

## Soğuk Hava Depolarında Ortam Koşullarının Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (CFD) ile Modellenmesi

Serap AKDEMİR<sup>1</sup>, Serhat ÖZTÜRK<sup>2</sup>, Fırat Oğuz EDİS<sup>3</sup>, Poyraz ÜLGER<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Namık Kemal Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Okulu İklimlendirme ve Soğutma Programı, Tekirdağ

<sup>2</sup> Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı, Tekirdağ

<sup>3</sup> İstanbul Teknik Üniversitesi, Uzay ve Uçak Bilimleri, Maslak, İstanbul

<sup>4</sup> Namık Kemal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü, Tekirdağ  
sakdemir@nku.edu.tr

Received (Geliş Tarihi): 09.05.2012

Accepted (Kabul Tarihi): 29.06.2012

**Özet:** Bu araştırmanın amacı, bir test odasında sıcaklık ve nem dağılımını incelemek ve tarımsal ürünlerin daha uzun sürelerle ekonomik olarak saklanabilmesi için önerilerde bulunmaktır. Araştırmada, deneysel ölçümler ve hesaplamalı akışkanlar dinamiği analizleri (CFD) yapılmıştır. Hesaplamalı analizler, geometrik ve fiziksel modelleme açısından ayrıntılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar her aşamada deneysel verilerle karşılaştırılarak sağlama yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar, havalandırma şartları ve ürün yerleşiminin sıcaklık ve nem dağılımı açısından etkilerini belirlemede kullanılmıştır. Araştırmada; sıcaklık ve nem dağılımının soğuk oda konfigürasyonu ile ilişkisi incelenmiştir. Ayrıca, Fluent yazılım programında yer alan, sonlu hacimler yöntemini kullanan Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği yöntemlerinin soğuk depo tasarımı ve iyileştirilmesinde kullanılmıştır. Sonuçlar evaporatör yüzey alanının oluşturduğu hava kanalı boyunca incelenmiştir. Depo set değeri olan +2°C ve %90 bağıl nemde havanın sıcaklık ve bağıl nem kontur değerlerinin odanın yarısında tolerans değerlerinde olduğu saptanmıştır. Ancak diğer kısımlarında +5°C sıcaklıkta ve %70 bağıl nemde olduğu görülmüştür.

**Anahtar kelimeler:** Sıcaklık, nem, soğuk hava deposu, Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği, Sonlu hacimler yöntemi

### Modelling of Ambient Factors by Computational Fluid Dynamic (CFD) in Cold Storage

**Abstract:** Objective of this research is to investigate distribution of temperature and relative humidity in an experimental cold storage and determine suggestions for long and economic cold storage of agricultural products. Experimental measurements and computational fluid dynamics (CFD) analysis were realized. Complexity and details of the computational fluid dynamics (CFD) analysis increased. Results of CFD analysis were compared with experimental results for each stage of the research. Detailed CFD results were used to determine effect of ventilation conditions and location of cold storage on spatial variability of temperature and relative humidity. Essentials of relationship between distribution of temperature and relative humidity affecting cold storage performance and cold storage configuration were determined. In addition, using of Fluent software which is one of economic design tools and based on finite volumes in computational fluid dynamic, was evaluated for cold storage design and improvement of design. The results were investigated along air channel created by evaporator surface area in cold storage. Temperature and relative humidity contour values of cold air taken at cooling system set values as 2°C and %90 was determined approximately at tolerance values of temperature and relative humidity for half of these air channel in the cold storage. However, these values were determined as +5°C and 70% RH for other part of the experimental cold storage.

**Key words:** Temperature, relative humidity, cold storage, computational fluid dynamics, finite volume method

## GİRİŞ

Son zamanlarda hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD) sıklıkla akışkan akışının olduğu alanlara uygulanmakta ve CFD uygulamalarının bu alanlarda yararlı olduğu görülmektedir. Bir soğuk odadaki soğutma miktarı ve gıdaların kalitesi büyük oranda akış alanları ile bağlantılı sıcaklıkla ilgilidir. Bununla birlikte akış alanları, zaman ve para harcanarak güvenilir ve tekrar edilebilir veriler olmadan geleneksel yöntemlerle tasarlanmaktadır. Xie ve ark. (2006) yaptıkları bir araştırmada 4.5 m x 3.3 m x 2.5 m boyutlarındaki küçük bir depo için 2 boyutlu matematiksel model, SIMPLE algoritması ile bilgisayar programı ve çapraz hatlı grid tekniği geliştirmiştir. Simülasyon sonuçları hava akışının karakteristiklerini ve sıcaklık dağılımını yansıtmıştır. Daha sonra akış alanlarını etkileyen köşe, malzeme yığını vb. değişik tasarım parametreleri analiz edilmiştir. Hesaplama sonuçları CFD'nin soğuk hava depolarında akış alanlarının tasarımı ve optimizasyonu için güçlü bir araç olduğunu göstermiştir.

