

**SIVI VE KATI-SIVI KARIŞIMLAR İÇEREN YATAY
KONSERVELEERDE ISI TRANSFERİNİN İKİ
BOYUTLU BENZETİMİ**

ZİYNET BOZ

**MERSİN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**GIDA MÜHENDİSLİĞİ
ANA BİLİM DALI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**MERSİN
NİSAN – 2012**

**SIVI VE KATI-SIVI KARIŞIMLAR İÇEREN YATAY
KONSERVELEERDE ISI TRANSFERİNİN İKİ
BOYUTLU BENZETİMİ**

ZİYNET BOZ

**MERSİN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**GIDA MÜHENDİSLİĞİ
ANA BİLİM DALI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Danışman
Prof. Dr. Ferruh ERDOĞDU**

**MERSİN
NİSAN – 2012**

Ziynet BOZ tarafından Prof. Dr. Ferruh ERDOĞDU danışmanlığında "Sıvı ve Katı-Sıvı Karışımlar İçeren Yatay Konservelerde Isı Transferinin İki Boyutlu Benzetimi" başlıklı bu çalışma aşağıda imzaları bulunan jüri üyeleri tarafından oy birliği/~~çokluğu~~ ile Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

İmza

Prof. Dr. Ali Rıza TEKİN

Prof. Dr. Ferruh ERDOĞDU

Doç.Dr. T. Koray PALAZOĞLU



Yukarıdaki Jüri kararı Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 04.09.2012 tarih ve 2012.16.1.4.33.. sayılı kararıyla onaylanmıştır.


Prof. Dr. A. Murat GİZİR
Enstitü Müdürü


Bu tezde kullanılan özgün bilgiler, şekil, çizelge ve fotoğraflardan kaynak göstermeden alıntı yapmak 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu hükümlerine tabidir.

SIVI VE KATI-SIVI KARIŞIMLAR İÇEREN YATAY KONSERVELEERDE ISI TRANSFERİNİN İKİ BOYUTLU BENZETİMİ

Ziynet BOZ

ÖZ

Konserve gıdalarda ısı işlemlerin yeterliliğinin test edilmesinde simülasyonların kullanımı tercih edilen bir yöntem olup, simülasyonlar proses optimizasyonunda da önemli rol oynamaktadırlar. Proses optimizasyonunun yapılabilmesi için öncelikle ürün içerisindeki sıcaklık dağılımını ve buna bağlı olarak mikrobiyal ve kaliteyle ilgili parametrelerdeki değişimi belirleyen bir matematik modele ihtiyaç duyulmaktadır. Bunun dışında bu modelin hesaplamaları kısa sürede tamamlaması gerekmektedir ki kondüksiyonla ısınan ve sadece enerji denkleğinin kullanıldığı hesaplamalarda bile optimizasyon süreleri uzun olabilmektedir. Süreklilik, enerji ve momentum denkleğlerinin çözümünün gerektiği konveksiyonla ısınan gıdalarda yapılan matematiksel optimizasyon çalışmalarına ise hesaplama süresinden dolayı halen rastlanmamaktadır.

Dikey konservelelerde eksensel simetri yaklaşımının kullanılabilmesi 2 boyutlu çözümlerin yapılabilmesine olanak sağlamakta ve simülasyon süreleri kısaltılabilmektedir. Ancak sıvı ürünler içeren yatay konservelelerde dikey yöndeki doğal konveksiyonun etkisi nedeni ile bu yaklaşım yapılamamaktadır. Yatay yöndeki doğal konveksiyon etkisinin dikey yöndeki doğal konveksiyon etkisine göre ihmal edilebileceği gözönüne alınırsa sıvı ürün içeren yatay konservelelerde de, eksensel simetri yaklaşımına gerek duyulmadan, 2 boyutlu yaklaşımların kullanılabilceği fikri ortaya çıkmaktadır. Bu kapsamda bu çalışmanın amacı sıvı veya katı-sıvı karışımlarından oluşan yatay konservelelerde ısı transferinin simülasyonu için 2 boyutlu yaklaşımların kullanılabilirliğini araştırarak simülasyon sonuçlarını deneysel olarak doğrulamak ve benzetimlerin başarısına etki eden faktörleri belirlemektir.

