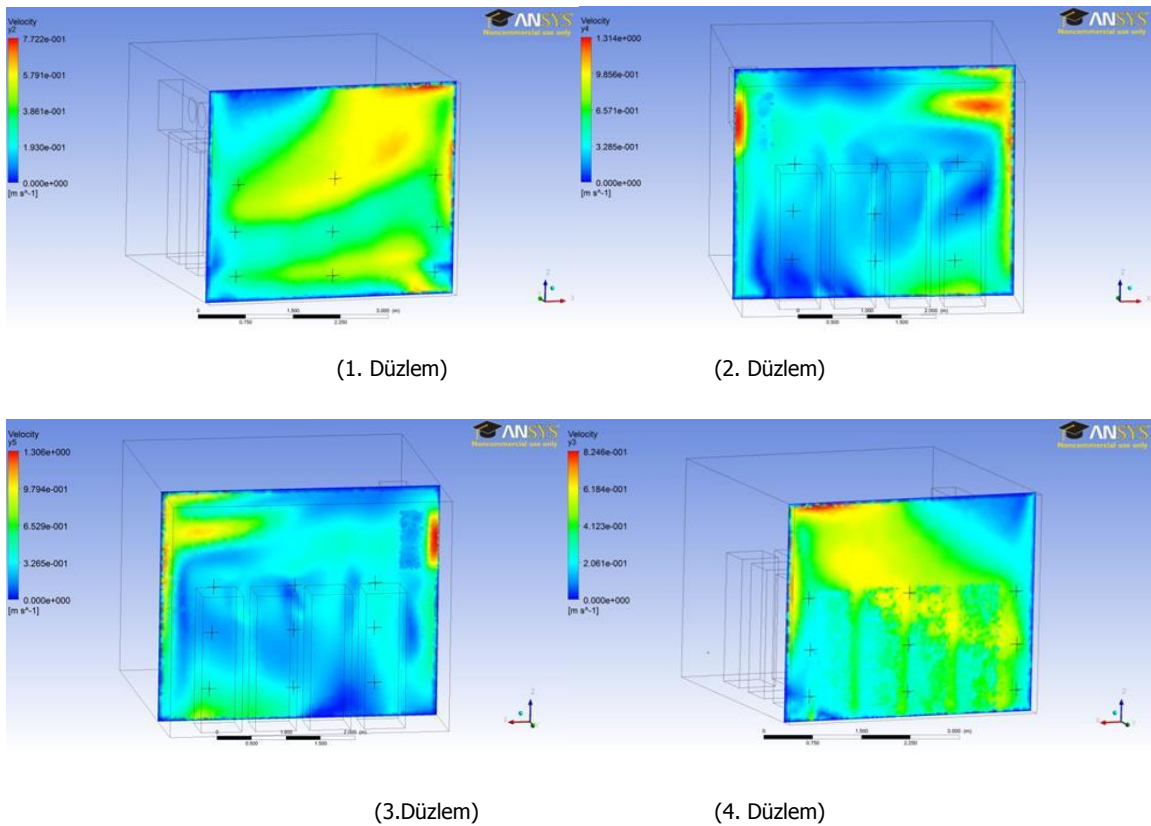
**Şekil 6. Y eksenini 1., 2., 3. ve 4. düzlem model hava hızı dağılımı**

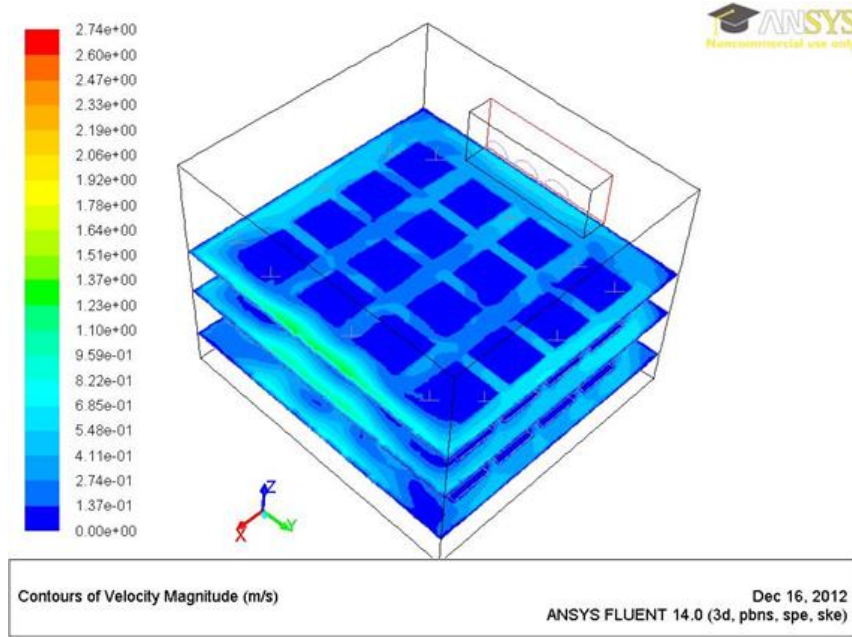
Figure 6. Air velocity distribution at Y axis for 1., 2., 3., and 4. plane

SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Soğuk depoda farklı seviyelerde modelle elde edilen hava hızı dağılımı Şekil 8'de, hava hızı model ve ölçüm sonuçları Çizelge 3'de verilmiştir.