Nahora ve ark. (2005), bir soğuk oda için, boş ve dolu koşullarda, hız, sıcaklık ve nem dağılımını hesaplamak için üç boyutlu bir CFD modeli geliştirmişlerdir. Bu çalışmada fan ve soğutucunun dinamik davranışı modellenmiştir. Boş soğuk odada hız değerleri için ortalama % 22 lik doğruluk elde edilmiştir ve model tahminleri beklenenden daha iyi olarak değerlendirilmiştir. Dolu odada hız değerleri için doğruluk değeri % 20 olmuştur.

Fostera ve ark. (2002), gıda depolanan yerlerde hava infiltrasyon miktarının azaltılması sıcaklık kontrolünü ve dolayısıyla gıda depolama ekonomisini de iyileştireceğini bildirmektedirler. İngiltere'de hükümet-endüstri ortak projesi ile hava infiltrasyonunu azaltmak için LINK isimli bir proje hayata geçirilmiştir. Proje deneysel ölçümler ile CFD modelini direkt olarak birleştirmektedir. Kapı önlerindeki hava akışı için bir CFD modeli geliştirilmiş, geleneksel ve laser doppler anemometry (LDA) ye karşı test edilmiştir. CFD modelin doğruluğu genelde iyi olmakla beraber fakat bazı bölgelerde doğruluk mükemmelden çok az farklılık göstermektedir. 0.1 m/s maksimum hız koşullarına rağmen düşey hava profilinin biçimi CFD tarafından doğru olarak tahmin edilmiştir ve hava değişim yönünün yüksekliğini LDA tarafından ölçülen yükseklik değerinden 40 mm daha küçük tahmin etmiştir.

Fostera ve ark. (2003) yaptıkları bir diğer çalışmada aynı depoda farklı iki giriş açıklığı ve iki farklı soğuk depolama sıcaklığı için infiltrasyon ölçümlerini dikkate alarak analitik model ile CFD modelini karşılaştırmışlardır. Her iki modelde infiltrasyonu yüksek tahmin etme eğiliminde olduğu saptanmıştır. Fostera ve ark. (2003)'ün bildirdiğine göre; Gosney et al. (1975) tarafından geliştirilmiş olan analitik model değişik denemelerle karşılaştırmalarda yakın değerler sağlamıştır. CFD model analitik modelden daha doğru sonuçlar vermesine rağmen yarı ampirik model CFD den daha iyi sonuçlar vermiştir.

Kim ve ark. (2007) sislemeli soğutma sistemi olan seralarda hava sıcaklığı ve bağıl nemin dağılımını simule 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 farklılıkta %0.3 ile %6.0 arasında değişmiştir. Geçerliliği test edilen model sislemeli soğutma sisteminin tasarımının değerlendirilmesi için kullanılmıştır.

Girişi 136 cm olan bir soğuk oda girişine tutturulan 1 m genişliğindeki bir hava perdesinin etkinliği Fostera ve ark. (2006) tarafından değerlendirilmiştir. Hava perdesinin hava jetinin hızı ve açısı dikkate alınarak yerleştirilmesi gerekliliği başlangıç yerleştirilme konumunda 0.31 olan etkinlik katsayısının hava jeti konumu ve hızı dikkate alındığında 0.71 olduğu gösterilmiştir. Bu modelde doğru emniyet katsayısının seçimi çok önemlidir.

Chourasia ve ark. (2007-a) yaptıkları çalışmada; depolanan patateslerdeki kayıpların ısı, kütle ve momentum transferi ile direkt ilişkisi olduğu sonucuna varmışlardır. Bundan dolayı hava akışı, ısı transferi ve nem kayıpları kararlı durum için hesaplamalı akışkan dinamiği kullanılarak araştırılmıştır. Geliştirilen CFD modeli odanın iki boyutlu basitleştirilmiş halidir. Soğutma serpantinlerindeki ısı ve kütle transferi modele dahil edilmemiştir. Havanın sıcaklık ve bağıl nem yerine ölçülen değerler modelde esas alınmıştır. Modelin ticari boyutta bir soğuk odada geçerliliği araştırılmıştır. Sonuçta 6 aylık bir depolama periyodu için hava hızını %19.5 hassasiyetle, ürün sıcaklığını ise 0.5°C hassasiyetle tahmin edebilmiştir. Simule edilmiş ortalama toplam nem kaybı ölçülen değerden sadece

%0.61 yüksek tahmin edilmiştir. Model olası sıcak ve soğuk bölgeler, aşırı ürün nem kaybının olduğu ve nem yoğunlaşmalarının olduğu bölgeler için ürünlerdeki olası kalitatif ve kantitatif bozulmaları saptamakta kullanılmıştır.

