

**KATI-SIVI KARIŞIMLARINDAN OLUŞAN  
KONSERVELERDE ISI TRANSFERİNİN  
SAYISAL BENZETİMİ**

**SELİN KIZILTAŞ**

**Mersin Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Gıda Mühendisliği  
Ana Bilim Dalı**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Tez Danışmanı  
Doç. Dr. Ferruh Erdoğdu**

**MERSİN  
Kasım - 2009**

Bu tezin gerek bilimsel içerik, gerekse elde edilen sonuçlar açısından tüm gerekleri sağladığı kanaatine ulaşan ve aşağıda imzaları bulunan biz jüri üyeleri, sunulan tezi oy çokluğu (oy birliği) ile Yüksek Lisans Tezi olarak kabul ediyoruz.

Tez Danışmanı  
Doç. Dr. Ferruh ERDOĞDU

Jüri Üyesi  
Prof. Dr. Mahir TURHAN

Jüri Üyesi  
Doç. Dr. Mustafa TUTAR

Jüri Üyesi  
Doç. Dr. T. Koray PALAZOĞLU

Jüri Üyesi  
Yrd. Doç. Dr. Bahadır KÖRBAHTI

Bu tezin Fen Bilimleri Enstitüsü yazım kurallarına uygun olarak yazıldığı Enstitü Yönetim Kurulu'nun 21 / 01 / 2010 tarih ve 2010.02 / 43 sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Mahir TURHAN  
Enstitü Müdürü

NOT: Bu tezde kullanılan özgün bilgiler, şekil, çizelge ve fotoğraflardan kaynak göstermeden alıntı yapmak 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu hükümlerine tabidir.

## ÖZ

Isıl işlemler gıda güvenliğini sağlamada kritik bir kontrol noktası olup konserve üretiminde ürün verimliliğinin maksimizasyonunda da temel işlemdir. Konserve içinde gerçekleşen kondüksiyon ve doğal konveksiyon konserve gıdalara uygulanan ısı işlemler sırasındaki temel ısı transer mekanizmalarıdır. Katı-sıvı karışımlarından oluşan ürünlerde kondüksiyon ve doğal konveksiyon eş zamanlı olarak meydana gelmektedir. Bu, çözümü hesaplamalı ısı transferi (HIT) konusuna giren kompleks bir problemdir. Bezelye konserve gibi sıvı kısım içerisinde katı kısmın dağılık olarak bulunduğu ürünlerde sıcaklık dağılımı ve akış profillerinin hesaplanmasını içeren kapsamlı bir çalışma henüz literatürde bulunmamaktadır. Bu kapsamda yapılacak bir çalışma ile bezelye konserve gibi sistemlerde optimizasyon çalışmalarına temel sağlayacak yaklaşımlar elde edilebilir. Bu nedenle bu çalışmanın amacı katı-sıvı karışımlarından oluşan konserve ürünler içerisinde ısı işlemler sırasında oluşan sıcaklık dağılımını hesaplamaktır.

Bu amaçla Ansys (V.11) HIT programı ile sayısal benzetim çalışmaları yapılmış ve sonuçlar deneylerle doğrulanmıştır. Bu aşamada piyasadan alınan konserve bezelye içeriğinden hazırlanan 500 g'lık kutu konserveerde iğne tipi ısı çiftler kullanılarak sıcaklık ölçümleri yapılmış ve sonuçlar sayısal benzetim sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Sıcaklık değişimlerinin belirlenmesi, bu temele dayanan, sterilizasyon değeri ve üründe meydana gelen kalite kayıplarının hesaplanması gibi çalışmaların etkin biçimde yapılmasını sağlayacaktır. Bu çalışmanın, HIT programları optimizasyon algoritmalarının bu hesaplamalarla kombine olarak kullanılabilmesini sağlaması ve literatürde halen fazla yapılmamış olan bu tür çalışmaların yapılmasına bir temel teşkil etmesi beklenmektedir.

**Anahtar kelimeler:** Konserveleme, ısı işlemler, hesaplamalı ısı transferi (HIT).

## ABSTRACT

Thermal processing is the most common technique used for preservation of foods today, and canning still provides a universal and economic method for preserving and processing foods. Conduction and natural convection inside the cans are the main heat transfer mechanisms in relation to the thermal processing of mixtures of solid-liquid foods. In fact, this is a complex problem in computational heat transfer (CHT) area. Literature, however, lacks in simulation studies (determination of temperature distribution and velocity profiles) of thermal processing of solid-liquid mixtures where solids are randomly dispersed in liquid phase, e.g. canned pea. If such a study can be carried out, optimization studies for these kinds of systems can also be done. Therefore, the objective of this study is to determine temperature changes inside a can containing solid-liquid food mixtures during thermal processing.

For this purpose, temperature changes inside pea cans were determined using Ansys (V.11) CHT program, and the results were validated by experimental studies. In the experimental studies, cans were prepared in 500 g capacities using contents of the samples purchased from a local store, and temperature changes were measured using needle type thermocouples. Knowing temperature changes would lead to evaluation of sterilization value and nutritional losses effectively and use of these in optimization algorithms of the CHT programs to determine optimum processing time. This study is expected not only to be a significant contribution to the literature but also to form fundamentals of industrial projects for better improvements of canning industry.

**Key words:** Canning, thermal processing, computational fluid dynamics (CHT)

## TEŞEKKÜR

Bu tezin her aşamasında büyük emeği geçen, bana her konuda her zaman yardımcı olan, yol gösteren ve destek olan değerli danışman hocam Doç. Dr. Ferruh Erdoğan'ya en içten teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Bölüm imkanlarından yararlanmamı sağlayan ve yardımlarını esirgemeyen bölüm başkanımız Sayın Prof. Dr. Mahir Turhan'a, Mersin Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümü'ne teşekkür ederim.

Yardımlarından dolayı Doç. Dr. T. Koray Palazoğlu'na teşekkür ederim.

Çalışmam boyunca bana sağladıkları motivasyon, gösterdikleri sabır ve desteklerinden dolayı oda arkadaşlarım Arş. Gör. Özge Sancak ve Arş. Gör. Demet Güzel'e teşekkür ederim.

Tez çalışmamda kullandığım cihazların teminde katkılarından dolayı TÜBİTAK'a ve Mersin Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi (BAP)'ne teşekkür ederim.

Eşsiz desteğini ve dostluğunu esirgemeyen canım arkadaşım Sezin Tuta'ya teşekkür ederim.

Canım annem, babam ve biricik kardeşime bana duydukları güven, esirgemedikleri sabırları ve sevgileri için sonsuz teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZ.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	iv
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	6
3. MATERYAL ve METOT.....	18
4. BULGULAR ve TARTIŞMA.....	40
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	53
6. KAYNAKLAR.....	55
ÖZGEÇMİŞ.....	60

## ÇİZELGELER DİZİNİ

ÇİZELGE		<u>Sayfa</u>
Çizelge 3.1.	Suyun, simülasyonlarda sıcaklığın fonksiyonu olarak kullanılan yoğunluk, viskozite, ısıl iletkenlik katsayısı ve ısı kapasitesi değerleri [26].....	25
Çizelge 4.1.	Sınıf içi korelasyon katsayısı için kabul edilebilir değerler [33].....	43

## ŞEKİLLER DİZİNİ

ŞEKİL		<u>Sayfa</u>
Şekil 1.1.	Kondüksiyonun etkin olduğu katı konserve ürünlerde soğuk noktanın yeri.....	2
Şekil 1.2.	Doğal konveksiyon etkisiyle sıvı ürünlerde hız profillerinin oluşumu.(Sağ eksen konserve kutu yan yüzeyini, üst eksen ise konserve kutusu üst yüzeyini göstermektedir –Kaynak: Ansys-CFX modellememesi.).....	3
Şekil 1.3.	Doğal konveksiyonun etkin olduğu sıvı konserve ürünlerde soğuk bölgenin yeri.....	3
Şekil 2.1.	(a) Sodyum karboksi-metil selüloz, (b) su içeren konserve kutularındaki 180 saniye sonraki sıcaklık dağılımı [10].....	12
Şekil 2.2.	Farklı geometrilere sahip aynı hacimdeki konserve kutularında 240 saniye sonraki sıcaklık ve hız dağılımı [17].....	13
Şekil 2.3.	Katı ürün içeren konyerve 1735 saniye sonraki sıcaklık dağılımı [18].....	14
Şekil 2.4.	Sıvı ürün içeren konyerve 180 saniye sonundaki sıcaklık dağılımı [18].....	15
Şekil 2.5.	Ananas dilimleri içeren konserve kutularında farklı süreler sonunda elde edilen sıcaklık dağılımı [8].....	16
Şekil 2.6.	Küresel katı parçacık içeren konyervelerde doğal konveksiyon sonucu oluşan akış profili [12].....	17
Şekil 3.1.	Otoklav ve sıcaklık ölçüm sistemi.....	20
Şekil 3.2.	Konserve kutusu içerisine yerleştirilmiş iğne ısı çifti ile birlikte deney düzeneği.....	20
Şekil 3.3.	y-ekseni simetri eksenini olarak modellenen konserve su sistemi.....	22
Şekil 3.4a.	y-ekseni simetri eksenini olarak modellenen konserve su sistemi elementleri.....	23



Şekil 3.4b.	y-ekseni simetri eksenini olarak modellenen konserve su sisteminin alt yüzey elementlerinin yakınlaştırılmış görüntüsü.....	23
Şekil 3.5.	2 boyutlu merkezi simetrik olarak hazırlanan sistemin 3 boyutlu hale dönüştürülmüş hali.....	24
Şekil 3.6.	Su içeren konservelerin merkezindeki sıcaklığının sayısal benzetim ve deneysel sonuçlarının karşılaştırılması.....	27
Şekil 3.7a.	Su içeren konservede 10 saniye sonundaki sıcaklık dağılımı....	28
Şekil 3.7b.	Su içeren konservede 30 saniye sonundaki sıcaklık dağılımı....	28
Şekil 3.8a.	Su içeren konservedeki 10 saniye sonundaki hız profili.....	29
Şekil 3.8b.	Su içeren konservedeki 30 saniye sonundaki hız profili.....	30
Şekil 3.9.	Ortam sıcaklığının 70 °C olduğu ortamda bulunan % 1 agar-jel içeren konservelerde sayısal benzetim ve deneysel sonuçlarının karşılaştırılması.....	31
Şekil 3.10.	Katı parçacıklar içeren konserve kutusu (2 boyutlu aksi-simetrik yaklaşım).....	32
Şekil 3.11.	Katı parçacıklar içeren konserve kutusunun 3 boyutlu hale dönüştürülmüş şekli.....	33
Şekil 3.12.	y-ekseninde aksi-simetrik olarak modellenen % 36 gözenekli konserve su-bezelye sistemi.....	38
Şekil 3.13.	y-ekseninde aksi-simetrik olarak modellenen % 35 gözenekli konserve su-bezelye sistemi.....	38
Şekil 3.14.	Aksi-simetrik özellik kullanılarak 3 boyutlu hale dönüştürülmüş durum.....	39
Şekil 4.1.	% 35 gözenekli konserve kutusunun merkezindeki bezelye merkez sıcaklığının sayısal benzetim sonuçları ile deneysel sonuçların karşılaştırılması.....	42
Şekil 4.2.	% 35 gözenekli konserve kutusunun üst yüzeyi ile merkezi arasındaki suyun sıcaklığının sayısal benzetim sonuçları ile deneysel sonuçların karşılaştırılması.....	43
Şekil 4.3.	Merkez bezelye sıcaklık değişimi için sayısal benzetim sonuçları ile deney sonuçları arasındaki regresyon katsayısı ( $R^2$ ) değeri.....	44

Şekil 4.4.	Su sıcaklık değişimi için sayısal benzetim sonuçları ile deney sonuçları arasındaki regresyon katsayısı ( $R^2$ ) değeri.....	45
Şekil 4.5.	% 35 gözenekli sistemde, 300. saniyedeki hız profili.....	48
Şekil 4.6.	% 36 gözenekli sistemde 300 saniye sonundaki hız profili.....	49
Şekil 4.7.	% 35 gözenekliliğe sahip konserve kutusunda (a) 30 saniye sonundaki, (b) 300 saniye sonundaki sıcaklık dağılımı.....	50
Şekil 4.8.	% 36 gözenekliliğe sahip konserve kutusunda (a) 30 saniye sonundaki, (b) 300 saniye sonundaki sıcaklık dağılımı .....	51
Şekil 4.9.	% 35 ve % 36 gözenekliliğe sahip model sistemlerde katı kısım en yavaş ısınan noktasında sıcaklık değişimlerinin karşılaştırılması .....	52
Şekil 4.10.	% 35 ve % 36 gözenekliliğe sahip model sistemlerde sıvı kısım en yavaş ısınan noktasında sıcaklık değişimlerinin karşılaştırılması .....	52

## 1. GİRİŞ

Sürekli artan nüfus, şehirleşme oranının yükselmesi ve toplum içerisinde çalışan kişi sayısının artması hazır yemek sektörünün ve dolayısıyla konserve endüstrisinin gün geçtikçe büyümesine sebep olan unsurlardır. Konserve işlemleri uzun süre saklamaya elverişli olmayan gıda malzemelerinin cam veya teneke kutularda hava almayacak şekilde kapatılması ve ısıtma işlemine tabi tutulması olarak tanımlanabilir.

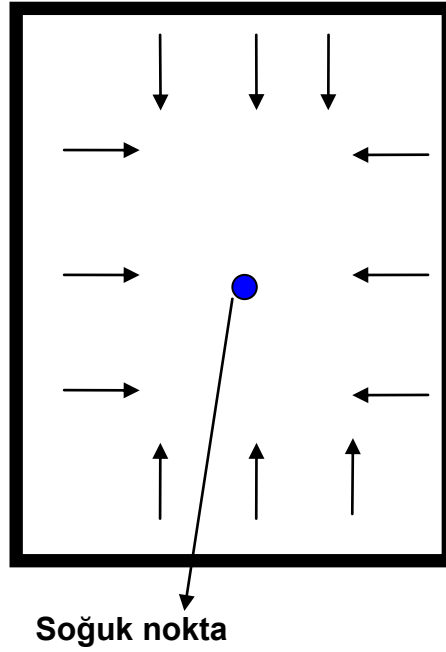
Son yıllarda gıda endüstrisinde yeni ısıtma işlemleri (ohmik ısıtma, mikrodalgalar ve radyo-frekans dalgalarının kullanımı gibi) ve ısıtma işlemlerinin yerini alabilecek alternatif prosesler (yüksek basınç uygulamaları, vurgulu elektrik alanlarının kullanımı, mor ötesi ışın uygulamaları gibi) kullanım alanları bulmaya başlamış olsalar da konserve işlemleri ve konserve gıdaların üretimi halen önemini korumaya devam etmektedir.

Konserve gıdaların üretiminde ısıtma işleminin uygulandığı bölüm önemli bir kritik kontrol noktası olup ısıtma işlemlerinin etkinliğinin belirlenmesinde hedef, ürünün en yavaş ısınan bölgesinde (soğuk bölge – soğuk nokta) mikroorganizmaların inaktivasyonunu sağlayacak yeterli sıcaklık ve süre uygulaması sağlanırken ürünün duyu özelliklerinin ve besin değerinin korunmasıdır. Konserve gıdalarda ısıtma işleminin yeterliliğinin test edilmesi soğuk nokta - soğuk bölge sıcaklığının ölçülmesi ya da belirlenmesi temeline dayanmaktadır.

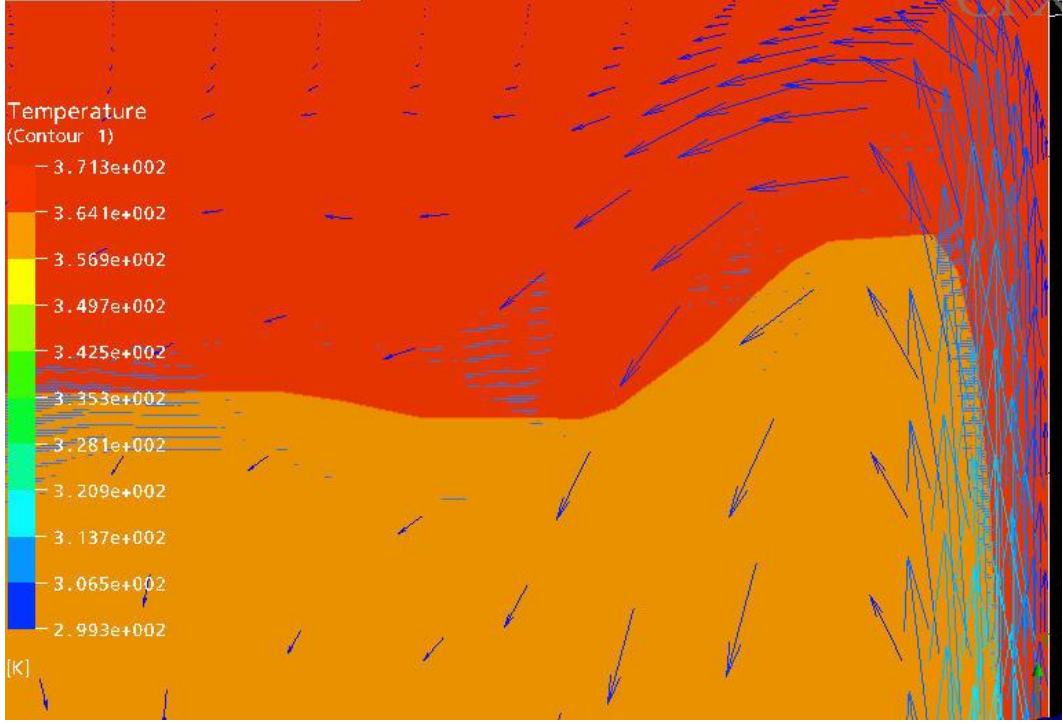
Özellikle sıvı ürünlerde soğuk nokta - soğuk bölge koordinatlarının deneysel olarak belirlenmesi, bu bölgenin zamanla yer değiştirmesi ve sıcaklık ölçümü için kullanılan ısıtma çiftlerinin akış-hız profillerini etkileme ihtimallerinden dolayı kolay bir işlem değildir. Bu nedenle ürün içi sıcaklık dağılımı ve soğuk nokta sıcaklıklarının belirlenmesinde ve buna bağlı olarak ısıtma işlemi optimizasyonunda sayısal benzetimlerin kullanımı tercih edilen bir yöntemdir [1].

Konserve gıdalarda ısı transferi, katı gıdalarda kondüksiyonla (iletim), sıvı gıdalarda doğal konveksiyonla (taşınım), katı-sıvı karışımlardan oluşan gıdalarda ise eş zamanlı olan kondüksiyon ve konveksiyonla, nişasta gibi bileşenlerin bulunduğu sıvı gıdalarda ise konveksiyonu takiben kondüksiyonla gerçekleşmektedir [2]. Ton balığı, yoğunluğu yüksek şeker şurupları, püreler ve konsantre ürünler gibi gıdaların kondüksiyonla ısındığı kabul edilebilirken, viskozitesi düşük olan sıvı bir ürünün bulunduğu ortamlarda sıcaklığın sebep olduğu yoğunluk farkları sonucu oluşan akış hareketinden dolayı doğal konveksiyonun etkin olduğu kabul edilmektedir.

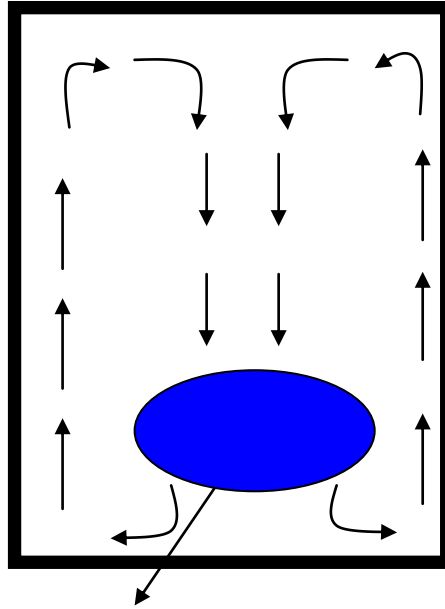
Isı transferinin kondüksiyon ile gerçekleştiği konserve ürünlerde, ürün her taraftan homojen olarak ısındığından soğuk nokta ürünün geometrik merkezinde yer almaktadır (Şekil 1.1).



Şekil 1.1. Kondüksiyonun etkin olduğu katı konserve ürünlerde soğuk noktanın yeri.



Şekil 1.2. Doğal konveksiyon etkisiyle sıvı ürünlerde hız profillerinin oluşumu. (Sağ eksen konserve kutu yan yüzeyini, üst eksen ise konserve kutusu üst yüzeyini göstermektedir –Kaynak: Ansys-CFX modellememesi.)



**Soğuk bölge**

Şekil 1.3. Doğal konveksiyonun etkin olduğu sıvı konserve ürünlerde soğuk bölgenin yeri.

Isı transferinin konveksiyon ile gerçekleştiği sıvı veya konveksiyonun etkin olduğu katı-sıvı konserve ürünlerde ise akışkan (konserve dolgu sıvısı), yoğunluğundaki değişimlerden dolayı, konserve kutusunun yan yüzeylerinden üst yüzeye doğru hareket ederken (yan yüzey alanının büyük olmasından dolayı bu bölgede ısınma daha etkin olduğundan - Şekil 1.2) üst kısımlardaki soğuk akışkanla karşılaşarak soğumakta ve konserve üst yüzeyinin veya tepe boşluğundaki havanın da etkisiyle tekrar aşağıya doğru hareket etmektedir. Bu nedenle soğuk bölge konserve kutusunun merkezi ile tabanı arasında yer değiştirmektedir (Şekil 1.3).

Sadece kondüksiyonun etkin olduğu ürünlerde gerekli proses süresi deneysel olarak belirlenebildiği gibi, kondüksiyon eşitliklerinin (enerji eşitliği) analitik ya da sayısal olarak çözülmesiyle hesaplanabilmektedir. Konveksiyonun etkin olduğu ürünlerde ise momentum, enerji ve süreklilik eşitliklerinin eş zamanlı çözülmesi gerektiğinden; çözümü görece olarak basit olan, enerji denkliği çözümlerinin kullanılması mümkün değildir. Buna ilave olarak bu tip ürünlerde soğuk bölge koordinatlarının deneysel olarak belirlenmesi, hem bu bölgenin zamanla değişkenlik göstermesi hem de sıcaklık ölçümü için kullanılan ısı çiftlerinin sıvı üründe oluşacak sıcaklığın etkisiyle meydana gelecek yoğunluk değişimlerinin oluşturacağı akış-hız profillerini etkilemesinden dolayı kolay bir işlem değildir [1, 3]. Bu bölgenin yerinin ısı çiftleri ile deneysel olarak belirlenmesinin zor olması nedeniyle de sayısal benzetim çalışmalarına ihtiyaç duyulmakta ve belirlenen sınır koşulları kullanılarak, enerji, momentum ve süreklilik eşitliklerinin çözümü ile ihtiyaç duyulan veriler sağlanabilmektedir [4].

Belirtildiği gibi, sadece kondüksiyon (katı ürünlerde) veya sadece konveksiyon (sıvı ürünlerde) mekanizmalarının etkin olduğu durumlar dışında, katı-sıvı gıda karışımları içeren konserve ürünlerde kondüksiyon ve konveksiyon eş zamanlı olarak gerçekleşmektedir. Bu ürünlerin proseslerinde ısınma süresi katı-sıvı sistemde ısı aktarımının yalnız kondüksiyonla gerçekleştiği varsayımına dayanılarak belirlenebilmekte, bu yöntem de doğal konveksiyonun etkileri ihmal edildiğinden ürünün gerekenden daha uzun süre ısıtılmasına neden olabilmektedir [5]. Katı parçacıkların sıvı faz içinde dağıldığı katı-sıvı sistemlerde ise, katı kısım

kondüksiyon, sıvı kısım konveksiyon ile ısındığından enerji, momentum ve süreklilik eşitliklerinin her iki faz için (katı faz için sadece enerji denkliği) eş zamanlı olarak çözülmesi gerekmektedir.

Bu nedenle bu çalışmanın amacı katı-sıvı karışımlarından oluşan konserve ürünler içerisindeki ısıtma işlemi sırasında meydana gelen sıcaklık dağılımını hesaplayarak, soğuk bölge yerinin zamana bağlı gelişimini ve ürün içerisindeki hareketini incelemektir.