Şeftali dolu depo model hava hızı Y eksenini üzerinden belirlenen düzlemler için hesaplamalı akışkanlar dinamiği ile elde edilen modeller Şekil 6'da ve Z eksenini üzerinden belirlenen düzlemler için de Şekil 7'de toplu olarak verilmiştir. Şekil 6'da Y eksenini

üzerinde bulunan düzlemlerdeki hava hızı evaporatör fanlarına bağlı olarak farklılık göstermektedir. 1. Düzlemde hava hızları büyük bir bölgede 0.038 ile 0.057 m/s arasında değişirken 2. ve 3.düzlemde büyük bir alanda model değeri 0.032 m/s olarak belirlenmiştir. 4.düzlemde model değeri yaklaşık 0.041 m/s ile 0.061 m/s olurken Şekil 7'de Z eksenini üzerinde modelden elde edilen değerler kasa aralarında yaklaşık 0.068m/s çıkmıştır.



Şekil 7. Z ekseninde alınmış hava hızı düzlemleri

Figure 7. Air velocity planes at Z axis

Çizelge 3. Modelden elde edilen ve ölçülen hava hızı ortalama değerleri (m/s)

Table 3. Mean values of the model and measured air velocity data (m/s)

Y-Düzlem	Seviye	v_m_ort	v_ö_ort	v	%v
1	1	0.33	0.33	0.00	0.00
1	2	0.28	0.16	0.12	75.00
1	3	0.28	0.65	-0.37	-56.92
2	1	0.34	0.22	0.12	54.55
2	2	0.26	1.33	-1.07	-80.45
2	3	0.12	0.38	-0.26	-68.42
3	1	0.44	1.76	-1.32	-75.00
3	2	0.26	1.19	-0.93	-78.15
3	3	0.06	0.90	-0.84	-93.33
4	1	0.37	0.37	0.00	0.00
4	2	0.24	0.76	-0.52	-68.42
4	3	0.13	0.90	-0.77	-85.56
Ortalama (m/s)		0.26	0.75	-0.49	-39.73
Minimum (m/s)		0.06	0.16	-1.32	-93.33
Maksimum (m/s)		0.44	1.76	0.12	75.00
Standart Sapma (m/s)		0.11	0.49	0.50	57.60
Varyasyon Katsayısı (%)		42.51	66.32	-102.03	-145.01

Çizelge 4. Hava hızı model ve ölçüm varyans analiz tablosu
Table 4. Variance analysis table of model and measurements of air velocity

Kaynak	SD	KO	F	Sig.
Model/Ölçüm	1	3.920	32.198	0.000
Y Düzlem	3	0.367	3.014	0.039
Seviye	2	0.092	0.752	0.477
Model * Ydüzlem	3	0.376	3.091	0.036
Model * Seviye	2	0.135	1.111	0.337
Y Duzlem * Seviye	6	0.136	1.120	0.365
Model * Y Duzlem * Seviye	6	0.111	0.913	0.494
Hata	48	0.122		
Toplam	72			

Şeftali depolama sırasında modelden elde edilen (v_{m_ort}) ve ölçülen hava hızı ($v_{ö_ort}$) değerlerinin ortalamaları, aralarındaki farklar ($\cdot v$), % farklar ($\% \cdot v$) ve tanımlayıcı istatistikleri Çizelge 3'de verilmiştir.

Modelmeden elde edilen değerler ile ölçümden elde edilen değerler arasındaki fark ortalama olarak 0.49 m/s olarak saptanmıştır. Model %39.73 hata ile ölçüm sonuçlarını tahmin etmiştir. Hoang ve ark, (2000) ve bazı literatürler hava hızı ile ilgili yapılan çalışmalarda modeller ile ölçümler arasındaki farklılık sınır şartını düşük bulmuştur. Araştırmada model tahmininin yüksek olmasının sebebi depoda çalışan üç adet aksiyel fanın hava hızlarının tam olarak sınır şartı girilmemesinden dolayı olabilir. Alternatif modeller üzerinde bundan sonraki dönemde çalışılacaktır.

Şeftali depolama hava hızı model ve ölçüm varyans analizi Çizelge 4'de verilmiştir.

Hava hızı ile ilgili yapılan varyans analizi sonucunda; MODEL ($F=32.198, \cdot=0.001$), YDÜZLEM ($F=3.014, =0.039$), MODEL x YDÜZLEM interaksyonu ($F=3.091, \cdot=0.036$) istatistiksel açıdan önemli çıkmıştır. Model değişkeni, model (1) ve ölçüm verilerini (2) içeren iki gruptan oluştuğu için Duncan testi ile gruplanmasına gerek kalmamıştır.