Doğal konvektif koşullar altında oluşturulan ısı ve kütle transferi simülasyonu için üç boyutlu bir model geliştirilmiştir. Daha önceki çalışmalardan farklı olarak sert bir zemine yığılan geçirgen paketlerde yığın halinde depolanan ürünler için model geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu durum paketin altını ısı transferi için adyabatik ve nem transferi açısından ise akışkan akışını geçirimsiz hale getirmektedir. Sınırlı hacim tekniği esas alınarak ticari olarak satılan CFD kodları kullanılarak kararlı akış için ısı transferi sırasında hız vektörleri, izotermeler ve nem kayıp konturları saptanmıştır. CFD modelinin geçerliliği depolanan patateslerdeki ağırlık kayıpları ve zaman-sıcaklık değerleri saptanarak test edilmiştir. Simülasyonla elde edilen sıcaklık ve nem kayıpları değerleri ile deneysel olarak elde edilen değerler birbirleri ile gayet uyumlu olarak bulunmuştur (Chourasia ve Goswami, 2007-b).

Chourasia ve Goswami, (2006), patateslerin doğal konveksiyonla soğutmalı ortamda depolanan tek bir paketi için nem kaybının modellenmesi CFD ile yapmışlardır. Çalışmada yüksek nem oranına rağmen nem kaybının, soğutmanın başlangıç aşamasında depolanan paketin üst kısmında gerçekleştiği saptanmıştır. Soğutmanın ilerleyen aşamalarında maksimum nem kaybı alta doğru hareket etmektedir. 25 günlük depolama süresi için simülasyonla saptanan maksimum nem kaybı %0.695 olmasına rağmen deneysel toplam nem kaybı %0.82 olarak saptanmıştır.

Mirade ve Picgirard (2006) yaptıkları çalışmada hesaplamalı akışkan dinamiği (CFD) yaklaşımını ilk olarak endüstri tipi çatı çiller için ve ikinci olarak da çatıda hava dağılımının homojenliğini düşük maliyetli teknik çözümler için değerlendirmişlerdir. Hesaplamalar ve ölçümler arasındaki farklar sayısal tahminde birbirine çok yakın olarak belirlenmiştir ve mevcut ve modifiye çillerde hava akış hızları doğru tahmin edilememiştir. Havalandırma deflektörlerinin (yönlendiricilerin) eklenmesiyle ve son sıraya plastik duvar eklenmesiyle havalandırmanın daha homojen olması sağlanmıştır. Bu durum hava hızlarının standart sapmasında son sıradaki hava hızı değerlerinin iyileşmesi ile belirlenmiştir. Deneylerle karşılaştırıldığında CFD gıda

fabrikaları için işlemlerin iyileştirilmesi açısından tasarlanan yeni teknik çözümler için düşük maliyetli bir seçenektir.

Hindistan patates depolama endüstrisinin en büyük problemi izin verilen sınırlar üzerindeki depolama kayıplarıdır. Soğuk hava depolarındaki mevcut yığın boyutları ve düzenlemesi, depolama kayıplarının nedenidir. Bundan dolayı, çalışmada soğuk depolama sırasında çuvallanmış patates yığınlarında ısı transfer karakteristikleri üzerinde yığın boyutlarının ve düzenlemelerinin etkisi araştırılmıştır. Deneysel sıcaklık değerleri ile CFD model arasında iyi bir uyum bulunmuştur. (Chourasia ve Goswami, 2007-c).

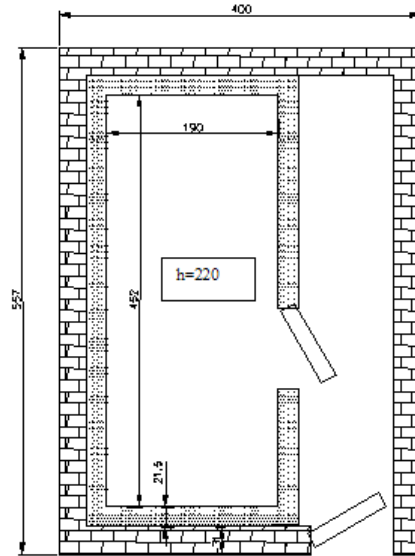
Bu araştırmanın amacı, bir test odasında sıcaklık hava hızı ve nem dağılımını incelemek ve tarımsal ürünlerin daha uzun sürelerle ekonomik olarak saklanabilmesi için önerilerde bulunmaktır. Araştırmada; test odası için sınır değerler verilerek hesaplamalı akışkanlar dinamiği analizleri (CFD) yapılmıştır. Hesaplamalı yöntemler ile elde edilen ayrıntılı sonuçlar, havalandırma şartları ve oda yerleşiminin sıcaklık ve nem dağılımı açısından etkilerini belirlemede kullanılmıştır.

## MATERYAL ve YÖNTEM

### Materyal

#### Soğuk oda

Araştırma Namık Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi'nde bulunan soğuk odalarda yürütülmüştür (boy x en x yükseklik, 4.52x1.90x2.22 m) (Şekil 1). Toplam oda hacmi 19.06 m<sup>3</sup>'dür (Akdemir, 2002).