## 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Isıl işlemler gıda ürünlerinin muhafazasında kullanılan en yaygın yöntem olduğundan gıda proseslerinde ısı transferinin sayısal benzetimi ile ilgili çalışmalar önem taşımaktadır. Gıdalara uygulanan ısı işlemlerin en önemli amacı patojen ve bozulmaya neden olan mikroorganizmaların ve enzimlerin inaktive edilmesidir. Isıl işlemler, gıda ürünlerinde fiziksel değişimlerin yanında protein denatürasyonu, esmerleşme reaksiyonları gibi birtakım kimyasal reaksiyonlara da neden olmaktadır. Bu reaksiyonlar ürünün duyu özellikleri, tat, renk ve yapısal özelliklerini olumlu ya da olumsuz bir şekilde etkilemektedir [6]. Gıda proseslerinde uygulanan ısı işlemlerin etkinliği ürüne, ambalaj tipine, ambalaj büyüklüğüne ve ısı işlem ortamındaki konumuna, ısıtıcı ortam özelliklerine ve ürünün ısı ve fiziksel özelliklerine bağlıdır [7].

Son yıllarda gıda endüstrisinde yeni ısı işlemler (ohmik ısıtma, mikrodalga ve radyo-frekans dalgalarının kullanımı gibi) ve ısı işlemlerin yerini alabilecek alternatif prosesler (yüksek basınç uygulamaları, vurgulu elektrik alanlarının kullanımı, mor ötesi ışın uygulamaları gibi) kullanım alanları bulmaya başlamış olsalar da klasik bir ısı işlem yöntemi olan konserve prosesi ve konserve gıdaların üretimi halen önemini korumaya devam etmektedir. Konserve gıdaların üretiminde ısı işlemin uygulandığı bölüm önemli bir kritik kontrol noktası olup literatürde bu konu ile ilgili farklı sayısal benzetim ve deneysel çalışmalar bulunmaktadır.

Aseptik proses ve konserve işlemleri gıda proseslerinde uygulanan geleneksel ısı işlem metotlarıdır. Aseptik üretimde gıda ürünü ambalajlanmadan önce sterilize edilirken konserve işleminde ürün ambalajlandıktan sonra sterilize edilmektedir [8]. Gıda endüstrisindeki son gelişmelerle aseptik üretim önem kazanmış olsa da konserve üretimi gıdaların korunmasında ve işlenmesinde hala yaygın olarak kullanılan bir işlemdir [1].

Konserve gıdalarda ısı işlemin yeterliliğinin test edilmesi soğuk nokta sıcaklığının ölçülmesi ya da belirlenmesi temeline dayanmakta olup ısı işlemlerin



etkinliğini hesaplamak üzere ilk yöntem 20. yüzyılın başlarında W.D. Bigelow tarafından geliştirilmiştir. Bu yöntem, prosesin letalite değerini hesaplamada soğuk noktadaki (ürünün en yavaş ısınan noktası ya da bölgesi olup bu bölgede ısıl işlem süresince sterilizasyon en az düzeyde olmaktadır) sıcaklık-zaman değişimini kullanan genel bir metot olarak bilinmektedir. Daha sonra Ball tarafından geliştirilen bir başka metot ise sterilizasyon sıcaklığı ile soğuk nokta sıcaklığı arasındaki farkın, başlangıçtaki gecikme periyodunun aşılmasından sonra eksponansiyel olarak azalması esasına dayanmaktadır. Bu metotlardan genel metot olarak da adlandırılan Bigelow'un yaklaşımı, Ball'un metodundan daha doğru ve daha kolay kullanılabilir olarak kabul edilmektedir [9]. Son yıllarda bilgisayar uygulamalarının kullanımının artması ile, ürün içi ve soğuk nokta sıcaklıklarının belirlenmesinde sayısal benzetimlerin kullanımı tercih edilmeye başlamış olup konserve endüstrisinde de proses modelleme ve hesaplama metotlarının kullanımına ilgi artmıştır [1].

Konserve gıdalarda ısı transferi katı gıdalarda kondüksiyonla, sıvı gıdalarda konveksiyonla, katı-sıvı karışımlardan oluşan gıdalarda eş zamanlı kondüksiyon ve konveksiyonla, nişasta gibi bileşenlerin bulunduğu sıvı gıdalarda ise konveksiyonu takiben kondüksiyonla gerçekleşmektedir [2]. Isı transferinin kondüksiyon ile gerçekleştiği kabul edilebilen ton balığı, püreler ve konsantre ürünlerde gerekli proses süresi genellikle kondüksiyon eşitliklerinin analitik ya da sayısal olarak çözülmesiyle hesaplanabilmektedir [10]. Bu kapsamda ısıl işlemin uygulandığı ortamdaki sınır koşulları kullanılarak kondüksiyon eşitliğinin analitik veya sayısal çözümü kolaylıkla yapılabilmektedir. Eşitlik 1 de silindirik koordinatlardaki kondüksiyon eşitliği görülmektedir.

$$\frac{1}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial r} \left( r \cdot \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \cdot \frac{\partial^2 T}{\partial \theta^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = \frac{\rho \cdot c_p}{k} \cdot \frac{\partial T}{\partial t} \quad (2.1)$$

Bu eşitlikte T sıcaklığı, t proses zamanını, k ürünün ısıl iletim katsayısını,  $\rho$  yoğunluğunu ve  $c_p$  ısı kapasitesini göstermektedir. Bu eşitliğin konserve gıdalarda ısı transferinin sayısal benzetimi amacıyla çözümünde açısız yöndeki ısı transferi kullanılan homojen ve simetrik sınır koşullarından dolayı ihmal edilebilmektedir

(Eşitlik 2.2):

$$\frac{1}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial r} \left( r \cdot \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = \frac{\rho \cdot c_p}{k} \cdot \frac{\partial T}{\partial t} \quad (2.2)$$

Bu eşitliğin çözümünde genellikle buharın kutu üzerinde yoğunlaşması nedeniyle çok yüksek bir ısı transfer katsayısının olduğu dış yüzeyde konveksiyon sınır koşulu ve merkez simetri koşulunun kullanımı yaygındır. Kondüksiyonla ısı transferinin olduğu ürünlerde soğuk nokta ürünün geometrik merkezindedir. Ancak kutu içindeki tepe boşluğunun proses sırasında ya da sonrasında en soğuk noktanın yerinin değişmesinde rol oynayabileceği de literatürde bildirilmiş olup [11] bu konu ile ilgili detaylı sayısal benzetim çalışmalarının yapılması da tavsiye edilmektedir.

Sıvı gıdalarda ise ısı transferi; ürünün viskozitesine bağlı olarak kondüksiyon, doğal konveksiyon veya zorlamalı konveksiyon ile olabilmektedir. Sıvı bir ürünün bulunduğu konserve gibi ortamlarda sıcaklığın sebep olduğu yoğunluk farkları sonucu oluşan akış hareketi konserve ürün içerisinde doğal konveksiyonla ısı transferine neden olabilmektedir. Isı transferi doğal konveksiyonla gerçekleştiğinde en yavaş ısınan bölgenin prosesin değişik basamakları boyunca hareket edebildiği [3] ve bu bölgenin kutunun tabanı ile merkezi arasında bulunduğu belirlenmiş olup bu bölge sayısal benzetim çalışmaları ile belirlenebilmektedir [12].

Kondüksiyonun aksine konveksiyonla olan ısı transferinin modellenmesi amacıyla basit olarak nitelenebilecek analitik veya sayısal çözümler mümkün değildir. Bu nedenle en yavaş ısınan noktanın yeri ve hareket yönü kolayca belirlenmemektedir. Bu bölgenin yerinin ısıl çiftler ile deneysel olarak belirlenmesinin de zor olması nedeniyle sayısal benzetim çalışmalarına ihtiyaç duyulmaktadır. Sayısal benzetim çalışmaları ile belirlenen sınır koşullarında enerji, momentum ve süreklilik eşitliklerinin çözümü ile ihtiyaç duyulan veriler sağlanabilmektedir [4]. Aşağıda doğal konveksiyonla ısı transferi olan bir ortamda sıcaklık değişimlerinin belirlenebilmesi için gerekli olan süreklilik, enerji ve momentum denklemleri silindirik koordinatlarda verilmektedir.

Süreklilik denkliği:

$$\frac{1}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial r} (r \cdot \rho_f \cdot v_r) + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial \theta} (\rho_f \cdot v_\theta) + \frac{\partial}{\partial z} (\rho_f \cdot v_z) = 0 \quad (2.3)$$

Enerji denkliği:

$$\frac{\partial T}{\partial t} + v_r \cdot \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{v_\theta}{r} \cdot \frac{\partial T}{\partial \theta} + v_z \cdot \frac{\partial T}{\partial z} = \frac{k_f}{\rho_f \cdot c_{p_f}} \left[ \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial r} \left( r \cdot \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \cdot \frac{\partial^2 T}{\partial \theta^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right] \quad (2.4)$$

Radyal yönde momentum denkliği:

$$\rho_f \cdot \left( \frac{\partial v_r}{\partial t} + v_r \cdot \frac{\partial v_r}{\partial r} + \frac{v_\theta}{r} \cdot \frac{\partial v_r}{\partial \theta} - \frac{v_\theta^2}{r} + v_z \cdot \frac{\partial v_r}{\partial z} \right) = -\frac{\partial P}{\partial r} + \mu \cdot \left[ \frac{\partial}{\partial r} \left( \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial r} (r \cdot v_r) \right) + \frac{1}{r^2} \cdot \frac{\partial^2 v_r}{\partial \theta^2} - \frac{2}{r^2} \cdot \frac{\partial v_\theta}{\partial \theta} + \frac{\partial^2 v_r}{\partial z^2} \right] \quad (2.5)$$

Açısal yönde momentum denkliği:

$$\rho_f \cdot \left( \frac{\partial v_\theta}{\partial t} + v_r \cdot \frac{\partial v_\theta}{\partial r} + \frac{v_\theta}{r} \cdot \frac{\partial v_\theta}{\partial \theta} + \frac{v_r \cdot v_\theta}{r} + v_z \cdot \frac{\partial v_\theta}{\partial z} \right) = -\frac{1}{r} \cdot \frac{\partial P}{\partial \theta} + \mu \cdot \left[ \frac{\partial}{\partial r} \left( \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial r} (r \cdot v_\theta) \right) + \frac{1}{r^2} \cdot \frac{\partial^2 v_\theta}{\partial \theta^2} + \frac{2}{r^2} \cdot \frac{\partial v_r}{\partial \theta} + \frac{\partial^2 v_\theta}{\partial z^2} \right] \quad (2.6)$$

Dikey yönde momentum denkliği:

$$\rho_f \cdot \left( \frac{\partial v_z}{\partial t} + v_r \cdot \frac{\partial v_z}{\partial r} + \frac{v_\theta}{r} \cdot \frac{\partial v_z}{\partial \theta} + v_z \cdot \frac{\partial v_z}{\partial z} \right) = -\frac{\partial P}{\partial z} + \mu \cdot \left[ \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial r} \left( r \cdot \frac{\partial v_z}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \cdot \frac{\partial^2 v_z}{\partial \theta^2} + \frac{\partial^2 v_z}{\partial z^2} \right] + \rho_f \cdot g \quad (2.7)$$

Bu denklemlerde  $T$  sıcaklığı,  $t$  proses zamanını,  $P$  basıncı,  $g$  yerçekimi ivmesini,  $\mu$  dinamik viskoziteyi,  $k_f$  akışkan ürünün ısı iletim katsayısını,  $\rho_f$  yoğunluğunu,  $c_{pf}$  ısı kapasitesini,  $v_r$ ,  $v_\theta$  ve  $v_z$ :  $r$ ,  $\theta$  ve  $z$  yönlerindeki akışkan hızını göstermektedir.

Bu konuda literatürde gıda alanında yapılan çalışmalardan ilkinde Datta ve Teixeira [4] içi su dolu bir konserve kutusunda proses boyunca sıcaklık ve hız profillerinin belirlenmesinde kullanılan sayısal bir model çalışması gerçekleştirmişlerdir. Daha sonra Kumar ve ark. [7] otoklava dikey olarak yerleştirilmiş ve yan duvarlarından ısıtılan metal kutu içerisindeki viskoz sıvı gıdalarda ısı transferinin sayısal benzetimini gerçekleştirmişlerdir.

Yukarıda verilen denklemlerin çözümü hesaplamalı ısı transferi (HIT) konusuna giren kompleks bir problem olarak tanımlanabilmektedir. HIT gıda endüstrisinde proses benzetiminde yaygın olarak kullanılan sonlu hacim yöntemi temeline dayanan matematiksel bir yöntemdir [13]. HIT kısaca akışkanlar dinamiğini ve bu hareket sırasında meydana gelen ısı, kütle ve momentum transferi süreçlerini simüle edebilmek için ortaya konulan matematiksel modellerin hesaplamalı çözüm tekniklerini sistematik olarak sağlayan bir uygulama olarak da tanımlanabilir [13-15]. Son yirmi yılda kompleks modelleme çalışmalarına olanak sağlayan ticari HIT yazılımlarının kullanıldığı uygulamalar yoğunlaşmış olup gıda endüstrisinde yaygın olarak kullanılan ticari HIT yazılımları Fluent, Phoenix, Ansys ve Ansys-CFX olarak belirtilebilir. Günümüzde HIT yazılımları araştırma–geliştirme ve ürün tasarımında yaygın olarak kullanılmaktadırlar [13-15].

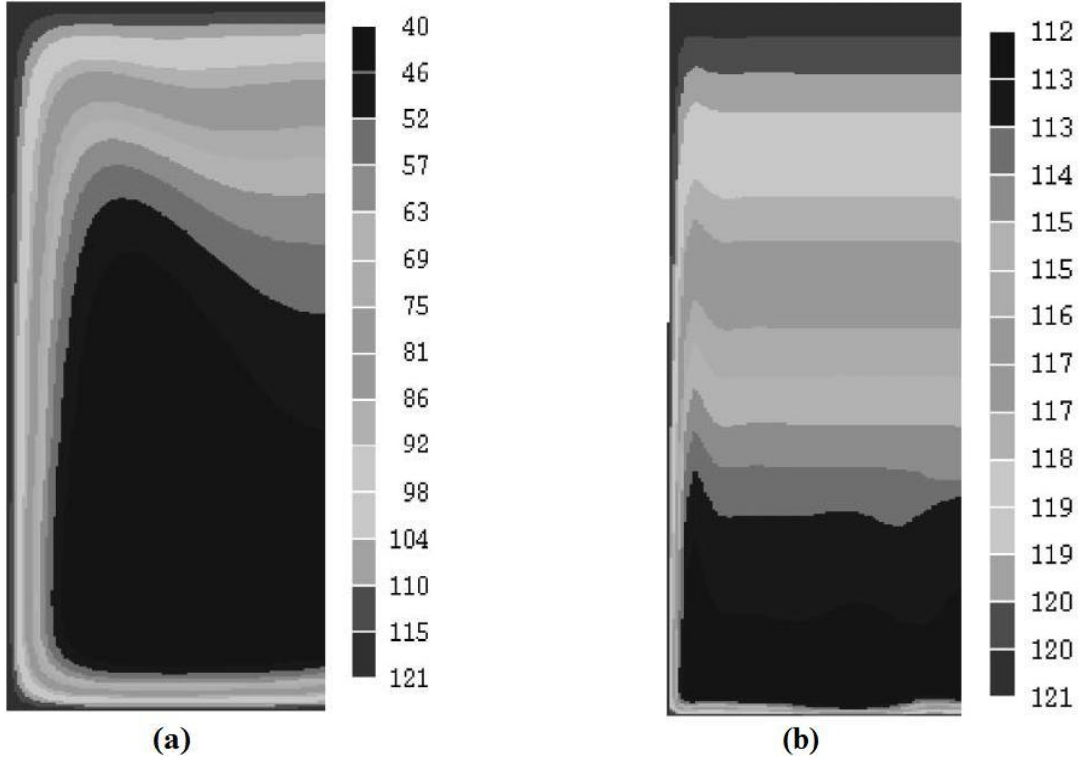
HIT programlarında ilk olarak ürün geometrisi oluşturulmakta ve oluşturulan geometri hacim elementlerine bölündükten sonra sınır ve başlangıç koşullarının tanımlanması gerekmektedir. Bu aşamadan sonra elde edilen sayısal ağ, asıl çözücü programa aktarılmakta ve kullanılan yazılıma bağlı olarak çözüm yöntemi seçilerek çözüm süreci başlatılmaktadır. Her iterasyonda gerekli denklemler sayısal ağda bulunan bütün hacimler için çözülmekte ve ardışık iterasyonlar arasında elde edilen herhangi bir parametrenin değerindeki maksimum fark kullanıcı tarafından belirlenen

değerden daha küçük olduğunda çözüm yakınsamış olarak kabul edilerek sonuçlar değerlendirilmeye alınmaktadır [14].

HIT çalışmalarında, hız ve basınç değişimlerinin ani ve keskin olduğu akış problemlerinde doğru sonuç alabilmek için çok sayıda sonlu hacim kullanmak zorunlu olduğundan yeterli sonlu hacim sayısının ön denemelerle bulunması gerekmektedir. Bu aşamada genellikle çözümün fiziksel olarak bir anlam taşıyıp taşımadığına bakılarak gerekli sayısal ağ hacmine karar verilebilmektedir [13].

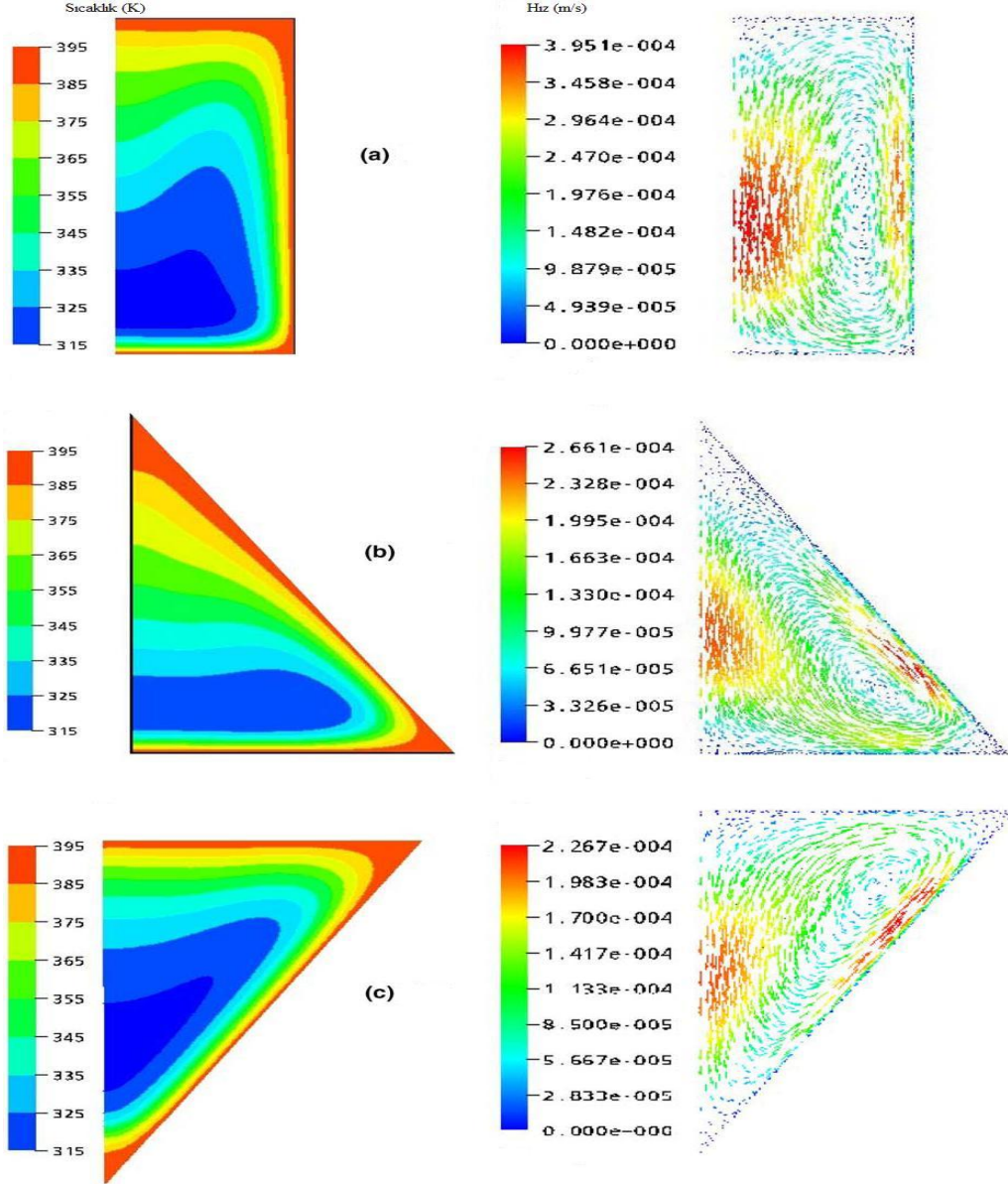
Sıvı konserve ürünlerde soğuk nokta koordinatlarının deneysel olarak belirlenmesi, hem bu bölgenin zamanla yer değiştirebilmesi hem de sıcaklık ölçümü için kullanılan ısı çiftlerinin sıvı üründe oluşacak sıcaklığın etkisiyle meydana gelecek yoğunluk değişimlerinin oluşturacağı akış-hız profillerini etkilemesinden dolayı, kolay bir işlem değildir. Bu nedenle HIT programları kullanılarak konserve ürünler içerisinde ısı işlem sırasında oluşan sıcaklık dağılımı, soğuk nokta yeri ve proses zamanının belirlenmesi uygun görülmektedir.

Ghani ve ark. [10] sodyum karboksi-metil selüloz ve su kullanarak konserve gıdalarda doğal konveksiyonla ısınmayı modellemişler ve soğuk bölge yerini belirlenmeye çalışmışlardır. Bu çalışmada konservenin y-ekseni etrafında simetrik olduğu yaklaşımı kullanılarak ısı iletkenlik katsayısı ve ısı kapasitesi değerleri sabit olarak kabul edilmiştir. Eksensel hız sodyum karboksi-metil selüloz için maksimum  $10^{-5}$ - $10^{-4}$  m/s, su için ise  $10^{-2}$ - $10^{-1}$  m/s aralığında hesaplanmış ve su sodyum karboksi-metil selülozdan daha hızlı ısındığından, soğuk bölge şekli ve büyüklüğünün farklı olduğu belirlenmiştir. Şekil 2.1’de bu çalışmada elde edilen su ve sodyum karboksi-metil selüloz için 180 saniye sonraki sıcaklık dağılımları gösterilmiştir.



Şekil 2.1. (a) Sodyum karboksi-metil selüloz  
(b) su içeren konserve kutularındaki 180 saniye sonraki sıcaklık dağılımı [10].

Diğer bir çalışmada Ghani ve ark. [16] sıvı içeren ve yatay olarak ısıtılan konserve kutusunu 3 boyutlu olarak modellemişlerdir. Sayısal benzetim sonuçları daha önceki dikey konumda olan konserve sayısal benzetim çalışmalarının sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Yatay konumdaki konserve dikey konumdaki konserveye göre daha geç ısındığı ve soğuk bölgenin yatay kutunun tabanı ile merkezi arasında olduğu gözlenmiştir. Varma ve Kannan [17] sodyum karboksi-metil selüloz içeren aynı hacimdeki silindirik ve konik konserve kutularını modellemişler ve farklı geometrilere sahip konserve kutuları için soğuk bölge yerini incelemişlerdir. Şekil 2.2'de bu çalışmada kullanılan farklı geometrilere elde edilen sıcaklık ve hız dağılımları gösterilmiştir.

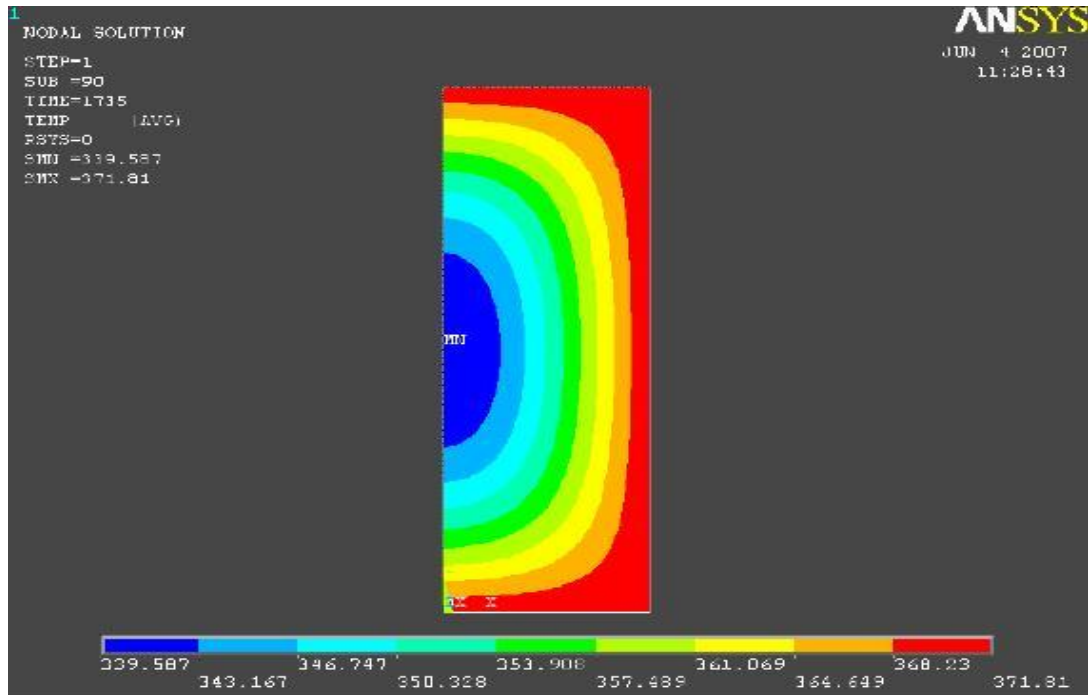


Şekil 2.2. Farklı geometrilere sahip aynı hacimdeki konserve kutularında 240 saniye sonraki sıcaklık dağılımı [17].

