

**GIDALARIN SOĞUTMA SİMÜLASYONUNDA  
3 BOYUTLU TARAYICILARIN VE  
HESAPLAMALI AKIŞKANLAR DİNAMIĞI  
YAZILIMLARININ KULLANIMI**

**RAHİM UYAR**

**MERSİN ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**GIDA MÜHENDİSLİĞİ  
ANA BİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**MERSİN  
KASIM – 2008**

**GIDALARIN SOĞUTMA SİMÜLASYONUNDA  
3 BOYUTLU TARAYICILARIN VE  
HESAPLAMALI AKIŞKANLAR DİNAMIĞI  
YAZILIMLARININ KULLANIMI**

**RAHMİ UYAR**

**Mersin Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Gıda Mühendisliği  
Ana Bilim Dalı**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

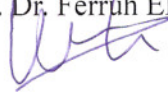
**Tez Danışmanı  
Doç. Dr. Ferruh Erdoğan**

**MERSİN  
KASIM – 2008**

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.

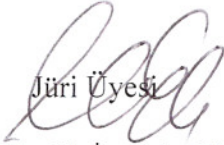
Tez Danışmanı

Doç. Dr. Ferruh ERDOĞDU



Jüri Üyesi

Prof. Dr. H. İbrahim EKİZ



Jüri Üyesi

Prof. Dr. Mahir TURHAN



Jüri Üyesi

Doç. Dr. K. Nazan TURHAN



Jüri Üyesi

Yrd. Doç. Dr. İnci ÇINAR



Bu tezin Fen Bilimleri Enstitüsü yazım kurallarına uygun olarak yazıldığı Enstitü Yönetim Kurulu'nun ...../...../.....tarih ve ...../..... 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

Gıda ürünlerinin düzgün olmayan geometrileri simülasyon çalışmalarında önemli bir zorluk oluşturmaktadır. Geometrinin tanımlanması ile simülasyonlardan daha hassas sonuçlar elde edilebilecektir. Bu nedenle bu çalışmanın amacı gıda ürünlerinin 3 boyutlu tarayıcılar kullanılarak görüntülerinin elde edilmesi, yüzey alanları ve hacimlerinin hesaplanması ve görüntüleri bir hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) yazılımında proses simülasyonunda kullanarak uygulanan yöntemin avantajlarını belirlemektir. Bu kapsamda sırasıyla aşağıda belirtilen çalışmalar yapılmıştır:

- 3 boyutlu dijital görüntünün elde edilmesi: Bu amaçla değişik gıda ürünlerinin görüntüleri NextEngine 3D tarayıcı kullanılarak elde edilmiştir.
- Simülasyonlar: Elde edilen görüntüler Ansys CFX (V. 11) hesaplamalı akışkanlar dinamiği yazılımında, gıda ürünlerinin soğutulmasının simülasyonları amacıyla kullanılmıştır.
- Deneyler: Armut ve çilek kullanılarak soğutma deneyleri yapılmış ve bu deneylerden elde edilen sonuçlar simülasyon sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca tahta küreler ve yumurtalar kullanılarak, 3 boyutlu tarayıcıların gıda ürünlerinin alan ve hacimlerinin ölçümünde kullanılabileceği gösterilmiştir.

Bu tez çalışmasının tamamlanması ile 3 boyutlu tarayıcılar kullanılarak, simülasyonların ilk aşaması olan ürün geometrik şeklinin tanımlanmasının ve proses analizinin hızlı bir şekilde ürünün gerçek boyut ve şekliyle yapılabileceği gösterilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** 3 Boyutlu tarayıcılar, gıda proses simülasyonları, hesaplamalı akışkanlar dinamiği.

## ABSTRACT

By using 3 dimensional scanners, modeling for a simulation study would be much easier and more realistic. That the food products have no certain geometrically defined shape, i.e., spherical, cylindrical, conical or rectangular shapes, might result in certain difficulties on mathematical modeling. By defining the geometries in their original dimensions, it would be possible to get more accurate and precise results from the simulation studies. Therefore, the objectives of this study are to obtain digital images of irregular shaped food products using a 3D scanner, to determine their surface area and volumes and to use these images in a computational fluid dynamics (CFD) program for a food process simulation study to define the advantages and benefits of the applied methodology. Based on this concept:

- Obtaining 3 dimensional digital images: To accomplish this, image of a pear were obtained using the NextEngine 3 dimensional scanner.
- Simulations: The images obtained from the NextEngine 3 dimensional scanner were imported to a computational fluid dynamics (CFD) program, Ansys CFX (V. 11), and a cooling process was simulated using the experimentally obtained initial and boundary conditions.
- Experiments: Cooling experiments for pears and strawberries were accomplished, and the experimental and simulation results were compared. Surface area and volumes of wooden spheres and eggs were determined.

With this study, significance of application of 3 dimensional scanned images with CFD analysis was demonstrated for a better process modeling and analysis.

**Key-words:** 3 dimensional scanners, food processing simulations, computational fluid dynamics

## TEŞEKKÜR

Eğitimimin baŐlangıcından itibaren bana her konuda çok yardımcı olan ve destek veren danıŐman hocam Sayın Doç. Dr. Ferruh Erdoğdu' ya en içten teŐekkürlerimi sunarım. Onun yardımı olmaksızın bu tez çalıŐmasını tamamlayamazdım.

Bana her türlü çalışma olanağını Gıda Mühendisliği Bölümünde sunan Bölüm BaŐkanı Prof. Dr. Mahir Turhan' a teşekkür ederim.

Tez çalıŐmamda kullandığım 3 boyutlu tarayıcı ve bilgisayar alımını, 107M217 nolu "3 Boyutlu tarama sistemlerinin hesaplamalı akışkanlar dinamiği programlarıyla birlikte gıda prosesleri simülasyonunda kullanımı" baŐlıklı proje kapsamında, sağlayan TÜBİTAK (Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu) Mühendislik Araştırma Grubu (MAG)'na, tez kapsamında yaptığımız projemize destek sağlayan ME.Ü. Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) birimine teŐekkürlerimi sunarım.

Araştırma Laboratuvarlarında deneysel çalıŐmalarımın düzenli bir şekilde yürütülmesine olanak sağlayan ve her konuda yardımcı olan herbiri birbirinden değerli Gıda Mühendisliği Bölümü öğretim üyeleri ve sevgili öğretim elemanı arkadaşlarıma teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

	<b><u>Sayfa</u></b>
<b>ÖZ</b> .....	i
<b>ABSTRACT</b> .....	ii
<b>TEŞEKKÜR</b> .....	iii
<b>İÇİNDEKİLER DİZİNİ</b> .....	iv
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b> .....	v
<b>1. GİRİŞ</b> .....	1
<b>2. KAYNAK ARAŞTIRMASI</b> .....	3
<b>3. MATERYAL ve METOT</b> .....	8
3.1. 3 BOYUTLU TARAMA.....	8
3.2. KATI MODELİN OLUŞTURULMASI.....	19
3.3. KATI MODELİN HAD YAZILIMINA AKTARILMASI VE SİMÜLASYONLAR.....	21
3.4. SOĞUTMA DENEYLERİ.....	21
3.5. YUMURTANIN YÜZEY ALANININ VE HACMİNİN BULUNMASI.....	23
<b>4. BULGULAR ve TARTIŞMA</b> .....	24
4.1. ISI TRANSFER KATSAYISININ BELİRLENMESİ VE SOĞUTMA DENEYLERİ.....	24
4.2. ANSYS CFX SİMÜLASYON ÇALIŞMALARI.....	27
4.3. YÜZEY ALANININ VE HACMİNİN BULUNMASI.....	33
<b>5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER</b> .....	35
<b>KAYNAKLAR</b> .....	36

## ÇİZELGELER DİZİNİ

ÇİZELGE		<u>Sayfa</u>
Çizelge 4.1.	Tahta ve plastik küre için kumpasla ölçüm ve 3 boyutlu tarayıcıdan elde edilen çap, hacim ve alan sonuçlarının karşılaştırılması.....	39
Çizelge 4.2.	3 boyutlu tarayıcı ve denklikle hesaplanan yumurta yüzey alanı hacim değerlerinin karşılaştırılması.....	40



## ŞEKİLLER DİZİNİ

ŞEKİL		<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1.	3 Boyutlu tarayıcıların çalışma mekanizması.....	6
Şekil 3.1.	NextEngine 3 boyutlu tarama sistemi.....	9
Şekil 3.2.	Yüzeyi işaretlenerek tarayıcı mekanizmasına yerleştirilen armutun tarayıcıda elde edilen görüntüsü ve gerçek görüntüsü.....	10
Şekil 3.3.	Scanstudio tarama seçenekleri görüntüsü.....	11
Şekil 3.4.	Farklı açılardan elde edilen 7 adet görüntü.....	12
Şekil 3.5.	Bağlama işlemi ile görüntülerin birleştirilmesi.....	12
Şekil 3.6.	Elde edilen görüntülerin birleştirilmesi ile elde edilen şeklin iki farklı açıdan gösterimi.....	13
Şekil 3.7.	Armutun üst bölümünden elde edilen taranmış görüntü.....	14
Şekil 3.8.	Taranmış görüntüden istenmeyen parçaların temizlenmesi (trimming).....	15
Şekil 3.9.	Üst ve alt taranmış bölümlerin iliştilmesi.....	15
Şekil 3.10.	Taranmış görüntülerden tam bir armut görüntüsünün elde edilmesi.....	16
Şekil 3.11.	Çileğin 3 boyutlu tarama görüntüsü.....	17
Şekil 3.12.	Elmanın 3 boyutlu tarama görüntüsü.....	18
Şekil 3.13.	Muzun 3 boyutlu tarama görüntüleri.....	19
Şekil 3.14.	SolidWorks yazılımına aktarılan taranmış yüzeygörüntüsü.....	20
Şekil 3.15.	Katı modelin Solidworks yazılımında oluşturulması.....	20
Şekil 3.16.	ANSYS CFX programında oluşturulmuş armut hacim elementlerinin farklı açılardan alınmış yüzey görüntüleri.....	22
Şekil 4.1.	Isı transfer katsayısı ölçümlerinde kullanılan alüminyumdan yapılmış armut modeli.....	25

Şekil 4.2.	Isı transfer katsayısının belirlenmesi amacıyla yapılan deneylerde ortam ve alüminyum armut modeli sıcaklık değişimi (Deney 1).....	26
Şekil 4.3.	Isı transfer katsayısının bulunması için sıcaklık oranı eğrisi doğrusal kısmının eğiminin bulunması (Deney 1).....	26
Şekil 4.4.	Isı transfer katsayısının belirlenmesi amacıyla yapılan deneylerde ortam ve alüminyum armut modeli sıcaklık değişimi (Deney 2).....	27
Şekil 4.5.	Isı transfer katsayısının bulunması için sıcaklık oranı eğrisi doğrusal kısmının eğiminin bulunması (Deney 2).....	27
Şekil 4.6.	Ansys CFX simülasyonları ve soğutma deneylerinde kullanılan armut örnekleri.....	29
Şekil 4.7.	Ansys CFX simülasyonları ve soğutma deneylerinde kullanılan çilek örnekleri.....	30
Şekil 4.8.	Armut soğutma deneyleri ve simülasyon sonuçlarının iki farklı armut için karşılaştırılması (a) I. Armut, (b) II. Armut....	31
Şekil 4.9.	Çilek soğutma deneyleri ve simülasyon sonuçlarının iki farklı çilek için karşılaştırılması (a) I. Çilek, (b) II. Çilek.....	32
Şekil 4.10.	Simülasyonlarda elde edilmiş, soğutma zamanının 2000. saniyesinde, armut (I. Armut) iç kesitindeki sıcaklık dağılımını ve bu armut için simülasyonlarda kullanılan element yapısı.....	33
Şekil 4.11.	Simülasyonlarda elde edilmiş, soğutma zamanının 1000. saniyesinde, çilek (I. Çilek) kesitindeki sıcaklık dağılımını ve bu çilek için simülasyonlarda kullanılan element yapısı.....	34
Şekil 4.12.	Armut örnekleri için fark analizi sonuçları (a) I. Armut, (b) II. Armut.....	36
Şekil 4.13.	Çilek örnekleri için fark analizi sonuçları (a) I. Çilek, (b) II. Çilek.....	37
Şekil 4.14	Tahta ve plastik kürelerin taranmış görüntüleri.....	38
Şekil 4.15.	Yumurtaların 3 boyutlu tarayıcıdan elde edilen görüntüleri (a) 1 numaralı yumurta, (b) 2 numaralı yumurta (c) 3 numaralı yumurta.....	41

## 1. GİRİŞ

Gıda ürünlerinin kesin olarak tanımlanabilen (küre, silindir, koni, dörtgen v.b.) bir geometrik şekle sahip olmamaları, matematiksel modelleme ve simülasyon çalışmalarının, özellikle ürün geometrisi ve hacim elementlerinin tanımlanması bölümünde önemli bir zorluk oluşturmaktadır.

Son yıllarda, gıda endüstrisi dışında, farklı endüstrilerde kullanılmaya başlanan 3 boyutlu tarayıcılar, ürünlerin orijinal boyut ve hacimleriyle 3 boyutlu dijital görüntülerinin alınmasını sağlayan bir teknoloji olarak karşımıza çıkmıştır. Tarayıcılarda elde edilen görüntülerin hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) programlarına transfer edilmesi bu yazılımların kullanımındaki önemli bir aşamayı (ürün geometrisi oluşturma aşaması) kolaylaştıracaktır.

Bu sebeple modelleme çalışmalarının ilk basamağı olan ürün geometrisinin ve hacim elementlerinin oluşturulmasında 3 boyutlu tarayıcıların kullanılması, dijital görüntünün bilgisayar ortamına aktarılarak gerekli sınır koşullarının elde edilen hacim üzerinde uygulanması, matematiksel modelleme çalışmalarının daha kolay ve gerçekçi olarak yapılmasını sağlayacaktır. Ürün şeklinin tanımlanması da simülasyonlardan hassas ve kesin sonuçlar elde edilmesini mümkün kılacaktır.

Buna bağlı olarak değişik proseslerin simülasyonlarının gıda proses tasarım ve analizinde kullanılması, ürün kalitesinin iyileştirilmesiyle önemli ekonomik getiri amacıyla olan çalışmaların yapılmasına da bir temel teşkil edecektir.

Bu nedenle bu çalışmanın amaçları:

- Geometrisi kesin olarak tanımlanamayan gıda ürünlerinin 3 boyutlu tarayıcılar kullanılarak dijital görüntülerinin elde edilmesi,
- Elde edilen dijital görüntülerin hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) yazılımında bir gıda prosesi simülasyonunda kullanılması,

- Simülasyon sonuçlarının deneysel sonuçlarla karşılaştırılarak kullanılan yöntemin avantajlarının belirlenmesi,
- Dijital görüntülerin ürün yüzey alanı ve hacimlerinin hesaplanmasında kullanılabileceğinin gösterilmesidir.

Belirtilen amaç kapsamında bu çalışmada kesin olarak tanımlanamayan geometriye sahip gıda ürünleri seçilmiş, bu ürünlerin 3 boyutlu bir tarayıcı kullanarak dijital görüntüleri elde edilmiş ve daha sonra elde edilen görüntüler ANSYS (V.11) HAD yazılımında kullanılarak yapılan simülasyon çalışmalarının sonuçları deney sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

## 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Gıda endüstrisinde en başta gelen amaç; ürün kalite ve güvenliğini sağlarken yeni ürünlerin de geliştirilmesidir. Matematiksel modeller bu amaçları gerçekleştirmekte önemli bir rol oynamaktadır. Bu nedenle ürünlerin geometrik özellikleri ve uygulanan proses koşullarını tam kullanarak matematiksel modelleri daha gerçekçi ve kullanışlı hale getirmenin prosesle yakın bir ilişkisi olduğu düşünülmektedir [1].

Gıda ürünlerinin modellenmesi, 3 boyutlu yapılarından dolayı, kolay bir işlem olmadığından ve özellikle sayısal çözümlerde uzun işlem süresi ihtiyacına yol açtığından genellikle 2 boyutlu yaklaşımlar ya da geometrik benzeştirmeler yapılarak daha basit geometriler kullanılmaktadır [2,3,4]. Bu çalışmalar genellikle sayısal veya analitik metotların kullanıldığı uygulamaları içermektedir.

Analitik ve sayısal çözüm çalışmalarında ilk adım olarak ürünün geometrik karakterinin belirlenmesi gerekmektedir. Gıda endüstrisindeki ürün çeşitliliği ve ürünlerin düzgün 3 boyutlu yapıda olmaması bu işlemi ayrıca zorlaştırmaktadır [5]. Bu nedenle, modelleme çalışmalarında, ürünün geometrik özelliklerini kesin olarak tanımlayan bir sistemin kullanılması önerilmektedir [6, 7].