Simülasyonlar bölümünde süreklilik, enerji ve momentum denkleğleri, 2 ve 3 boyutlu olarak sıvı (su ve karboksimetil selüloz) ve katı-sıvı karışımlar (su-bezelye) içeren yatay konserve sistemlerde Ansys CFX programı kullanılarak çözülmüş ve sonuçlar deneysel olarak doğrulanarak 2-boyutlu yaklaşımların kullanılabilceği belirlenmiştir. Sıvı veya katı-sıvı ürünler içeren yatay konservelelerde ısı transferi benzetimlerinde hesaplama zamanını azaltma yönünde olan bu çalışmanın tamamlanması, simülasyon programlarının optimizasyon algoritmalarının da bu hesaplamalarla kombine olarak kullanılabilmesini sağlayacak ve literatürde halen hiç yapılmamış olan bu tür çalışmaların (literatürde bu konuda yapılan çalışmalar genelde kondüksiyon ile ısınan ürünler temelinde ve diğer ürünler içinse genel varsayımlar kullanılarak uygulanmaktadır) yapılmasına da bir temel teşkil edecektir.

Anahtar Kelimeler: konserveleme, simülasyon, ısı transferi, doğal konveksiyon

Danışman: Prof. Dr. Ferruh ERDOĞDU, Mersin Üniversitesi, Gıda Mühendisliği Ana Bilim Dalı

TWO DIMENSIONAL SIMULATION HEAT TRANSFER IN HORIZONTAL CANS CONTAINING LIQUID AND SOLID-LIQUID MIXTURES

Ziynet BOZ

ABSTRACT

Mathematical simulations are preferred for testing the efficiency of thermal processing during canning, and they are also known to play a significant role in process optimization. To carry out the related calculations, a mathematical model is required first to determine the temperature distribution inside the product and then to calculate the inactivation in microbial load and quality parameters. In addition, a faster solution is necessary for design and optimization of thermal processes. Use of axi-symmetric approach in vertical cans leads to apply 2 dimensional (2D) models resulting in rather short computational times. However, in horizontal cans, this approach is not possible due to the effect of natural convection in the radial direction. However, it would be possible to use 2D approaches in the horizontal cans without applying the axi-symmetric approach by neglecting the effect of natural convection in the horizontal direction. Therefore, the objective of this study is to simulate the heat transfer in horizontal cans containing liquid or solid-liquid mixtures and validate the simulation results with experimental results to demonstrate the use of 2D approaches.

To demonstrate the use of 2D approaches in horizontal cans, experimental temperature measurements were performed to determine the effect of radial heat transfer, 2D CFD simulations were then carried out using Ansys CFX in a 2D circular cross-section of a can containing water, pea-water mixture and sodium carboxy-methyl cellulose (CMC). Experimentally obtained temperature distribution results were compared with simulation results for validation of the simulation models.

With the completion of this study, optimization algorithms of the simulation programs will be used in combination with the simulation studies since the computation times will be reduced with the use of 2D approximations. This study is expected not only to be a significant contribution to the literature but also to form the fundamentals of an optimization study for convection-heated canned foods.

Keywords: Heat transfer, Computational Fluid Dynamics (CFD), canning, horizontal cans

Advisor: Prof. Dr. Ferruh ERDOĞDU, Department of Food Engineering, University of Mersin

TEŞEKKÜR

Tez çalışmalarımıdaki büyük emeklerinin yanında, her konuda beni en iyi şekilde yönlendirip yardımcı olan ve desteğini eksik etmeyen saygıdeğer danışman hocam Prof. Dr. Ferruh Erdoğan'ya ;

Tez çalışmalarımda kullanılan donanımların temin edilmesindeki katkılarından dolayı TÜBİTAK ve Mersin Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi (BAP)'ne;

Tez deneylerimdeki katkısından dolayı Rahmi Uyar'a;

Çalışmalarım boyunca yardımlarını ve güler yüzlerini eksik etmeyen Mersin Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümü öğretim üyeleri hocalarım ve çalışma arkadaşlarıma;

Her koşulda yanımda olup varlıklarını hissettiren sevgili dostlarım Esmâ Eser, Sadife Günar, Gamze Güçer ve Diler Tosunoğlu'na;

Tecrübelerini paylaşarak hayata bakış açıma sağladıkları katkılarıyla desteklerini esirgemeyen hocalarım Prof. Dr. H. İbrahim Ekiz ve Doç. Dr. Nüzhet Türker'e;