Şekil 1. Soğuk oda (Akdemir, 2002) (boyutlar cm'dir)

### **Bilgisayar**

Araştırmada kullanılan bilgisayarda 2 adet Xeon X5650 işlemci, 32GB DDR3 bellek, 1000GB SATA Disk vardır. 16x DVD-ROM/CD-ROM sürücüyü sahip, güç kaynağı olarak 850W'lık 85% verim sağlayan, 1GB FX3800 ekran kartına sahip 2 adet 1920x1200 çözünürlükte 0.270 nokta aralıklı 24" LCD Monitöre sahiptir. İşletim sistemi ve yazılımlar MSWindows7 Professional 64-bit OS işletim yüküdür.

### **Program:**

Araştırmada ANSYS Academic CFD programı kullanılmıştır. Bu program ve ilgili modüllerini içeren bilgiler aşağıda özetlenmiştir.

Program olarak ANSYS kullanılmıştır. ANSYS, mühendislik alanında kullanılan bir simülasyon yazılımıdır. Ürünlerin tasarım aşamasından sonra kullanılır ve prototip üretilmeden önce, sanal ortamda test imkânı verir. Parçaların ve parça montajlarının 3 boyutlu simülasyonları yardımıyla, ürünün mukavemet, mekanik, titreşim gibi yönlerden incelenmesini sağlayarak tasarımı geliştirmeye yardımcı olur. ANSYS sonlu elemanlar yöntemini kullanan bir yazılımdır. İncelenen parçayı birçok küçük elemana bölerek işlemlerini sürdürür(Anova, 2011).

Fluent, sonlu hacimler yöntemini kullanan bir Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (CFD) yazılımıdır. 1983' ten bu yana dünya çapında birçok endüstri dalında kullanılan ve günden güne gelişerek tüm dünyadaki CFD piyasasında en çok kullanılan yazılım durumuna gelen Fluent, en ileri teknolojiye sahip ticari CFD yazılımı olarak kullanıcılarının en zor problemlerine kolay ve kısa sürede elde edilen çözümler sunmaktadır.

Fluent, genel amaçlı bir CFD yazılımı olarak, otomotiv endüstrisi, havacılık endüstrisi, beyaz eşya endüstrisi, turbomakine (fanlar, kompresörler, pompalar, türbinler v.b.) endüstrisi, kimya endüstrisi, yiyecek endüstrisi gibi birbirinden farklı birçok endüstriye ait akışkanlar mekaniği ve ısı transferi problemlerinin çözümünde kullanılabilir. Bu özelliği sayesinde kullanıcılarına birbirinden farklı birçok probleme aynı arayüzü kullanarak çözüm olanağı sağlar. Fluent, çözücü teknolojisi ve bünyesinde barındırdığı değişik fiziksel modeller sayesinde laminer, geçiş ve türbülanslı akışlara, iletim, taşınım ve radyasyon ile ısı geçişini içeren problemlere, kimyasal

tepkimleri içeren problemlere, yakıt pilleri, akustik, akış kaynaklı gürültü, çok fazlı akışları içeren problemlere çözümler üreterek, AR-GE bölümlerinin tasarım esnasındaki en güvenilir aracı olmaya adaydır.

### **YÖNTEMLER**

Hesaplamalı analiz süreci, geometrik modelleme, sayısal ağ oluşturma, analiz ve sonuçların işlenmesi aşamalarından oluşmaktadır. Süreç modelleme ve sayısal ağ oluşturma aşamalarında yoğun emek ve deneyim gerektirmekte, analiz aşamasında ise güçlü bilgisayar sistemlerine gerek duymaktadır. Söz konusu insan ve bilgisayar gücü gereksinimleri, sayısal modelin karmaşıklığı ile orantılı olarak artmaktadır. Aynı şekilde, elde edilen sonuçlarda beklenen doğruluk mertebesi de bu gereksinimlerde önemli bir artışa karşılık gelmektedir. Akışkanlar mekaniği problemlerinin sayısal yöntemlerle incelenmesinde, bu gereksinimleri karşılanabilir sınırlar içerisinde tutmak ve kullanılabilir sonuçlar elde edebilmek için basitten karmaşığa doğru çok aşamalı bir yol izlenir. Bu çalışmada da, çalışma çeşitli aşamalara bölünerek ilk aşamada, gerek geometrik gerek fiziksel olarak basitleştirilmiş bir modelden, son aşamada mevcut teknik ve altyapı olanaklarının izin verdiği ölçüde saha uygulamasında karşılaşılan duruma en yakın model üzerinde analizler gerçekleştirilmiştir.

Sınır koşulları için aşağıdaki kabullenmeler yapılmıştır.

**Giriş:** Akışkanın girdiği yüzey

**Çıkış:** Akışkanın çıktığı yüzey

**Duvarlar:** Akışkanın akışına karşı katı sızdırmaz elemanlardır.

Sınırlı hacim tekniği esas alınarak ticari olarak satılan CFD kodları kullanılarak kararlı akış için ısı transferi sırasında hız vektörleri, izotermler ve nem kayıp konturları saptanır. Bütün bunlar program üzerinde belirlenen sınır koşulları model üzerine taşınarak oluşturulur.