Bu durumla ilgili olarak literatürde değişik gıda ürünlerinin orijinal boyutlarının tanımlanabilmesi için çeşitli dijital görüntü analiz sistemleri kullanılmıştır. Erdoğan ve ark. [8], ısıtma işlemi çalışmasında kullanmak amacıyla karides kesitinin geometrisini belirlemek için bilgisayarlı görüntü sistemi kullanmışlardır. Sabliov ve ark. [9] ziraat ürünlerinin yüzey alanları ve hacimlerinin belirlenmesi amacıyla görüntü işleme temeline dayalı bir metot geliştirmişlerdir. Bu metotta ürünün eksenini etrafında simetrik olduğu kabul edilmiştir. Eifert ve ark. [10] düzensiz geometri gıda ürünlerinin yüzey alanlarını belirlemek amacıyla bilgisayar görüntü tekniğini kullanmışlardır.

Koç [11] karpuzların hacimlerinin belirlenmesinde elipsoit yaklaşım ve görüntü analiz tekniklerini bir arada kullanmıştır. Goni ve ark. [6] düzensiz geometrili gıda ürünlerinin 3 boyutlu görüntülerini elde edebilmek amacıyla ürünlerin yüzey kesitlerini bir görüntü analiz sistemiyle elde etmiş ve elde edilen farklı görüntüleri birleştirerek hacimsel görüntüyü elde etmişlerdir. Kim ve ark. [12] gıda ürünlerine uygulanacak optimum radyasyon işlemini belirlemek amacıyla ihtiyaç duydukları 3-boyutlu görüntüleri bilgisayarlı tomografi teknikleri kullanarak elde etmişlerdir. Du ve Sun [13] elipsoit şekilli jambonların yüzey alanı ve hacimlerini yine bir bilgisayar görüntü analizi sistemi kullanarak belirlemişlerdir. Benzer şekilde Jancsok ve ark. [14] 'nın hazırlamış oldukları bilgisayar görüntü sisteminde elde ettikleri 2 boyutlu armut görüntüleri, Verboven ve ark. [15] tarafından hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) programlarının ısı işlemlerin optimizasyonu amacı ile kullanıldığı çalışmalar ile ilgili derlemelerinde, kullanılmıştır. Goni ve ark. [7] ise manyetik rezonans görüntülemeyi kullanarak düzensiz geometrili gıdaların görüntü modellerini elde etmişlerdir.

Mersin Üniversitesi, Gıda Mühendisliği bölümünde 2006 yılında yapılan bir mezuniyet tezi çalışmasında çileklerin durgun havada soğutulmaları sırasında sıcaklık değişimleri Ansys programı kullanılarak belirlenmiştir. Bu çalışmada çilek orijinal boyutlarıyla tanımlanmaya çalışılmış ve bu aşama projenin en zor ve en zahmetli bölümünü oluşturmuştur [16]. Aynı durum, yine 2006 yılında aynı bölümde yapılan başka bir mezuniyet tez çalışmasının konusu olan, armutların durgun havada soğutulmalarının modellenmesi içinde verilebilir [17]. Bu çalışmalarda çilek ve armut eksenleri y eksenlerinde dikey olarak kesilmişler ve milimetrik kağıt üzerinde yapılan ölçümler kullanılarak örnekler orijinal boyutlarıyla tanımlanmaya çalışılmıştır. Belirtilen şekilde koordinat ekseninde 2 boyutlu olarak tanımlanan örnekler, daha sonra Ansys yazılımının hacim oluşturma özellikleri kullanılarak kendi eksenleri etrafında 360 derece döndürülerek, hacimsel olarak elde edilmiştir. Bu konu ile ilgili olarak literatürde de değişik çalışmalar bulunmaktadır. Örneğin Narushin [18, 19] yumurtalar için kullanılacak bir denklik geliştirmiş ve bu denklik Uyar [20] ve Erdoğan ve ark. [21] tarafından Ansys ve Fluent HAD

yazılımları kullanılarak yumurtaların soğutulmaları ile ilgili ısı transferi ve akışkanlar dinamiği tabanlı çalışmalarda başarı ile uygulanmıştır.

Son on yılda yapılan bütün bu çalışmalar geometrisi düzgün olmayan ürünlerin modellenmesinde çeşitli görüntüleme sistemlerini kullanmak için farklı alanlarda belirli bir birikimin gerektiğini göstermektedir. Son yıllarda, gıda endüstrisi dışında, değişik endüstrilerde kullanılmaya başlanan 3 boyutlu tarayıcılar ise, ürünlerin orijinal boyut ve hacimleriyle 3 boyutlu dijital görüntülerinin kolaylıkla alınmasını sağlayabilecek bir teknoloji olarak karşımıza çıkmıştır.

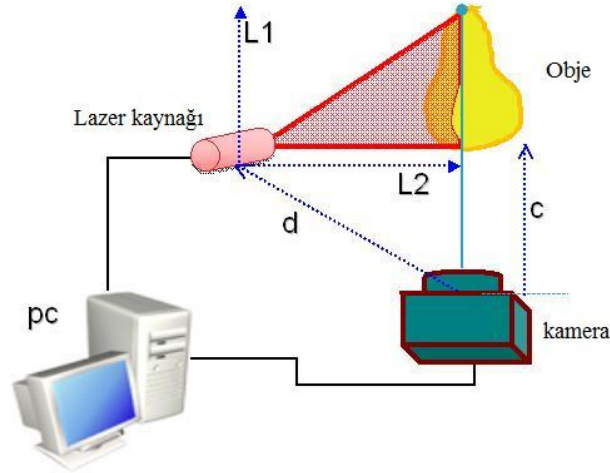
Tarayıcılarda elde edilen görüntülerin hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) programlarına, özellikle bu programlarda yer alan çeşitli görüntü transfer özellikleri kullanılarak, transfer edilip bu programların kullanımındaki önemli bir aşamayı (ürün geometrisi oluşturma aşaması) kolaylaştırmaları da önemli bir avantaj olarak görünmektedir.

3 boyutlu tarayıcılar genel bir tanımlamayla bir objenin şekil bilgilerini dijital olarak toplayan elektronik araçlar olarak tanımlanabilir. Film ve bilgisayar oyunları endüstrisinde yoğun olarak kullanılan 3 boyutlu tarayıcılar, endüstriyel tasarım ve modellemede (özellikle yapı endüstrisi ve inşaat mühendisliği alanlarında), kültürel yapıtların dokümantasyonunda ve heykeltiricilikte de sıklıkla kullanım alanı bulmaktadırlar.

3 boyutlu tarayıcıların çalışma mantığı video kameralarla benzerlik göstermekte olup tarayıcılar konik şekilli bir alandan veriyi toplamaktadırlar. Ancak bu tarayıcılarda veri olarak sadece görüş alanı içerisinde görüntü tarandığından taranacak olan ürünün sadece bir açıdan değil değişik açılardan da taranması gerekmektedir. Bu nedenle değişik açılardan taramalar yapılarak elde edilen görüntüler gerekli yazılımlar kullanılarak birleştirilip tam bir model oluşturulmaktadır.

3 boyutlu tarayıcılar genel olarak bir lazer modülünden, ürünü sabitlemek amacıyla kullanılan bir sabitleyiciden, bir kameradan ve gerekli bilgisayar yazılımından oluşmaktadır. Bazı tarayıcılarda güçlü bir ışık kaynağı da ayrıntılı veriler elde edebilmek amacıyla bulunmaktadır.

Bu sistemde taranacak olan obje tarayıcının önüne konulmakta, kamera lazer ışınları yardımıyla gerekli verileri toplamakta ve bu verilerden dijital bir model elde edilebilmektedir. Taranan nesnenin değişik açılardan görüntüsünün alınması ise basit bir sistemle sabitleyicinin otomatik rotasyonu ile sağlanmaktadır. Şekil 2.1 bu sistemin çalışma mekanizmasını basit olarak göstermektedir.



Şekil 2.1. 3 Boyutlu tarayıcıların çalışma mekanizması.

Elde edilen 3 boyutlu görüntü matematiksel modelleme çalışmalarının yapılabilmesi için, son yıllarda kullanımları giderek artan HAD programlarının “import” özellikleri kullanılarak, HAD programlarına kolaylıkla aktarılabileceğinden gerekli başlangıç ve sınır koşulları oluşturulduktan sonra simülasyon çalışmaları yapılabilecektir.



HAD gıda endüstrisinde pek çok prosesin simülasyonunda yaygın olarak kullanılan sonlu hacim yöntemi temeline dayanan matematiksel bir yöntemdir [22]. 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 uygulamadır.

HAD öncelikle akışkanların hareketini sayısal metodlarla incelemek amacıyla geliştirilen bir yöntemdir. Günümüzde ise, sayısal çözümleme tekniklerine dayalı bir çok alanda kullanılan, gelişmiş kullanıcı arayüzü ve görselleştirme teknikleri olan tam olgunlaşmış bir araç olarak tanımlanabilir [23].

HAD programları akışkanlar dinamiği problemleri yanında, ısı iletim ve ısı yayılım problemlerinin çözümünde de standart çözümler olan deneysel ve analitik metotlar kadar çok kullanılmaktadır. Bu sayede son yirmi yılda karmaşık modelleme çalışmalarına olanak sağlayan ticari HAD yazılımlarının kullanıldığı çalışmalar da yoğunlaşmıştır. Gıda endüstrisinde yaygın olarak kullanılan ticari HAD yazılımları Fidap, Fluent, Flow 3-D, Phoenics ve Ansys olarak belirtilebilir.

3 boyutlu tarayıcıların HAD programlarıyla birlikte kullanılabilmesini gösteren bu çalışma ile gıda ürünleri orijinal boyutlarıyla simülasyonlarda yer alabilecektir. Bu sayede daha kesin ve doğru çözümler yapılabilecektir. Bu çalışmanın literatür için önemli bir katkı sağlayacağı ve 3 Boyutlu tarayıcıların gıda mühendisliğinde, gıda prosesi simülasyonlarında kullanımına bir örnek teşkil edeceği düşünülmektedir.

### 3. MATERYAL ve METOT

Belirtilen amaçlar kapsamında, bu tez çalışmasında, öncelikle geometrisi kesin olarak tanımlanamayan gıda ürünlerinin (armut, çilek, elma ve muz) 3 boyutlu tarayıcılar kullanılarak dijital görüntüleri elde edilmiş ve bu ürünlerden armut ve çileğin soğutma simülasyonu ANSYS CFX (V. 11) HAD yazılımı kullanılarak yapılmıştır. Daha sonra simülasyon sonuçları çilek ve armut kullanılarak yapılan soğutma deneyleri sonuçları ile karşılaştırılarak kullanılan yöntemin avantajları belirtilmiştir. Çalışmanın son bölümünde ise 3 boyutlu tarayıcılar kullanılarak gıda ürünlerinin yüzey alanı ve hacimlerinin hesaplanabileceği gösterilmiştir.

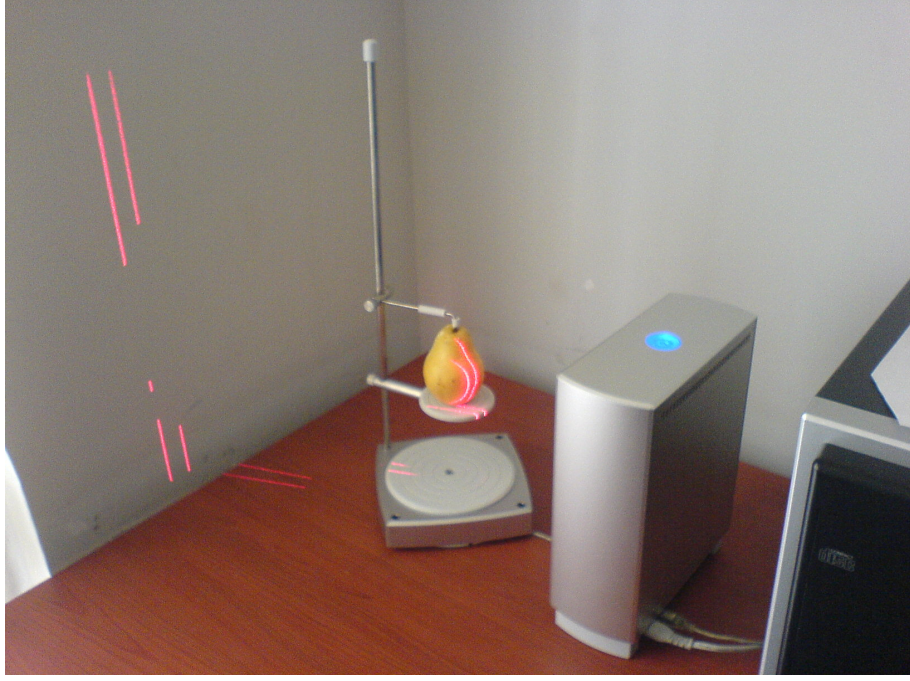
#### 3.1. 3 BOYUTLU TARAMA

Bu çalışmada kullanılan 3 boyutlu tarama (Next Engine Inc., Santa Monica, CA) sistemi Şekil 3.1’de gösterilmiştir. NextEngine 3 boyutlu tarama sistemi bir lazer modülünden, ürünü lazer modülü karşısında sabitlemek amacıyla kullanılan bir sabitleyiciden, bir kameradan, tarama işlemlerinde kullanılan bilgisayar yazılımından ve ayrıntılı veriler elde edebilmek amacıyla kullanılan ışık kaynağından oluşmaktadır (Şekil 3.1).

NextEngine 3 boyutlu tarama sisteminde tarama işlemleri sırasıyla 4 aşamadan oluşmaktadır:

- a) Tarama (ürünün kendi eksenini etrafında otomatik olarak hareket ettirilerek değişik açılardan elde edilen görüntüleri ile birlikte alt ve üst yüzey görüntülerinin elde edilmesi),
- b) Taranan görüntülerin işlenmesi (trimming),
- c) Bu görüntülerin tek bir yüzey oluşturacak şekilde birleştirilmesi (aligning)

Birleştirilen görüntülerden tek bir yüzey oluşturulması (fusing) işlemleri ile tamamlanmaktadır

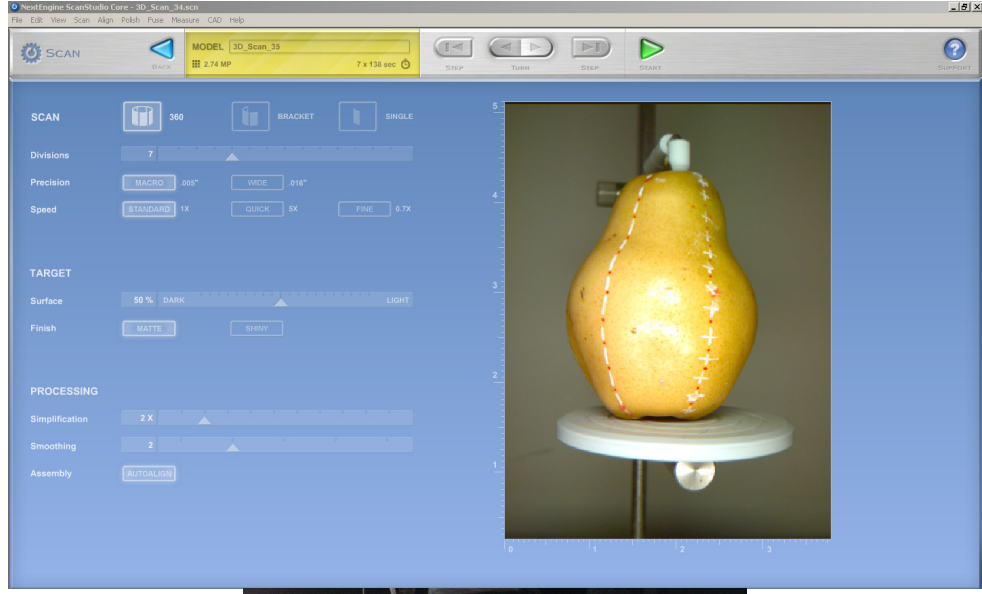


Şekil 3.1. NextEngine 3 boyutlu tarama sistemi.

Bu işlemlerin yapılmasında NextEngine yazılımı (ScanCore Studio 1.7.1) kullanılmıştır.

Tarama işlemi için öncelikle, taranacak örnek üzerinde görüntülerin birleştirilmesinde kullanılmak üzere gerekli işaretlemelerin yapılması gerekmektedir. Ürün görüntülerinin değişik açılardan alınması gerektiğinden, bu işaretlemeler farklı açılardan alınan görüntülerin birbirleriyle ilintilenmesinde kullanılacaktır. Şekil 3.2 bir armut örneğinin tarama sırasındaki görüntüsü ile gerçek görüntüsünü göstermektedir.