Teşekkürlerimi bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZ	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ÇİZELGELER DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
EKLER DİZİNİ	xiii
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMALARI	5
2.1.GIDA PROSESLERİNDE ISIL İŞLEMLER.....	5
2.2.KONSERVE ÜRETİMİ VE TARİHÇESİ.....	6
2.3.KONSERVELERDE ISIL İŞLEM HESAPLAMALARI	8
2.4.GIDA PROSESLERİNDE BİLGİSAYAR DESTEKLİ PROGRAMLARIN KULLANIMI	11
2.5.HESAPLAMALI AKIŞKANLAR DİNAMİĞİ (HAD).....	12
2.5.1. Problemin Tanımlanması ve Geometrinin Oluşturulması.....	14
2.5.2. Geometrinin Elementlerine Ayrılması.....	14
2.5.3. Başlangıç ve Sınır Koşulları.....	15
2.5.4. Çözümün Elde Edilmesi ve Sonuçların Görüntülenmesi.....	16
2.6.KONSERVE PROSESLERİNDE HAD’NİN KULLANIMI.....	17
3. MATERYAL ve YÖNTEM	25
3.1.DENEYSEL YÖNTEM.....	25
3.1.1. Saf Su Kullanılarak Yapılan Deneyler.....	25
3.1.1.1.Merkez Çizgisi Üzerinde Sıcaklık Ölçümleri.....	28
3.1.1.2.Merkez Çizgisinden Farklı Noktalarda Sıcaklık Ölçümleri.....	28
3.1.2. Su-Bezelye Karışımı Kullanılarak Yapılan Deneyler.....	31
3.2.SAYISAL BENZETİM.....	34

3.2.1. Saf Su Kullanılarak Yapılan Benzetimler.....	36
3.2.1.1.Geometrinin oluşturulması ve elementlere ayrılması.....	36
3.2.1.1.1. 2-Boyutlu geometrinin oluşturulması ve elementlere ayrılması....	36
3.2.1.1.2. 3-Boyutlu geometrinin oluşturulması ve elementlerine ayrılması..	40
3.2.1.2.Başlangıç ve sınır koşulları.....	43
3.2.1.3.Termal ve fiziksel özellikler.....	43
3.2.1.4.Modelin çözülmesi.....	44
3.2.2. Su- Bezelye Karışımı Kullanılarak Yapılan Benzetimler.....	45
3.2.2.1.Geometrinin oluşturulması ve elementlerine ayrılması.....	46
3.2.2.2.Başlangıç ve sınır koşulları.....	52
3.2.2.3.Termal ve fiziksel özellikler.....	52
3.2.2.4.Modelin Çözülmesi.....	52
3.2.3. CMC Modeli Benzetimleri.....	52
3.2.3.1.Geometrinin oluşturulması ve elementlerine ayrılması.....	53
3.2.3.2.Başlangıç ve Sınır Koşulları.....	53
3.2.3.3.Fiziksel ve Termal Özellikler.....	53
3.2.3.4.Modelin Çözülmesi.....	54
4. BULGULAR ve TARTIŞMA.....	55
4.1.İKİ BOYUTLU YAKLAŞIMIN KULLANILABİLİRLİĞİ.....	56
4.2.SU İLE YAPILAN İKİ BOYUTLU BENZETİMLER.....	56
4.2.1. Benzetimler için Uygun Parametrelerin Belirlenmesi.....	57
4.2.1.1.Çözüm yöntemi.....	58
4.2.1.2.Element sayısı ve dağılımı.....	61
4.2.1.3.Zaman aralığı.....	65
4.2.1.4.Sıcaklığa bağlı termofiziksel özelliklerin kullanımı.....	70
4.2.2. İki Boyutlu Benzetim Sonuçlarının Doğrulanması	73
4.2.3. İki Boyutlu Benzetim Sonuçları.....	75
4.3.SU İLE YAPILAN ÜÇ BOYUTLU BENZETİMLER.....	81
4.3.1. Üç Boyutlu Benzetimlerin Yapılması	81
4.3.2. Üç Boyutlu Benzetim Sonuçlarının Doğrulanması.....	89
4.4.BEZELYE-SU KARIŞIMI İLE YAPILAN BENZETİMLER.....	92
4.4.1. İki Boyutlu Yaklaşımların Doğrulanması.....	92
4.4.2. Benzetim Sonuçlarının Elde Edilmesi ve Doğrulanması.....	94
4.5.CMC İLE YAPILAN BENZETİMLER.....	106
4.5.1. 3 Boyutlu Benzetimler.....	107
4.5.2. İki Boyutlu Benzetimler... ..	110
4.5.2.1.Düğüm Noktası Sayısı ve Dağılımı.....	110

4.5.2.2.Zaman Aralığı.....	113
4.5.2.3.Sıcaklığa bağlı termal ve fiziksel özelliklerin kullanımı	116
4.5.2.4.Çözümün elde edilmesi ve sonuçların değerlendirilmesi.....	117
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	125
6.KAYNAKLAR.....	127
7. EKLER.....	134
8. ÖZGEÇMİŞ.....	141