### **Geometrik Modelleme**

Geometrik modelleme, oda sınırlarının ve içerisinde yer alan bileşenlerin bilgisayar ortamında üç boyutlu modellenmesi aşamasıdır. Geometrik model odayı temsil eden bir küp ve iklimlendirme ünitesini temsil eden bir aksiyal fanın emme ile üfleme tarafından oluşmaktadır. En karmaşık halinde ise, küp içerisinde iklimlendirme iç ünitesi, aksiyel fan, raflar ve kasalar yer almaktadır. Oda içerisinde sürekli çalışan

aydınlatma üniteleri varsa bunlar da modellenir. Hava akışına etki edebilecek tüm bileşenler son modele dahil edilir.

### Ağ oluşturma

Geometrik modelin içerisinde hava akışı olan bölgenin analiz amacıyla üç boyutlu sayısal ağla örülmesi işlemidir. Bu örgü, dikdörtgen prizmalarından oluşan yapısal bir ağ olabileceği gibi, tetrahedronlardan veya karışık elemanlardan oluşan yapısal olmayan bir ağ da olabilir. Bu çalışmada en basit modelde yapısal ağ oluşturularak, diğer modellerde yapısal olmayan ağ örgüsü kullanılmıştır.

### İklimlendirme sisteminin modellenmesi

İklimlendirme sistemi iç ünite üzerinden fan vasıtasıyla geçirilen havanın ünite içerisindeki ısı değiştiricide soğutulması ve soğuk yüzeylerde oluşan yoğuşmanın da oda dışına atılarak kurutulması süreci olarak modellenmiştir. İç ünite içerisinde fanın üfleme tarafından emme tarafına kadar bir kanal modellenerek bu kanal üzerinde fan düzlemi ve ısı değiştirici düzlemi modellenmiştir. Fan sistemi evaporatör serpantinlerinin hemen ardında, akışa momentum ekleyen bir düzlemle temsil edilmiştir. Fan modeli tüm analizlerde sabit debi üretecek şekilde modellenmiştir. Isı değiştirici (evaporatör) fan düzleminin ardında yerleştirilmiş ve bir ısı kuyusu şeklinde çalışan bir düzlemsel bölge olarak modellenmiştir. Isı değiştirici daimi analizlerde sabit güçte çalışmış ayrıca zamana bağlı analizlerde de kontrol sistemi algoritması yardımıyla dönemsel olarak çalışacak, dönemsel olarak ta herhangi bir ısı çekişi yapmayacak şekilde modellenmiştir. Nem analizi gerçekleştirilen modellerde iç ünite içerisinde ısı değiştirici düzleminin ardında bir de nem alma düzlemi modellenerek bu düzlemde sabit su kütle debisiyle kurutma modellenmiştir.

### Analiz ayrıntıları

Analizlerde genellikle sürekli akış kabulü yapılmıştır. Sürekli veya sanki sürekli hale ulaşıldıktan sonra iklimlendirme sisteminin periyodik olarak devreye girmesi söz konusudur. Bu durumda sıcaklık alanında zamana bağlı değişimler olacağından bu değişimlerin anlaşılabilmesi için az sayıda daimi olmayan analiz de gerçekleştirilmiştir. Akış alanının genelinde hava hızlarının çok küçük olacağı

düşünülmüş genellikle laminer akış kabulü yapılarak analiz yapılmıştır. Nem taşınımı için Kim ve ark. (2007) ve benzeri çalışmalarda uygulanan modellerden yararlanılmıştır.

### Isı kaynakları

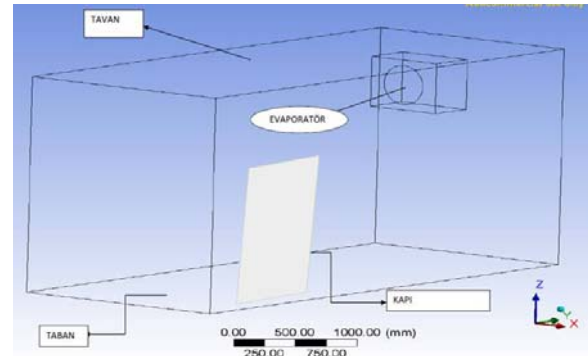
Isı kaynağı olarak sadece sınırlardan ısı geçişi hesaba katılmıştır. Farklı zamanlarda çalışan aydınlatma ünitesinden gelen ısı da bu elemanların çeperlerinden analiz alanına giren ısı olarak modellenmiştir. Zemin izole kabul edilmiştir. Duvarlar ve tavanda en basit analizlerde sabit ısı akışı sınır şartı uygulanmıştır.