Armut örneğinin çeşitli açılardan taranması için yazılımda kullanılan ayarlar Şekil 3.3' de gösterilmiştir. Kullanılacak olan ayarlar ürünlerin yüzey özelliklerine ve geometrik olarak karmaşık yapılarına bağlı olarak ön çalışmalarla belirlenmesi gerekmektedir.

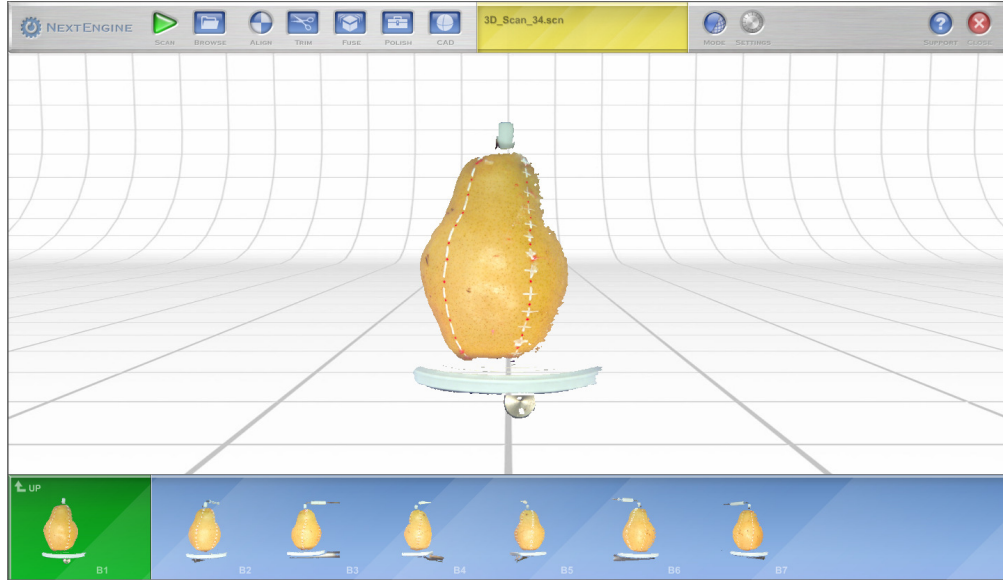


Şekil 3.2. Yüzeyi işaretlenerek tarayıcı mekanizmasına yerleştirilen armut örneğinin tarayıcıda elde edilen görüntüsü ve gerçek görüntüsü.



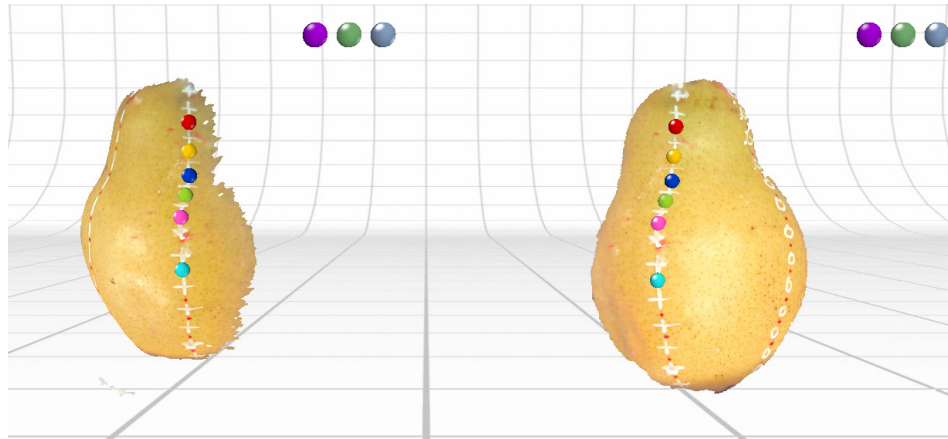
Şekil 3.3 Scanstudio tarama seçenekleri görüntüsü.

Tarama (Scan) opsiyonunda, ilk aşamada armut örneğinin 360 derece taranıp gerekli sayıda görüntünün alınması için “scan” seçeneği 360 dereceye ayarlanmıştır. “Division” seçeneğinde ise 360 derece tarama yapılırken kaç adet görüntü alınacağı ön çalışmalarla 7 olarak belirlenmiştir. Ürünün büyüklüğü ve tarayıcı ile kameraya yakınlığını belirtmek amacıyla da “Precision” seçeneğini macro, “Speed” seçeneği ise standart olarak kullanılmıştır. Ürün yüzey yapısının karmaşıklığına göre “Speed” seçeneği farklı seçeneklerde kullanılması gerekmektedir. “Surface” seçeneği, ürün yüzeyinin parlaklığına göre seçilmektedir. Şekil 3.4 farklı açılardan elde edilen 7 adet görüntüyü göstermektedir.

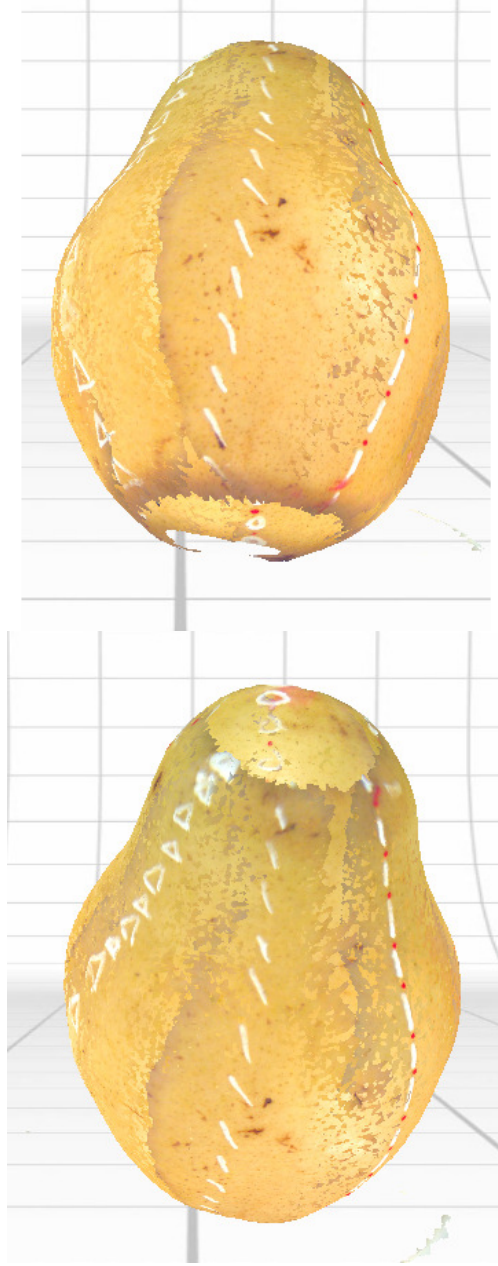


Şekil 3.4. Farklı açılardan elde edilen 7 adet görüntü.

Elde edilen görüntülerin birleştirilme aşamasında (aligning) ise öncelikle görüntülerdeki armut dışında (örneğin tarayıcı nesne sabitleme parçaları) taranan kısımların temizlenmesi için “trim” işlemi uygulanmıştır. Bu işlem elde edilen 7 görüntü için de yapıldıktan sonra işaretlenen ortak noktalardan en az 3 tanesi belirlenerek bağlama (attach) seçeneği ile (Şekil 3.5) görüntüler bir araya getirilmiştir.

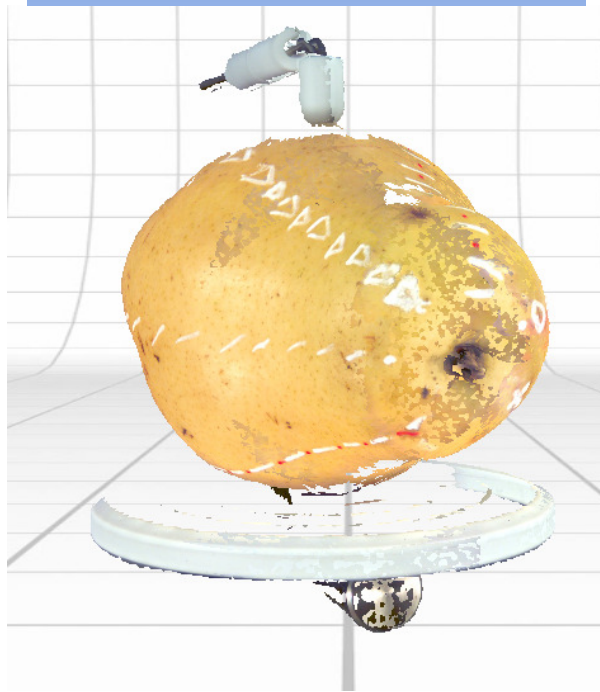
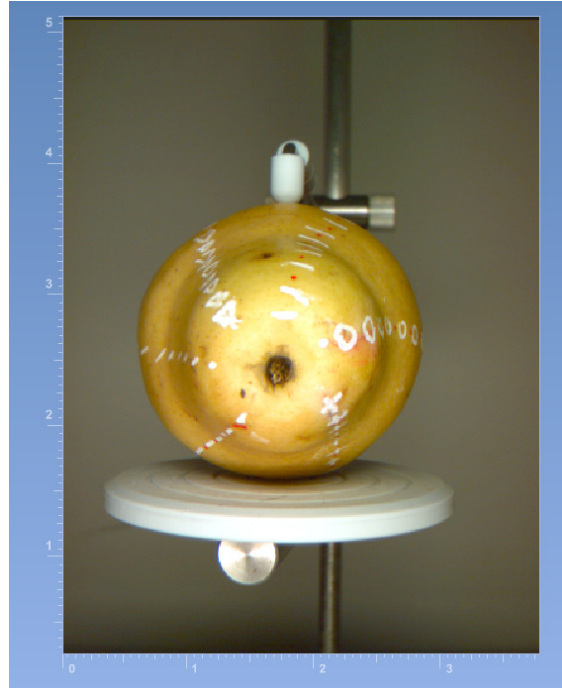


Şekil 3.5. Bağlama işlemi ile görüntülerin birleştirilmesi.



Şekil 3.6. Elde edilen görüntülerin birleştirilmesi ile elde edilen şeklin iki farklı açıdan gösterimi.

Şekil 3.6 ise görüntülerin birleştirilmesiyle elde edilen armut şeklini iki farklı açıdan göstermektedir. Bu şekilde görüldüğü gibi armut görüntüsünde, alt ve üst kısımlar tam olarak taranamadığından görünmemektedir. Bu amaçla armut alt ve üst yüzeylerinin ayrıca taranması gerekmektedir (Şekil 3.7).



Şekil 3.7. Armut örneğinin üst bölümünden elde edilen taranmış görüntü.

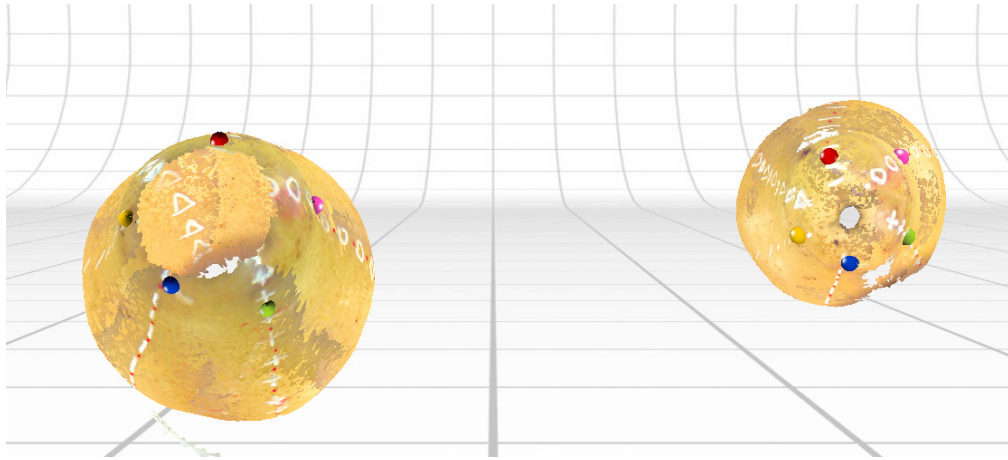


Şekil 3.8’de ise taranmış görüntüye giren parçaların temizlenmesi işlemi görülmektedir.

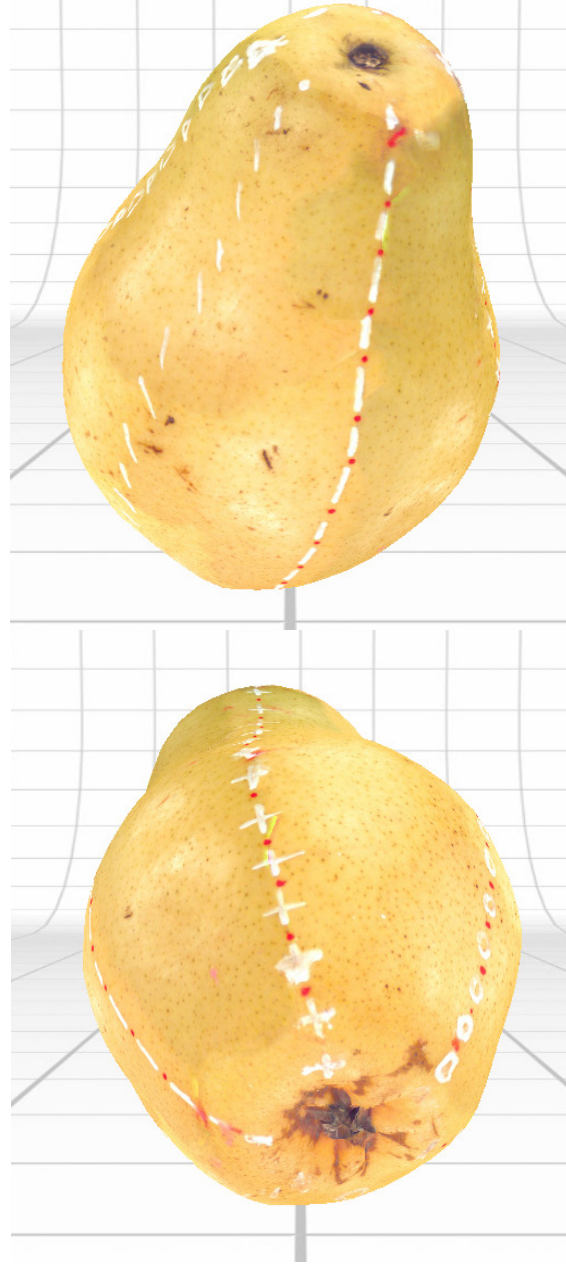


Şekil 3.8. Taranmış görüntüden istenmeyen parçaların temizlenmesi (trimming).

Daha sonra üst ve alt yüzey görüntüleri yan yüzey görüntüleri ile birleştirilerek bu aşama tamamlanmakta (Şekil 3.9.) ve elde edilen tarama görüntüleri birleştirilerek tek bir yüzey elde edilmektedir. Şekil 3.10 bu şekilde elde edilen armutun yüzey görüntüsünü göstermektedir. .



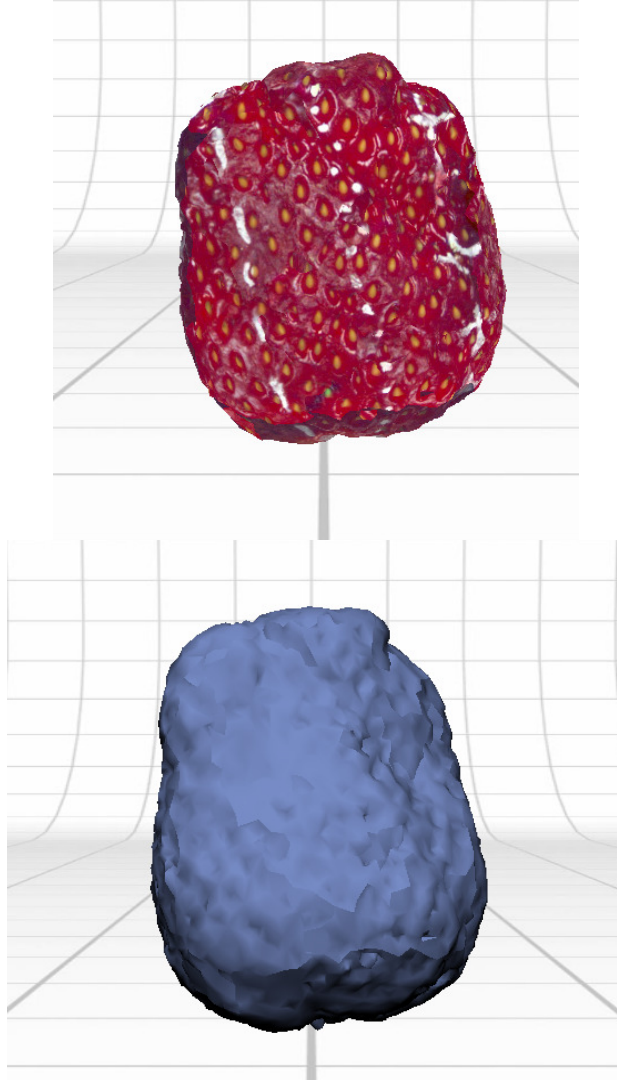
Şekil 3.9. Üst ve alt taranmış bölümlerin iliştilmesi.