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 3.1. Saf suyun sabit kabul edilen fiziksel ve termal özellikleri.....	44
Çizelge 3.2.Saf suyun ısı iletkenlik katsayısı, ısı kapasitesi ve dinamik viskozitesinin sıcaklığın fonksiyonu olarak kullanılabilmesi amacıyla hazırlanan polinom denklemler.....	44
Çizelge 3.3. Benzetimlerde kullanılan bezelyelerin ısısal ve fiziksel özellikleri... 52	
Çizelge 3.4. Gıda örneğini temsil etmesi için benzetimlerde kullanılan modelin (sodyum karboksil metil selüloz) termal ve fiziksel özellikleri.....	54
Çizelge 3.5. CMC örneğinin sabit ve sıcaklığa bağlı (polinom) viskozite.....	54
Çizelge 4.1. 1866 düğüm noktasına sahip modelin farklı çözüm yöntemleri ve zaman adımları ile elde edilen KOH değerleri.....	59
Çizelge 4.2. Su modeli ile yapılan 3-boyutlu benzetimlerde x,y,z yönündeki hız bileşenlerinin tüm geometri için farklı proses sürelerindeki ortalama değerleri ..	87
Çizelge 4.3. Kısa konservede su modeli ile yapılan 3-boyutlu benzetimlerde x,y,z yönündeki hız bileşenlerinin tüm geometri için farklı proses sürelerindeki ortalama değerleri.....	89
Çizelge 4.4. CMC modeli ile yapılan 3-boyutlu benzetimlerde x,y,z yönündeki hız bileşenlerinin tüm geometri için farklı proses sürelerindeki ortalama değerleri.....	109

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Konserve üretimi akım şeması.....	8
Şekil 2.2. Konservelerde soğuk nokta/bölge'nin şematik gösterimi (a) kondüksiyonla ısınan katı ürün içeren konserveler, (b) konveksiyonla ısınan sıvı ürün içeren konserveler.....	9
Şekil 2.3. Eksensel simetri yaklaşımı uygulanan sıvı ürün içeren dikey konservede sıcaklık dağılımı ve ayna görüntüsü.....	21
Şekil 2.4. Eksensel simetri yaklaşımı uygulanan yatay konumlandırılmış sıvı ürün içeren konservede elde edilen sıcaklık dağılımı.....	22
Şekil 2.5. Konveksiyonla ısınan yatay konservedeki 2 boyutlu modelleme sonucu elde edilen sıcaklık dağılımı.....	23
Şekil 2.6. Yatay konservede radyal ve yatay yönlerin şematik gösterimi.....	23
Şekil 3.1. T tipi ısı çiftlerinin konserve kutusu içerisine yerleştirilmiş görünümü.	26
Şekil 3.2. Konserve kutularının hermetik olarak kapatılması için kullanılan kutu kapama makinesi (MAC 230, Umar Makine Sanayii).....	26
Şekil 3.3. Konservelere uygulanan ısı işlem için kullanılan otoklav sistemi (OMS Lab 20, Osmanlı Makine).....	27
Şekil 3.4. Konservelere yatay olarak ısı işlem uygulanması için oluşturulan deney düzeneği.....	27
Şekil 3.5. Merkez sıcaklık sıcaklık ölçümlerinin şematik gösterimi.....	29
Şekil 3.6. Model doğrulaması için merkez çizgisinden farklı noktalarda sıcaklık ölçüm noktalarının şematik gösterimi.....	30
Şekil 3.7. Bezelye modelinde bezelye içi sıcaklık ölçümü için; a) Hazırlanan konservenin iç görüntüsü, b) Sıcaklık ölçüm noktalarının şematik gösterimi.....	32
Şekil 3.8. Su-bezelye yatay konserve modelinde farklı noktalarda su sıcaklık değişimlerinin belirlenmesi amacıyla yapılan deneylerin şematik gösterimi.....	33
Şekil 3.9. Bezelye modelinde benzetim sonuçlarının doğrulanması için yapılan sıcaklık ölçümlerinin şematik gösterimi.....	33
Şekil 3.10. Farklı düğüm noktası sayısına sahip ağ yapılarının gösterimi.....	38
Şekil 3.11. Üç boyutlu hazırlanan modellerde ağ yapılarının görünümü.....	42