### ARAŞTIRMA SONUÇLARI ve TARTIŞMA

Araştırmada soğuk hava deposunda boş oda geometrik modeli oluşturulmuş, katı model haline getirilmiş, düğüm noktaları belirtilmiş ve mesh yapısı ortaya konmuştur. Analiz yapılacak bölgeler isimlendirilerek sıcaklık, bağıl nem ve hava hızı için mevcut bölgenin sınır koşullarına göre ANSYS programı içinde bulunan CFD analiz programı (Fluent) ile model analizi yapılmıştır. Modelleme analiz sonuçları boş soğuk odanın farklı düzlemleri için incelenmiş ve depo içindeki değişimler ortaya konmuştur.

### Geometrik model

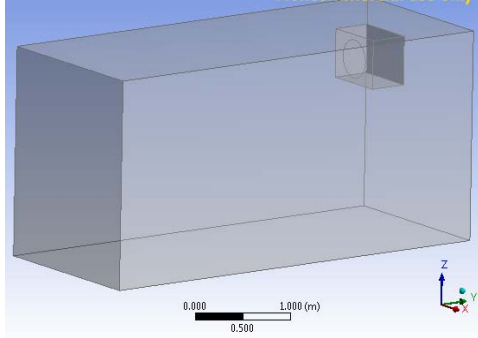
ANSYS programı içinde model dizaynı için kullanılan alt program yardımıyla koordinat eksenleri seçilerek x-y düzlemi oluşturulmuş ve bu düzlem üzerinde modellenmesi yapılacak olan sistemin geometrisi çizilmiş ve ölçüendirilmiştir (Şekil 1).



Şekil 1. Geometrik model

### Katı model

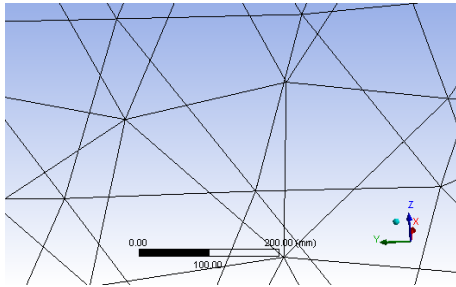
Geometrisi ve ölçüleri belirlenmiş soğuk depo program yardımıyla katı hale getirilmiştir.



Şekil 2. Katı model

### Düğüm noktaları

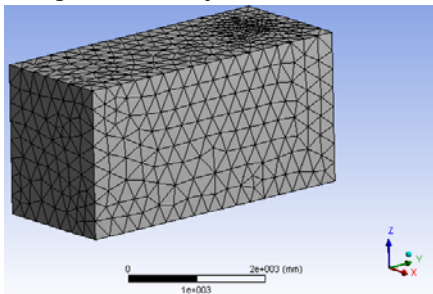
Katılaştırılmış model üzerindeki sınır çizgilerinde program içerisinde belirlediğimiz aralıklarda düğüm noktaları oluşturulmuştur. Düğüm noktaları aralıklarının azlığı veya çokluğu modelleme üzerinde hassasiyeti belirlemektedir. Modelleme yapılacak sistem üzerinde ortam şartlarından etkilenecek alanlar daha sık düğüm noktaları ile gösterilmektedir.



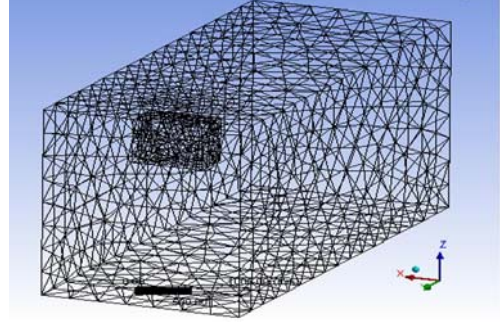
Şekil 3. Düğüm noktaları

### Mesh

Katı model üzerinde düğüm noktaları yardımıyla boş soğuk depoda ağ yapısı oluşturulmuştur. Sayısal ağın yüksek kaliteli olması için eleman kalite oranının 0.1'den büyük olması istenir. Bu oranın 1'e yaklaşması kullanılan elemanların kalitesinin yüksek olduğunu göstermektedir. Modelin iyileştirilmesi için önce bloklar halinde, sonrada yüzeyel ve hacimsel olarak sonlu elemanlar ağı ile bölünmüştür.



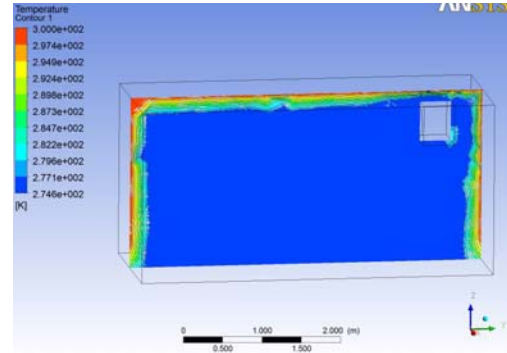
Şekil 4. Katı model üzerinde mesh yapısı



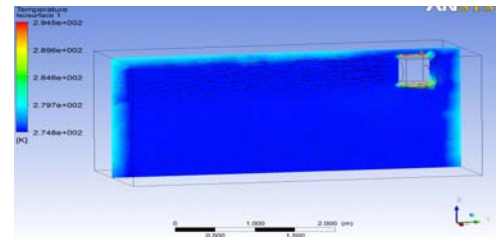
Şekil 5. Yapısal olmayan mesh yapısının görünümü

Modelin sonlu elemanlar istatistiği incelendiğinde nokta sayısı 2837, eleman sayısı ise 14015'dir.