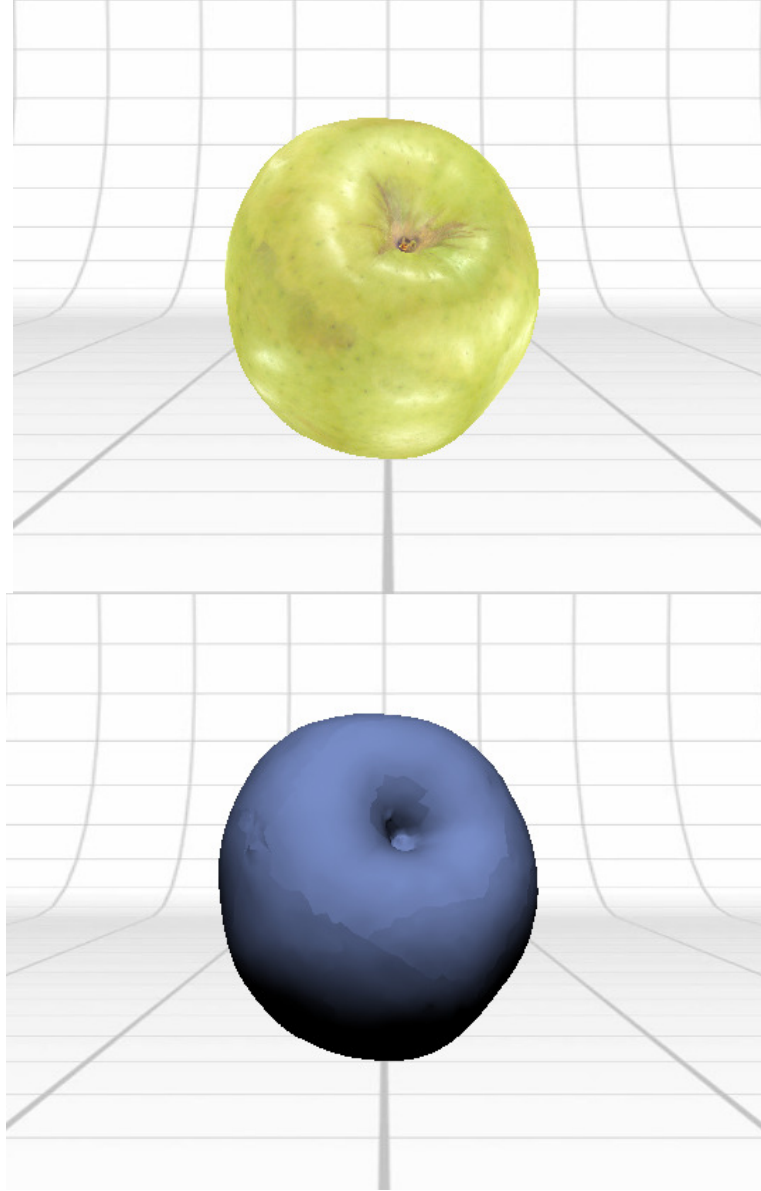
Şekil 3.10. Taranmış görüntülerden tam bir armut görüntüsünün elde edilmesi.

Şekil 3.11, 3.12 ve 3.13’de ise tarama çalışmaları sırasında, farklı gıda ürünlerinin taranmasına örnek olarak, elde edilmiş olan 3 boyutlu çilek, elma ve muz görüntüleri gösterilmektedir. Bu gıda örnekleri düzgün 3 boyutlu bir yapıda olmadığı için seçilip taranmıştır. Örneğin çilek (Şekil 3.11), karmaşık bir yüzeye sahip 3 boyutlu geometriye sahiptir, elma küresel olarak kabul edilebilmesine rağmen 2 boyutlu modelleme çalışmalarında kullanılamayacak yüzey farklılıkları içermektedir,

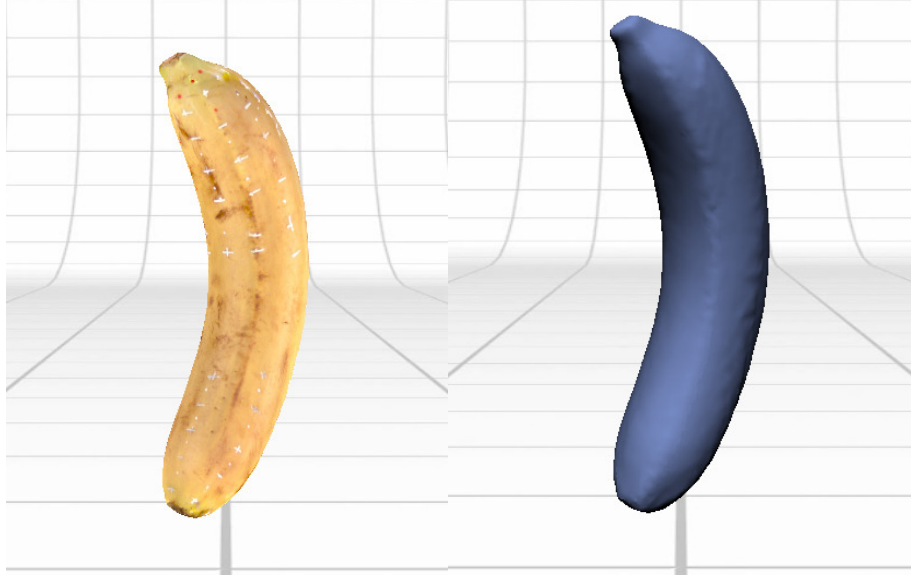
muz ise silindirik bir yapıda olmasına rağmen düz kabul edilemeyecek bir yapıya sahiptir.



Şekil 3.11. Çileğin 3 boyutlu tarama görüntüsü.



Şekil 3.12. Elmanın 3 boyutlu tarama görüntüsü.

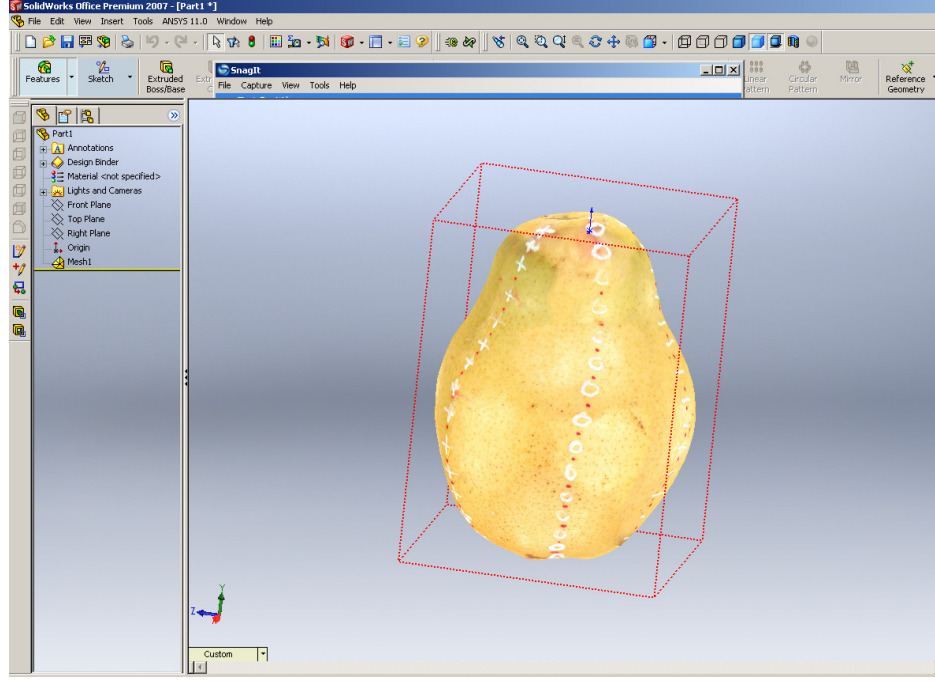


Şekil 3.13. Muzun 3 boyutlu tarama görüntüleri.

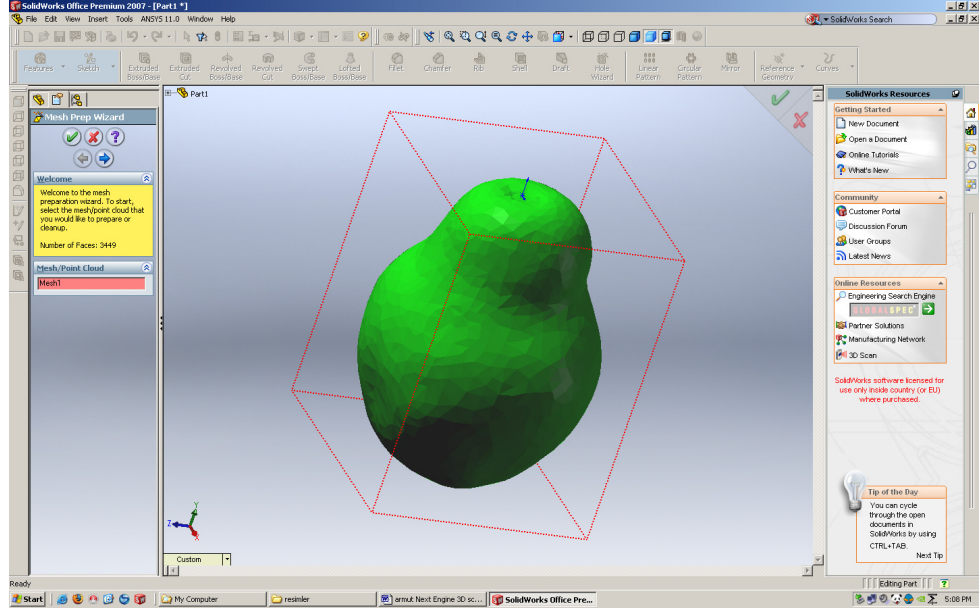
### 3.2. KATI MODELİN OLUŞTURULMASI

Elde edilen taranmış yüzey görüntüsünün, hesaplamalı akışkanlar dinamiği programlarında hacim elementlerine bölünerek simülasyonlarda kullanılabilmesi için, hacme çevrilme işlemi gerekmektedir.

Bu amaçla SolidWorks 2007 (SolidWorks Corp., Concord, MA) yazılımı kullanılarak elde edilen yüzey görüntülerinden katı bir model elde edilmiştir (Şekil 3.14 ve 3.15). Bu aşama Solidworks yazılımının ağ hazırlama işlemleri (mesh preparation wizard) ve yüzey oluşturma (surface wizard) araçlarıyla gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.14. SolidWorks yazılımına aktarılan taranmış yüzey görüntüsü



Şekil 3.15. Katı modelin Solidworks yazılımında oluşturulması

### 3.3. KATI MODELİN HAD YAZILIMINA AKTARILMASI VE SİMÜLASYONLAR

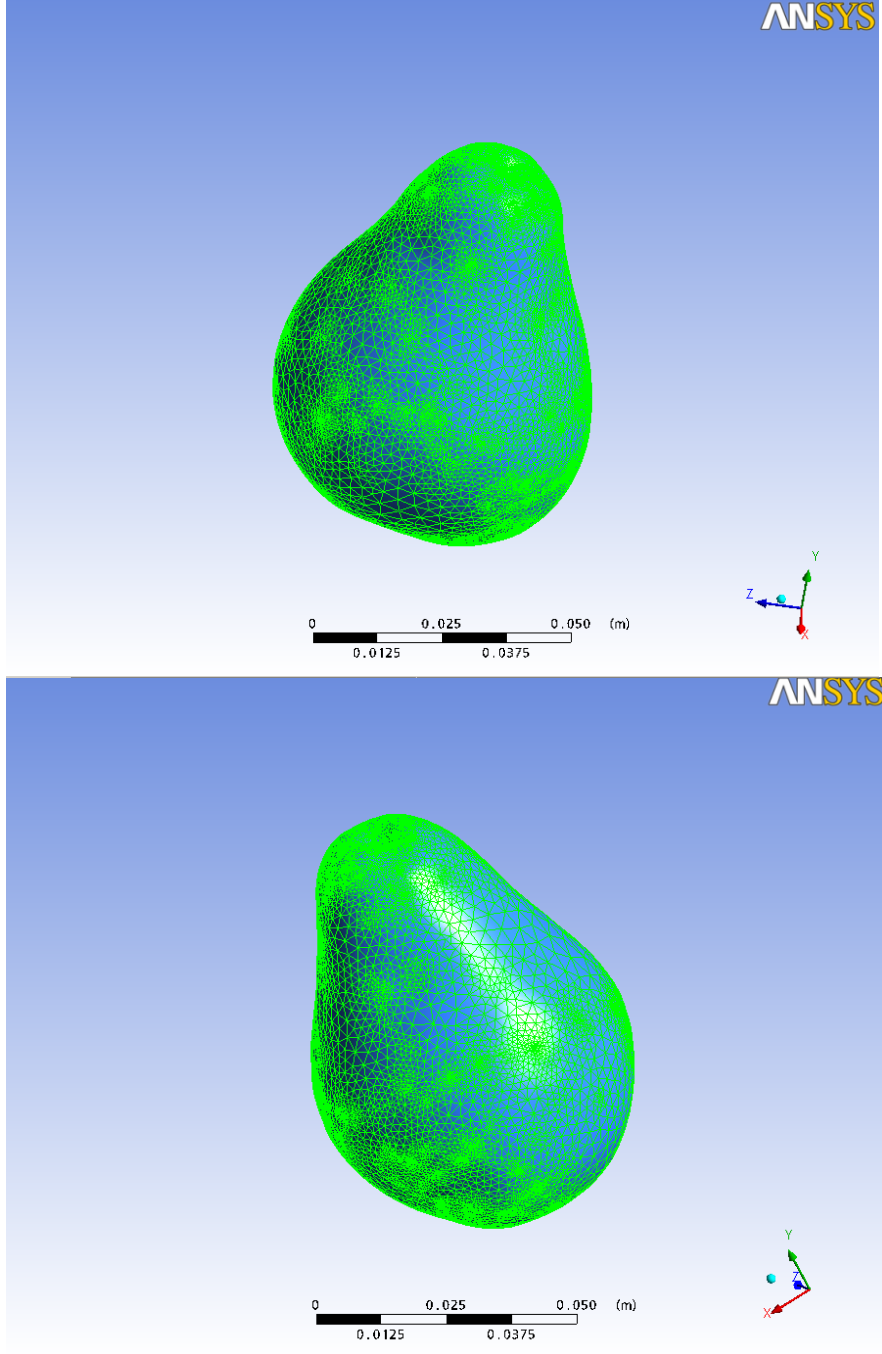
SolidWorks'de ağ hazırlama (mesh preparation wizard) ve yüzey oluşturma (surface wizard) işlemleri tamamlanarak 3 boyutlu hacim elde edildikten sonra gerçek boyutları ile taranmış olan armut ve çilek Ansys CFX (V. 11) yazılımına transfer edilip, hacim elementleri oluşturulduktan sonra simülasyon çalışmalarına başlanmıştır.

Şekil 3.16 ANSYS CFX (V. 11) programında oluşturulmuş armut hacim elementlerinin farklı açılardan yüzey dağılımlarını göstermektedir. Yüzeyde olan girinti-çıkıntılar ve yüzey pürüzlülükleri nedeniyle bazı bölgelerde yoğun bir hacim element dağılımı elde edilmektedir. Armut ve çileğin 3 boyutlu görüntülerinin bütün homojen olmayan bölgelerde birlikte alınması nedeniyle elde edilen bu dağılım, ısı transfer hesaplamaları düşük zaman aralığı kullanılarak yapıldığından (1 s) sıcaklık sonuçlarında herhangi bir dalgalanmaya sebep vermemiştir.