Şekil 3.12. Konserve geometrisi içerisine yerleştirilecek 3.825 mm yarıçapa sahip dairesel geometrilerin görünümü.....	47
Şekil 3.13. 3.825 mm yarıçapa sahip bezelye benzetimlerinde kullanılan yüzeyde yoğunlaştırma yapılmamış element yapısı (68158 düğüm noktası).....	49
Şekil 3.14. 3.825 mm yarıçapa sahip bezelye benzetimlerinde kullanılan yüzeyde yoğunlaştırma yapılmış element yapısı (59442 düğüm noktası).....	49
Şekil 3.15. Merkezde dolgu sıvısı sıcaklık değişimlerinin benzetimi için hazırlanan ağ yapısı (62718 düğüm noktası).....	51
Şekil 4.1. Konserve merkez (0,0) ve merkezi ile konserve kapağının orta noktası (27.5,0) deneysel sıcaklık değişimlerinin karşılaştırılması.....	57
Şekil 4.2. 1866 düğüm sayısı ve 0.1 s zaman aralığına sahip modelde farklı çözüm yöntemleri ile elde edilen sıcaklık değişimleri.....	59
Şekil 4.3 1866 düğüm sayısı ve 0.01 s zaman aralığına sahip modelde farklı çözüm yöntemleri ile elde edilen sıcaklık değişimleri.....	60
Şekil 4.4. 1866 düğüm sayısı ve 0.0001 s zaman aralığına sahip modelde farklı çözüm yöntemleri ile elde edilen sıcaklık değişimleri.....	60
Şekil 4.5. iki boyutlu benzetimler için farklı sayılarda hazırlanan; (a)946 (b) 1866 (c) 6436 (d) 16458 (e) 29882 düğüm noktalı ağ yapıları.....	62
Şekil 4.6. Farklı düğüm noktası değerleri ile yürütülen benzetimlerde elde edilen merkez sıcaklık değişimlerinin aynı zaman aralığı değerlerinde karşılaştırılması.....	64
Şekil 4.7. Farklı zaman aralığı değerleri ile yürütülen benzetimlerden elde edilen sıcaklık değişimlerinin aynı düğüm noktası sayısı değerlerinde karşılaştırılması.....	67
Şekil 4.8. 0.01 s zaman aralığına sahip modelde sabit ve sıcaklığa bağlı değişkenler kullanılmasıyla birlikte düğüm sayılarına göre elde edilen sıcaklık değişimleri	71
Şekil 4.9. Simülasyon sonuçları ile deney sonuçlarının merkez noktası için karşılaştırılması.....	74
Şekil 4.10. Simülasyon sonuçları ile deney sonuçlarının merkez çizgisi üzerinde merkezden 13 mm yukarısı için.....	74

Şekil 4.11. Simülasyon sonuçları ile deney sonuçlarının merkez çizgisi üzerinde merkezden 13.5 mm sağında yapılan deney sonuçları ile benzetim sonuçlarının karşılaştırılması.....	75
Şekil 4.12. 1866 düğüm noktalı ağ yapısı ve 0.01 s zaman adımı kullanılarak tamamlanan 2-boyutlu benzetim çalışmasının; (a)15 (b)30 (c)60 (d)90. saniyesinde elde edilen sıcaklık profilleri.....	76
Şekil 4.13. 1866 düğüm noktalı ağ yapısı ve 0.01 s zaman adımı kullanılarak tamamlanan 2-boyutlu benzetim çalışmasının; (a)15 (b)30 (c)60 (d) 90 saniyesinde elde edilen hız profilleri.....	79
Şekil 4.14. 3-boyutlu konserve geometrisinde prosesin 30. saniyesinde, radyal yöndeki farklı düzlemlerde sıcaklık dağılımı.....	82
Şekil 4.15. 3-boyutlu konservede yatay yöndeki farklı düzlemlerde merkez çizgisi üzerinde ve merkez çizgisi dışında proses zamanına bağlı benzetim sonuçları.....	83
Şekil 4.16. Radyal ve yatay yönde prosesin 30. saniyesinde sıcaklık profilinde meydana gelen değişimlerin gösterimi.....	86
Şekil 4.17. Radyal ve yatay yönde prosesin 30. saniyesinde hız profilinde meydana gelen değişimlerin gösterimi.....	87
Şekil 4.18. Kısa konservede radyal ve yatay orta düzlemlerde prosesin 30. saniyesindeki sıcaklık ve hız profillerinin gösterimi.....	88
Şekil 4.19. Üç boyutlu konservede merkez noktasında (0,0) yapılan deneysel sıcaklık ölçümleri sonuçları ile üç boyutlu benzetim sonuçlarının karşılaştırılması.....	90
Şekil 4.20. Üç boyutlu konservede merkez çizgisi üzerinde yüzey-merkez orta ara düzleminde (0,0.0275) yapılan deneysel sıcaklık ölçümleri sonuçları ile üç boyutlu benzetim sonuçlarının karşılaştırılması.....	90
Şekil 4.21. Üç ve iki boyutlu modelde prosesin 30. saniyesinde orta ara düzlemde 30. Saniyedeki sıcaklık dağılımları.....	91
Şekil 4.22. Bezelye dolu yatay konservede deneysel dolgu sıvısı sıcaklık ölçümlerinin karşılaştırılması.....	93
Şekil 4.23. Yatay bezelye konservesinde konserve merkezi(0,0) ve konserve merkezi ile kapak orta noktası (27.5,0) noktalarından bulunan bezelyelerin deneysel merkez sıcaklık ölçümlerinin karşılaştırılması.....	93
Şekil 4.24. Bezelye-su modelinde merkezde bulunan bezelyenin orta noktasındaki sıcaklık değişiminin benzetim ve deney sonuçları.....	95