Erdoğdu ve ark. [18] kondüksiyon ve konveksiyon ile gerçekleşen ısı transferi hızlarını karşılaştırmak amacıyla ısı ve fiziksel özellikleri benzer katı ve sıvı içeren konserveelerde benzetim ve deneysel çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. Isı transfer mekanizmasının kondüksiyonla gerçekleştiği katı konserve gıdada soğuk bölge konserve kutusunun merkezinde iken ısı transfer mekanizmasının konveksiyonla gerçekleştiği sıvı konserve gıdada ise soğuk bölgenin konserve kutusunun tabanıyla merkezi arasında olduğu gözlenmiş ve doğal konveksiyonla

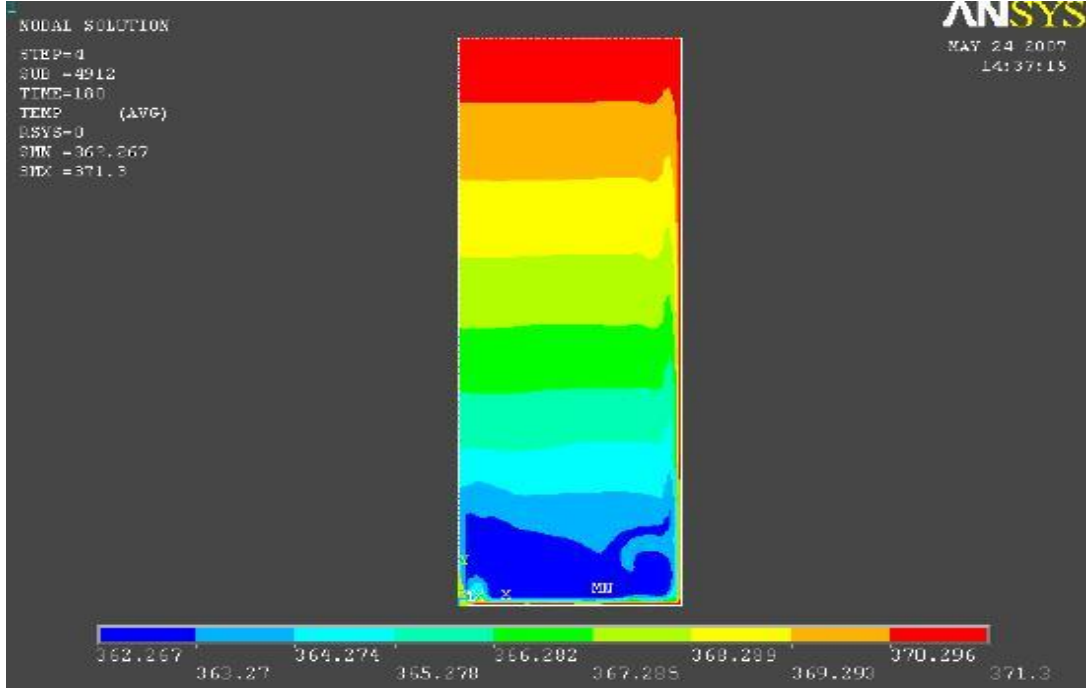
gerçekleşen ısı transferinin kondüksiyona göre daha hızlı olduğu belirlenmiştir. Şekil 2.3 ve 2.4’de katı ve sıvı konserve ürünler için belirli zaman sonunda sıcaklık dağılımları gösterilmiştir. Görüldüğü gibi sıvı üründe 3 dakikada ulaşılan soğuk bölge sıcaklığına katı üründe soğuk noktada yaklaşık 30 dakika sonunda ulaşılmaktadır.

Sadece kondüksiyon (katı ürünlerde) veya sadece konveksiyon (sıvı ürünlerde) mekanizmalarının etkin olduğu durumlar dışında, katı-sıvı gıda karışımları içeren konserve ürünlerde kondüksiyon ve konveksiyon eş zamanlı olarak gerçekleşmektedir. Bu proseslerde ısınma süresi katı-sıvı sistemde ısı aktarımının yalnız kondüksiyonla gerçekleştiği varsayımına dayanılarak belirlenmekte bu da doğal konveksiyonun etkileri ihmal edildiğinden ürünün gerekenden daha uzun süre ısıtılmasına neden olabilmektedir [5].



Şekil 2.3. Katı ürün içeren konyerve 1735 saniye sonraki sıcaklık dağılımı [18]



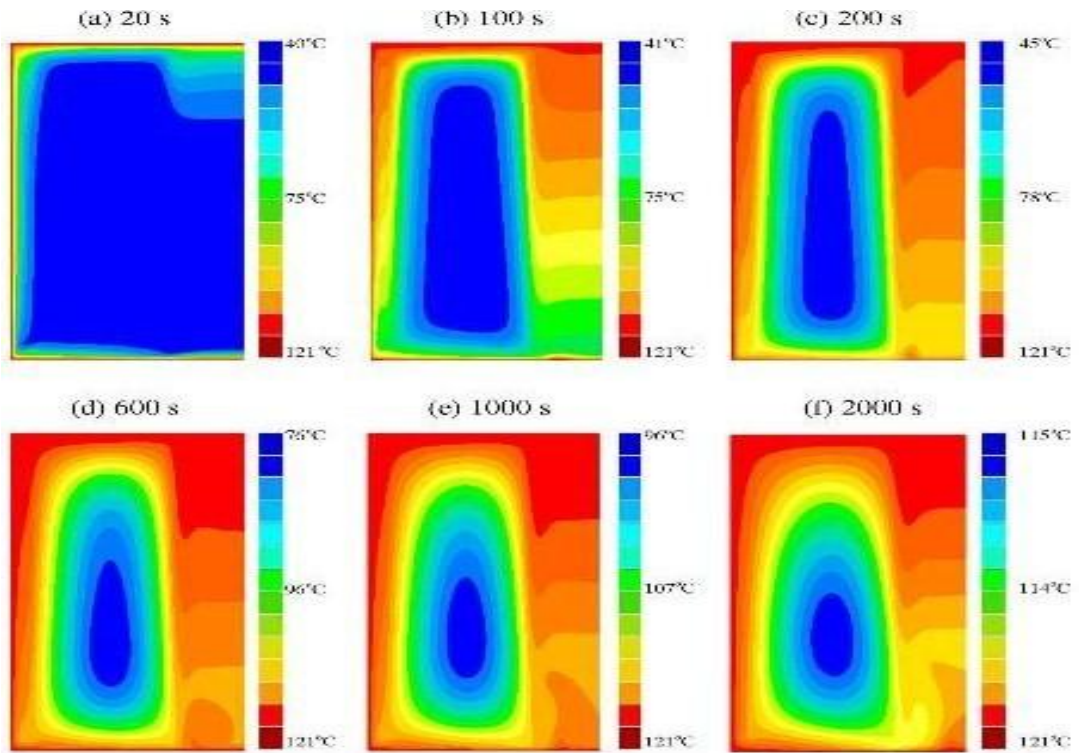


Şekil 2.4. Sıvı ürün içeren konservede 180 saniye sonundaki sıcaklık dağılımını [18]

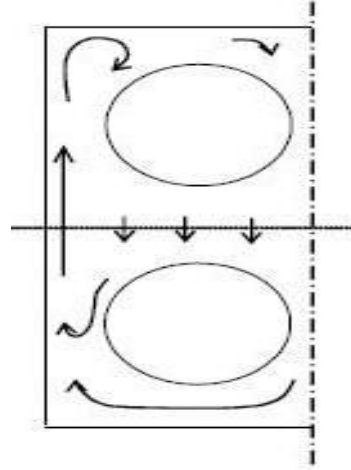
Katı-sıvı konserve ürünlerde yapılan ilk çalışmalar genel olarak ürün içerisinde soğuk bölgede bulunan katı parçacıkların sıcaklık değişimlerinin belirlenmesine yönelik olarak yapılmıştır. Bu nedenle özellikle katı-sıvı ara yüzeyindeki ısı transfer katsayısı değerinin ve sıvı kısmın sıcaklık değişimlerinin belirlenerek katı kısımdaki sıcaklık değişimlerinin belirlenmesine çalışılmıştır [19-21]. Bu çalışmaların hepsi ısı transferi analizine yoğunlaşmış dolayısıyla sıvı kısımdaki doğal konveksiyon sonucu meydana gelen akış profilleri ve soğuk noktanın yeri ve hareketinin belirlenmesine yönelik analizler yapılmamıştır.

İlk olarak Ghani ve Farid [8] doğal konveksiyonun katı-sıvı gıda karışımlarının ısıl işlemleri üzerine etkisini belirlemişlerdir. Bu sayısal benzetim çalışmasında konserve kutu içindeki birbiri üzerinde tam temas sağlayacak şekilde dizilen ananas dilimleri kullanılarak sayısal benzetim çalışmaları yapılmıştır. Böylece katı-sıvı gıda karışımlarında akışkan fazın doğal konveksiyonda önemli bir rol oynadığı ve katının kutu içindeki dağılımının ısı transferini etkilediği belirlenmiştir. Şekil 2.5' de bu çalışmada farklı süreler sonunda elde edilen sıcaklık dağılımları gösterilmektedir. Benzer bir çalışmada ise Rabiey ve ark. [12] küresel 9 adet katı parçacık içeren konservelede olan ısı transferini modellemişlerdir. Bu

çalışmada konserve kutusunun yüzeyine yakın bölgelerde daha sık hücrelerin bulunduğu element sayısı az olan model ile element sayısının eşit bir şekilde dağıldığı ve çok sayıda element içeren model konserveelerde elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak, bu tür çalışmalarda kullanılacak olan hacimsel element yapısının önemi vurgulanmıştır. Şekil 2.6'da görüldüğü gibi sıvı kısmın yan yüzeylerden ısınarak yukarıya doğru hareket ettiği, kutunun üst kısımlarında soğuk akışkanla karşılaşarak soğuyup iç kısımlardan tekrar aşağıya doğru hareket ettiği sayısal benzetimlerle gösterilmiştir.



Şekil 2.5. Ananas dilimleri içeren konserve kutularında farklı süreler sonunda elde edilen sıcaklık dağılımı [8].



Şekil 2.6 Küresel katı parçacık içeren konservelelerde doğal konveksiyon sonucu oluşan akış profili [12].

Belirtildiği gibi literatürde, katı ve sıvı ürünlerin konserve işlemleri sırasında ısı transferinin incelendiği çeşitli matematiksel çalışmalar bulunmakla birlikte bezelye, havuç-bezelye konservesi gibi katı-sıvı karışımlarından oluşan konserve ürünler için yapılan matematiksel model çalışmaları bulunmamaktadır. Isıl işlem mekanizması, ısıl iletimi olan, katı konserve ürünlerde ısı transferinin sayısal benzetimi literatürde oldukça sık olarak rastlanan bir konu olsa da sıvı ve katı karışımlardan oluşan ürünlerde soğuk nokta yeri ve sıcaklık değişimlerinin belirlendiği sayısal benzetim çalışmalarına literatürde fazla rastlanmamıştır. Bu kapsamda kabul edilebilecek, paketlenmiş küresel geometrili tarım ürünlerinin soğutulmaları ile ilgili yapılan bir çalışmada Tutar ve ark. [22] önce 2 boyutlu modeller kullanarak asıl sayısal benzetim çalışmasında kullanılacak parametrelere karar vermişler, daha sonra da küresel 18 materyalin bulunduğu bir pakette simetri varsayımı ile zorlamalı konveksiyonun etkin olduğu soğutma prosesini modellemişlerdir. Bu çalışma 3 boyutlu bir sistemde modelleme çalışmaları için gerekli parametrelere 2 boyutlu sistemler kullanılarak karar vermek ve eş zamanlı olarak zorlamalı soğutma (zorlamalı konveksiyon) sırasında küresel ürünler arasında meydana gelen hava akış profilleri ile ürün içerisindeki sıcaklık profillerinin belirlenmesi açısından önem taşımaktadır.

### 3. MATERYAL VE METOT

Katı-sıvı karışımlarından oluşan konserve gıdalarda ısıtım sırasındaki sıcaklık dağılımının belirlenebilmesi için gerekli çalışmalar sayısal benzetim ve deneysel aşamalar olmak üzere iki bölümde gerçekleştirilmiştir.

Sayısal benzetim çalışmasında Ansys (V. 11) programında kullanılacak parametrelere karar verebilmek amacıyla ilk olarak sadece sıvı (su) ve sadece katı (%1'lik agar jeli) içerikli konserveler kullanılarak hem deneysel çalışmalar hem de sayısal benzetimler yapılmıştır.

Agar jelinin kullanılması ile konserveler içerisinde sıcaklığın etkilediği yoğunluk değişimlerine bağlı olarak oluşacak doğal konveksiyon akış profilleri engellenerek sadece kondüksiyonun etkin olduğu bir ortam sağlanmıştır. % 5'e kadar agar kullanımının suyun ısıtım ve fiziksel özelliklerini değiştirmediği literatürde [23] belirtilmiş olduğundan sayısal benzetimlerde % 1'lik agar jeli için suyun ısıtım ve fiziksel özellikleri kullanılmıştır. Bu konu ile ilgili olarak Densy ve ark. [24] basınç altında kondüksiyonla gerçekleşen ısı transferini modellemek amacıyla % 3'lük agar jeli kullanmışlar ve agar jelinin ısıtım ve fiziksel özelliklerinin su ile aynı olduğunu belirtmişlerdir. Zhang ve ark. [23] suya % 5 oranına kadar agar eklemenin suyun ısıtım iletkenliğini önemli ölçüde değiştirmediğini saptamışlar, Opoku ve ark.'da [25] %1'lik agar çözeltisinin ısıtım iletkenlik ve ısıtım yayılım katsayılarının suyun değerlerinden önemli bir farkı olmadığını deneysel olarak göstermişlerdir. Yüksek sıcaklıklarda agar jelinin eriyerek konserve dış yüzeylerinden başlayan doğal konveksiyonla ısınmanın aktif hale gelmesi sebebi ile agar jel sisteminde ısıtım işlemleri ~70° C'de gerçekleştirilmiştir.

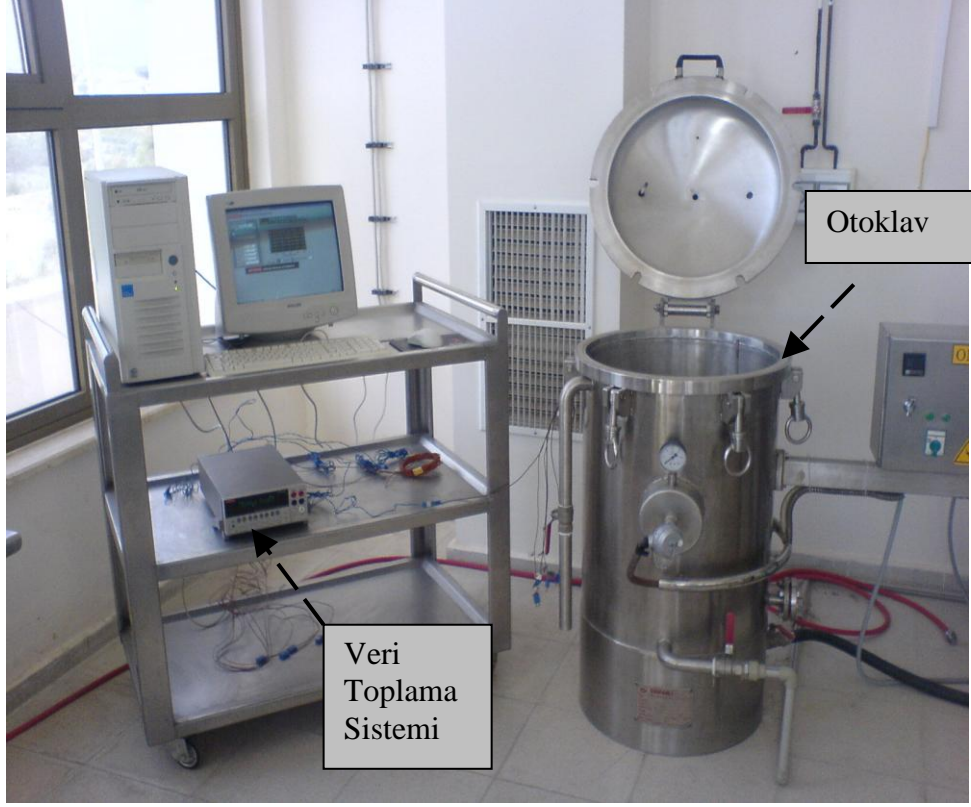
Sayısal benzetimlerde ürün içi sıcaklık değişimlerinin belirlenebilmesi amacıyla, su dolu konservede süreklilik, enerji ve momentum denklemlerini çözmek amacıyla hesaplamalı ısı transferi (HIT) programlarından Ansys ve 64 bit Windows XP işletim sistemi ile (2.4 GHz QuadCore, 6 Gbyte Ram) çalışan bir bilgisayar ve

sayısal benzetimler uzun zaman alacağından olası elektrik kesilmelerine karşı bir güç kaynağı (Tescom LN1000) kullanılmıştır.

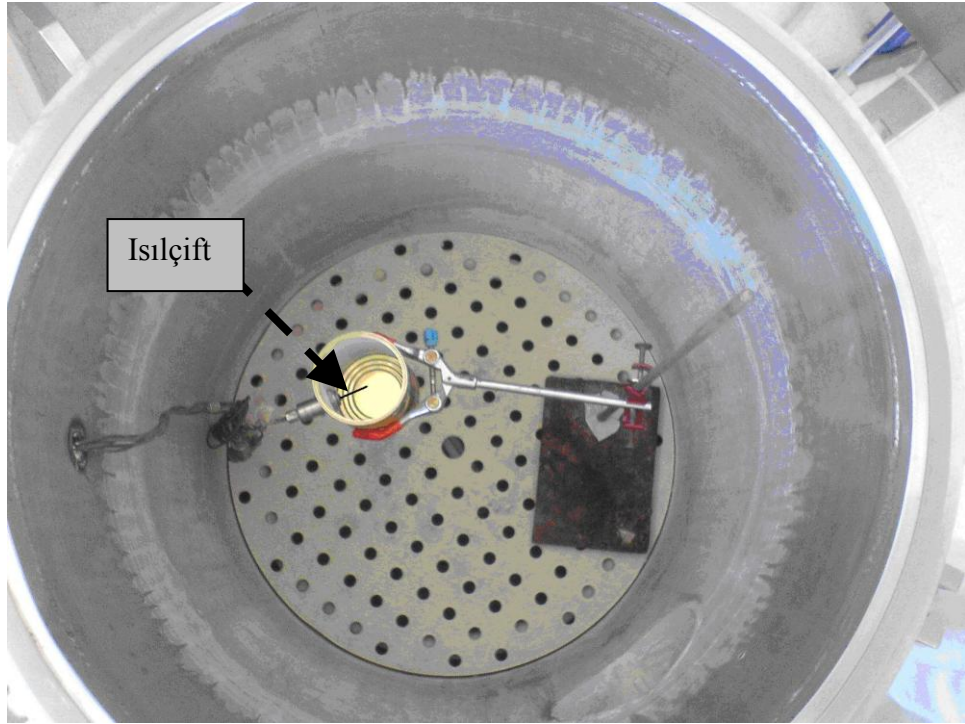
Agar jeli içeren konservelelerde sadece enerji denkliği çözümlerek sayısal benzetimler yapılmıştır. Her iki durumda da ısıtma ortamı ısı transfer katsayısının çok yüksek olduğu varsayımı kabul edilmiştir. Aynı sistemde daha önce yapılan çalışmalarda [18] bu varsayımın doğruluğu test edilmiştir.

Deneyisel çalışmaların bütün aşamalarında 500 g kapasiteli konserve kutuları kullanılmıştır. Konserve kutuları (500 g kapasiteli - 1/2, 73 mm çapında × 110 mm boyunda) hazırlanırken yaklaşık 5 mm tepe boşluğu bırakılmış ve kutular kutu kapama makinesinde (MAC-230 Umar Makina Sanayii, İstanbul) kapatılmıştır. Tepe boşluğu miktarının belirlenmesine yapılan ön denemelerle karar verilmiştir. Belirlenen miktarda kullanılan tepe boşluğunun hem konservelelerin ısı işlem sırasında şişmelerine sebep vermediği hem de konserve içi sıcaklık dağılımına önemli derecede etki etmediği yapılan ön denemelerle belirlenmiştir.

Konservelelere otoklavda (Osmanlı Makina, Balıkesir-1 m boyunda × 50 cm çapında dikey) ısı işlem uygulanırken sıcaklık değişimleri Keithley 2700 DMM (Keithley 7700.20 CH multiplexer, Keithley Instruments, Cleveland, OH, USA ile eş uyumlu çalışabilen) veri toplama sistemi ve T-tipi ısı çiftler (1.45 mm kalınlığında iğne tipi) kullanılarak kaydedilmiştir. Aşağıdaki şekillerde (Şekil 3.1 ve 3.2) deneylerin gerçekleştirildiği otoklav, sıcaklık ölçüm sistemi ve konserve kutusu içerisine yerleştirilmiş iğne tip ısı çift ile birlikte deney düzeneği görülmektedir.



Şekil 3.1. Otoklav ve sıcaklık ölçüm sistemi.

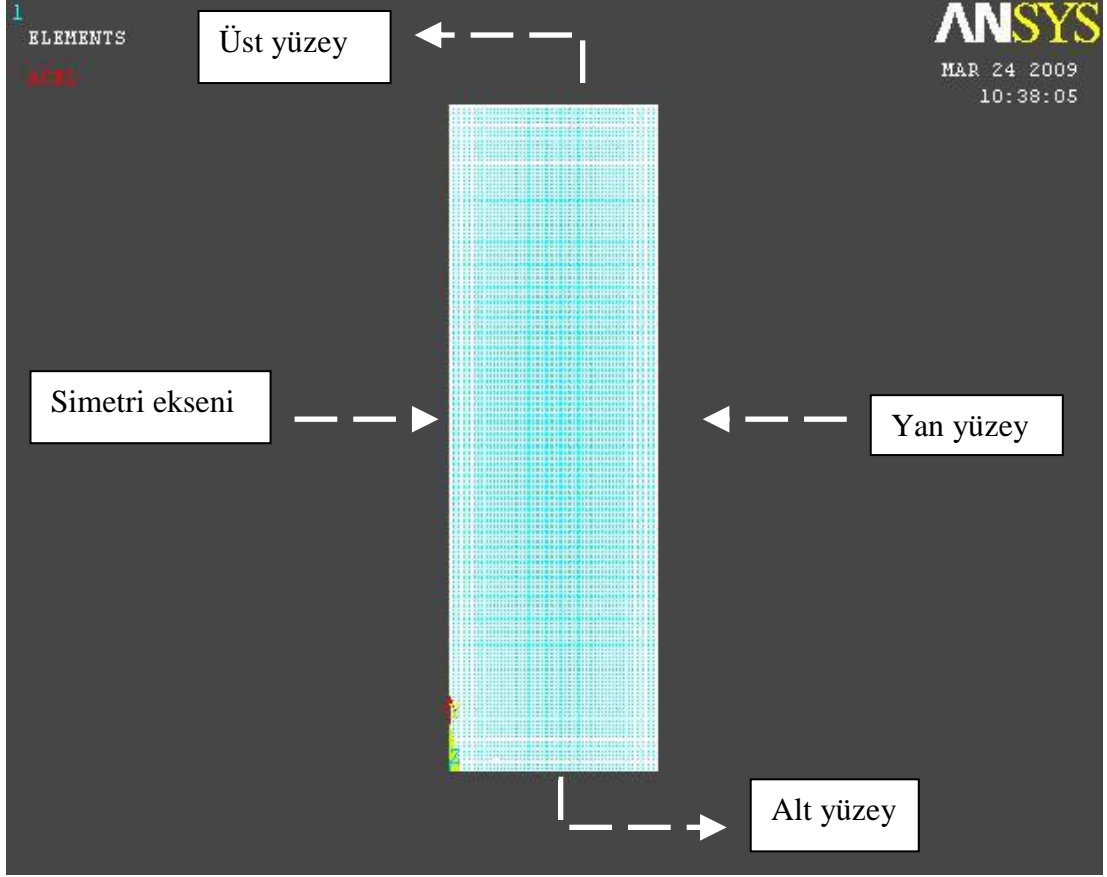


Şekil 3.2. KONSERVE KUTUSU İÇERİSİNE YERLEŞTİRİLMİŞ İĞNE ISILÇIFT İLE BİRLİKTE DENEY DÜZENEGİ.