### 3.4. SOĞUTMA DENEYLERİ

Soğutma deneyleri soğuk hava oda koşullarında yapılmış, armut, çilek ve ortam sıcaklık değişimleri 36 gauge ısıçiftler kullanılarak bir veri toplama sistemi (Keithley 2700 DMM) yardımıyla belirlenmiştir.

Simülasyonlarda sınır koşulu olarak armut ve çilek yüzeyinde konveksiyon ısı transfer sınır koşulu kullanılmış, ısı transfer katsayısı deneysel olarak alüminyum bir armut modeli kullanılarak, lumped sistem metodu ile hesaplanarak, simülasyonlarda armut ve çilek için aynı ısı transfer katsayısı değeri kullanılmıştır. Daha sonra simülasyon sonuçları deneysel sonuçları ile karşılaştırılarak, hem sonuçların doğruluğu test edilmiş, hem de kullanılan metodun etkinliği belirlenmiştir.



Şekil 3.16. ANSYS CFX programında oluşturulmuş armut hacim elementlerinin farklı açılardan alınmış yüzey görüntüleri.



### 3.5. GIDA ÜRÜNLERİNİN YÜZEY ALANI VE HACİMLERİNİN BULUNMASI

3 boyutlu tarayıcının ölçüm hassaslığını tespit etmek için öncelikle tahta ve plastikten yapılmış küre şeklinde bir örnek taranarak, sonuçlar kürenin ölçümle elde edilen hacim alan ve çap verileri ile karşılaştırılmıştır. Gıda ürünlerinin yüzey alanı ve hacimlerinin 3 boyutlu tarayıcılar kullanılarak elde edilebileceği göstermek amacıyla ise yumurta kullanılmıştır. Tarayıcılardan elde edilen sonuçları karşılaştırmak amacıyla literatürde yumurta yüzey alanını ve hacmini çok hassas bir şekilde belirleyen eşitliklerden faydalanılmıştır. Yumurta yüzey alanı (S) ve hacminin (V) hesaplanması amacıyla yumurta endüstrisinde de kullanılan eşitlikler aşağıda verilmiştir [18, 19].

$$S = (3.155 - 0.0136 \cdot L + 0.0115 \cdot B) \cdot L \cdot B \quad (3.1)$$

$$V = (0.6057 - 0.0018 \cdot B) \cdot L \cdot B^2 \quad (3.2)$$

Bu eşitliklerde L değeri yumurtanın uzun eksenini B ise yumurtanın kısa eksenini göstermektedir.

#### 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Armut ve çilek için ANSYS CFX (V.11) kullanılarak yapılan soğutma prosesi simülasyonları için öncelikle, alüminyumdan yapılmış bir armut modeli kullanılarak lumped sistem metodu ile soğuma deney koşullarında ısı transfer katsayısı belirlenmiştir. Daha sonra soğuma deney ortamı sıcaklık değişimleri ve elde edilen ısı transfer katsayısı değeri kullanılarak simülasyonlar yapılmış ve sonuçlar deney sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

##### 4.1. ISI TRANSFER KATSAYISININ BELİRLENMESİ VE SOĞUTMA DENEYLERİ

Soğutma deneylerinin yapılacağı soğuk oda ısı transfer katsayısının belirlemesi amacıyla alüminyumdan yaptırılmış bir armut modeli (Şekil 4.1)

kullanılmıştır. Bu amaçla sıcaklık oranı  $\left( \ln \left( \frac{T - T_{ortam}}{T_{başlangıç} - T_{ortam}} \right) \right)$ -zaman eğrisinin eğimi kullanılarak ısı transfer katsayısı aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmıştır:

$$h = -\beta \cdot \rho \cdot c_p \cdot \frac{V}{A} \quad (4.1)$$

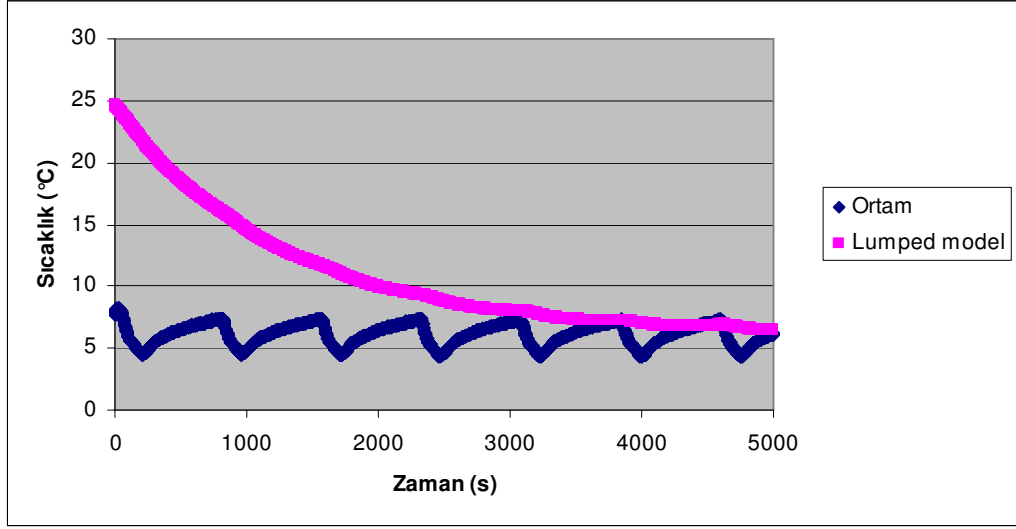
Bu eşitlikte  $\beta$  sıcaklık oranı zaman eğrisinin eğimini (1/s),  $V/A$  alüminyum armut modelinin hacim/yüzey alanını (m),  $\rho$  alüminyum armut modelinin yoğunluğunu (2700 kg/m<sup>3</sup>) ve  $C_p$  armut modelinin ısı kapasitesi değerini (950 J/kg-K) göstermektedir. Bu deneyde kullanılan alüminyum armut için hacim/yüzey alanı değeri, yine bu materyalin 3 boyutlu tarayıcıda tarandıktan sonra SolidWorks yazılımına aktarılan görüntüsü kullanılarak 10.68 mm olarak belirlenmiş ve hesaplamalarda kullanılmıştır.

Isı transfer katsayısını belirlemek amacıyla yapılan deneylerde alüminyum materyal soğuk oda koşullarında bekletilirken, 30 gauge bir ısılıçift yardımıyla sıcaklık değişimi elde edilmiş ve sıcaklık oranı eğrisinin eğiminden ısı transfer katsayısı değeri hesaplanmıştır. Sıcaklık değişimleri Keithley 2700 DMM model sıcaklık ölçüm sistemleri kullanılarak yapılmıştır.

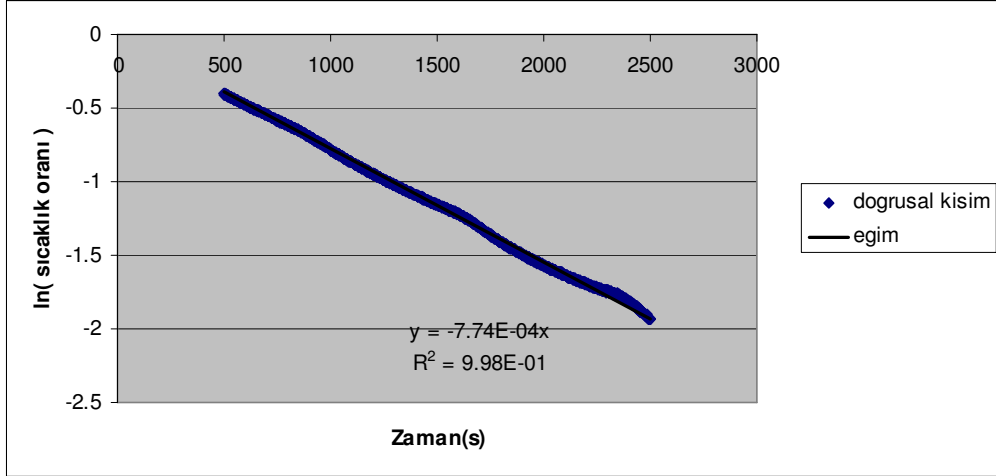
Isı transfer katsayısının yanı sıra ortam sıcaklık değişimi de deneysel olarak belirlenmiştir. Bu değerler konveksiyon sınır koşulunda kullanılarak yapılan simülasyonlar tamamlanmıştır. Şekil 4.2 ve 4.4 ısı transfer katsayısını belirlemek amacıyla yapılan deney sonuçlarından iki tanesini göstermektedir. Şekil 4.3 ve 4.5 ise, bu deneyler için, ısı transfer katsayısını hesaplamak amacıyla kullanılan sıcaklık oranı-zaman değişimini göstermektedir.



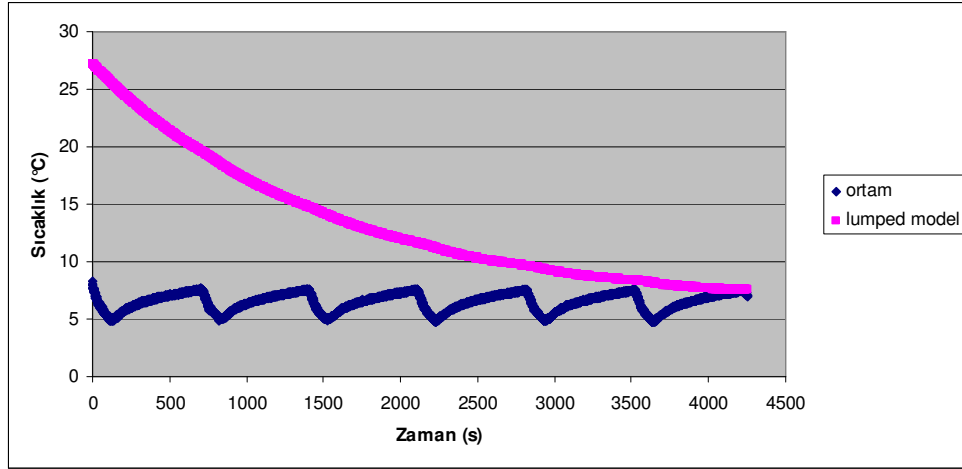
Şekil 4.1. Isı transfer katsayısı ölçümlerinde kullanılan alüminyumdan yapılmış armut modeli.



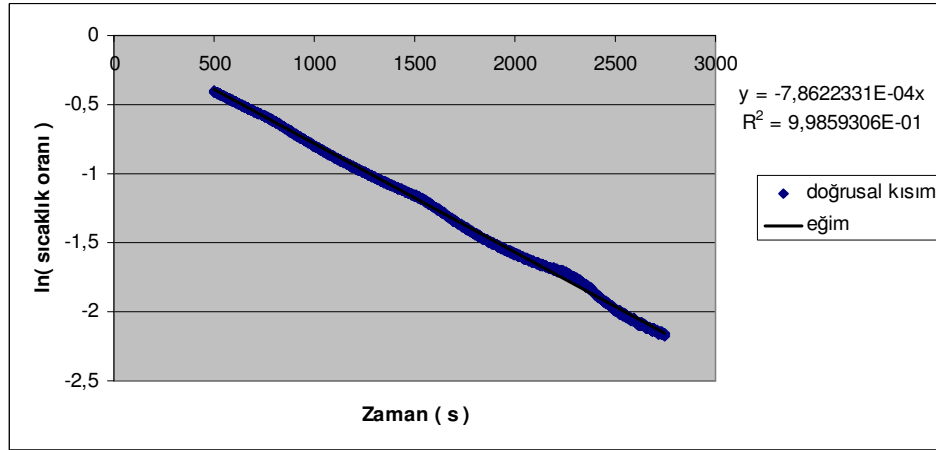
Şekil 4.2. Isı transfer katsayısının belirlenmesi amacıyla yapılan deneylerde ortam ve alüminyum armut modeli sıcaklık değişimi (Deney 1).



Şekil 4.3. Isı transfer katsayısının bulunması için sıcaklık oranı eğrisi doğrusal kısmının eğiminin bulunması (Deney 1).



Şekil 4.4. Isı transfer katsayısının belirlenmesi amacıyla yapılan deneylerde ortam ve alüminyum armut modeli sıcaklık değişimi (Deney 2).



Şekil 4.5. Isı transfer katsayısının bulunması için sıcaklık oranı eğrisi doğrusal kısmının eğiminin bulunması (Deney 2).

Deneyssel olarak elde edilen ortam ve armut modeli sıcaklık değişimlerinden, lumped sistem metodu ile, yapılan beş deneyin sonucu olarak ısı transfer katsayısı değeri  $21 \pm 1.0 \text{ W/m}^2\text{-K}$  olarak belirlenmiştir.

Armutların soğutma işlemi sırasında ise sıcaklık değişimleri armutlar içerisine yerleştirilen 36 gauge T-tipi bir ısılıçift kullanılarak belirlenmiştir. Deney sırasında armut içerisinde sıcaklığın ölçüldüğü noktanın yerinin belirlenmesi, deney

sonuçlarının simülasyon sonuçlarıyla karşılaştırılması açısından önemli olmuştur. Bu amaçla, deney sonrasında armut ince parçalar halinde kesilerek ısı çift yeri belirlenmiş ve bu nokta simülasyon için kullanılan hacim element modelinden bulunarak deneysel veriler simülasyon sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

#### 4.2. ANSYS CFX SİMÜLASYON ÇALIŞMALARI

Simülasyon çalışmalarında SolidWorks'te taranmış yüzey görüntüsünden elde edilen hacim Ansys CFX (V. 11) programına transfer edilmiş ve hacim elementleri oluşturularak armudun soğutma simülasyonunda kullanılmıştır. Sınır koşulu olarak konveksiyon sınır koşulu uygulanmış (Eşitlik 4.2), ısı transfer katsayısının armut ve çilek yüzeyinde sabit olduğu varsayımı yapılmıştır.

$$-k \cdot \frac{\partial T}{\partial x} = h \cdot (T - T|_{ortam}) \quad (4.2)$$

Konveksiyon sınır koşulunda deneysel olarak elde edilen ortam sıcaklık değişimleri ve ısı transfer katsayısı değerleri uygulanmıştır. Simülasyonlarda gerekli olan, armudun ısısal ve fiziksel özellikleri (ısı iletkenlik katsayısı, ısı kapasitesi ve yoğunluğu) ise aşağıda açıklandığı şekilde hesaplanmıştır.

Armut örneğinin ısı iletkenlik katsayısı ve ısı kapasitesi değerleri literatürde verilen armut su oranı temeline dayalı eşitlikler kullanılarak hesaplanmıştır [24]:

Isıl iletim katsayısı:

$$k = 0.4875 - \frac{0.0566}{X} + 0.0227 \cdot \ln(X) \quad (4.3)$$

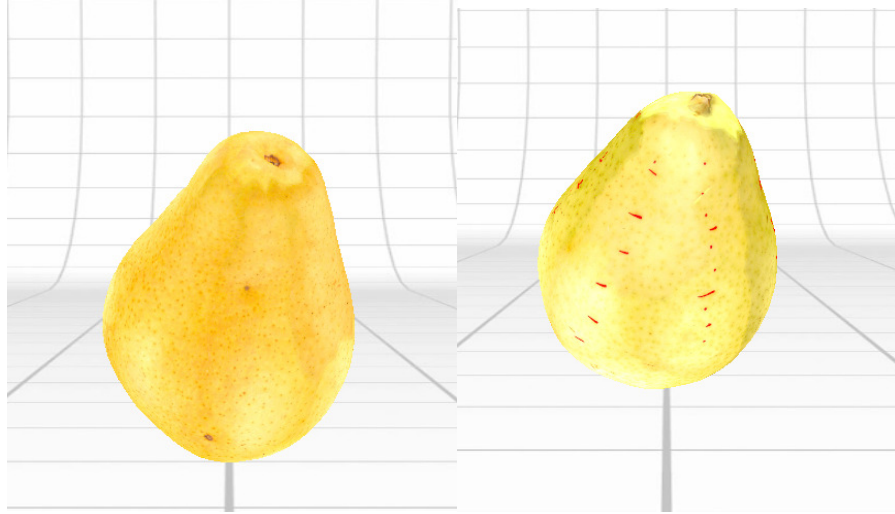
Isı kapasitesi:

$$c_p = 837 + 3349 \cdot X \quad (4.4)$$

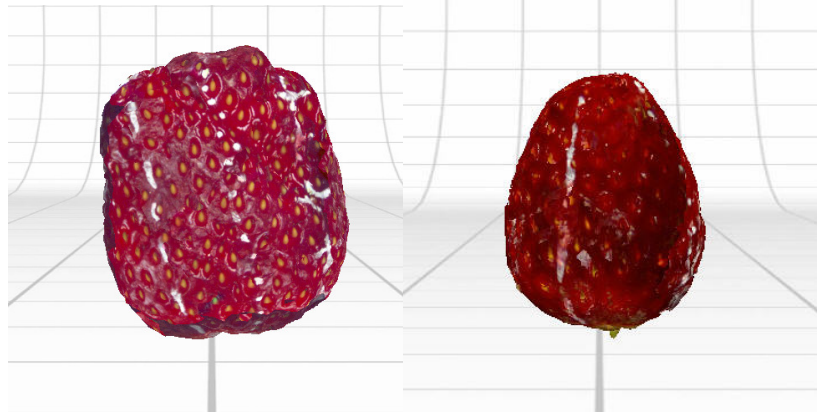
Bu denkliklerde X armut su oranının kuru temelde göstermektedir. Yapılan deneyler sonucu armut su oranı  $6.21 \pm 0.13$  (gram su/gram kuru madde) olarak belirlenmiş ve ısı iletim katsayısı ve ısı kapasitesi değerleri ise sırasıyla  $0.52 \text{ W/m-K}$  ve  $3721 \text{ J/kg-K}$  olarak hesaplanmıştır. Armut örneğinin yoğunluk değeri ise Arşimed prensibi temeline bağlı olarak yapılan deneylerde  $1038 \pm 38 \text{ kg/m}^3$  olarak bulunmuştur.