Örnek değerlendirmelerin yapıldığı bu makalede boş oda sıcaklık, hava hızı ve bağıl nem dağılım modelleri sadece orta kesit düzlemi için aşağıdaki şekillerde verilmiştir.

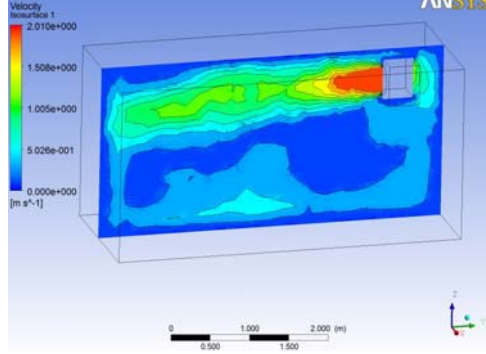


Şekil 6. Boş oda depo orta düzlemde x koordinatında sıcaklığın kontur dağılımı

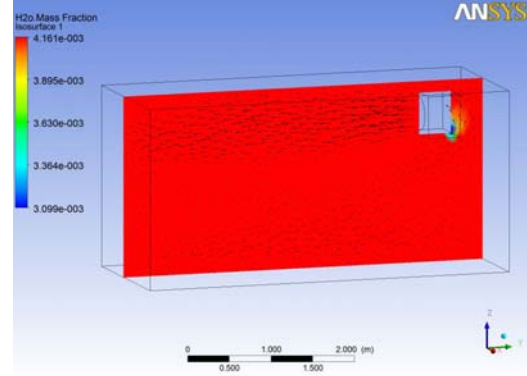


Şekil 7. Boş oda depo orta düzlemde x koordinatında sıcaklığın vektörel dağılımı

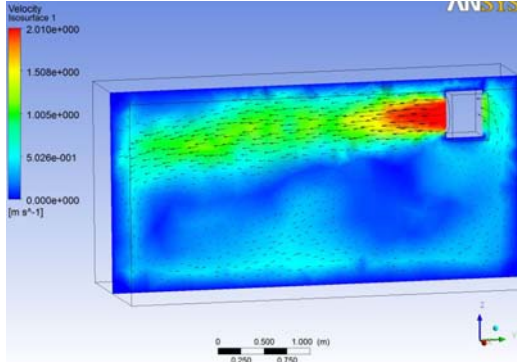
Şekil 6 ve şekil 7'de odanın orta kesiti üzerinde sıcaklık dağılımını incelediğimizde, ortada ve fan önlerinde sıcaklıkların düşük değerlerde, duvarlara yakın bölgelerde ise daha yüksek değerlerde olduğu görülmektedir.



**Şekil 8. Boş oda depo orta düzlemde x koordinatında hava hızının kontur dağılımı**

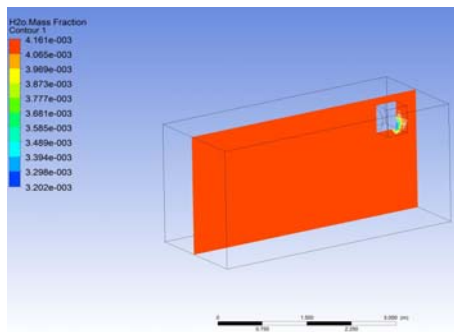


**Şekil 11. Boş oda depo orta düzlemde x oordinatında bağıl nemin vektörel dağılımı**



**Şekil 9. Boş oda depo orta düzlemde x oordinatında hava hızının vektörel dağılımı**

Şekil 8 ve şekil 9'da odanın orta kesitindeki hava hızı dağılımlarına baktığımızda fan önlerindeki hava hızının diğer bölgelere oranla daha yüksek olduğu görülmektedir. Burada fan tarafından üflenen hava duvara doğru hız kaybetmekte ve duvara çarptıktan sonra yön değiştirmektedir. Havanın yön değiştirmesine bağlı olarak belirtilen bölgede olduğu gibi oda içinde girdaplar oluşmaktadır.



**Şekil 10. Boş oda depo orta düzlemde x oordinatında bağıl nemin kontur dağılımı**

Şekil 10 ve şekil 11'de odanın orta kesitindeki bağıl nem dağılımına baktığımızda; hava hızında görüldüğü gibi fan önlerindeki bağıl nemin diğer bölgelere oranla daha yüksek seviyelerde nem değerine sahip olduğu görülmektedir. Nem miktarı; havanın debisi, soğutucu yüzey alanları ve fandan direkt etkilenmektedir. Soğutucu üniteye yüksek hava hızı depo içindeki üründe nem kaybına neden olurken tam tersi ise yani dolaşım hava hızının çok yavaş olması, havadaki nemin soğutucu üniteye karlanması olayına sebep olur.