Sayısal benzetim aşaması konserve kutusunun ve içeriğinin geometrisinin oluşturulması ve hesaplamaların gerçekleştirilmesi olmak üzere iki aşamada tamamlanmıştır. Konserve kutusunun ve içeriğinin geometrisinin oluşturulması amacıyla Ansys programının geometri oluşturma özellikleri kullanılmıştır.

Bu aşamada 73 mm çapında  $\times$  110 mm boyundaki konserve kutusu, dikey eksen (y-ekseni) etrafında merkezi simetrik olarak kabul edilmiş, içeriği iki boyutlu olarak oluşturulmuş ve bu şekil yüzey elemanlarına bölünmüştür. Bu sayede sayısal benzetimler iki boyutlu bir sistem kullanılarak tamamlanabilmiş ve bilgisayarda hesaplama zamanı, üç boyutlu sayısal benzetimlere göre çok daha kısa sürmüştür.

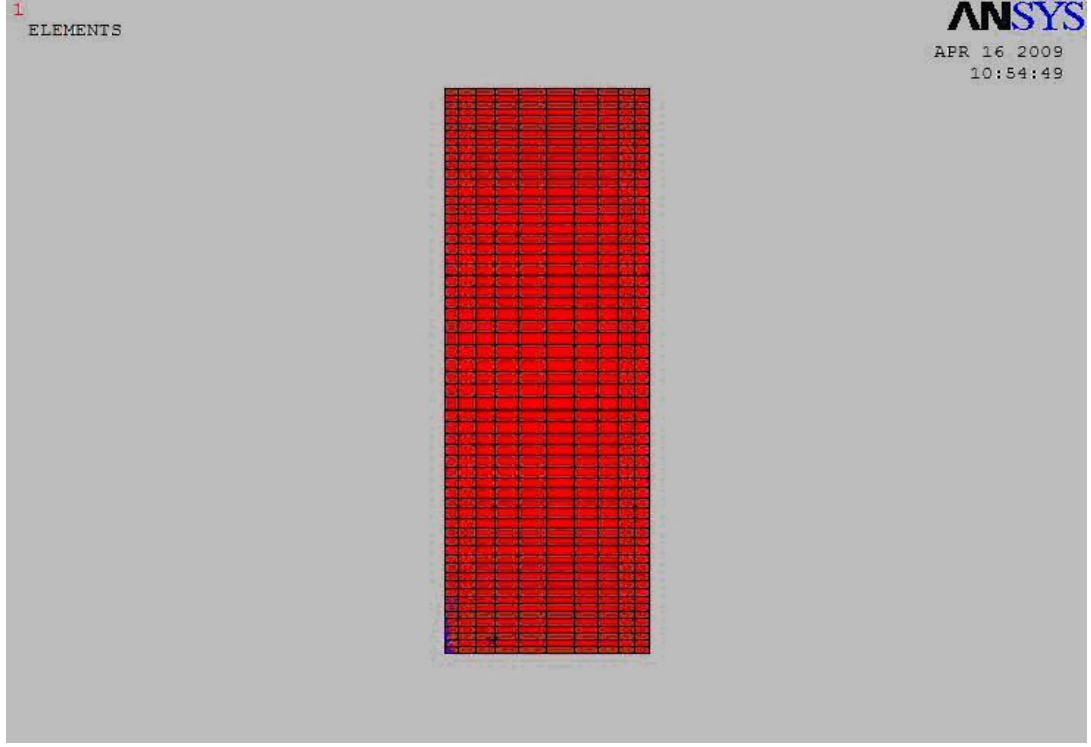
Konserve kutusunun sadece su veya agar jeli içerdiği durum için yapılan çalışmalarda radyal yönde 60 dikey yönde ise 150 düğüm sayısı uygulanmış ve bu sistemde sonuç olarak 9000 düğüm sayısı elde edilmiştir (Şekil 3.3). Oluşturulan geometri hacim elementlerine bölünürken, doğal konveksiyon sonucu oluşan hız profillerinin etkileyeceği sıcaklık değişimlerini doğru olarak belirleyebilmek amacıyla sınır yüzeylerinde konserve içine göre fazla sayıda küçük yüzey elemanlarının elde edilmesine dikkat edilmiştir (Şekil 3.3).



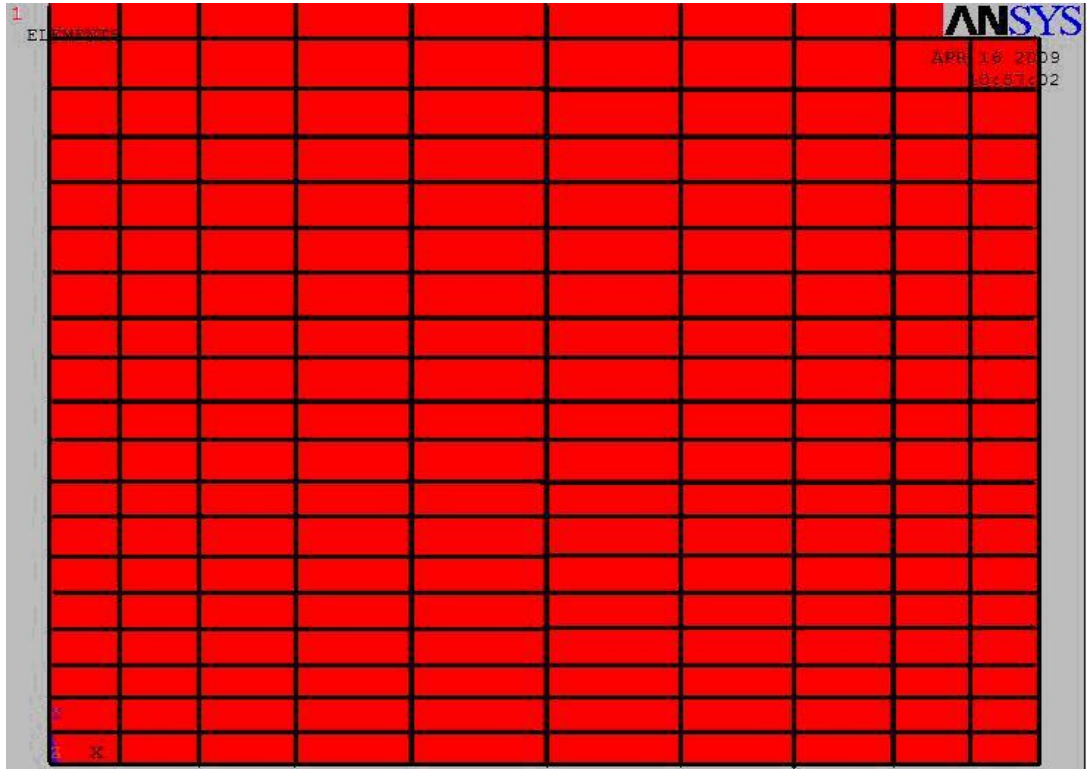
Şekil 3.3. y-ekseni simetri eksenini olarak modellenen konserve su sistemi.

Belirtildiği gibi sıcaklık değişimleri konserve yüzeyinden (sonsuz ısı transfer katsayısı varsayımından dolayı) doğal konveksiyon etkisiyle aniden başlayacağından yüzeyde oluşacak hız profillerinin hesaplanabilmesi için yüzeye yakın bölgelerde çok küçük iç kısımlarda ise daha büyük bir ağ (element) sistemi kullanılmıştır (Şekil 3.4a, b). Şekil 3.4b’de yüzeyde daha küçük element sistemi kullanıldığını göstermek için Şekil 3.4a’daki sistemin alt yüzey elementleri yakınlştırılarak gösterilmiştir. Şekil 3.5’de ise 2 boyutlu merkezi simetrik olarak hazırlanan sistemin 3 boyutlu hale dönüştürülmüş şekli gösterilmektedir.

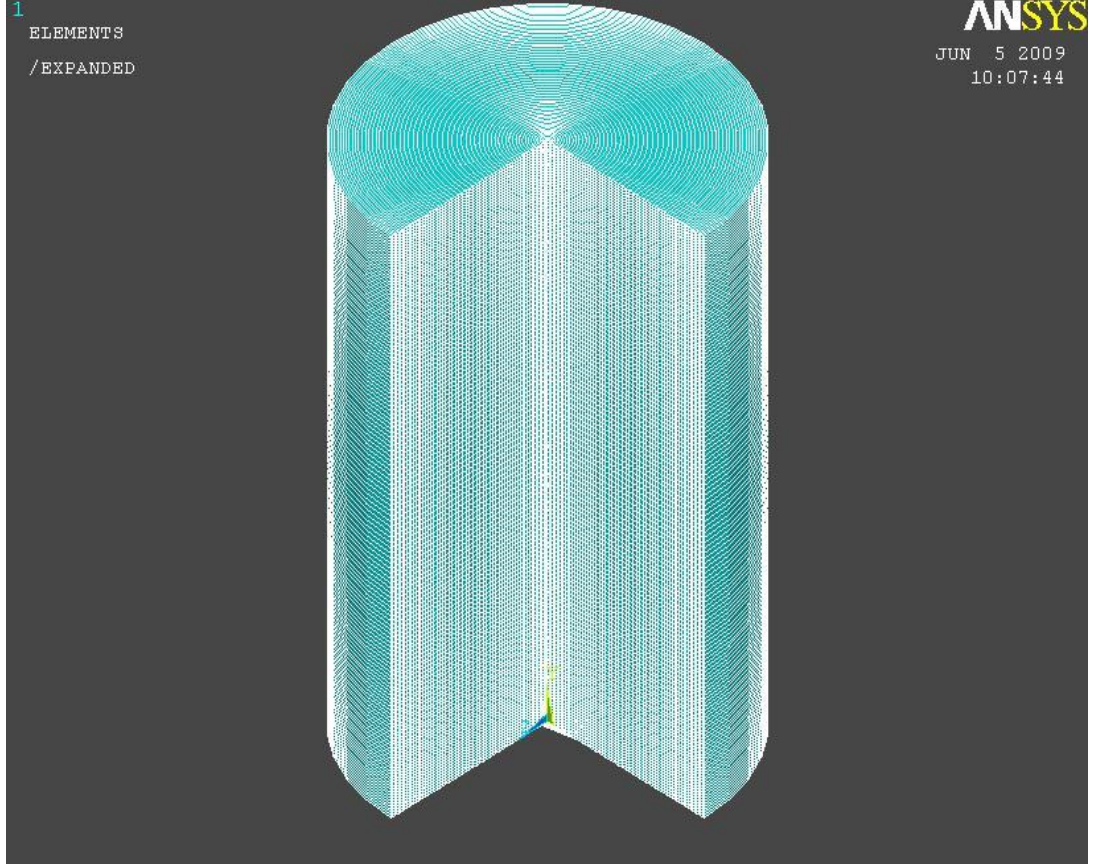




Şekil 3.4a. y-ekseni simetri ekseni olarak modellenen konserve su sistemi elementleri.



Şekil 3.4b. y-ekseni simetri ekseni olarak modellenen konserve su sisteminin alt yüzey elementlerinin yakınlaştırılmış görüntüsü.



Şekil 3.5. 2 boyutlu merkezi simetrik olarak hazırlanan sistemin 3 boyutlu hale dönüştürülmüş hali.

Sayısal benzetim çalışmalarında başlangıç koşulu olarak homojen sabit sıcaklık, dış yüzey ısı transferi ile ilgili olarak yukarıda belirtildiği şekilde sonsuz ısı transfer katsayısı yaklaşımının bir sonucu olarak yüzeyde sabit sıcaklık sınır koşulu kullanılmıştır:

$$\lim_{h \rightarrow \infty} \frac{1}{h} \left( -k \cdot \frac{\partial T}{\partial x} \Big|_{\sigma} \right) = T|_{\sigma} - T_{\infty} \Rightarrow T|_{\sigma} = T_{\infty} \quad (3.1)$$

Konserve kutusu duvar kalınlığının ince ve ısı iletkenlik katsayısının yüksek olması ayrıca otoklav içerisinde kaynamakta olan su hareketine bağlı yüksek ısı transfer katsayısı değerleri sabit sıcaklık sınır koşulu uygulamasını geçerli kılmaktadır.

Momentum sınır koşulu olarak ise katı yüzeyler ve konserve kutusu iç yüzeyinde kaymamazlık sınır koşulu uygulanmıştır. Konserve yüzeyinin sıcaklığı da

direkt olarak su sıcaklığı olarak kullanıldığından konserve yüzeyleri model hesaplamalarına dahil edilmemiştir.

Suyun özellikleri (yoğunluk, DENS; viskozite, VISC; ısı iletkenlik katsayısı, KXX ve ısı kapasitesi, C) sıcaklığın bir fonksiyonu olarak değişken kabul edilmiş (Çizelge 3.1) ve bu özelliklerin modelde kullanması için aşağıda verilen Ansys kodu yazılmıştır:

MPTEMP,1,293,313,333,353,373,393

MPDATA,DENS,1,1,998,992.1,983.3,971.8,957.9,943.4

MPDATA,VISC,1,1,0.001002,0.000653,0.000467,0.000355,0.000282,0.000232

MPDATA,KXX,1,1,0.598,0.631,0.654,0.670,0.679,0.683

MPDATA,C,1,1,4182,4179,4185,4197,4217,4244

Çizelge 3.1. Suyun, sayısal benzetimlerde sıcaklığın fonksiyonu olarak kullanılan yoğunluk, viskozite, ısı iletkenlik katsayısı ve ısı kapasitesi değerleri [26].

Sıcaklık (K)	Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )	Viskozite (Pa-s)	Isıl İletkenlik katsayısı (W/m-K)	Isı Kapasitesi (J/kg-K)
293.15	998	0.001002	0.598	4182
313.15	992.1	0.000653	0.631	4179
333.15	983.3	0.000467	0.654	4185
353.15	971.8	0.000355	0.670	4197
373.15	957.9	0.000282	0.679	4217
393.15	943.4	0.000232	0.683	4244

Sayısal benzetimler sırasında doğal konveksiyonla ısınma sonucu oluşan akış rejiminin laminer olduğu varsayılmıştır. İlk 10 saniyelik proses sırasında, bu varsayımın sonucu olarak, yüzey elementleri sıcaklıklarında (Ansys yardım dosyalarında anlatıldığı şekilde) salınımlar meydana gelmiş, ancak 10 saniyeden sonra bu salınımlar devam etmediklerinden sonuca etkileri de ihmal edilmiştir. İlk 10 saniyelik proseste oluşan salınımların azaltılması amacıyla türbülent yaklaşımlar kullanıldığında ise hesaplanan sıcaklık değerlerinin deneysel sıcaklık verilerine göre yüksek olarak hesaplandığı belirlenmiş bu nedenle laminer model varsayımının da doğru olduğu belirlenmiştir.

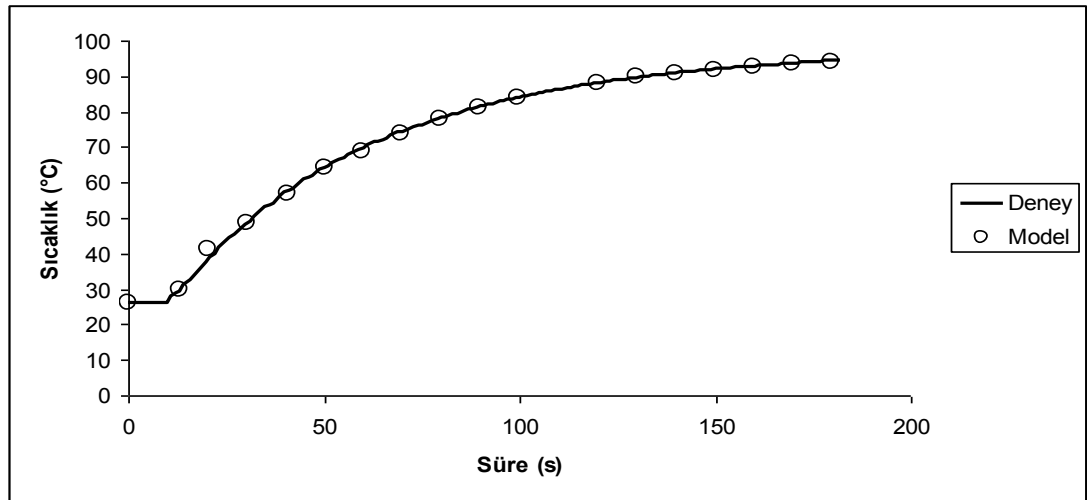
Sıcaklık ve hız değişimlerinin eş zamanlı hesaplanması için Ansys-Flotran modülü aşağıda verilen parametrelerle birlikte kullanılmıştır:

- Akışkanın yığın hareketi sonucu oluşan enerji transferini hesaplama yöntemlerinden olan Advection metodunda Collocated Galerkin (COLG) yaklaşımı momentum, basınç ve sıcaklık değişkenlerinin çözümünde kullanılmıştır.
- Oluşan salınımların minimum düzeyde tutulabilmesi için momentum denkleminin çözümü için kullanılan MIR parametresi 1 olarak seçilmiştir.
- Hız ve sıcaklık çözümü için üç diyagonalı matris algoritması (TDMA) uygulanırken basınç çözümü için “Preconditioned conjugate gradient metodu” kullanılmıştır. Bu sistem için basınç çözümlerinde TDMA yöntemi kullanıldığında ön sayısal benzetim çalışmaları sırasında çözümlerin çok yavaş ilerlediği belirlendiğinden ve bu yöntem yoğun hacim elementlerinin kullanımında tavsiye edilmediğinden Preconditioned conjugate gradient metodu”nun kullanılması tercih edilmiştir.
- Sayısal benzetim zaman aralığı 0.001 saniye olarak uygulanmıştır. Prosesin ilk 60 saniyesi için 0.001 saniye olarak kullanılmış; daha sonra aşama aşama 0.025 saniyeye kadar arttırılmıştır. Bu seviyede düşük zaman aralığının

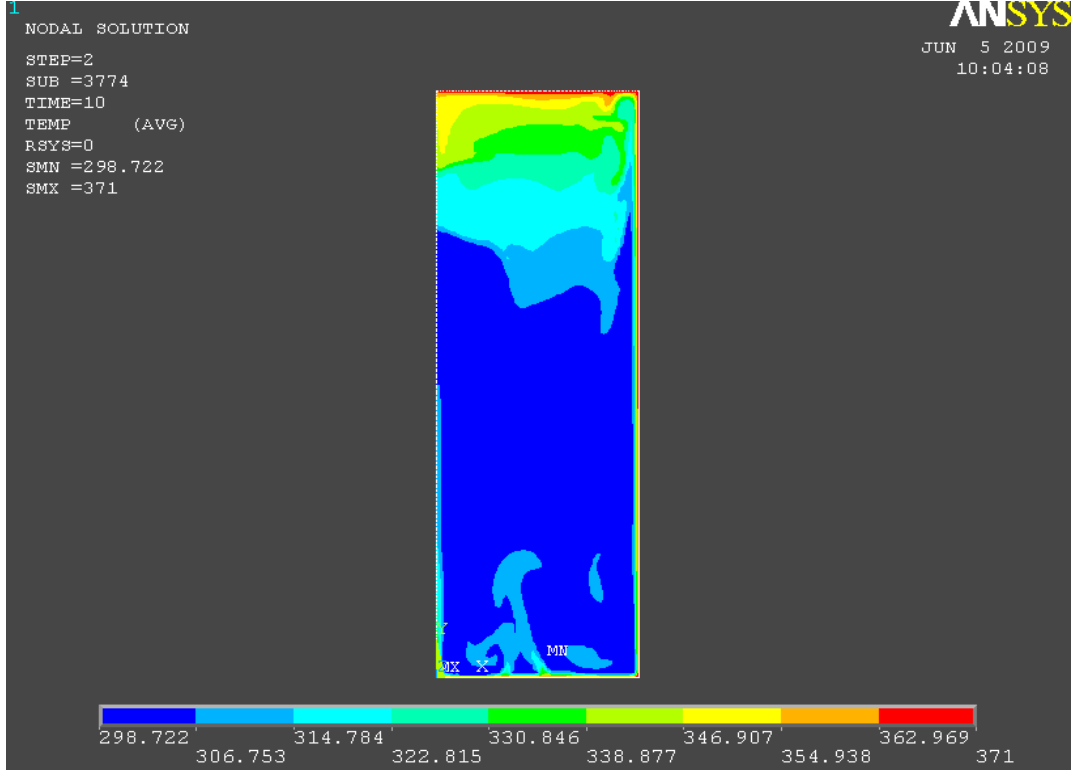
kullanılmasının gerekliliğini Ghani ve ark. [10] suyun düşük viskozite değerine bağlı olarak açıklamışlardır. Yapılan ön sayısal benzetim çalışmalarında proses başlangıcında daha yüksek zaman aralığı değerlerinin kullanımının sıcaklık salınımlarının çok yüksek derecelerde olmasına sebep verdiği de tespit edilmiştir.

- Sadece konduksiyonla ısı transferinin olabilmesi için katı konserve içeriği oluşturmak amacı ile agar jel kullanıldığından ve bu nedenle suyun ısı özellikleri değişmediğinden katı durum için su ile aynı parametreler kullanılmış ancak bu durumda sayısal benzetimler için sadece enerji denkliği çözülmüştür.

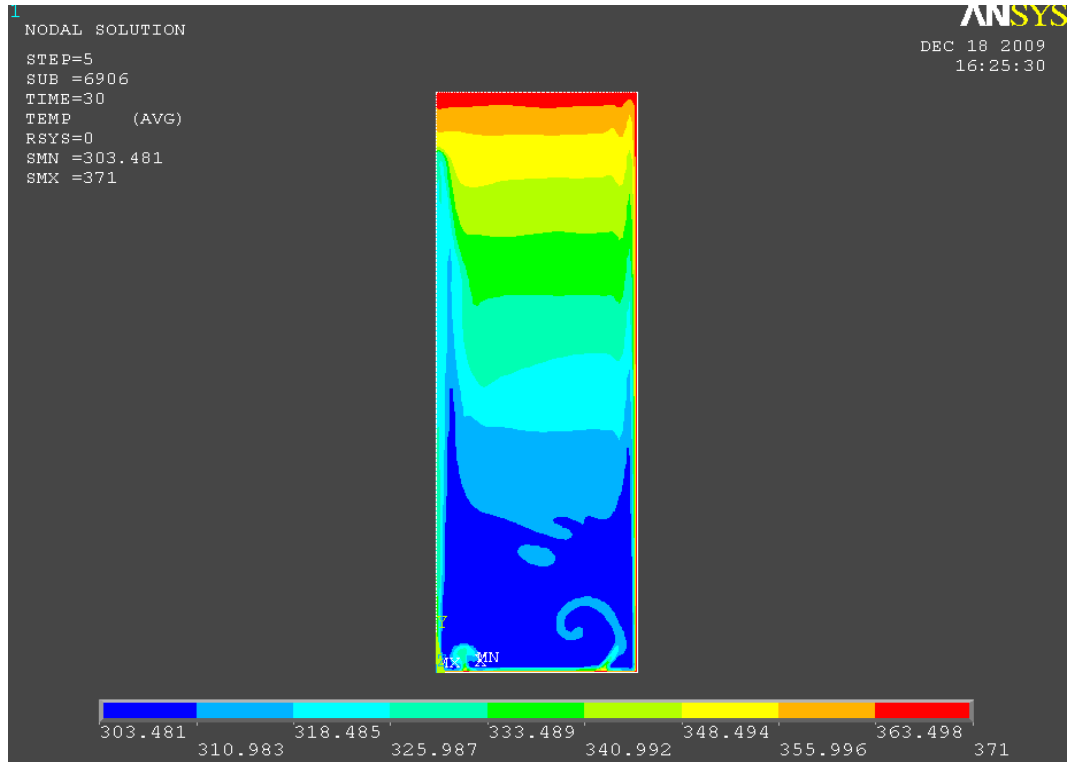
Sayısal benzetim sonuçlarını karşılaştırmak amacıyla, yukarıda belirtildiği gibi, su ve % 1 agar içeren konserve kutularında deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.6'da ortam sıcaklığının  $\sim 98^{\circ}\text{C}$  (kaynar su) olduğu durumda su içeren konserve kutularındaki merkez sıcaklık değişiminin deneysel verilerle karşılaştırılması gösterilmektedir. Şekil 3.7 ve 3.8 10 saniye sonundaki sıcaklık dağılımı ve hız profillerini göstermektedir. Şekil 3.9'da ise ortam sıcaklığının  $\sim 70^{\circ}\text{C}$  olduğu durumda % 1 agar jeli içeren konserve kutusundaki merkez sıcaklık değişiminin deneysel verilerle karşılaştırılması gösterilmiştir.