Çileklerin soğutma simülasyonları için ise, çileğin ısısal ve fiziksel özellikleri literatürden [25] alınarak kullanılmıştır. Çileğin ısı kapasitesi  $3924,5 \text{ J/kg.K}$ , ısı iletim katsayısı  $0,57 \text{ W/m.K}$ , yoğunluğu  $910 \text{ kg/m}^3$  olarak kullanılmıştır.

Simülasyonlarda kullanılan armut ve çileklerden iki tanesi Şekil 4.6 ve 4.7’de görülmektedir. Bu armut ve çileklerin 3 boyutlu görüntüleri elde edildikten sonra Ansys CFX (V. 11)’e transfer edilen hacim kullanılarak hacim elementleri oluşturulmuş, deneysel olarak elde edilen sınır koşulu değerleri kullanılarak simülasyonlar yapılmıştır. Armut örnekleri için sırasıyla kullanılan hacim element sayısı sırasıyla 57409 ve 135843, çilek örnekleri için ise 74986 ve 47373’ür.



Şekil 4.6. Ansys CFX simülasyonları ve soğutma deneylerinde kullanılan armut örnekleri.

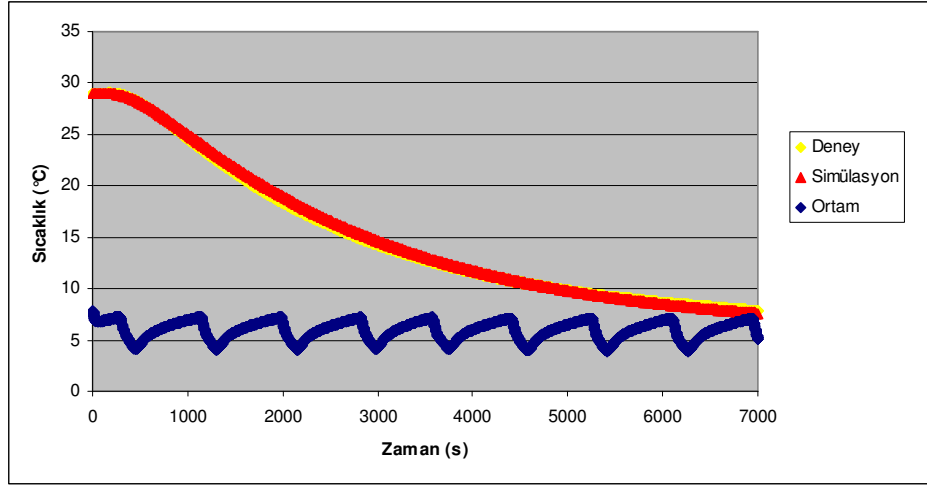


Şekil 4.7. Ansys CFX simülasyonları ve soğutma deneylerinde kullanılan çilek örnekleri.

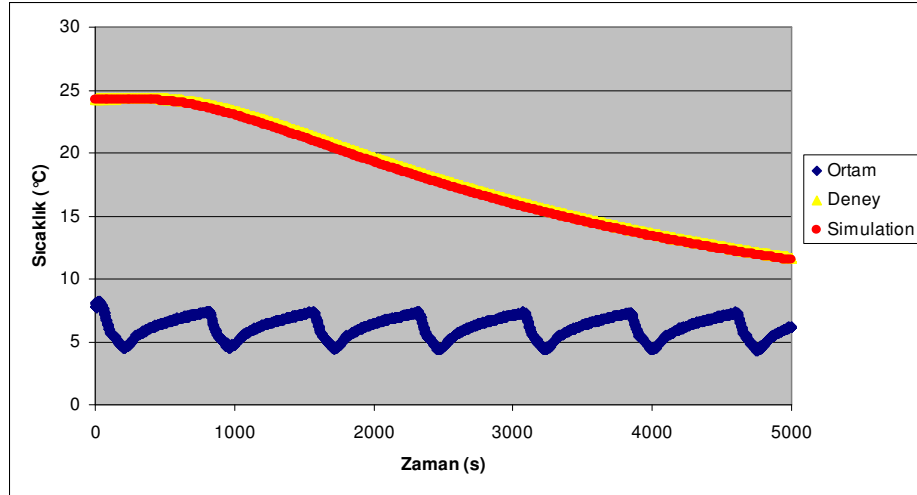
Şekil 4.8 armut, 4.9 ise çilek için soğutma deneyleri ve simülasyon sonuçlarının karşılaştırılmasını göstermektedir. Görüldüğü gibi deneysel veriler ve simülasyon sonuçları uyum göstermektedir. Bu doğrulama deneyleri, 3 boyutlu tarayıcıların HAD programları ile birlikte gıda prosesleri simülasyonlarında kullanılabileceğini göstermektedir.

Şekil 4.10 ve 4.11’de ise soğutma zamanının 2000 ve 1000. saniyesinde armut ve çilek iç kesitinde simülasyonlarda elde edilmiş sıcaklık dağılımını gösterilmektedir. Bu şekillerde, armut ve çilek için oluşturulmuş ve simülasyonlarda kullanılmış hacimsel element yapısı da değişik açılardan görülebilmektedir. Hacim elementlerin armut çilek yüzeyinde değişik bölgelerde farklı yoğunluklarda olması, 3 boyutlu yüzey elde edilirken kullanılan verilerden kaynaklanmaktadır. Buna göre, özellikle yüzeyin farklı bölgelerde karmaşıklaştığı (örneğin kıvrımların olduğu) durumlarda yüzeyin modellenmesi için daha fazla sayıda veri kullanılmakta ve sonuç olarak daha yoğun bir hacimsel element yapısı elde edilmektedir. Bu sonuçlar ise HAD programları kullanılarak ürün içi sıcaklık dağılımının görsel olarak gözlenebilmesine bir örnektir.



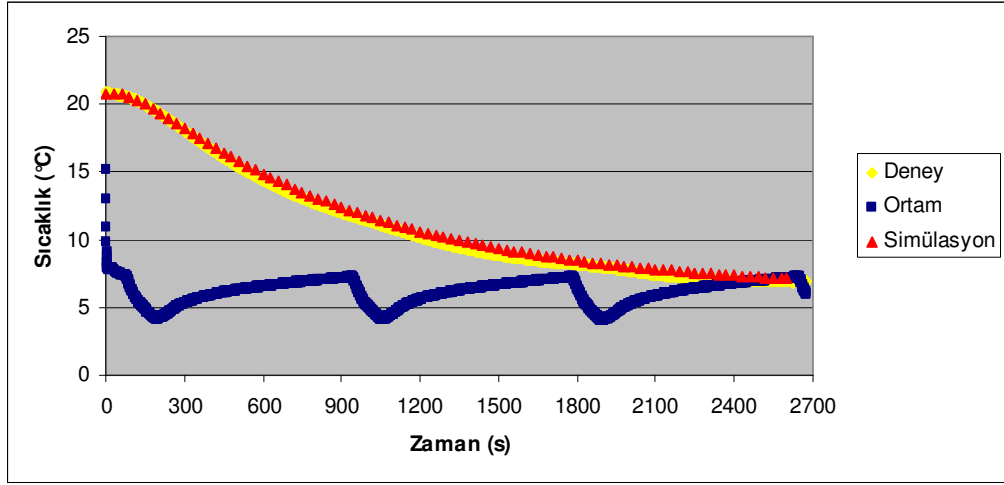


Şekil 4.8. (a)

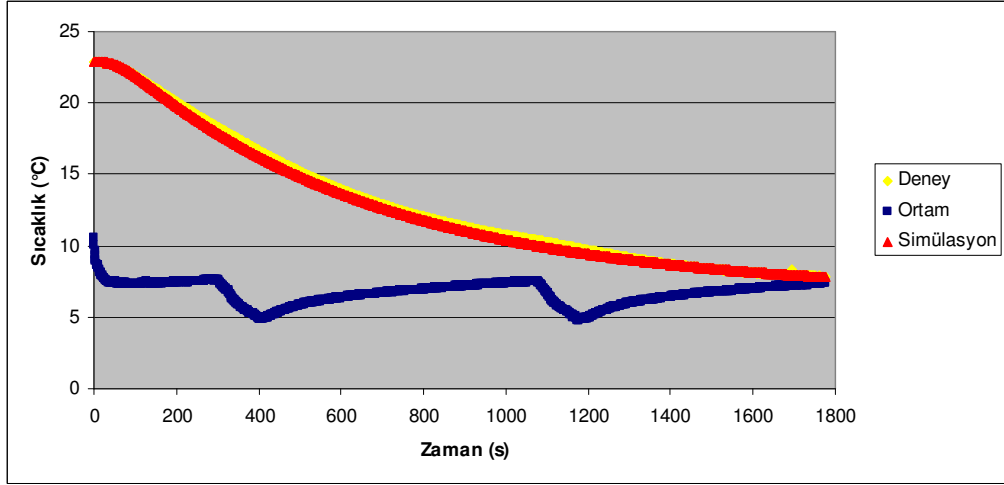


Şekil 4.8. (b)

Şekil 4.8. Armut soğutma deneyleri ve simülasyon sonuçlarının iki farklı armut için karşılaştırılması (a) I. Armut, (b) II. Armut.

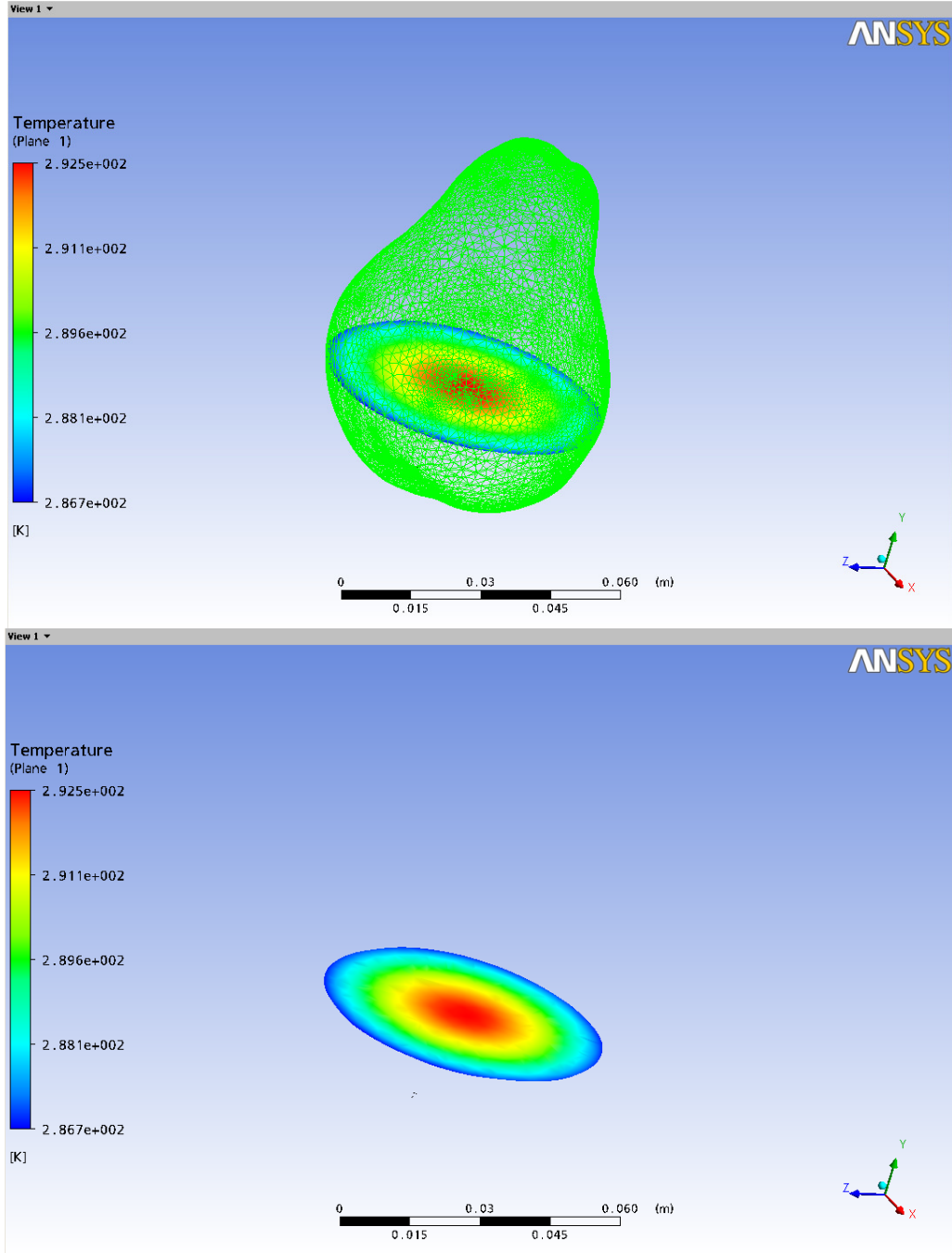


Şekil 4.9 (a)

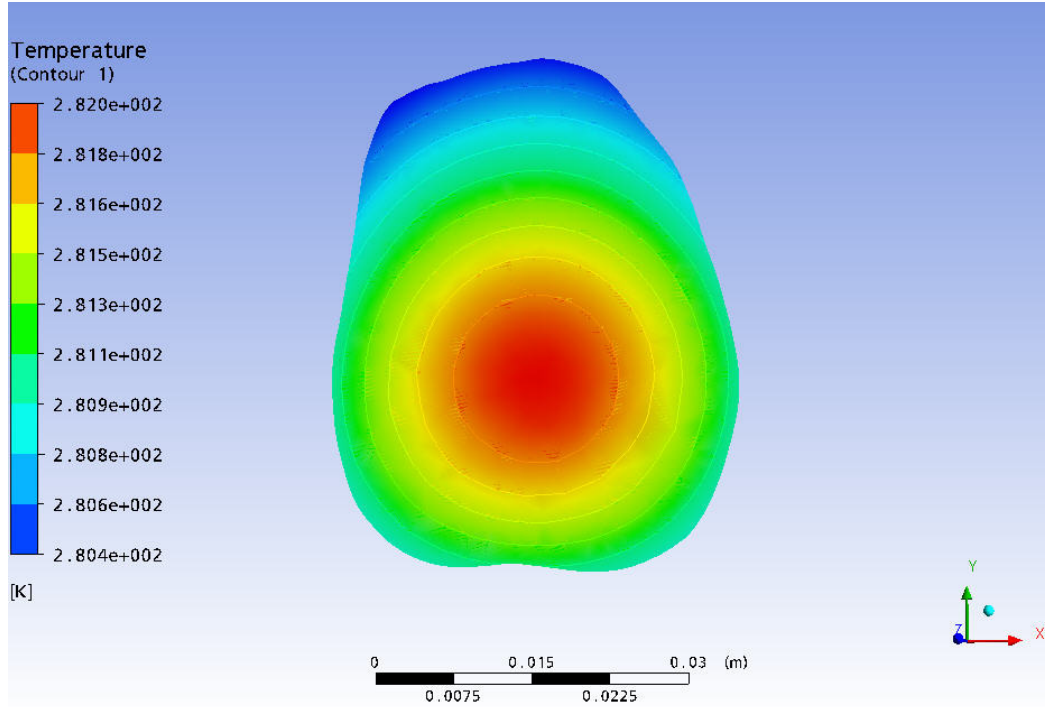
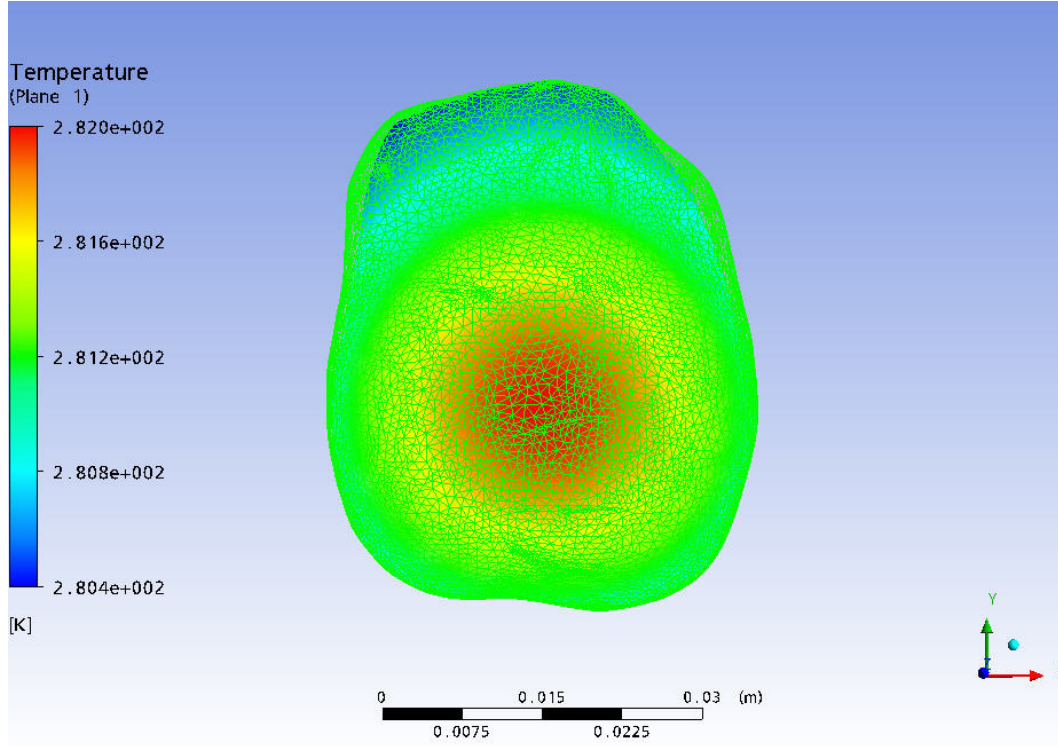