Şekil 4.25. Literatürde farklı gıda örneklerinin benzetimi sonucu elde edilen sıcaklık değerlerinin deneysel veriler ile karşılaştırılması.....	96
Şekil 4.26. Bezelye modeli ile yapılan benzetimlerdeki sıcaklık profilleri.....	97
Şekil 4.27. Bezelye modeli ile yapılan benzetimlerdeki hız profilleri.....	100
Şekil 4.28. (a)3.825 mm yarıçapa sahip bezelyelerden oluşan sistemde merkezdeki bezelyenin farklı noktalarındaki sıcaklık değişimlerinin gösterilmesi.....	104
Şekil 4.29. Bezelye-su karışımından oluşan iki boyutlu modelde merkezde deneysel dolgu sıvısı sıcaklık değişimlerinin, benzetim sonuçları ile karşılaştırılması.....	106
Şekil 4.30. 3-Boyutlu CMC ile yapılan benzetimlerde ,elde edilen sıcaklık değişimleri.....	107
Şekil 4.31. 3-Boyutlu CMC ile yapılan benzetimlerde prosesin 30. saniyesinde elde edilen hız profilleri.....	108
Şekil 4.32. CMC modeli için 3-boyutlu konserve geometrisinde, prosesin. 30. saniyesinde, radyal yöndeki farklı düzlemlerde sıcaklık dağılımlarının görünümü.....	109
Şekil 4.33.CMC modeli ile yürütülen 3 boyutlu benzetimlerde radyal yönde kapak yönünden farklı uzaklıklarda elde edilen alan ortalama sıcaklık değişimleri.....	110
Şekil 4.34. CMC ile yapılan iki boyutlu benzetimlerde farklı düğüm noktası ve farklı zaman aralığı değerlerinde elde edilen alan ortalama sıcaklıklarının üç boyutlu modelde elde edilen alan ortalaması sıcaklık sonuçları ile karşılaştırılması.....	111
Şekil 4. 35. CMC modelinde yapılan iki boyutlu benzetimlerde 0.1, 0.01 ve 0.0001 saniye zaman aralığı değerinde farklı düğüm sayılarında elde edilen sıcaklık değişimleri.....	113
Şekil 4.36. CMC ile yapılan 2-boyutlu benzetimlerde 0.01 saniye zaman aralığı değerinde farklı düğüm noktası değerlerinde viskozitenin sabit ya da sıcaklığa bağlı kullanılması durumunda benzetimlerden elde edilen merkez sıcaklık değişimlerinin gösterimi.....	116
Şekil 4.37. İki ve üç boyutlu yürütülen CMC benzetimlerinde prosesin farklı sürelerdeki sıcaklık dağılımı.....	117
Şekil 4.38. 2-Boyutlu CMC modeli ile yapılan benzetimlerde (1866, 0.01 s) elde edilen yatışkın olmayan sıcaklık profillerinin gösterimi.....	118

Şekil 4.39. 2-Boyutlu CMC modeli ile yapılan benzetimlerde elde edilen yatışkın olmayan hız profillerinin gösterimi.....	122
--	-----

EKLER DİZİNİ

Sayfa

EK 1. Çizelge Farklı düğüm sayılarına göre Upwind Advection Scheme çözüm yöntemi ile elde edilen farklı zaman adımlarındaki KOH değerleri.....	134
EK 2. Su Modeli ile Yapılan İki Boyutlu Benzetimlerde Sıcaklığa Bağlı Termofiziksel Özellikler Kullanılması ile Elde Edilen Benzetim Sonuçları ile Deneysel Sıcaklık Ölçümlerinin Karşılaştırılması.....	135

1. GİRİŞ

Gıdaların besin değerlerinin korunarak uzun süre dayandırılması toplumların eski çağlardan beri uğraşlarından birisidir. Tuzlama, kurutma ve dumanlama işlemlerinin koruyucu özelliğini keşfeden insanlar; uzun yıllar gıdalarını saklamak için bu yöntemleri kullanmış, daha sonra ısı uygulamasının gıdaların raf ömrünü arttırdığını görmüşlerdir. N. Appert'in 1811'de yaptığı çalışma ile büyük bir sanayinin temelleri atılmış ve gelişerek günümüze kadar taşınmıştır.