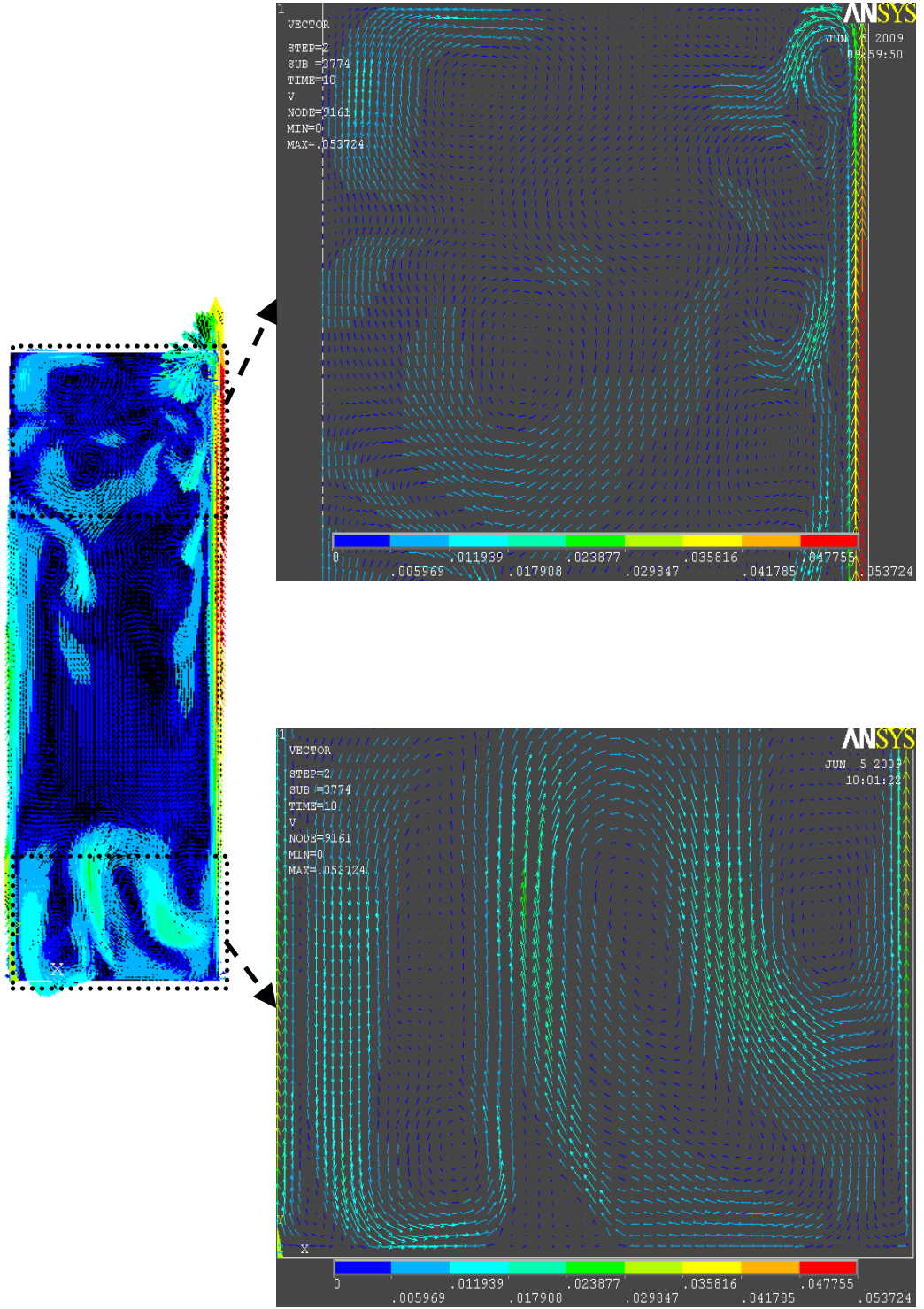
Şekil 3.6. Su içeren konserve kutularındaki merkez sıcaklığının sayısal benzetim ve deneysel sonuçlarının karşılaştırılması.



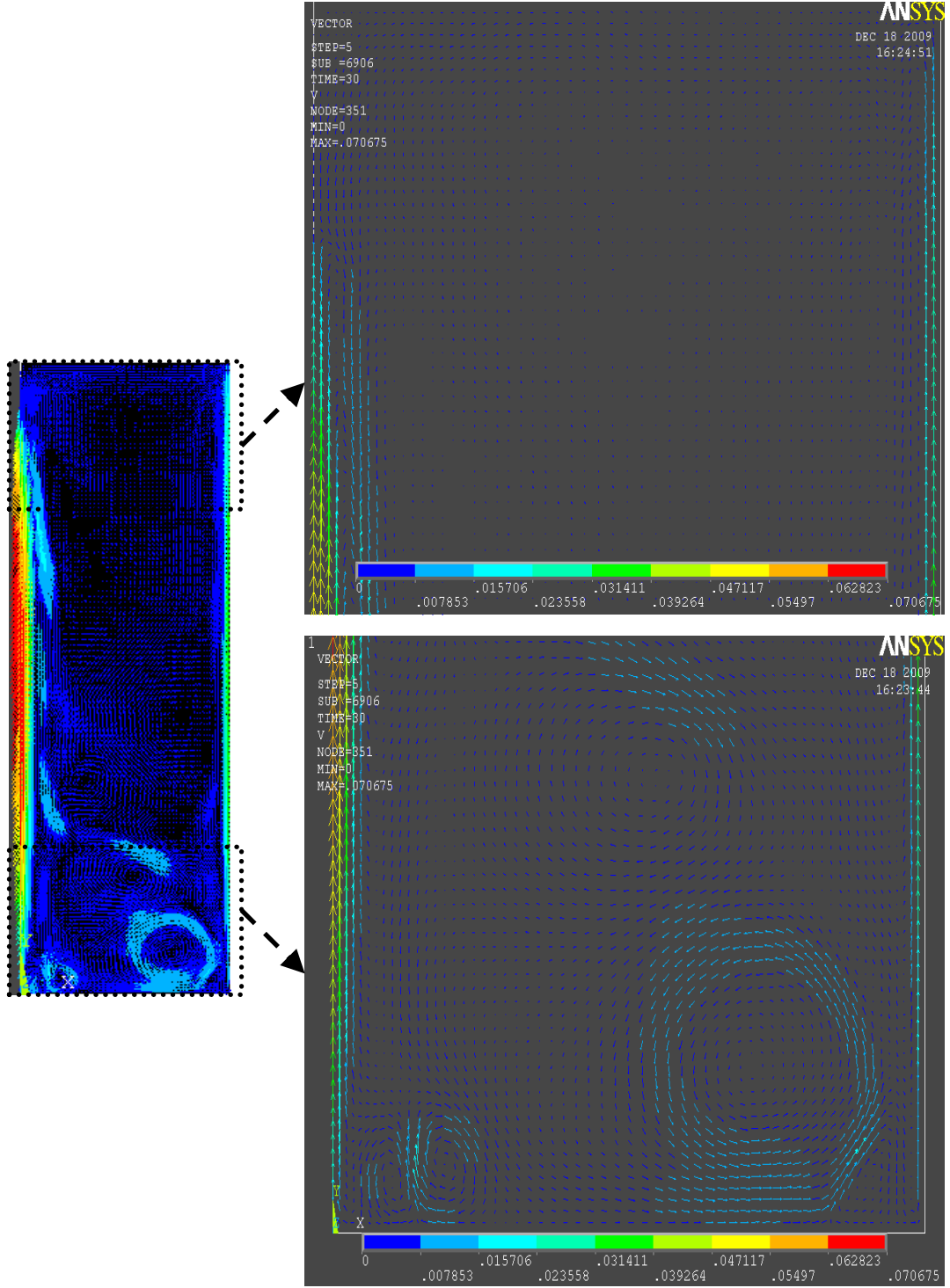
Şekil 3.7a. Su içeren konservede 10 saniye sonundaki sıcaklık dağılımı.



Şekil 3.7b. Su içeren konservede 30 saniye sonundaki sıcaklık dağılımı.

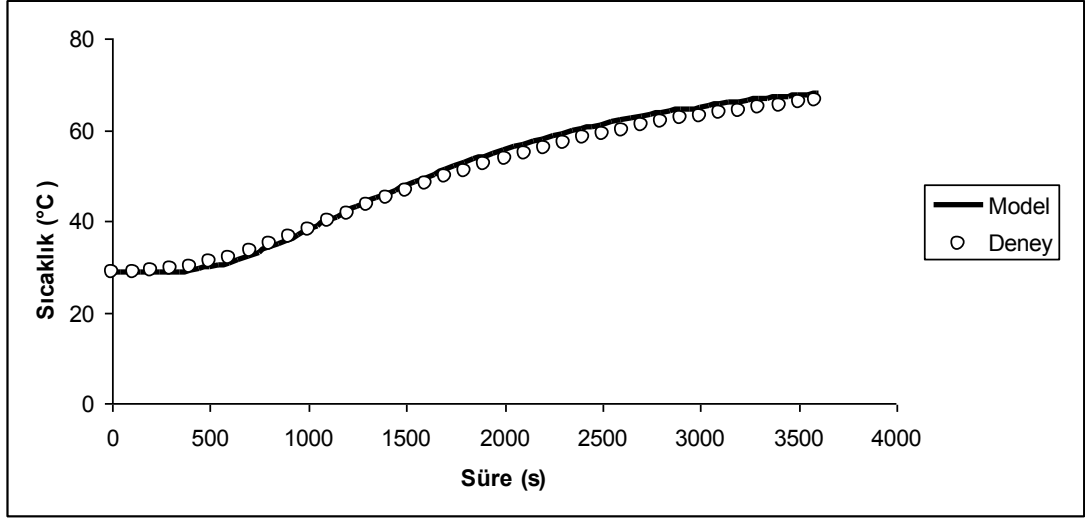


Şekil 3.8a. Su içeren konserveadaki 10 saniye sonundaki hız profili.



Şekil 3.8b. Su içeren konservedeki 30 saniye sonundaki hız profili.





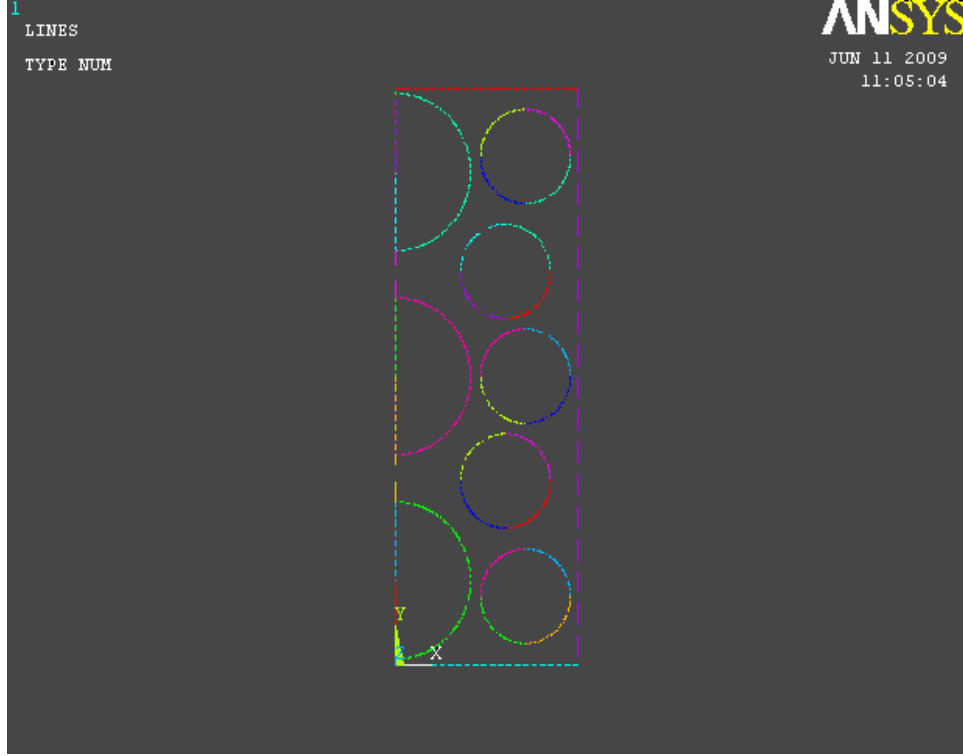
Şekil 3.9. Ortam sıcaklığının 70 °C olduğu ortamda bulunan % 1 agar-jel içeren konservelede sayısal benzetim ve deneysel sonuçlarının karşılaştırılması.

Kullanılan parametreler ile su ve agar-jel içeren konservelede gerçekleştirilen sayısal benzetim ve deneysel çalışmalarının sonuçları, Şekil 3.6 ve 3.9'da görüldüğü gibi uyum göstermektedir. Bu kapsamda sayısal benzetimlerde kullanılacak parametrelere karar verildikten sonra katı-sıvı karışım içeren konservelede örnek olarak bezelye konservele kullanılmış ve deneyler ve sayısal benzetim çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

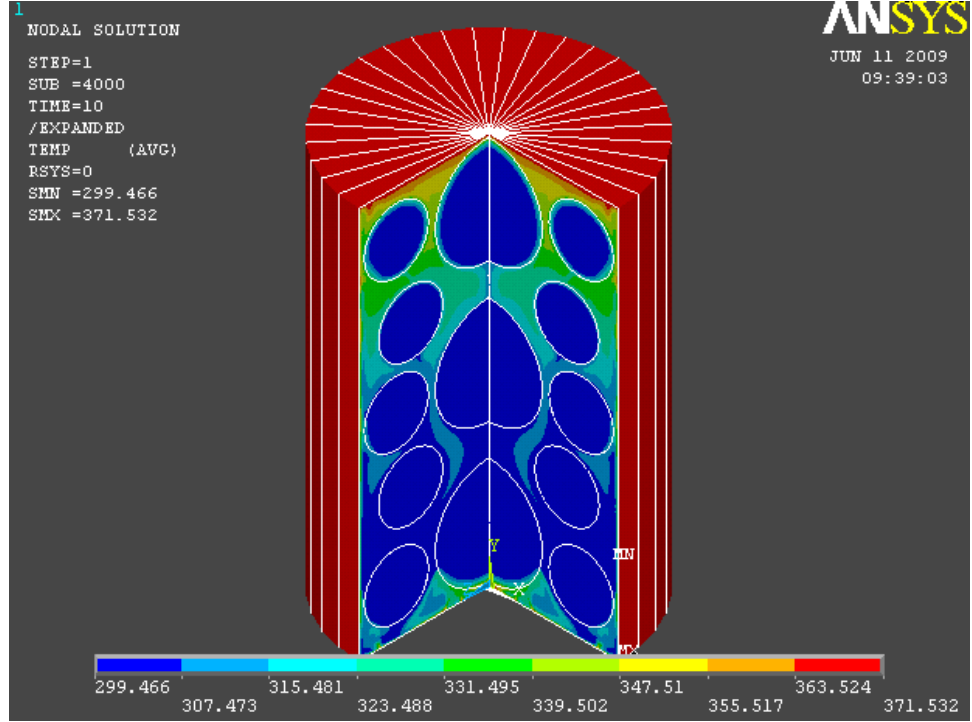
Bu çalışmalarda öncelikle, model sistemlerin oluşturulmasında sayısal olarak kaç adet bezelyenin kullanılacağı bilinmesi gerektiğinden 500 gramlık bezelye konservelelede ortalama 650 adet bezelyeden oluştuğu tespit edilmiştir. Fakat Ansys-Flotran modülünde akışkan materyalin (su) yanında en fazla 99 adet materyal kullanılabilirdiğinden ve 64 bit Windows XP işletim sistemi ile (1.8 GHz QuadCore, 6 Gbyte Ram) çalışan bilgisayar sisteminde belirtilen durum için planlanan 3 boyutlu çalışmalar verimli olmadığından konserve bezelye sistemi sayısal benzetim süresini kısaltmak ve işlemleri kolaylaştırmak amacıyla aşağıda anlatıldığı şekilde basitleştirilmiştir:

- Sayısal benzetim çalışmalarında, yukarıda açıklanan sadece su ve agar jeli içeren örneklerde olduğu şekilde, konserve kutusu 2 boyutlu (y-ekseninde aksi-

simetrik) olarak modellenmiş ve aksisimetrik özellik kullanılarak 3 boyutlu hale dönüştürülmüştür. Şekil.3.10 ve 3.11’de benzer biçimde, ancak daha büyük, katı parçacıklar içeren sanal bir sistemin 2 boyutlu ve 3 boyuta dönüştürülmüş halinin sıcaklık profili gösterilmektedir.



Şekil 3.10. Katı parçacıklar içeren konserve kutusu (2 boyutlu aksi-simetrik yaklaşım).



Şekil 3.11. Katı parçacıklar içeren konserve kutusunun 3 boyutlu hale dönüştürülmüş şekli.

- Bu sistemde suyun simetri eksenini boyunca süreklilik gösteren bezelye taneleri arasında kalan boşluklarda olacağı kabul edilmiş, bezelyeler arasında 0.5 mm boşluk bırakılmıştır. Bezelyelerin birbirlerine değdiği durumda, ağ hazırlanması sırasında karşılaşılan problemlerden dolayı bu sistemin kullanımı tercih edilmiştir. Bu şekilde; bezelye konservelerinde bezelye taneleri arasında ince bir film şeklinde yer alan su sisteminin bulunacağı varsayılmıştır. Benzer yaklaşım Tutar ve ark. [22] tarafından, küresel geometriye sahip tarım ürünlerinin zorlamalı konveksiyonla soğutulmalarının modellendiği bir çalışmada da uygulanmıştır. Rabiey ve ark. [12] tarafından yapılan HIT sayısal benzetim çalışmasında ise 9 adet kürenin belli noktalardan birbirlerine değerek bir bütün hacim oluşturdukları varsayılmıştır. Bu yaklaşım denendiğinde geometrilerin çok sayıda olmasından dolayı bu aşamada problemlerle karşılaşılmıştır.
- Modellenmesi planlanan sistemde, Ansys programının kısıtlamalarından dolayı, 99 adetten daha fazla bezelye tanesi bulunamayacağından, bezelye tane sayısını

ayarlayabilmek için eş-gözeneklilik yaklaşımı kullanılmıştır. Buna göre 500 gramlık bir bezelye konservesinde bulunan su miktarının (bezelyeler arası boşluğu doldurduğu için) % 35 ± % 2 olmasından hareketle, 2 boyutlu merkezi simetrik olarak tasarlanan konserve model sistemlerde eşdeğer gözeneklilik değerini elde edebilmek için gerekli dairesel kesitli bezelyelerin çapları hesaplanmıştır (hazırlanan 2 merkezi simetrik model sistem Şekil 3.11’de gösterildiği şekilde 3 boyuta tamamlandığında dairesel kesitler simetri merkezinde küre; simetri merkezi dışında ise halka (torus) hacimlerini oluşturmaktadır). Bu sistemle yapılan çalışmalarda dairesel kesitlerin kutu içerisindeki yerleşimleriyle deneme yanılma yöntemiyle eşdeğer gözeneklilik değerine ulaşılmaya çalışılmıştır:

$$Gözeneklilik = \frac{\rho_{su} \cdot V_{su}}{\rho_{su} \cdot V_{su} + \rho_{bezelye} \cdot V_{bezelye}} \quad (3.2)$$

*7,5 ve 8 mm çaplı dağınık olarak modellenmiş dairesel kesit içeren model sistem için gözeneklilik değerinin hesaplanması:*

Bu sistemde modellenen konservede 7 tanesi merkezde olmak üzere 28 tane 7,5 mm çapında ve 24 tane 8 mm çapında bezelye içeren konserveler modellenmiştir. Merkezdeki (simetri eksenini) yarım dairesel kesitler, sistem 3 boyuta tamamlanınca küre oluşturduğundan merkezdeki bezelyelerin hacimlerinin hesaplanması amacıyla Eşitlik 3.3 kullanılmıştır.

$$V = \frac{4}{3} * \pi * R^3 * N \quad (3.3)$$

Bu eşitlikte R bezelye yarıçapını, N merkezde bulunan bezelye sayısını ifade etmektedir. Buna göre simetri ekseninde bulunan bezelyelerin toplam hacmi

$$V_{bezelye} = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot (3,75)^3 \cdot 7 = 1546,25 \text{ mm}^3$$

olarak hesaplanmıştır. Merkezde bulunmayan bezelyeler için ise yukarıda anlatıldığı şekilde halka (torus) yaklaşımı kullanılmıştır. Bu yaklaşımda 2

boyutlu olarak simetri eksenini dışında modellenen dairesel kesitler simetri eksenini etrafında döndürüldüğünde halka şeklini almaktadır. Bu şekilde oluşturulan geometrinin hacmi, bölgenin alanı ile merkezinin dönme sırasında aldığı yolun çarpımına eşittir. Yarıçapı R olan bir daireyi r uzaklıktaki bir eksen etrafında döndürdüğümüzde oluşan halkanın hacmi Eşitlik 3.4 ile verilmektedir:

$$V = 2 \cdot \pi^2 \cdot r \cdot R^2 \cdot N \quad (3.4)$$

Bu eşitlikte d bezelyelerin merkez ekseninden olan uzaklıklarını ifade etmektedir. Buna göre planlanan sistemdeki bezelyelerin hacimleri sırasıyla aşağıda belirtildiği şekilde bulunmuştur:

$$V_{bezelye} = 2 \cdot \pi \cdot 7 \cdot (3,75)^2 \cdot \pi \cdot 7 = 13602 \text{ mm}^3$$

$$V_{bezelye} = 2 \cdot \pi \cdot 16 \cdot (3,75)^2 \cdot \pi \cdot 7 = 31089 \text{ mm}^3$$

$$V_{bezelye} = 2 \cdot \pi \cdot 24 \cdot (3,75)^2 \cdot \pi \cdot 7 = 46634 \text{ mm}^3$$

$$V_{bezelye} = 2 \cdot \pi \cdot 32 \cdot (3,75)^2 \cdot \pi \cdot 7 = 62179 \text{ mm}^3$$

$$V_{bezelye} = 2 \cdot \pi \cdot 4,5 \cdot 4^2 \cdot \pi \cdot 6 = 8527 \text{ mm}^3$$

$$V_{bezelye} = 2 \cdot \pi \cdot 13 \cdot 4^2 \cdot \pi \cdot 6 = 24635 \text{ mm}^3$$

$$V_{bezelye} = 2 \cdot \pi \cdot 21,5 \cdot 4^2 \cdot \pi \cdot 6 = 40742 \text{ mm}^3$$

$$V_{bezelye} = 2 \cdot \pi \cdot 30 \cdot 4^2 \cdot \pi \cdot 6 = 56849 \text{ mm}^3$$

$$V_{Toplam} = 284257 \text{ mm}^3$$

olarak hesaplanmıştır.

Konserve kutusu toplam hacmi ise ( $V_{bezelye} + V_{su}$ ) Eşitlik 3.4 ile bulunabilir:

$$V_{konserve} = \pi \cdot R^2 \cdot h \quad (3.5)$$

Bu eşitlikte R konserve kutusu yarıçapını, h ise yüksekliğini ifade etmektedir:

$$V_{konserve} = \pi \cdot 36,5^2 \cdot 110 = 460393 \text{ mm}^3$$

$$V_{su} = V_{konserve} - V_{bezelye} = 460393 - 284257 = 176136 \text{ mm}^3$$

Buna göre hazırlanan sistem için gözeneklilik değeri ise

$$\text{Gözeneklilik} = \frac{\rho_{su} \cdot V_{su}}{\rho_{su} \cdot V_{su} + \rho_{bezelye} \cdot V_{bezelye}} = \frac{1000 \cdot 176136}{1000 \cdot 176136 + 1062 \cdot 284257} = 0,36$$

olarak hesaplanmıştır.