Şekil 4.9 (b)

Şekil 4.9. Çilek soğutma deneyleri ve simülasyon sonuçlarının iki farklı çilek için karşılaştırılması (a) I. Çilek, (b) II. Çilek.



Şekil 4.10. Simülasyonlarda elde edilmiş, soğutma zamanının 2000. saniyesinde, armut (I. Armut) iç kesitindeki sıcaklık dağılımı ve bu armut için simülasyonlarda kullanılan element yapısı.



Şekil 4.11. Simülasyonlarda elde edilmiş, soğutma zamanının 1000. saniyesinde, çilek (I. Çilek) kesitindeki sıcaklık dağılımını ve bu çilek için simülasyonlarda kullanılan element yapısı.

### 4.3. İSTATİSTİKSEL ANALİZ

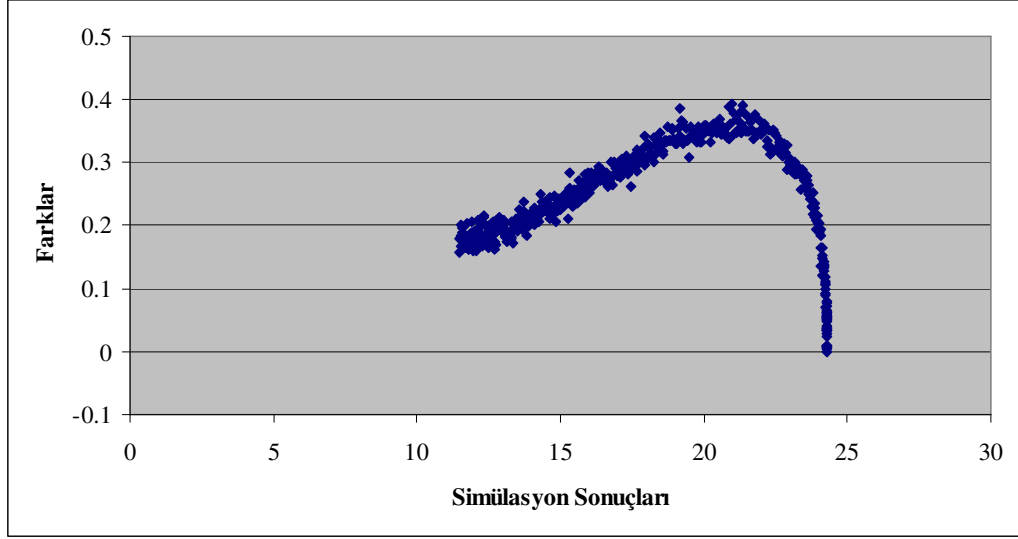
Simülasyon sonuçlarının deneysel veriler ile uygunluğunu test etmek amacıyla “*root mean square error (RMSE)*” değerleri hesaplanmış (Eşitlik 4.5, fark analizi yapılmış (simülasyon sonuçlarına karşı, simülasyon sonuçları ile deneysel sonuçların farklarındaki dağılım) ve simülasyon sonuçları ile deneysel sonuçlar arasındaki korelasyon katsayıları belirlenmiştir.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (T_{deneyel} - T_{simulasyon})^2} \quad (4.5)$$

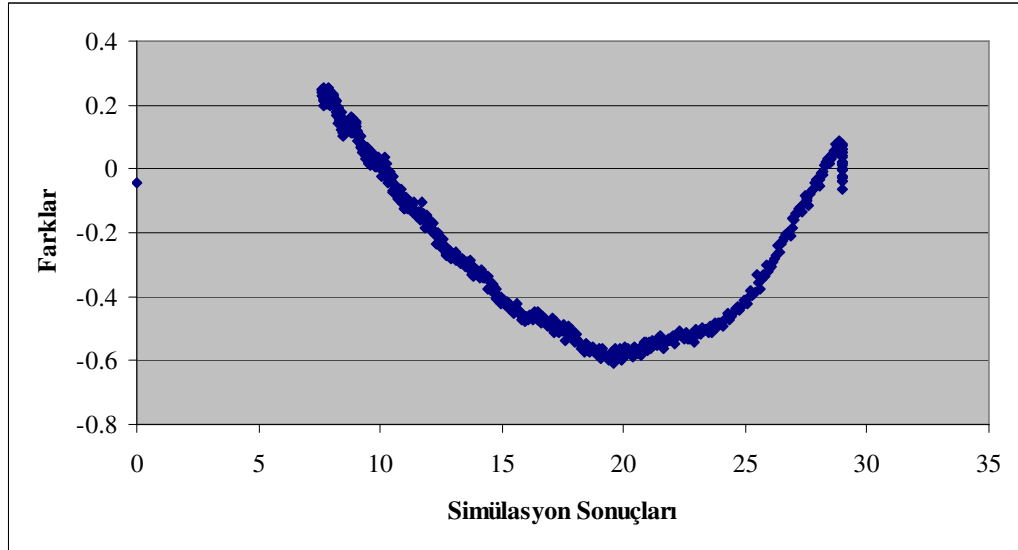
RMSE değerleri armutlar için 0.26 ve 0.31 °C, çilekler için ise 0.265 ve 0.74 °C olarak bulunmuştur. Bu değerler, Scheerlinck ve ark [25] tarafından da belirtildiği gibi, ısı çiftleriyle yapılan sıcaklık ölçüm hata aralığında bulunduğundan simülasyon sonuçlarının deneysel sonuçlar ile uyum içinde olduğu kabul edilebilir. Armut örnekleri için 0.9996 ve 0.9988, çilek örnekleri içinse 0.9988 ve 0.9962 olarak hesaplanan korelasyon sonuçları da bu uyumu göstermektedir.

Simülasyon sonuçları ile deney sonuçları arasındaki uyumu test edebilmek amacıyla yapılan fark analizi sonuçları ise armut örnekleri için Şekil 4.12’de çilek örnekleri içinse Şekil 4.13’de gösterilmektedir. Fark analizinde, simülasyon ve deney sonuçları arasındaki farkların “0” çizgisi etrafında rastgele bir salınım yapmaları beklenmektedir. Aşağıdaki şekiller de ise bu salınım görülmemekte ancak, simülasyon sonuçları ile deney sonuçları arasındaki farkın mutlak değer olarak küçük olduğu gözlenmektedir. Farkların “0” çizgisinin üzerinde ya da altında seyretmesi kullanılan ısısal ve fiziksel özelliklerden gelen hatalarla (ürün ısı yayılım katsayısı değerinin gerçek değerinden düşük ya da fazla olması), sıcaklık ölçümlerinin yapıldığı noktaların belirlenmesinde karşılaşılan sorunlarla (sıcaklık ölçümünün yapıldığı noktanın tam olarak belirlenememesinin simülasyon sonuçları ile karşılaştırmada yol açacağı sorunlar) ve ısı transfer katsayısının değişken olmasıyla açıklanabilir.

Ancak düşük RMSE değerleri, yüksek korelasyon katsayıları simülasyon sonuçları ile deney sonuçlarının uyumlu olduğunu, görsel incelemeler simülasyon sonuçlarının deney sonuçları trendini takip ettiğini göstermektedir. Simülasyon sonuçları ile deneysel sonuçlar arasındaki küçük farklar da 3 boyutlu tarayıcıların simülasyonlarda etkin olarak kullanılabileceğini göstermektedir.

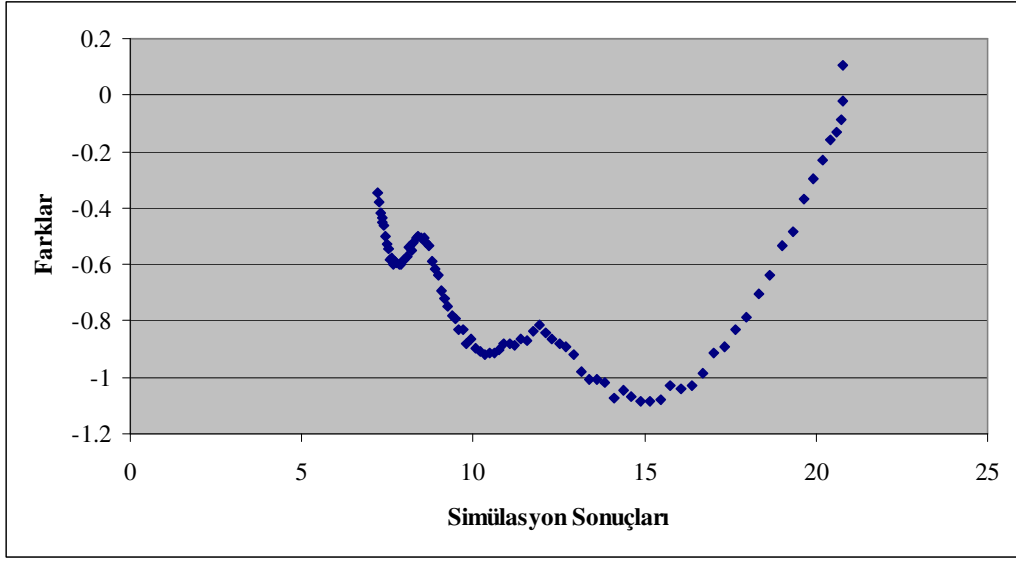


Şekil 4.12a.

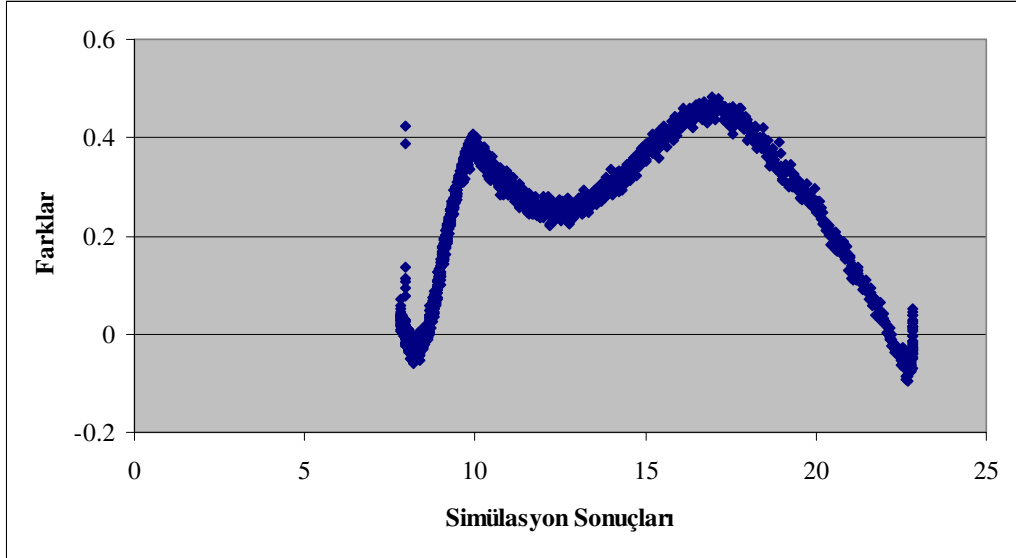


Şekil 4.12b.

Şekil 4.12. Armut örnekleri için fark analizi sonuçları (a) I. Armut, (b) II. Armut.



Şekil 4.13a.

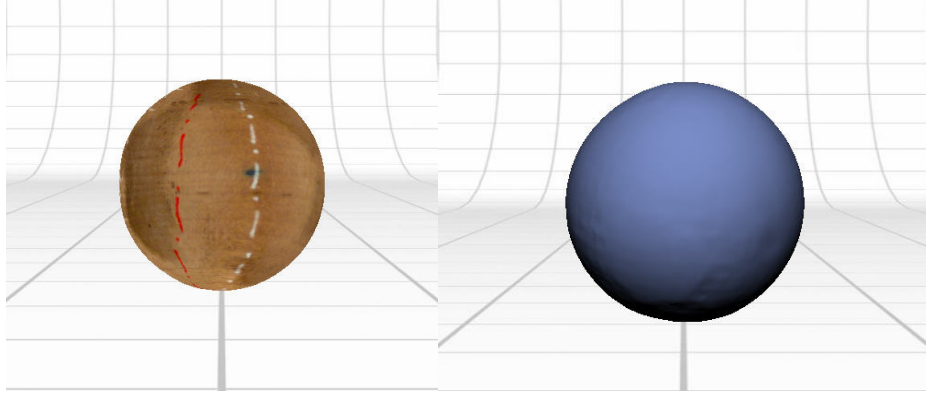


Şekil 4.13b.

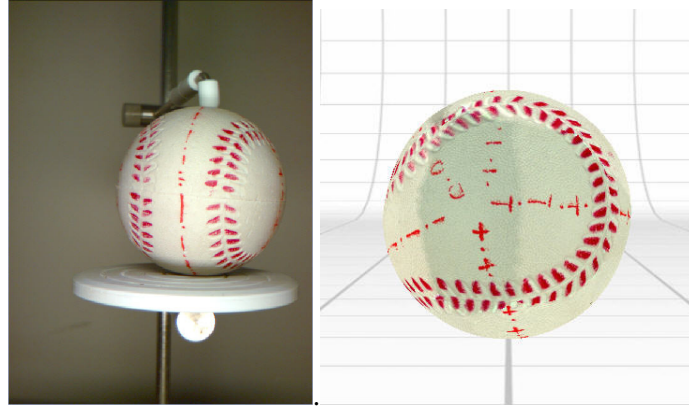
Şekil 4.13. Çilek örnekleri için fark analizi sonuçları (a) I. Çilek, (b) II. Çilek.

#### 4.4. GIDA ÜRÜNLERİNİN YÜZEY ALANI VE HACİMLERİNİN BULUNMASI

3 boyutlu tarayıcının ölçüm hassaslığını tespit etmek için tahta ve plastikten yapılmış küre (Şekil 4.14) şeklinde örnekler için elektronik kumpas kullanılarak elde edilen sonuçların (çap- $2R$ , hacim- $\frac{4}{3}\pi R^3$  ve alan- $4\pi R^2$ ) 3 boyutlu tarayıcı kullanılarak elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılması Çizelge 4.1'de görülmektedir. Şekil 4.14 tahta ve plastik kürelerin taranmış görüntülerini göstermektedir.



Şekil 4.14a. Tahta küre



Şekil 4.14b. Plastik küre

Şekil 4.14 Tahta ve plastik kürelerin taranmış görüntüleri.