Çalışma bu modelin depolama kayıplarının izin verilen sınırlar dahilinde olması için hava akış dağılımı ve ısı transferini iyileştirmede uygulanabileceğini göstermiştir. Optimum sistem tasarımı, soğutma verimliliğinin, hava sıcaklığı ve bağıl nemin üniform olarak dağıtılmasını sağlayacak biçimde saptandığı için geçerliliğinin test edilmesi durumunda model soğutma sistem tasarımının değerlendirilmesinde kullanılabilir. Model olası sıcak ve soğuk bölgeler, aşırı ürün nem kaybının olduğu ve nem yoğunlaşmalarının olduğu bölgeler için, ürünlerdeki olası kalitatif ve kantitatif bozulmaları saptamak için çalıştırılabilir.

Her proste olduğu gibi tasarlanan modelin performansının henüz tasarım aşamasındayken bilinmesi büyük önem taşımaktadır. Verimi düşüren etkenlere tasarım aşamasında müdahale edilerek en uygun performans ve verim elde edilebilir. Yapılan model tasarımlarının istenilen uygun performansı verip vermediği deneysel çalışmalarla belirlenerek tercih edilen modele ulaşılan kadar tasarımda değişikliğe gidilir. Her işlem için örnek model yapma zorunluluğu nedeniyle, zaman kaybı ve yüksek maliyet gerektirecektir.

Sonuç olarak hesaplamalı akışkanlar dinamiğinin kullanılması, herhangi bir ortam içerisinde meydana

gelen her türlü prosesin daha iyi anlaşılabilmesine olanak sağlayan çok güçlü bir yöntemdir.

## LİTERATÜR LİSTESİ

- Açıkgöz, A., Gelişi, M.Ö., Öztürk, E., 2007. Otomotiv endüstrisinde hesaplamalı akışkanlar dinamiği uygulamaları, [http://search-ebooks.eu/otomotiv-v-end%C3%9Cstr-s-nde-hesaplamali-aki-kanlar-d-140501380\(erisim\\_tarihi:31/05/2012\)l](http://search-ebooks.eu/otomotiv-v-end%C3%9Cstr-s-nde-hesaplamali-aki-kanlar-d-140501380(erisim_tarihi:31/05/2012)l)
- Akdemir S.2002. Soğuk hava depolarında farklı soğutucu gazların soğutma etkinliğinin saptanması ve soğuk depolanan bazı tarımsal ürünler üzerinde etkilerinin araştırılması (Doktora tezi), Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarım Makinaları Anabilim Dalı, Edirne: 17
- Chourasia M.K., Goswami T.K., 2006. Simulation of Transport Phenomena during Natural Convection Cooling of Bagged Potatoes in Cold Storage, Part II: Mass Transfer, *Biosystems Engineering* (2006) 94 (2): 207–219
- Chourasiaa, M.K., Goswami, T.K., 2007-a. Steady state CFD modeling of airflow, heat transfer and moisture loss in a commercial potato cold store, *International Journal of Refrigeration*, 30: 672-689
- Chourasia M.K., Goswami T.K., 2007-b. 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: 2136–2149
- Chourasiaa M.K.; Goswami T.K., 2007-c. Simulation of Effect of Stack Dimensions and Stacking Arrangement on Cooldown Characteristics of Potato in a Cold Store by *Computational Fluid Dynamics, Biosystems Engineering* 96 (4): 503–515
- Fostera A.M., Barrettb R., S.J. Jamesa, M.J. 2002. Swaina, Measurement and prediction of air movement through doorways in refrigerated rooms, *International Journal of Refrigeration* 25: 1102–1109
- Fostera A.M.,\*, M.J. Swaina, R. Barrettb, S.J. Jamesa, 2003. Experimental verification of analytical and CFD predictions of infiltration through cold store entrances, *International Journal of Refrigeration* 26: 918–925
- Fostera A.M., Swaina, M.J., Barrettb R., D'Agaroc, P., James, S.J. , 2006. Effectiveness and optimum jet velocity for a plane jet air curtain used to restrict cold room infiltration *International Journal of Refrigeration* 29: 692–699
- Kim K, Giacomelli G A., Yoon J Y, Sadeneori S, Son JE, Nam SW and LEE5 I B, 2007. CFD Modeling to Improve the Design of a Fog System for Cooling Greenhouses, , *JARQ* 41 (4), 283 – 290 (2007) <http://www.jircas.affrc.go.jp>
- Mirade P S, Picgirard L, 2006. Improvement of ventilation homogeneity in an industrial batch-type carcass chiller by CFD investigation, *Food Research International, Food Research International* **39** (8) 871–881