*7,5 mm çaplı sıralı olarak modellenmiş bezelye içeren konserve için gözeneklilik değerinin hesaplaması:*

Bu sistemde 13 tanesi merkezde, 52 tanesi diğer kısımlarda bulunan 7,5 mm çapında bezelye içeren konserve modellenmiştir. Merkezdeki bezelyeler küresel geometri olduğundan merkezdeki bezelyelerin hacimlerinin hesaplanması için Eşitlik 3.3 kullanılmıştır:

$$V_{bezelye} = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot (3,75)^3 \cdot 13 = 2871 \text{ mm}^3$$

Diğer küreler için ise halka yaklaşımı kullanıldığında, hazırlanan sistemde toplam hacim;

$$V_{bezelye} = 2 \cdot \pi \cdot 8 \cdot (3,75)^2 \cdot \pi \cdot 13 = 28869 \text{ mm}^3$$

$$V_{bezelye} = 2 \cdot \pi \cdot 16 \cdot (3,75)^2 \cdot \pi \cdot 13 = 57737 \text{ mm}^3$$

$$V_{bezelye} = 2 \cdot \pi \cdot 24 \cdot (3,75)^2 \cdot \pi \cdot 13 = 86606 \text{ mm}^3$$

$$V_{bezelye} = 2 \cdot \pi \cdot 32 \cdot (3,75)^2 \cdot \pi \cdot 13 = 115474 \text{ mm}^3$$

$$V_{Toplam} = 291557 \text{ mm}^3$$

olarak bulunmuştur. Buna göre toplam hacim

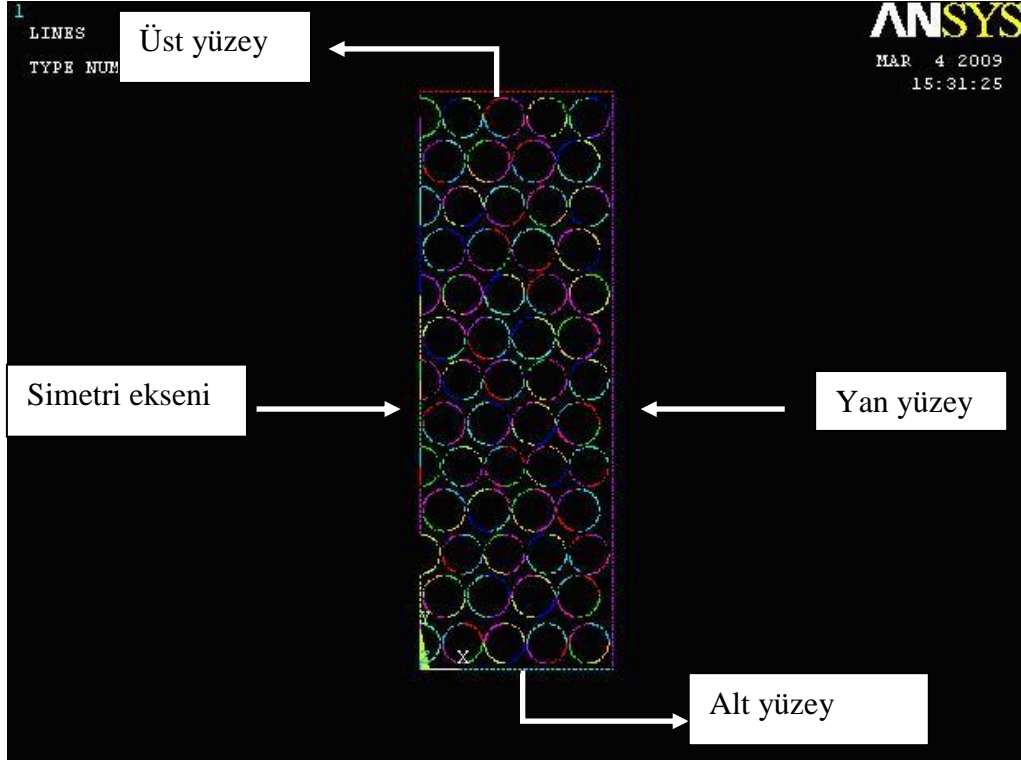
$$V_{konserve} = \pi \cdot 36,5^2 \cdot 110 = 460393 \text{ mm}^3$$

$$V_{su} = V_{konserve} - V_{bezelye} = 460393 - 291557 = 168836 \text{ mm}^3$$

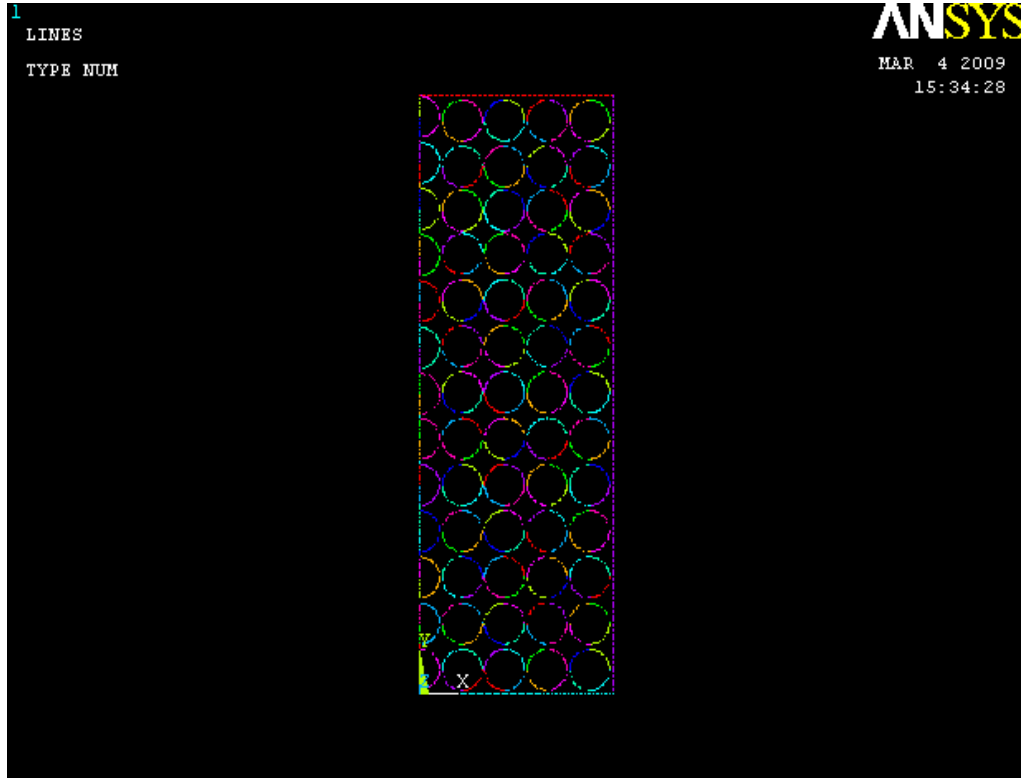
olduğundan gözeneklilik değeri aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır:

$$\text{Gözeneklilik} = \frac{\rho_{su} \cdot V_{su}}{\rho_{su} \cdot V_{su} + \rho_{bezelye} \cdot V_{bezelye}} = \frac{1000 \cdot 168836}{1000 \cdot 168836 + 1062 \cdot 291557} = 0,35$$

- Sayısal benzetim çalışmalarında deneysel gözeneklilik değerine yakın olarak % 36 gözenekliliğe sahip dağınmık olarak yerleştirilmiş sistem (Şekil 3.12) ve % 35 gözenekliliğe sahip sıralanmış sistem (Şekil 3.13) modellenebilmiştir.
- % 36 gözenekliliğe sahip sistemde, deneysel aşamada bezelye ve su sıcaklığını ölçmek için kullanılan ısı çiftlerinin bulunduğu koordinatlar sayısal benzetim değerleriyle uyuşmadığından ve elde edilen gözeneklilik değerleri arasında önemli bir fark bulunmadığından % 35 gözenekli sistemin sonuçları kullanılarak değerlendirme yapılmıştır. Şekil 3.14 aksisimetrik özellik kullanılarak Şekil 3.12'nin 3 boyutlu hale dönüştürülmüş durumunu göstermektedir.
- % 35 gözenekli sistemde 59952, % 36 gözenekli sistemde ise 63033 düğüm sayısı ile çalışılmıştır.
- Bezelyelerin ısı iletim katsayıları 0.5 W/m-K, ısı kapasiteleri 3057 J/kg-K ve yoğunlukları 1062 kg/m<sup>3</sup> olarak kullanılmıştır [27, 28].
- Deneysel çalışmalarda bezelye içeren konserve kutularına, konserve kutusunun merkezinde bulunan bezelyenin merkezine ve konserve kutusu dikey olarak alt yüzeyinden 8.2 cm uzaklıktaki yatay olarak merkezden 1.2 cm uzaklıktaki suya ısı çiftleri yerleştirilmiştir.
- Sayısal benzetim çalışmaları tamamlandıktan sonra ısı çiftlerinin bulunduğu yerlerin koordinatları belirlenerek sayısal benzetim çalışmalarında elde edilen sıcaklık değişimleri bulunarak deneysel sonuçlar ile karşılaştırılmıştır.

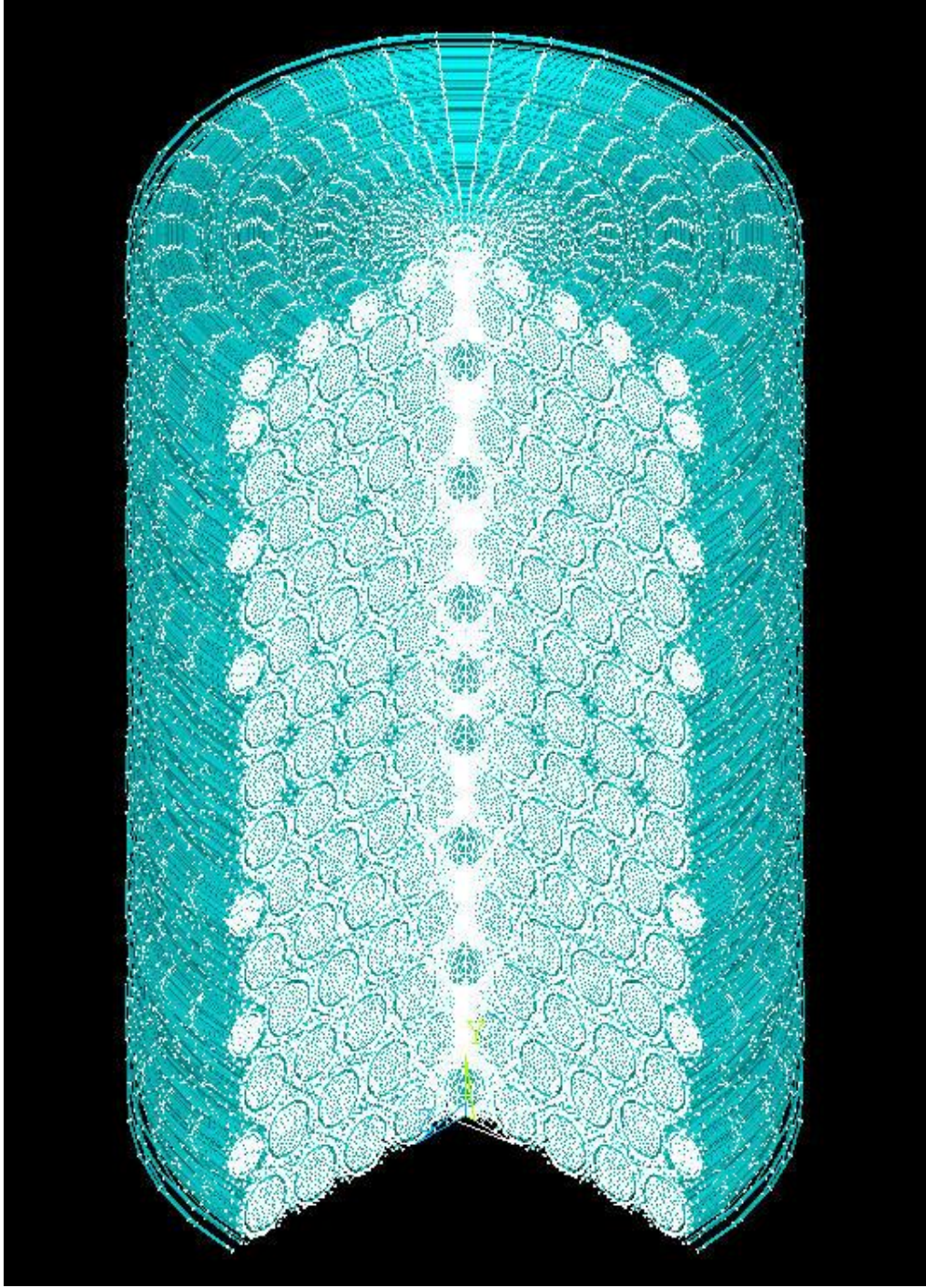


Şekil 3.12. y-ekseninde aksisimetrik olarak modellenen % 36 gözenekli konserve su-bezelye sistemi.



Şekil 3.13. y-ekseninde aksisimetrik olarak modellenen % 35 gözenekli konserve su-bezelye sistemi.





Şekil 3.14. Aksisimetrik özellik kullanılarak 3 boyutlu hale dönüştürülmüş durum.

#### 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Materyal ve Metot bölümünde açıklandığı şekilde su ve % 1'lik agar jeli ile yapılan sayısal benzetim ve deneysel çalışmalarının sonuçları kullanılarak bezelye konservelerinde ısı transferi sayısal benzetimi için gerekli parametrelere karar verilmiştir. Daha sonra bu parametreler kullanılarak sayısal benzetim çalışmaları tamamlanmıştır. Ansys HIT programı geometri oluşturma özelliklerindeki kısıtlamalardan dolayı eş değer gözeneklilik değerini elde edebilmek için yapılan denemeler sonucunda % 35 gözenekli hazırlanmış sıralı sistemde elde edilen sayısal benzetim sonuçları deneysel sonuçlar ile karşılaştırılmıştır.

Katı-sıvı karışımlarından oluşan konserve gıdalarda ısı işlem sırasındaki sıcaklık dağılımının belirlenebilmesi amacıyla yapılan sayısal benzetimlerde zaman aralığı prosesin ilk 60 saniyesi için 0.001 saniye olarak kullanılmış ve daha sonra aşama aşama 0.025 saniyeye kadar arttırılmıştır. Kullanılan zaman aralığının aşama aşama arttırılması ön sayısal benzetimlerde denenmiş ve sonuçlara bir etkisinin olmadığı belirlenmiştir. Ancak, prosesin başlangıcında, akışkan hız profil oluşumunda sayısal çözümler sonucunda dalgalanmalar oluşmasını engellemek amacıyla çok düşük bir değerle başlanmıştır.

Bezelyeler arasında bırakılan 0.5 mm'lik boşlukta bulunan su hareketinin gözlenebilmesi için bu aralığa mümkün olduğunca fazla element yerleştirilmesi yapılan ön sayısal benzetimlerden elde edilen sonuçlardan anlaşılmıştır. Aksi durumda elde edilen hız profillerinin düzgün oluşmadığı gözlenmiştir. Ancak teknik ve yazılım donanımlarına bağlı olarak 2 boyutlu bir sistemde dahi bezelyeler arasındaki boşluklara yerleştirilen yüzey elemanlarının yukarıda anlatılan sayısal benzetimlerde kullanılanlardan daha fazla elde edilmesi mümkün olmamıştır (maksimum 5 element). Bu koşullarda bile Ansys (V.11) programı ek hafıza olarak adlandırılan konumda çalıştırılabilmektedir. Bu nedenle, 3 boyutlu bir sistemde çalışmanın zorlukları düşünülerek, sayısal benzetim zamanını kısaltmak ve işlemleri kolaylaştırmak için 2 boyutlu basitleştirilmiş bir sistemde (y-ekseninde aksisimetrik kabul edilerek) tez çalışması tamamlanmıştır.

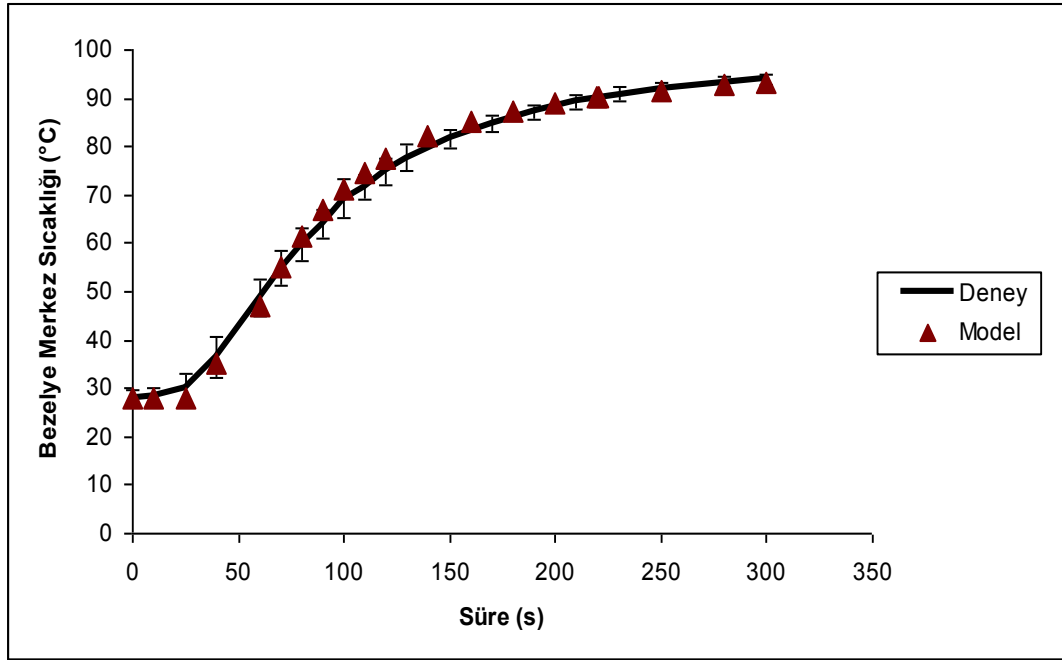
Deneysel çalışmalar Materyal ve Metot bölümünde açıklandığı şekilde yapılıp konserve merkezinde yer alan bezelyenin orta noktasında yerleştirilen iğne tip ısıtıcı çiftle bezelye içi sıcaklık ve konserve merkezi dışına (dikey yönde konserve tabanından 8.2 cm, yatay yönde konserve simetri ekseninden 1.2 cm uzaklıkta) yerleştirilen diğer bir iğne tip ısıtıcı çiftle de su sıcaklığı belirlenmiştir. Aynı başlangıç sıcaklıkları ve otoklav içerisinde kaynayan suda yapılan 10 farklı deneyin sonuçları (ortalama  $\pm$  standart sapma-SD) deneysel doğrulama çalışmalarında kullanılmıştır.

Durağan parçacıklı, bezelye konservesi gibi, sistemlerde genel olarak parçacıkların birbirlerine değmedikleri, aradaki boşluğun sıvı ile doldurulmuş olduğu ve parçacık oryantasyonlarının hidrodinamik varsayımlara göre belirlenmesi gerekmektedir [29]. Buna göre Materyal ve Metot bölümünde açıklandığı gibi değişik oryantasyonlar deneyerek deneysel gözeneklilik değerine en yakın sistem elde edilmiştir.

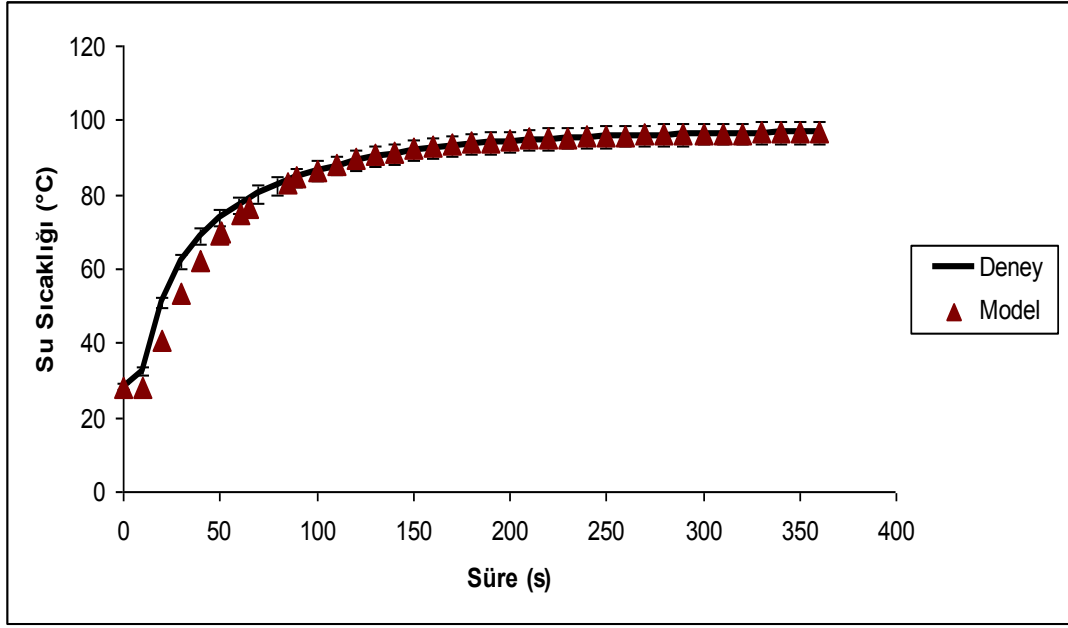
Sıralı oryantasyon kullanılarak % 35 gözenekli sistem deneysel koşullara en yakın sistem olarak belirlenmiş ve bu sistemden elde edilen sonuçlar deneysel doğrulama çalışmalarında kullanılmıştır. Bu yaklaşımda kürelerin yerleşim ve oryantasyonlarının sıcaklık ve hız profillerinin oluşumunda önemli rol oynaması beklendiğinden değişik modeller oluşturularak deneysel olarak belirlenen gözeneklilik değerleri de elde edilmeye çalışılmıştır. Datta [30] tarafından belirtildiği gibi poröz ortamlarda eş zamanlı oluşan ısı transferi ve akış hız profillerinin modellenmesi amacıyla geometrik sistemin kendi ölçülerinde kullanılması tavsiye edilmektedir. Buna ek olarak literatürde katı-sıvı fazlardan oluşan parçacıklı ürünler için geliştirilen ve kullanılan homojen ısıtıcı modelleri de bulunmaktadır. Chinesta ve ark. [31] tarafından da gösterildiği gibi bu tür yaklaşımlar katı-sıvı fazlardan oluşan ürünlerdeki ısı transferini modellemede, farklı fazların ısıtıcı katsayıları arasında önemli farklar bulunmadığından kullanılabilir. Ancak bu tür yaklaşımlarda ürünün konduktiviteyle ısıtıldığı farz edildiğinden soğuk nokta ürün merkezinde yer almakta ve ürün içerisinde doğal konveksiyon sonucu oluşan hız profillerinin etkilediği sıcaklık değişim ve dağılımları ihmal edilmektedir. Bu nedenle Datta [30] tarafından açıklandığı gibi katı-sıvı

fazlardan oluşan sistemlerde sıvı fazda oluşan doğal konveksiyon ve katı fazda oluşan kondüksiyonun eş zamanlı olarak çözülmesi en doğru yaklaşım olacaktır. Bu konuda Koribilli ve ark. [32] tarafından yapılan bir çalışmada da doğal konveksiyon etkisiyle ısı transfer hızındaki artışın konserve gıdaların sterilizasyonuna etkisinin önemi vurgulanmış ve doğal konveksiyon etkisiyle hız profillerinin hesaplanması gerektiği belirtilmiştir.

Bu tez çalışmasında, belirtildiği gibi, sayısal benzetim sonuçlarının doğrulanması amacıyla konserve merkezindeki bezelyenin orta nokta sıcaklık değişimi (Şekil 4.1) ve merkezle konserve kutusu üst yüzeyi arasındaki suyun sıcaklık (Şekil 4.2) değişimi kullanılmıştır. Bu şekillerden anlaşılacağı gibi sayısal benzetim sonuçları ile deneysel sonuçların uyumlu olduğu görülmüştür.



Şekil 4.1. % 35 gözenekli konserve kutusunun merkezindeki bezelye merkez sıcaklığının sayısal benzetim sonuçları ile deneysel sonuçların karşılaştırılması.



Şekil 4.2. % 35 gözenekli konserve kutusunun üst yüzeyi ile merkezi arasındaki suyun sıcaklığının sayısal benzetim sonuçları ile deneysel sonuçların karşılaştırılması.