Çizelge 4.1. Tahta ve plastik küre için kumpasla ölçüm ve 3 boyutlu tarayıcıdan elde edilen çap, hacim ve alan sonuçlarının karşılaştırılması.

		Kumpasla ölçüm	3 boyutlu tarayıcı sonuçları	% Hata
Tahta küre	Çap (mm)	38.50	38.45	0.14
	Hacim (mm <sup>3</sup> )	29887.77	29660.12	0.76
	Yüzey alanı (mm <sup>2</sup> )	4657.43	4644.20	0.28
Plastik küre	Çap (mm)	61.88	61.78	0.49
	Hacim (mm <sup>3</sup> )	124065.07	123457.2	0.22
	Yüzey alanı (mm <sup>2</sup> )	12029.58	12002.53	0.16

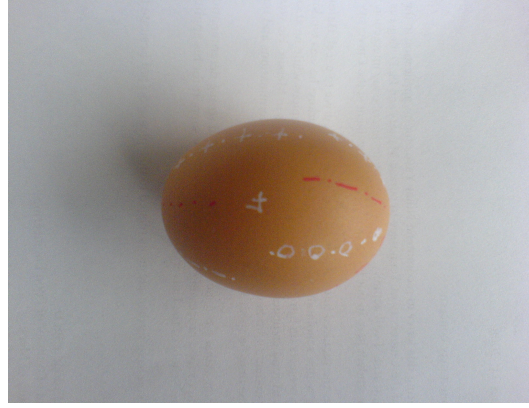
Çizelge 4.1’de belirtilen sonuçlardan da anlaşılacağı gibi, elektronik kumpasla ölçüm sonuçlarına göre elde edilen % 1’den daha küçük hata sonuçları 3 boyutlu tarayıcıların ürün karakteristik boyutları, yüzey alanları ve hacimlerinin belirlenmesi amacıyla kullanılabilceğini göstermektedir.

3 boyutlu tarayıcıların gıda ürünlerinin yüzey alanını ve hacmini belirlemede kullanımını göstermek amacıyla yumurta kullanılmıştır. Bu amaçla 3 adet yumurta taranıp (Şekil 4.15) hacmi ve yüzey alanları 3 boyutlu tarayıcı görüntülerinden belirlenmiştir. Elde edilen bu sonuçlar daha sonra literatürden elde edilen deneysel eşitliklerden hesaplanan hacim ve yüzey alanlarıyla karşılaştırılmıştır (Çizelge 4.2).

Görüldüğü gibi literatürde doğru sonuç verdiği test edilmiş olan eşitliklerden (Eşitlik 4.1 ve 4.2) elde edilen sonuçlar ile 3 boyutlu tarayıcıdan elde edilen sonuçlar arasında önemli bir fark bulunmamıştır. Bu sonuçlar 3 boyutlu tarayıcıların düzensiz geometri gıda ürünlerinin yüzey alanları ve hacimlerinin belirlenmesinde de kullanılabilceğini göstermektedir.

Çizelge 4.2. 3 boyutlu tarayıcı ve denklikle hesaplanan yumurta yüzey alanı hacim değerlerinin karşılaştırılması.

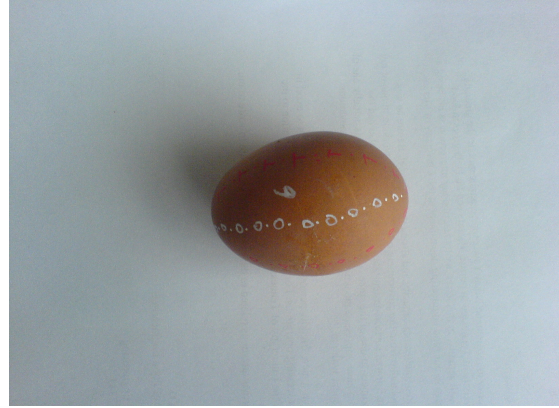
Yumurta örnek no:	1	2	3
L (mm)	58.04	55.66	58.33
B (mm)	43.84	44.28	43.61
Hacim (mm <sup>3</sup> )	56907.35	56603.74	57900.45
Hacim (mm <sup>3</sup> )- Eşitlik 3.1	58763.06	57403.83	58484.56
Hata%	3.15	1.39	1.00
Yüzey alanı (mm <sup>2</sup> )	7241.93	7165.27	7345.40
Yüzey alanı (mm <sup>2</sup> )- Eşitlik 3.2	7302.17	7190.67	7283.40
Hata %	0.82	0.35	0.85



(a)



(b)



(c)

Şekil 4.15. Yumurtaların 3 boyutlu tarayıcıdan elde edilen görüntüleri (a) 1 numaralı yumurta, (b) 2 numaralı yumurta (c) 3 numaralı yumurta.

## 5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Gıda ürünlerinin 3 boyutlu modellemesi kolay bir işlem olmadığından ve özellikle sayısal çözümlerde uzun işlem süresi ihtiyacına yol açtığından genellikle 1 ya da 2 boyutlu yaklaşımlar ile geometrik benzeştirmeler yapılarak daha basit modeller kullanılmaktadır. Örneğin bir yumurtanın yada çileğin küre olarak varsayılması genel olarak kullanılan yaklaşımlar için bir örnek olarak kabul edilebilir. Çileğin küre olarak kabul edilmesi, görüntü olarak doğru olmasa da simülasyon işlemini kolaylaştıran bir yaklaşımdır. Ancak armut gibi bir ürünü silindir ya da küre olarak kabul edebilmek çok kolay ve mantıklı bir yaklaşım olarak görülmemektedir.

Simülasyon konusunda, son yıllarda kullanımı giderek artan HAD programları ve bilgisayar işlemcilerinin hız ve hafıza kapasitelerinin giderek artması ile bahsedilen zaman problemleri kısmen aşılmış olsa da HAD programlarında ilk aşama olarak kabul edilen ürün geometrisinin oluşturulması halen önemli bir süreç olarak karşımızda durmaktadır. Bu aşamanın tamamlanmasından sonra, gelişmiş kullanıcı ara yüzleri sayesinde kullanımları kolaylaşan HAD programlarının gıda prosesleri simülasyonlarında daha etkin olarak kullanılabilmesi beklenen bir sonuçtur.

Özellikle bir çok gıda ürününün geometrik şeklinin tanımlanması için gerekli olan matematiksel denkliklerin HAD programı ile koordinasyonu bu işlemin önemli bir aşamasını oluşturmaktadır. Bu tezde 3 boyutlu tarayıcıların kullanılması, HAD programlarında simülasyonun ilk aşaması olan ürün geometrik şeklinin tanımlanması bölümünü hızlı bir şekilde ürünün gerçek boyut ve şekliyle yapılmasını sağlamış ve gerçek ürün geometrik özelliğinde olan modeller kullanılarak simülasyon çalışmaları ve proses analizi yapılabilmektedir.

Tez sonuçlarının ilk bölümünde gösterilen armut, çilek, elma ve muzun taranmış görüntüleri 3 boyutlu tarayıcıların farklı geometri ve yüzey özelliğine sahip ürünlerin taranmasına yönelik olarak kullanılabilmesine bir örnek olmuştur. Armut

soğutma simülasyonlarında, Ansys CFX yazılımında armut orijinal şekli kullanılmış ve simülasyon 3 boyutlu olarak ürünün gerçek boyutları kullanılarak yapılmıştır. Son bölümde ise tahta ve plastikten yapılmış küreler ile yumurtanın yüzey alanı ve hacmi 3 boyutlu görüntülerinden belirlenerek 3 boyutlu tarayıcıların kullanımı ile ilgili farklı bir örnek gösterilmiştir.

Bu tez sonucunda:

- Endüstriyel tasarım ve heykeltçilik gibi sanat dallarında kullanılan 3 boyutlu tarama sistemlerinin gıda prosesleri simülasyonlarının daha etkin ve gerçekçi bir şekilde yapılabilmesi amacıyla da kullanılabilmesi gösterilmiştir.
- 3 boyutlu tarayıcıların düzensiz geometriye sahip gıda ürünlerinin yüzey alanı ve hacimlerinin belirlenmesinde kullanılabilmesi gösterilmiştir.
- Gıda mühendisliği literatüründe ciddi bir uygulama alanı oluşmamış bu teknolojinin bu projede kullanılması ile bilgisayar destekli mühendisliğin gıda mühendisliği araştırmalarında da etkin bir şekilde yer alabileceği ispatlanmıştır.

Bu tez sonuçlarının gıda proseslerinde enerji tasarrufu ya da ürün kalitesi artırımı gibi amaçları olan çalışma için de bir temel teşkil etmesi beklenmektedir. Gıda ürünleri modelleri çoğaltılarak depo şartlarında soğutma simülasyonu ile optimum soğutma koşulları analiz edilebilir buna benzer diğer gıda proseslerinde yığın işlemlerde verimlilik çalışmaları yapılabilir.

## KAYNAKLAR

- [1] Datta, A.K. ve Halder, A. “Status of food process modeling and where do we go from here (synthesis of the outcome from brainstorming).”, *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 7: 117-120, (2008).
- [2] Turhan, M. ve Erdoğan, F. “Error associated with assuming a finite regular geometry as an infinite one for modeling of transient heat and mass transfer processes”, *Journal of Food Engineering*, **59**: 291-296, (2003).
- [3] Turhan, M. ve Erdoğan, F. “Errors based on location and volume average changes in infinite geometry assumptions in heat and mass transfer processes”, *Journal of Food Engineering*, **64**:199-206, 9, (2004).
- [4] Erdoğan, F. ve Turhan, M. “Analysis of dimensional ratios of regular geometries for infinite geometry assumptions in conduction heat transfer problems”, *Journal of Food Engineering*, **77**:818-824, (2006).
- [5] Borsa, J., Chu, R., Sun, J., Linton, N. ve Hunter, C. “Use of CT scans and treatment planning software for validation of the dose component of food irradiation protocols”, *Radiation Physics and Chemistry*, **63**: 271-275, (2002).
- [6] Goni, S.M., Purlis, E. ve Salvadori, V.O. “Three-dimensional reconstruction of irregular foodstuffs”, *Journal of Food Engineering*, **82**: 536-47, (2007).
- [7] Goni, S.M., Purlis, E. ve Salvadori, V.O. “Geometry modeling of food materials from magnetic resonance imaging”, *Journal of Food Engineering*, *Article in Press*.
- [8] Erdoğan, F., Balaban, M.O., & Chau, K.V.. “Modeling of heat conduction in elliptical cross-section: II. Adaptation to thermal processing of shrimp”, *Journal of Food Engineering*, **38**: 241-258, (1998).
- [9] Sabliov, C.M., Bolder, D., Keener, K.M. ve Farkas, B.E. “Image processing method to determine surface area and volume of axi-symmetric agricultural products”, *International Journal of Food Properties*, **5**: 641-653, (2002).

- [10] Eifert, J.D., Sanglay, G.C., Lee, D-J., Sumner, S.S. ve Pierson, M.D. "Prediction of raw produce surface area from weight measurement", *Journal of Food Engineering*, **74**: 552-556, (2006).
- [11] Koç, A.B. "Determination of watermelon volume using ellipsoid approximation and image processing", *Postharvest Biology and Technology*, **45**: 366-371, (2007).
- [12] Kim, J., Moreira, R.G., Huang, Y. ve Castell-Perez, M.E. "3-D dose distributions for optimum radiation treatment planning of complex foods", *Journal of Food Engineering*, **79**: 312-21, (2007).
- [13] Du, C-J. ve Sun, D-W. "Estimating the surface area and volume of ellipsoidal ham using computer vision", *Journal of Food Engineering*, **73**: 260-68, (2006).
- [14] Jancsok, P.T., Clijmans, L., Nicolai, B.M. ve De Baerdemaeker, J. "Investigation of the effect of shape on the acoustic response of 'conference' pears by finite element modeling" *Postharvest Biology and Technology*, **23**: 1-12, (2001).
- [15] Verboven, P., De baerdemaeker, J. ve Nicolai, B.M. "Using computational fluid dynamics to optimize thermal processes", P. Richardson (Ed.), Improving the Thermal Processing of Foods (pp. 82-102), CRC Press, Boca Raton, FL, (2004).
- [16] Engin, E. ve Koyuncu, M.Ü. "Çileklerin durgun havada soğutulması sırasında sıcaklık değişimlerinin Ansys sonlu eleman hazır programı kullanılarak belirlenmesi", *Mersin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü Mezuniyet Tezi* (Tez Danışmanı: Doç.Dr. Ferruh Erdoğan), (2006).
- [17] Karadağ, A., Yılman, B. ve Sürmeli, H. "Armutların durgun havada soğutulması sırasında sıcaklık değişimlerinin Ansys sonlu eleman hazır programı kullanılarak belirlenmesi", *Mersin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü Mezuniyet Tezi* (Tez Danışmanı: Doç.Dr. Ferruh Erdoğan), (2006).

- [18] Narushin, V.G. “Shape geometry of the avian egg”, *Journal of Agricultural Engineering Research*, **79**: 441-48, (2001).
- [19] Narushin, V.G. “Egg geometry calculation using the measurements of length and breadth poultry science”, **84**:482–484 (2005).
- [20] Uyar, R. “Yumurthanın soğutulmasının bilgisayar ortamında simülasyonu” *Mersin Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü Mezuniyet Tezi* (Tez Danışmanı: Doç.Dr. Ferruh Erdoğan), (2006).
- [21] Erdoğan, F., Ferrua, M., Singh, S.K. ve Singh, R.P. “Air-impingement cooling of boiled-eggs: Analysis of flow visualization and heat transfer”, *Journal of Food Engineering*, **79**: 920-28, (2007).
- [22] 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 and Technology*, **77**: 600-620, (2006).
- [23] Xia, B. ve Sun, D.W. “Applications of computational fluid dynamics (CFD) in the food industry: a review”, *Computers and Electronics in Agriculture*, **34**: 5-24, (2002).
- [24] Urbicain, M.J. ve Lozano, J.E. “Definition, measurement and prediction of thermophysical and rheological properties” Valentas, K.J., Rotstein, E. ve Singh, R.P. (Eds.), *Food Engineering Practice* (pp. 425-486) , CRC Press, Boca Raton, FL, (1997).
- [25] Scheerlinck, N., Marquenie, D., Janscok, P.T., Verboven, P., Moles, C.G., Banga, J.R. ve Nicolai, B.M. “A model-based approach to develop periodic thermal treatments for surface decontamination of strawberries”, *Postharvest Biology and Technology*, **34**: 39-52, (2004).



## ÖZGEÇMİŞ

### Rahmi Uyar

Mersin Üniversitesi  
Mühendislik Fakültesi  
Gıda Mühendisliği Bölümü  
Çiftlikköy, Mersin 33343

#### ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Üniversite	Yıl
Lisans	Gıda Mühendisliği	Mersin Üniversitesi	2002-2006
Yüksek Lisans	Gıda Mühendisliği	Mersin Üniversitesi	2007-2009

#### KİŞİSEL BİLGİLER

**Doğum Tarihi** : 10.01.1972  
**Doğum Yeri** : Adıyaman  
**Yabancı Dil** : İngilizce, Almanca  
**E-mail** : rahmiuyar@yahoo.com

#### YAYINLAR

##### Uluslararası hakemli dergilerde yayımlanan makaleler

Erdoğan, F., Uyar, R. ve Palazoğlu, T. K. “Experimental Comparison of Natural Convection and Conduction Heat Transfer”, Journal of Food Process Engineering. Yayın No: JFPE 309 (*Yayına kabul edildi*).

Uyar, R. ve Erdoğan, F. “Potential Use of 3-Dimensional Scanners in Food Processing”, Journal of Food Engineering (JFOODENG-D-08-01038), *İncelemede*.

**Uluslararası bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitabında (*Proceedings*) basılan bildiriler**

Uyar, R. ve Erdogdu, F. “Use of 3-dimensional scanners with computational fluid dynamic programs for simulation of food processing operations”, The IFT Annual Meeting and Food Expo, New Orleans, LA. June 27 - July 2, (2008).

**Ulusal bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitabında (*Proceedings*) basılan bildiriler**

Uyar, R. ve Erdoğan, F., “3 boyutlu tarama sistemlerinin gıda prosesleri simülasyonunda kullanımı” *Bilimde Modern Yöntemler Sempozyumu-BMYS 2008*, (Eskişehir, 17-19 Ekim, 2008).

**PROJELER**

“3 Boyutlu tarama sistemlerinin hesaplamalı akışkanlar dinamiği programlarıyla birlikte gıda prosesleri simülasyonunda kullanımı”, TÜBİTAK Mühendislik Araştırma Grubu Projeleri, 107M217. Bursiyer, (2007-2008)