Günümüzde ise dünyadaki artan nüfus ve şehirleşme oranı ile besin değeri yüksek olan, güvenli gıdalara olan gereksinim daha da artmıştır. Tüketimi kolay ve hazırlaması zaman almayan hazır gıdaların yaygınlaşması; konservelerin uzun raf ömrü, hazırlama kolaylığı ve düşük maliyetleri ile tüketicilerin sıklıkla tercih ettiği gıdalardan biri haline gelmesini sağlamıştır. Taze meyve sebze bulunabilirliğinin fazla olması ve tüketim alışkanlıkları dünyadaki tüketimi kişi başına 20 kg olan konservenin, Türkiye'de 1 kg seviyesinde kalmasına neden olmaktadır [Gözügül, 2006]. Ancak artan şehirleşme oranı ve hazır gıda ürünlerine olan talebin artmasıyla bu miktar yükselmektedir.

Konserveleme, gıdaların uzun süre dayandırılmasını sağlamakla birlikte ürün tat, renk ve besinsel bileşiminde azalmalara neden olmaktadır. Bu nedenle klasik konserve üretimine alternatif aseptik teknoloji, ohmik ısıtma, radyo frekans gibi gıdanın özelliğini koruyucu prosesler geliştirilmiştir. Bu prosesler her ne kadar tüketiciye besin ve kalite açısından daha kabul edilebilir ürünler sunsa da ilk kurulum maliyetinin yüksekliği ve sanayileşmenin az olması gibi nedenlerle konserveleme hala en ekonomik olan ve en yaygın kullanılan yöntem olmaya devam etmektedir.

Konserve üretiminde kullanılan ısı işlem normlarının belirlenmesinde gıdaların yapısı, asitlik derecesi ve ısı işlemlerin uygulanabilirliği göz önünde bulundurulmaktadır. Her hangi bir gıdaya uygulanması gereken ısı işleminin sıcaklık ve süresi, ürünlerdeki en yavaş ısınan bölgenin sterilizasyon değerine ulaşma süresi ile hesaplanmaktadır. Önceleri; uygulanan sıcaklığın yeterliliği sıcaklık ölçümleri ve

zahmetli mikrobiyolojik analizlerle test edilmektedirken, bunların yerini zamanla matematiksel modeller almıştır. Genel yöntem olarak adlandırılan ilk yöntem D. Bigelow tarafından geliştirilmiş olup üründe bulunan mikroorganizmaların ısı etkisiyle azalışlarının logaritmik olduğunu önermektedir. Bu yöntem zamanla grafiksel formlarla ortaya çıkmakla birlikte mikroorganizma ısıl direnci ve ölüm süresi gibi dizi hesaplamayı içermektedir.

Konserveler uygulanan ısıl işlemler sırasında, ısı transferi domates salçası, balık konservesi vb. gibi katı gıdalarda kondüksiyon ile olurken çorba, salata sosu gibi ürünlerde konveksiyonla; bezelye, nohut gibi katı parçacıklar içeren konservelerde ise kondüksiyon ve konveksiyonun birleşimi olan bir mekanizma ile olmaktadır.

Gıda ürünlerini hedef mikroorganizma ve sporlarından arındırmak için yapılan ısıl işlem sırasında ısının ürünün soğuk noktasına yeterli olarak iletildiğinden emin olmak için ürün içi sıcaklık dağılımının belirlenmesi gerekmekte, bunun içinse ısıl çiftler kullanılmaktadır. Elde edilen sıcaklık-zaman verileri matematiksel modellerde kullanılarak sterilizasyonun yeterliliği test edilmektedir. Ancak soğuk nokta sıcaklığı ve yerinin belirlenmesi ısıtma ortamı ve konservenin özelliklerine bağlıdır. Proses ve ürün özelliklerindeki olası değişiklikler nedeniyle ürün içi sıcaklık profilinin belirlenmesi karmaşık olabilmektedir. Sıcaklık dağılımının belirlenebilmesi için ürüne transfer olan ısı miktarı bilinmelidir. Kondüksiyonun aksine, konveksiyon mekanizması analitik denklemlerle çözülememekte bu nedenle soğuk nokta yeri ve büyüklüğü kolay bir şekilde belirlenmemektedir [Datta ve Teixeira,1988].