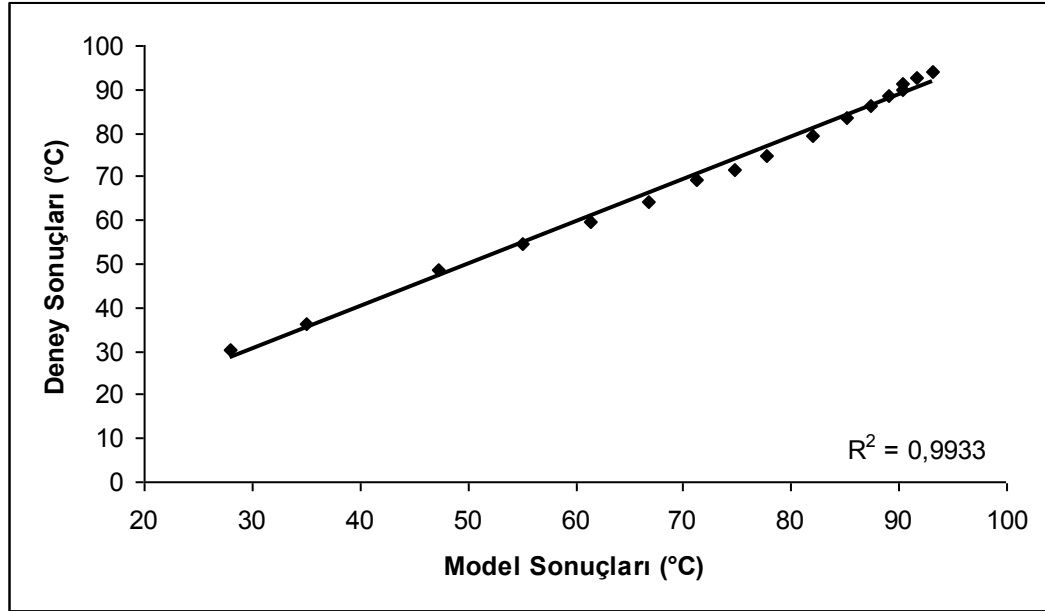
Sayısal benzetim sonuçlarının deneysel sonuçlar ile uyumunu test etmek amacıyla sınıf içi korelasyon katsayısı ve regresyon katsayısı ( $R^2$ ) değerleri belirlenmiştir. Sınıf içi korelasyon katsayısı için kabul edilebilir seviyeleri çizelge 4.1’de gösterilmektedir:

Çizelge 4.1. Sınıf içi korelasyon katsayısı için kabul edilebilir değerler [33].

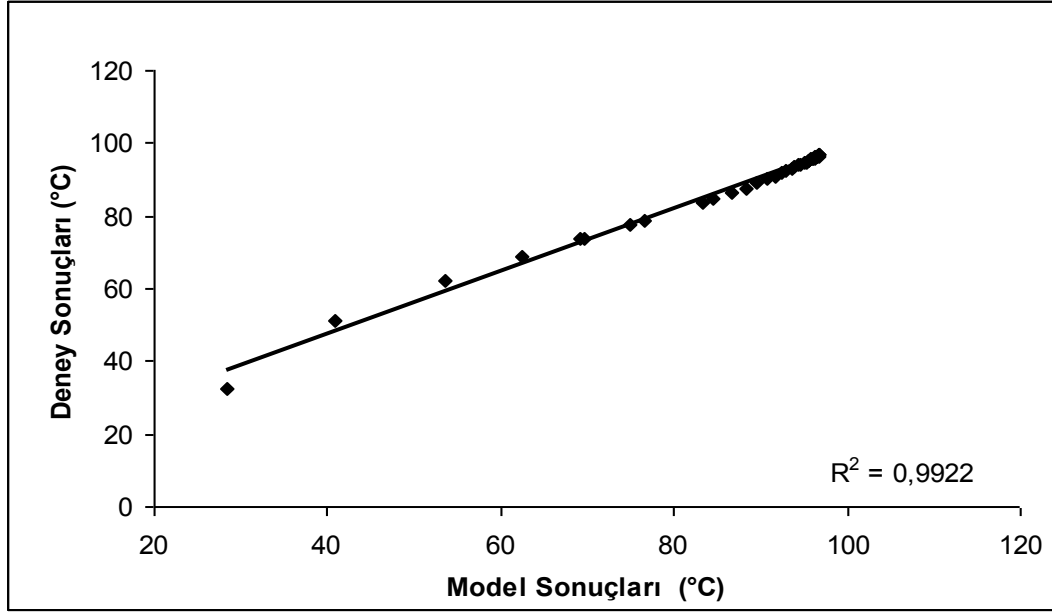
Sınıf içi korelasyon değeri	Kabul edilebilir seviye
< 0.40	Zayıf
0.40 – 0.59	Ortanın altı
0.60 – 0.74	Orta
0.75 – 0.89	İyi
> 0.90	Çok iyi

Şekil 4.1 ve 4.2’de gosterilen merkez bezelye ve su sıcaklık değişimlerinin simulasyon sonuçlarıyla karşılaştırılması sonucu sınıf içi korelasyon katsayısı değerleri 0,99 olarak bulunmuştur. Elde edilen bu değerlere göre sayısal benzetim sonuçları ile deney sonuçlarının uyum içinde olduğu görülmektedir.

Ayrıca sayısal benzetim sonuçları ile deney sonuçları arasındaki regresyon katsayısı ( $R^2$ ) değerleri de merkez bezelye ve su için 0,9933 ve 0,9922 olarak bulunmuştur (Şekil 4.3 ve Şekil 4.4). Bu değerler de yine sayısal benzetim sonuçları ile deney sonuçlarının uyum içinde olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.3. Merkez bezelye sıcaklık değişimi için sayısal benzetim sonuçları ile deney sonuçları arasındaki regresyon katsayısı ( $R^2$ ) değeri.



Şekil 4.4. Su sıcaklık değişimi için sayısal benzetim sonuçları ile deney sonuçları arasındaki regresyon katsayısı (R<sup>2</sup>) değeri.

Proses başlangıcında su sıcaklık değişiminde sayısal benzetim sonuçlarının deneysel sonuçlar ortalamasına göre kısmen daha yavaş yükselmesi (Şekil 4.2) gözenekliliğin etkisi ve bezelyelerin oryantasyonu ile açıklanabilmektedir. Bu bölümde prosesin 30 ve 50 s aralığında sayısal benzetim sonuçları ile deneysel sonuçlar arasındaki farkın 4-5°C'ye kadar çıktığı, ancak ilerleyen zaman içerisinde (90. saniyeden itibaren) sonuçlar arasında bir fark kalmadığı gözlenmiştir. Merkezdeki bezelye durumunda ise deneysel sonuçlar ile sayısal benzetim sonuçları arasında önemli bir fark gözlenmemiştir. Suyun düşük viskozite değerinden dolayı doğal konveksiyon etkisiyle akış profillerinin hızlı oluşması, tepe boşluğunun konserve içerisindeki ısı transferine etkisinin bu sonuca etkili olabileceği de düşünülmektedir. Bu sonuçlar sıvı içerisinde hareketsiz olarak duran parçacıkların doğal konveksiyon etkisi ile oluşan akışkan hız profilini etkilemeleri de parçacık oryantasyonunun önemini ortaya koymaktadır. Bu nedenle, bezelye konservesi gibi kompleks bir sistem için HIT programlarının geometri hazırlamadaki sınırlamaları da gözönüne alındığında elde edilen sonuçların, deneysel verilerle gösterilen paralellik de düşünülerek, yeterli olduğu kabul edilebilir sonucuna varılmıştır. Benzer şekilde Kannan ve Sandaka [34] tarafından yapılan konserve gıdalarda sterilizasyon sırasında sıcaklıkların belirlenmesine yönelik olan bir çalışmada da deneysel

sonuçlar ile HIT sayısal benzetim sonuçları arasında farklılıklar gözlenmiş ve kompleks sistemlerde bu tür sapmalar ile karşılaşılabileceği belirtilmiştir.

Şekil 4.5 %35 ve Şekil 4.6 %36 gözenekli sistemlerde bezelyeler arasında ve konserve yüzeyinde oluşan hız profillerini göstermektedir. Görüldüğü gibi, her iki durumda da, yüzeyde ani sıcaklık değişimi oluşan yoğunluk farkına bağlı olarak akışkan hareketi başlamakta, daha sonra bu hareket konserve üst yüzeyinin etkisi ile yön değiştirmekte ve yerçekimi etkisi ile aşığı doğru yönelmektedir. Bu yöneliş esnasında konserve içeriğinin sıcaklığı yüzeyden gelen akışkan sıcaklığına göre daha düşük olduğundan, akışkan soğumaya başlamakta ve soğudukça yoğunluğu artmaktadır. Küreler arasındaki boşluktan geçerken ise kütleinin korunumu yasasına uyarak hız kazanmaktadır. Nithiarasu ve ark. [35] akışkanla doğgun poroz bir ortamın doğal konveksiyonla ısı transferine etkisine tartışımlar ve sıcaklık değişimlerinin belirlenmesinde gözenekliliğin etkin bir rol oynadığını belirlemişlerdir.

Doğal konveksiyonla oluşan hız profilinin etkisi ile de konserve içeriğinin soğuk noktası, kondüksiyonla ısınan ürünlere göre farklı olarak, konserve merkezi ile alt yüzeyi arasında yer almaktadır. Şekil 4.7 ve 4.8'de prosesin 300. saniyesi sonucu oluşan sıcaklık profili % 35 ve % 36 gözenekli sistemlerde görülmektedir. Bu şekillerde mavi renkle gösterilen bölge konserve içeriğinin soğuk bölgesini göstermektedir.

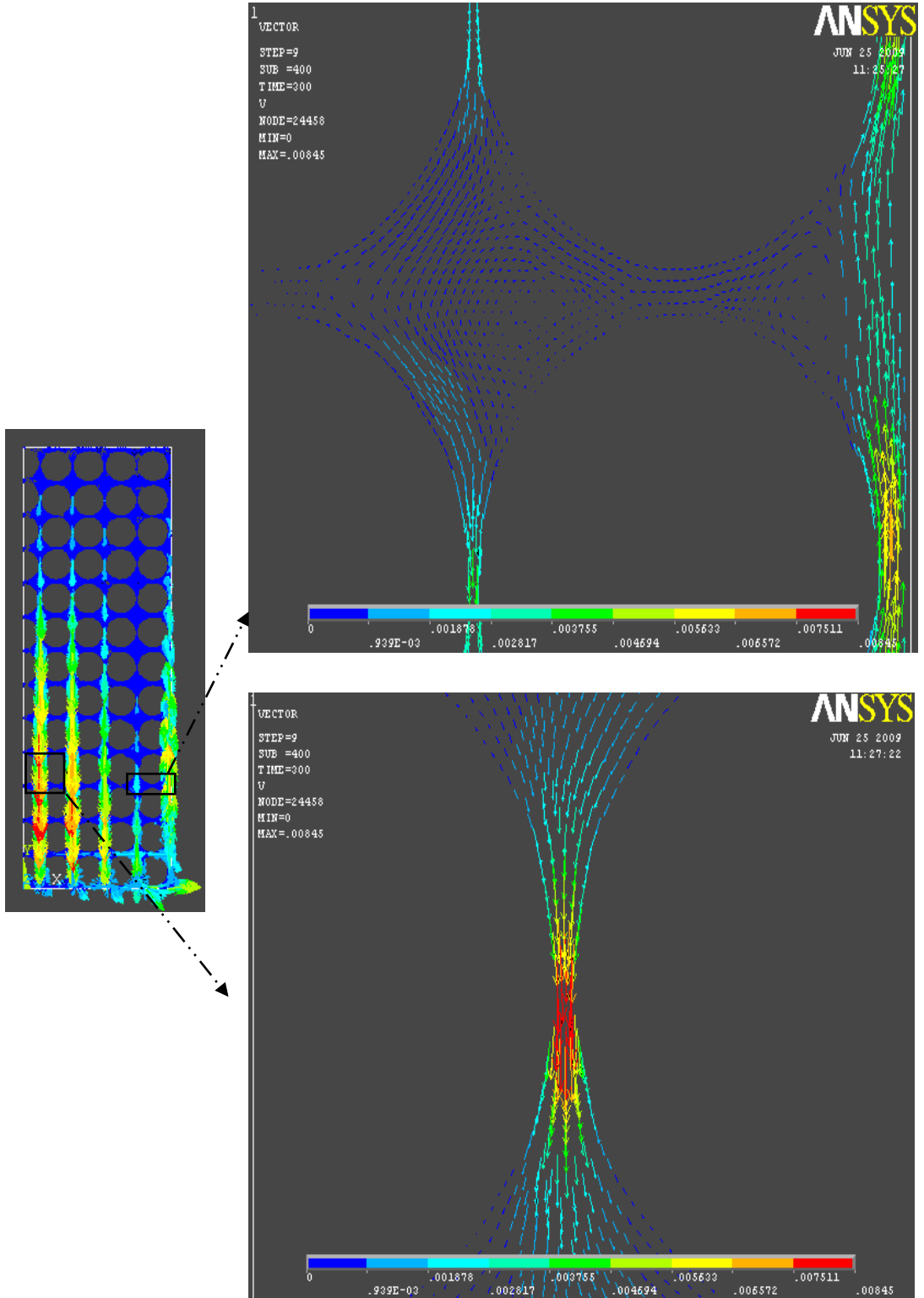
Literatür özetinde bahsedildiği gibi katı-sıvı konserve ürünlere yapılan ilk çalışmalar katı-sıvı ara yüzeyindeki ısı transfer katsayısı değerinin ve sıvı kısmın sıcaklık değişimlerinin belirlenmesi temeline dayalı olarak yapılmıştır. Ancak Şekil 4.7 ve 4.8'de görüldüğü gibi ürün içerisinde oluşan sıcaklık farklılıkları bu tür çalışmalarda doğal konveksiyon etkilerinin de gözönüne alınması gerektiğine işaret etmektedir. Lenz ve Lund [36] tarafından uygulanan ve Ramaswamy ve ark. [37] tarafından doğrulan bu yaklaşım için ürünün soğuk bölgesinde yer alan katı parçacığın kullanılması ve ısı transfer katsayısının doğru olarak hesaplanması gerekmektedir. Ancak ortaya çıkan sıcaklık ve hız profillerindeki değişimler ısı



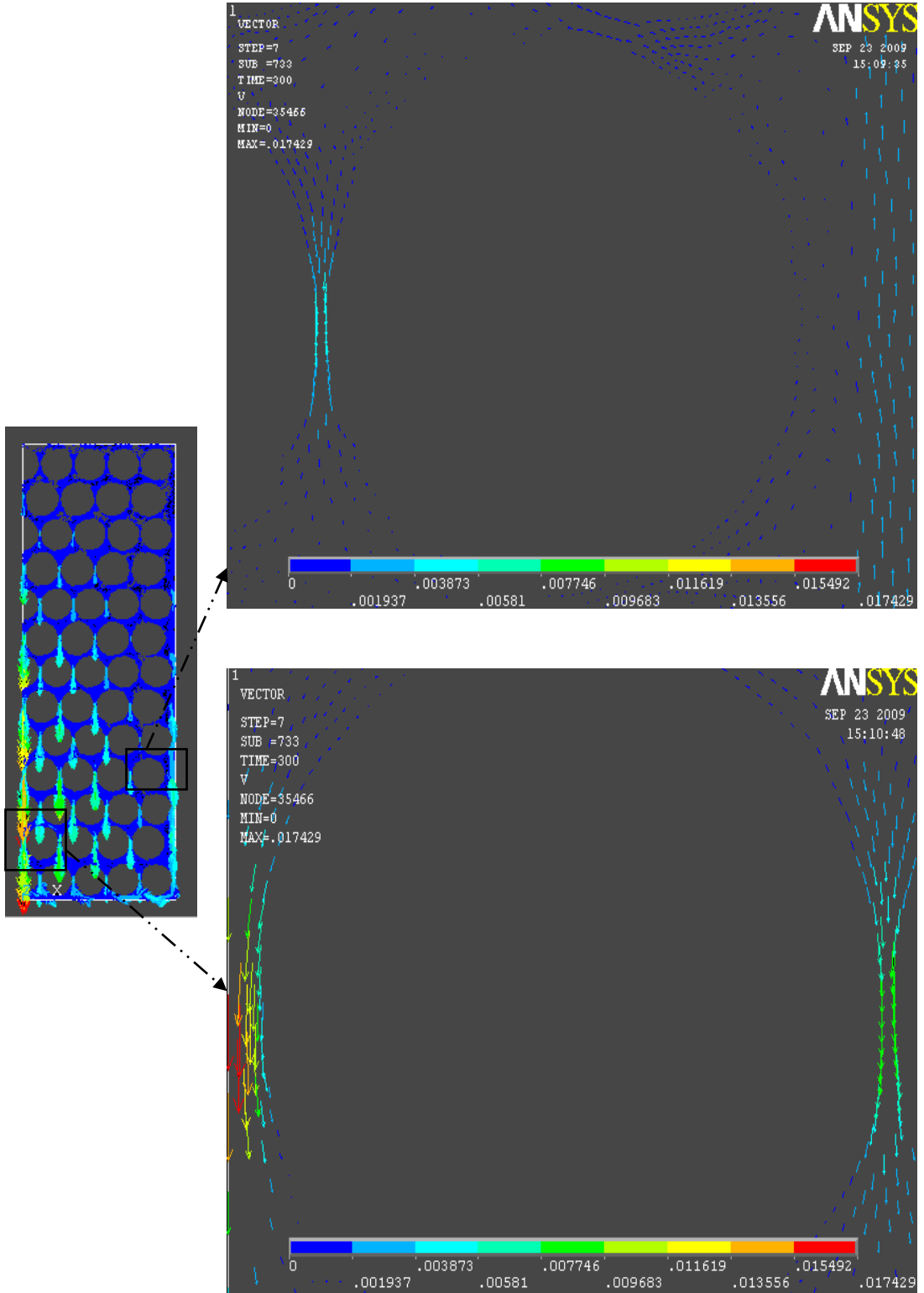
transfer katsayısını etkileyerek hem proses zamanına hem de katı parçacık oryantasyonuna bağlı bir ısı transfer katsayısı değişimi ortaya çıkaracaktır. Erdoğan ve ark. [38] pişmiş yumurtaların hava jetleriyle soğutulmaları konusunda yaptıkları bir çalışmada proses zamanı ile yumurta yüzeyinde meydana gelen ısı akışı ve bunun sonucu olarak da ısı transfer katsayısı değişimine dikkat çekmişlerdir. Bu nedenle ısı transfer katsayısındaki değişimin belirlenerek modellerde uygulanması yerine doğal konveksiyon etkilerinin çözülerek ürün içi sıcaklık dağılımlarının belirlenmesi daha doğru bir yaklaşım olacaktır.

Şekil 4.9 ve 4.10'da ise % 35 ve % 36 gözeneklilik oranında hazırlanan model sistemlerde sıvı ve katı kısımların en yavaş ısınan noktalarındaki sıcaklık değişimi karşılaştırılmaktadır. Bu şekillerde de anlaşılacağı gibi iki farklı gözeneklilik oranından hazırlanan sistemlerin sıcaklık değişimlerinde önemli bir fark gözlenmemiştir. Şekil 4.7 ve 4.8'de görüldüğü gibi doğal konveksiyon hareketi sonucu konserve içerisinde radikal bir sıcaklık farkı olduğu görülmektedir. Bezelye (ısıl yayılım katsayısı  $1.37 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ ) ve su (ısıl yayılım katsayısı  $1.43 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ ) ısı özellikleri arasında önemli bir fark olmadığından konserve sıvı ve katı içerikleri arasında önemli sıcaklık farkları oluşmamıştır. Ancak elde edilen sonuçlar literatürde uygulandığı şekliyle konserve içeriği sıvı kısım sıcaklığının lumped modelle açıklanamayacağını da göstermektedir.

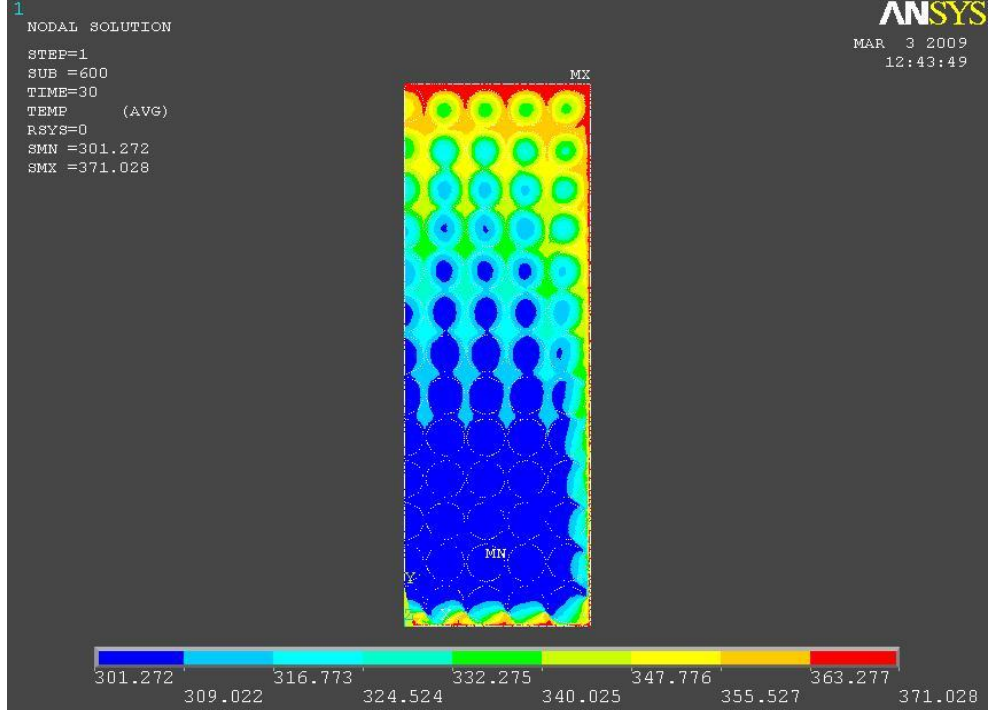
Belirtildiği gibi bu çalışmada katı-sıvı karışımlarından oluşan konserve gıdalarda ısı işlem sırasındaki sıcaklık dağılımının belirlenebilmesi için sayısal benzetim çalışmaları yapılmış ve sonuçlar deneysel verilerle doğrulanmıştır. Bu sonuçlar, proses sırasında oluşan sıcaklık değişimlerinin hesaplanması ile mikrobiyolojik (sterilizasyon değerinin hesaplanması) ve kimyasal (vitamin-beslenme değerinde meydana gelecek değişimler) parametrelerin belirlenmesini sağlayabilecektir [39-42]. Bu kapsamda, bilgisayar işlemci güçlerinin de gelişmesiyle, ileriye dönük optimizasyon temelli çalışmalar yapılarak konserve endüstrisinde yıllardan beri kullanılan parametrelerin modifiye edilmesine yönelik projeler yapılabilecektir.



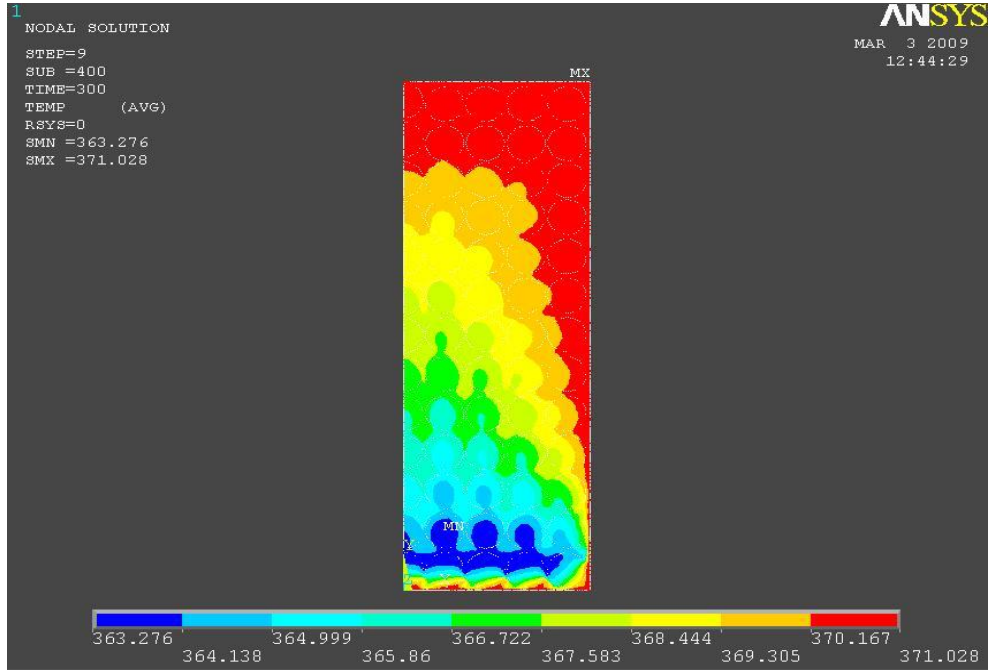
Şekil 4.5. % 35 gözenekli sistemde, 300. saniyedeki hız profili.