Y ekseninde model ve ölçüm ile elde edilen hava hızı verileri Duncan testi ile gruplanmış ve sonuçları Çizelge 5'de verilmiştir. Çizelge 5'de Ydüzlemleri arasında, Çizelge 6'da ise model x Ydüzlemlerde model ve ölçüm ile elde edilen hava hızı verileri Duncan testi ile gruplandırılmıştır.

Test sonuçlarına göre; Çizelge 6'da 1.düzlem, 2.düzlem ve 4. düzlemdeki model ve ölçülen hava hızı ortalamaları 1. Grubu, 4.düzlem, 3.düzlemdeki hava hızı ortalamaları ise 2. Grubu oluşturmuştur.

Çizelge 5. Hava hızlarının Y düzlemindeki ortalamaları
Table 5. Mean value of air velocity at Y planes

YDÜZLEM	Gruplar	
	2	1
1	0.4083	
2	0.4339	
4	0.6306	0.6306
3		0.6961

Çizelge 6. Hava hızlarının model X Y düzlemindeki ortalamaları
Table 6. Mean value of the model X Y plane air velocity

MODEL/ÖLÇÜM	Y DÜZLEM	Ortalama
1	1	0.346 cd
	2	0.247 d
	3	0.291 cd
	4	0.352 cd
2	1	0.471 cd
	2	0.621 bc
	3	1.101 a
	4	0.909 ab

Hesaplamalı akışkanlar dinamiği kullanılarak soğuk depoda hava hızı ile ilgili yapılan tahminler ile ölçümler arasındaki farklılık Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği ile yapılan tahminlerde kabul sınırı olarak literatürlerde %20-25' aralığında farklı çıkmıştır. Örneğin hava hızının bağıl hatası (Hoang ve ark. 2000) tarafından %26 olarak, (Sajadiye ve ark. 2013) %23.2, (Nahor ve ark. 2004) %19.3 ve (Akdemir 2014) farklı bir soğuk hava deposu ile yaptığı çalışmada ise %12.6 saptamışlardır. Hata oranının yüksek olmasının nedeni depo geometrisinde değişiklik yapılması, depo soğutma sistemi ve depo için kabul edilen sınır değerlerin deponun ve soğutma sistemini tam olarak temsil etmemesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma TÜBİTAK 1120147 nolu projenin bitirme raporundan Şeftali 1.yıl hava hızı ölçümlerinden yararlanılarak yapılmıştır. TÜBİTAK'a projenin yürütülmesi için verdiği destekten dolayı teşekkür ediyorum.

LİTERATUR LİSTESİ

- 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 (2014). Distribution of air velocity in a cold store with chiller unit. 12. Uluslararası Tarımsal Mekanizasyon ve Enerji Kongresi (ADAGENG 2104) Bildiri Kitabı: 161-166
- Anova (2011). Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği-ANSYS FLUENT, http://www.anova.com.tr/main/68/ansys_fluent.aspx (Accessed to web: 08.10.2016).
- Chen P, Clelanda DJ, Lovatt SJ, Bassettc MR (2002). An empirical model for predicting air infiltration into refrigerated stores through doors. *International Journal of Refrigeration*, 25: 799–812.
- Chourasia MK and Goswami TK (2007-a). Three dimensional modeling on airflow, heat and mass transfer in partially impermeable enclosure containing agricultural produce during natural convective cooling. *Energy Conversion and Management*, 48 (2007): 2136–2149
- Chourasiaa MK, Goswamib TK.(2007-b). Steady state CFD modeling of airflow, heat transfer and moisture loss in a commercial potato cold store, *International Journal of Refrigeration*, *International Journal of Refrigeration* 30 (2007) 672-689
- Hoang ML, Verboven P, De Baerdemaeker J, Nicolaoe BM (2000). Analysis of the air flow in a cold store by means of computational fluid dynamics. *International Journal of Refrigeration*, 23: 127-140.
- Moureha J and Flick DB (2004). Airflow pattern and temperature distribution in a typical refrigerated truck configuration loaded with pallets. *International Journal of Refrigeration*, 27:464–474.
- Nahor HB, Hoanga ML, Verbovena P, Baelmansb M, Nicolai BM (2004). Cfd model of the airflow, heat and mass transfer in cool stores. *International Journal of Refrigeration*, 28: 368–380.
- Rouaud O and Havet M (2002). Computation of the airflow in a pilot scale clean room using k- ε turbulence models. *International Journal of Refrigeration*, 25: 351-361.
- Xie J, Xiao-Hua Qu A, Jun-Ye Shi A, Da-Wen S (2006). Effects of design parameters on flow and temperature fields of a cold store by cfd simulation. *Journal of Food Engineering*, 77(2): 355-363
- Sajadiye SM, Ahmadi H, Hosseinalipour SM, Mohtasebi SS, Layeghi M, Mostofi Y, Raja A (2012). Evaluation of a cooling performance of a typical full loaded cool storage using mono-scale CFD simulation. *Modern Applied Science*, 6(1): 102-119