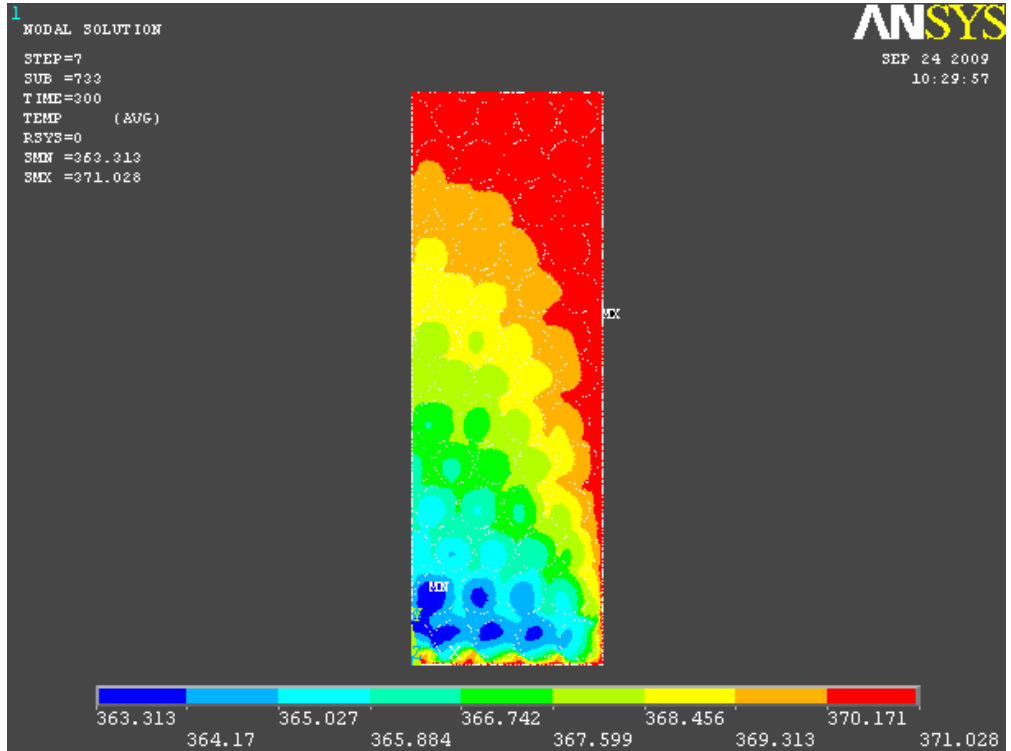
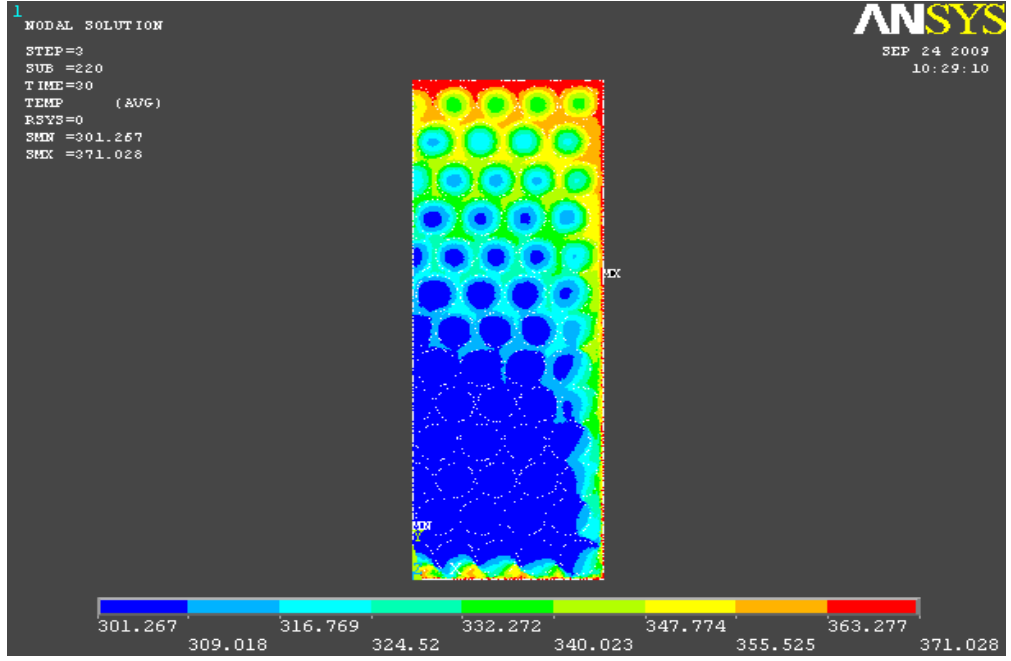
Şekil 4.6. % 36 gözenekli sistemde 300 saniye sonundaki hız profili.

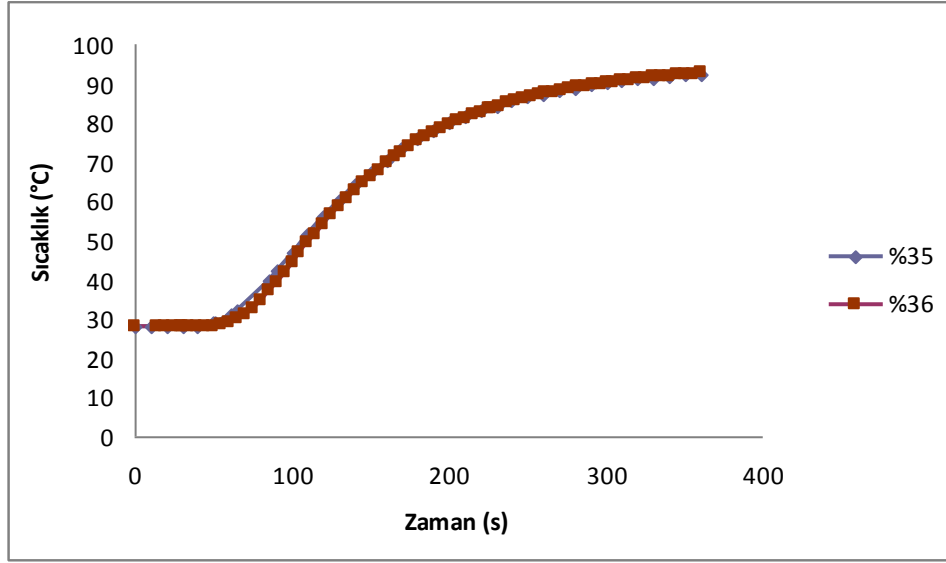


Şekil 4.7a. % 35 gözenekliliğe sahip konserve kutusunda 30 saniye sonundaki sıcaklık dağılımı.

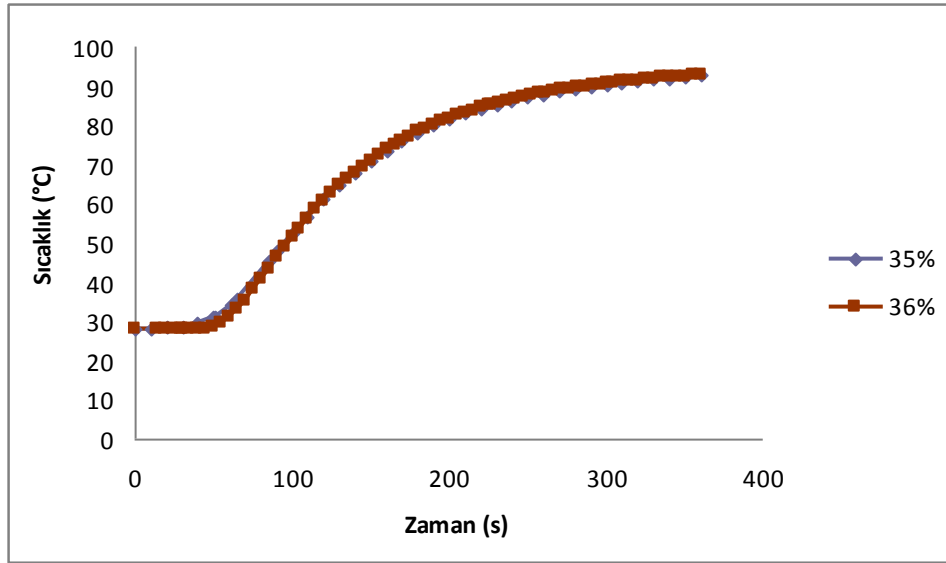


Şekil 4.7b. % 35 gözenekliliğe sahip konserve kutusunda 300 saniye sonundaki sıcaklık dağılımı.





Şekil 4.9. % 35 ve % 36 gözenekliliğe sahip model sistemlerde katı kısım en yavaş ısınan noktada sıcaklık değişimlerinin karşılaştırılması.



Şekil 4.10. % 35 ve % 36 gözenekliliğe sahip model sistemlerde sıvı kısım en yavaş ısınan noktada sıcaklık değişimlerinin karşılaştırılması.

## 5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Konserve üretiminde uygulanan ısı işlemlerin etkinliğinin belirlenmesi, direkt olarak ürün güvenliği ve insan sağlığı ile ilişkili olduğundan, incelenmesi gereken bir kritik kontrol noktasıdır. Isıl işlem mekanizması ısı iletimi olan katı konserve ürünlerde ısı transferinin sayısal benzetimi literatürde oldukça sık rastlanan bir konudur. Ancak bezelye konservesi gibi, sıvı ve katı karışımlardan oluşan ürünlerde soğuk nokta yeri ve sıcaklık değişimlerinin belirlendiği bir sayısal benzetim çalışmasına literatürde rastlanmamıştır.

HIT programlarından Ansys (V.11) kullanılarak yapılan bu tez çalışması ile konserve içerisindeki hem sıvı hem de katı kısımlardaki sıcaklık değişimleri belirlenmiş ve sonuçlar deneysel olarak da doğrulanmıştır. Literatürde bu kapsamda olan çalışmalar fazla olmadığı için bu tez çalışmasının literatüre önemli bir katkı sağlaması beklenmektedir. Sıcaklık değişimlerinin belirlenmesi, bu temele dayanan, sterilizasyon değeri, üründe meydana gelen kalite kayıplarının hesaplanması çalışmalarının etkin biçimde yapılmasını sağlayacaktır.

Bu çalışmanın tamamlanması, HIT programlarının optimizasyon algoritmalarının bu hesaplamalarla kombine olarak kullanılabilmesini de sağlayacak ve literatürde halen hiç yapılmamış olan bu tür çalışmaların (literatürde bu konuda yapılan çalışmalar genelde ısı iletim mekanizması ile ısınan ürünler temelinde ve diğer ürünler içinse genel varsayımlar kullanılarak uygulanmaktadır) yapılmasına bir temel teşkil edecektir. Alvarez-Vazquez ve Martinez [43]'da konserve sterilizasyon sırasında doğal konveksiyonla oluşan sıcaklık değişiminin modellenmesinin matematiksel zorluklarına ve bunun sonucu olarak bu tip sistemlerde optimizasyon çalışmalarının yapılmasının fazla tercih edilmediğine dikkat çekmektedirler.

Elde edilen verilerden, sonuçların geometrik olarak konserve sıvısı içerisine yerleştirilen parçacıkların miktarı (bu miktar, konserve gözeneklilik değerini etkilediğinden) ile direkt ilintili olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle, bu çalışmanın

sonuçlarını olumlu yönde geliştirebilmek için geometri hazırlama bölümünde sayısal paketleme algoritmaları kullanılması gerektiği sonucu ortaya çıkmıştır. Örneğin Mueller [44] silindirik geometriler içerisine küresel paraçacıkları optimum biçimde yerleştirebilmek için basit bir paketleme algoritmasının kullanımını açıklamıştır. Bu tür algoritmaların HIT geometri hazırlama metodlarıyla birlikte kullanılabilmesiyle bu tür kompleks ısı transferi-akışkanlar dinamiği problemlerinde daha etkin sonuçlar elde edilebilecektir.

Endüstriyel olarak konserve ürün üretiminde döner otoklavların kullanılması da giderek yaygınlaşmaktadır. Bu otoklavların kullanılması ile konserve içeriğine bir hareket verilmekte bu da konserve içerisindeki ısı transferini etkilemektedir. Konu ile ilgili olarak literatürde yapılan çalışmalar sıvı ürün içerisinde dönme hareketinden etkilenen ısı transfer katsayısına hesaplamaya yöneliktir [45-48]. Ancak dönme sonucu konserve içeriğinde oluşacak hareketin çözümlere dahil edilerek ürün içi sıcaklık profillerinin hesaplanabilmesi bu çalışmalara farklı bir boyut getirecektir. Bu nedenle öncelikle daha az kompleks olan ve konserve içeriğinin hareket etmediği koşullarda modelleme çalışmalarının tamamlanması büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle bu çalışma konserve endüstrisinde “future trend” olarak kabul edilebilen döner otoklavlarda yapılacak kapsamlı sayısal benzetim çalışmaları için de bir başlangıç olacaktır.

Tez sonuçlarının konserve endüstrisinde yıllardan beri kullanılan parametrelerin modifiye edilebilmesi amacıyla hazırlanacak olan çalışmalara da bir temel teşkil etmesi beklenmektedir. Bu temelde hazırlanacak bir projede, en önemli faktör olan sıcaklık değişimlerinin optimum hızla belirlenebilmesinin yanında, mikrobiyolojik analizlerin yapılması ve vitamin-beslenme değerinde meydana gelecek değişimlerin belirlenmesi amacıyla kimyasal analizlerin yapılması da gerekecektir.



## 6. KAYNAKLAR

- [1] Weng, Z.J. “Thermal Processing of Canned Foods”, Sun, D.W (ed), Thermal Food Processing - New Technologies and Quality Issues, CRC Press - Taylor and Francis, Boca Raton, FL, s335-362, (2005).
- [2] Chen, C.R. ve Ramaswamy, H.S. “Visual Basics computer simulation package for thermal process calculations”, *Chemical Engineering and Processing*, **46**: 603-613, (2007)
- [3] Zechman, L.G. ve Pflug, I.J. “Location of the slowest heating zone for natural-convection-heating fluids in metal containers”, *Journal of Food Science*, **54**: 205-209, 226, (1989).
- [4] Datta, A.K. ve Teixeira, A.A. “Numerically predicted transient temperature and velocity profiles during natural convection heating of canned liquid foods”, *Journal of Food Science*, **53**: 191-195, (1988).
- [5] Naveh, D., Kopelman, I.J. ve Pflug, I.J. “The finite element method in thermal processing of foods”, *Journal of Food Science*, **55**: 1403-1406, (1983).
- [6] Lewis, M. ve Heppell, N. “Continuous Thermal Processing of Foods- Pasteurization and UHT Sterilization” Aspen Publishers, Inc. Gaithersburg, MD. 2000.
- [7] Kumar, A., Bhattacharya, M. ve Blaylock, J. “Numerical simulation of natural convection heating of canned thick viscous liquid food products”, *Journal of Food Science*, **55**: 1403-1411, 1420, (1990).
- [8] Ghani, A.A.G. ve Farid, M.M. “Using the computational fluid dynamics to analyze the thermal sterilization of solid-liquid food mixture in cans” *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, **7**: 55-61, (2006).
- [9] Simpson, R., Almonacid, S. ve Teixeira, A. “Bigelow’s general method revisited: Development of a new calculation technique”, *Journal of Food Science*, **68**: 1324-1333, (2003).
- [10] Ghani, A.A.G., Farid, M.M., Chen, X.D. ve Richards, P. “Numerical simulation of natural convection heating of canned food by computational fluid Dynamics”, *Journal of Food Engineering*, **41**: 55-64, (1999).

- [11] Mohamed, I.O. “Determination of an effective heat transfer coefficients for can headspace during thermal sterilization process”, *Journal of Food Engineering*, **79**: 1166-1171, (2007).
- [12] Rabiey, L., Flick, D. ve Duquenoy, A. “3D simulations of heat transfer and liquid flow during sterilisation of large particles in a cylindrical vertical can”, *Journal of Food Engineering*, **82**: 409–417, (2007).
- [13] Norton, T. ve Sun, D.W. “Computational fluid dynamics (CFD)- an effective and efficient design and analysis tool for the food industry: a review”, *Trends in Food Science & Technology*, **77**: 600-620, (2006).
- [14] Karamanoğlu, Y., Mobedi, M. ve Ertöz, A.Ö. “Pompa tasarımının Geliştirilmesinde Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiğinin Kullanılması”, *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, **91**: 46-55, (2006).
- [15] <http://www.figes.com.tr/urunler/ansys/ansys.php> [Erişim Tarihi: 08.04.2009]
- [16] Ghani, A.A.G., Farid, M.M. ve Chen, X.D. “Numerical simulation of transient temperature and velocity profiles in a horizontal can during sterilization using computational fluid Dynamics”, *Journal of Food Engineering*, **51**: 77-83, (2002).
- [17] Varma, M.N. ve Kannan, A. “CFD studies on natural convective heating of canned food in conical and cylindrical containers”, *Journal of Food Engineering*, **77**: 1024-1036, (2006).
- [18] Erdoğan, F., Uyar, R. ve Palazoğlu, T.K. “Experimental comparison of natural convection and conduction heat transfer in a cylindrical cavity with numerical validation”, *Journal of Food Process Engineering*, DOI: 10.1111/j.1745-4530.2008.00309x.
- [19] Lekwauwa, A.N. ve Hayakawa, K.I. “Computerized model for the prediction of thermal responses of packaged solid-liquid food mixture undergoing thermal processes”, *Journal of Food Science*, **51**: 1042-1049, 1056, (1986).
- [20] Stoforos, N.G. ve Merson, R.L. “Estimating heat transfer coefficients in liquid/particulate canned foods using only liquid temperature data”, *Journal of Food Science*, **55**: 478-483, 521, (1990).

- [21] Stoforos, N.G. ve Merson, R.L. "A solution to the equations governing heat transfer in agitating liquid/particulate canned foods", *Journal of Food Process Engineering*, **18**: 165-185, (1995).
- [22] Tutar, M., Erdoğan, F. ve Toka, B. "Computational modeling of airflow patterns and heat transfer prediction through stacked layers products' in a vented box during cooling", *International Journal of Refrigeration*, **32**: 295-306 (2008).
- [23] Zhang, H., Cheng, S., He, L., Zhang, A., Zheng, Y. ve Gao, D. "Determination of thermal conductivity of biomaterials in the temperature range 233-313 K using a tiny detector made of a self-heated thermistor", *Cell Preservation Technology*, **1**: 141-147, (2002).
- [24] Denys, S., Ludikhuyze, L.R., Van Loey, A.M. ve Hendrickx, M.E. "Modeling conductive heat transfer and process uniformity during batch high-pressure processing of foods", *Biotechnology Progress*, **16**: 92-101, (2000)
- [25] Opoku, A., Tabil, L.G., Crerar, B. ve Shaw, M.D. "Thermal conductivity and thermal diffusivity of hay", *Canadian Biosystems Engineering*, **48**: 3.1-3.7, (2006).
- [26] Çengel, Y.A. "Heat and Mass Transfer", McGraw Hill Companies, Inc. New York, NY, USA, (2007).
- [27] Garrote, R.L., Silva, E.R., Roa, R.D. ve Bertone, R.A. "Kinetic parameters of surface color degradation of canned fresh green peas sterilized in a rotary retort", *LWT - Food Science and Technology*, **41**: 408-413, (2008).
- [28] Garrote, R.L., Silva, E.R., Roa, R.D. ve Bertone, R.A. "Heat transfer coefficients to canned green peas during end-over-end sterilization", *International Journal of Food Science and Technology*, **41**: 1016-1022, (2006).
- [29] Agarwal, P.K. "Transport phenomena in multi-particle systems - II. Particle-fluid heat and mass transfer", *Chemical Engineering Science*, **43**: 2501-10, (1988).
- [30] Datta, A.K. "Porous media approaches to studying simultaneous heat and mass transfer in food processes. I: Problem formulations", *Journal of Food Engineering*, **80**: 80-95 (2007).

- [31] Chinesta, F., Torres, R., Ramon, A., Rodrigo, M.C. ve Rodrigo, M. "Homogenized thermal conduction model for particulate foods", *International Journal of Thermal Sciences*, **41**: 1141-1150 (2002).
- [32] Koribilli, N., Aravamudan, K. ve Varadhan, M.U.S.V.A. "Quantifying enhancement in heat transfer due to natural convection during canned food thermal sterilization", *Food Bioprocess Technology*, DOI: 10.1007/s11947-009-0232-9.
- [33] Kanik, A., "Fen Bilimlerinde Bilimsel Araştırma Yöntemleri-I Ders Notları", Mersin, (2007) (yayınlanmamış).
- [34] Kannan, A. ve Sandaka, P.Ch.G. "Heat transfer analysis of canned food sterilization in a still retort", *Journal of Food Engineering*, **88**: 213-228, (2008).
- [35] Nithiarasu, P., Seetharamu, K.N. ve Sundararajan, T. "Effect of porosity on natural convective heat transfer in a fluid saturated porous medium", *International Journal of Heat and Fluid Flow*, **19**: 56-58, (1998).
- [36] Lenz, M.K. ve Lund, D.B. "The lethality Fourier number methods: heating rate variations and lethality confidence intervals for forced convection heated foods in containers", *Journal of Food Process Engineering*, **2**: 227-271, (1978).
- [37] Ramaswamy, H.S., Lo, K.V. ve Tung, M.A. "Simplified equations for transient temperature in conductive foods with convective heat transfer at the surface", *Journal of Food Science*, **47**: 2042-2047, (1982).
- [38] Erdoğan, F., Ferrua, M., Singh, K.S. ve Singh, R.P. "Air-impingement cooling of boiled eggs: analysis of flow visualization and heat transfer", *Journal of Food Engineering*, **79**: 920-928, (2007).
- [39] Siriwanayotin, S., Yoovidhya, T., Meepadung, T. ve Ruenglerpanyakul, W. "Simulation of sterilization of canned liquid food using sucrose degradation as an indicator", *Journal of Food Engineering*, **73**: 307-312 (2007).
- [40] Ghani, A.G.A., Farid, M.M., Chen, X.D. ve Richards, P., "An investigation of deactivation of bacteria in a canned liquid food during sterilization using computational fluid dynamics (CFD)", *Journal of Food Engineering*, **42**: 207-214 (1999).

- [41] Ghani, A.G.A., Farid, M.M. ve Chen, X.D., "Theoretical and experimental investigation of the thermal inactivation of vitamin C in food pouches", *Computers and Electronics in Agriculture*, **34**: 129-143 (2002).
- [42] Farid, M.M. ve Ghani, A.G.A., "A new computational technique for the estimation of sterilization time in canned food", *Chemical Engineering and Processing*, **43**: 523-531, (2004).
- [43] Alvaraz-Vazquez, L.J. ve Martinez, A. "Modeling and control of natural convection in canned foods", *IMA Journal of Applied Mathematics*, **63**: 247-265, (1999).
- [44] Mueller, G.E. "Numerically packing spheres in cylinders", *Powder Technology*, **159**: 105-110, (2005).
- [45] Deniston, M.F., Hassan, B.H. ve Merson, R.L. "Heat transfer coefficients to liquids with food particles in axially rotating cans", *Journal of Food Science*, **52**: 962-966, 979, (1987).
- [46] Meng, Y. ve Ramaswamy, H.S. "Visualization of particle/fluid movements in high viscous liquids during end-over-end rotation", *Journal of Food Engineering*, **80**: 545-552, (2007).
- [47] Meng, Y. ve Ramaswamy, H.S. "Dimensionless heat transfer correlations for high viscosity fluid-particle mixtures in cans during end-over-end rotation", *Journal of Food Engineering*, **80**: 528-535, (2007).
- [48] Meng, Y. ve Ramaswamy, H.S. "Neural network modeling of end-over-end thermal processing of particulates in viscous fluids", *Journal of Food Process Engineering*, DOI: 10.1111/j.1745-4530.2008.00272x.

## ÖZGEÇMİŞ

### SELİN KIZILTAŞ

**KİŞİSEL BİLGİLER:** **Doğum Yeri:** Giresun  
**Doğum Tarihi:** 22.11.1983  
**Medeni Durumu:** Bekar

**EĞİTİM DURUMU:** Mersin Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümü  
Yüksek Lisans (2007- )  
  
Mersin Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümü  
Lisans (2002-2007)

**YABANCI DİL:** İngilizce

### YAYINLAR

Kızıлтаş, S., Erdoğdu, F. ve Palazoğlu, T.K. “Simulation of Heat Transfer for Solid-Liquid Food Mixtures in Cans and Model Validation under Pasteurization Conditions”, Journal of Food Engineering, JFOE-5924 (Yayın Aşamasında).

### POSTER SUNUMLAR

Kızıлтаş, S., Erdoğdu, F. ve Palazoğlu, T.K. “Computational fluid dynamics (CFD) simulation of heat transfer in canned solid-liquid food mixtures and experimental validation” Paper No: 008 – 12, IFT, Annual Meeting, 28 Haziran - 1 Temmuz 2008, New Orleans (Poster Sunum).

### PROJELER

Erdoğdu, F., Palazoğlu, T.K. ve Kızıлтаş, S., 2007-2008. Katı-sıvı karışımlarından oluşan konserve ürünlerde ısı transferinin hesaplamalı akışkanlar dinamiği yöntemi ile simülasyonu ve sonuçların deneysel olarak doğrulanması, TÜBİTAK, Proje No: 107O619 (Yardımcı Araştırmacı).