Son yıllarda gelişen bilgisayar teknolojisi ve azalan maliyetleri ile bilgisayar destekli benzetim programları, içerisinde gıda teknolojisinin de bulunduğu pek çok alanda yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Kurutma, ısıl işlem ve soğutma gibi proseslerin detaylı incelenebilmesi için kullanılan benzetim programları karmaşık, zaman alan ve maliyetli deneysel ölçüm ve hesaplamaların yerine kullanışlı bir alternatif olarak ortaya çıkmaktadır. Konserve içi sıcaklık dağılımı ve ısıl işlem

yeterliliğinin belirlenmesinde de kullanılmakta olan bu programlar değişen ürün özellikleri ve proses koşullarındaki sapmaların da hesaplamalara dahil edilebilmesine olanak sağlamaktadır. Bu şekilde elde edilen sıcaklık - süre değerleri matematiksel modellerde kullanılarak ısı işlem proseslerinin optimizasyonunda kullanılmaktadır. Konservelerde gıdalarda ısı işlemlerinin yeterliliğinin test edilmesinde simülasyonların kullanımı tercih edilen bir yöntem olup simülasyonlar proses optimizasyonunda da önemli rol oynamaktadırlar. Proses optimizasyonunun yapılabilmesi için öncelikle ürün içerisinde sıcaklık dağılımını ve buna bağlı olarak mikrobiyoloji ve kalite parametrelerindeki değişimi belirleyen bir matematiksel modele ihtiyaç duyulmaktadır. Bunun dışında bu modelin hızlı bir şekilde çalışması ve hesaplamaları kısa sürede tamamlaması gerekmektedir. Yalnızca enerji denkliliğinin çözümünün gerektiği konveksiyon problemlerinin matematiksel optimizasyonu oldukça zaman alabilmekte iken; enerji, süreklilik ve momentum denkliklerinin çözülmesi gereken konveksiyon problemlerinde bu süre çok daha uzun olmaktadır. Bu nedenle konveksiyon ile ısı transferinin gerçekleştiği gıdalar ve prosesleri için optimizasyon çalışmalarına literatürde halen rastlanmamaktadır.

Dikey konservelerde yapılan matematiksel model temelli benzetim çalışmalarında, üç boyutlu modelleme yerine çözümlenme süresini kısaltan ve hesaplamaları kolaylaştıran iki boyutlu eksensel simetri yaklaşımının kullanılması yaygındır. Ancak yatay konservelerde radyal yöndeki ($g_y=9.81 \text{ m/s}^2$) doğal konveksiyonun etkisi nedeni ile bu yaklaşım yapılamamaktadır. Doğal konveksiyon mekanizmasına bağlı olarak ısı sıvının yukarı yöndeki hareketi ile transfer olmaktadır. Bu mekanizmanın sonucu oluşan konveksiyona özgü dolaşım hareketi ile birlikte soğuk nokta tabana doğru kaymaktadır. Bu nedenle sıvı ürün içeren yatay konservelerde eksensel simetri yaklaşımının kullanımı mümkün olmamaktadır. Literatürde ise yatay konserveler için iki boyutlu yaklaşımların kullanılamayacağı ve çözümlerin üç boyutlu olarak yapılması gerektiği belirtilmektedir (Abdul Ghani ve ark., 2002). Ancak çözümü oldukça zaman alan üç boyutlu modellerin, hızlı çözümlenmesi istenen optimizasyon çalışmasında kullanılması pratikte mümkün olmamakla birlikte yatay yöndeki konveksiyonun etkisinin, dikey yöne göre ($g_y=9.81 \text{ m/s}^2$) ihmal edilmesiyse iki boyutlu yaklaşımların kullanılabileceği fikri

ortaya çıkmaktadır. Böylece eksensel simetri yaklaşımına gerek duyulmadan, dairesel bir konserve kesitinde iki boyutlu çözümler yapılabilecek ve çözümleme süreleri kısaltılabilecektir.

Bu kapsamda bu tez çalışmasının amacı sıvı veya katı-sıvı karışımlarından (konveksiyonla ısınan) oluşan yatay konservelerde ısı transferinin simülasyonu için 2 boyutlu yaklaşımların kullanılabilirliğini araştırarak simülasyon sonuçlarını deneysel olarak doğrulamaktır. Bu kapsamda yatay olarak konumlandırılmış konserve benzetim çalışmaları için metod deneysel ve simülasyon çalışmaları olmak üzere iki bölüme ayrılmıştır. Simülasyonlarda süreklilik, enerji ve momentum denklemleri, 2 ve 3 boyutlu sıvı (su ve sodyum-karboksi metil selüloz - CMC) ve katı-sıvı karışımlar (su - bezelye) içeren yatay konservelerde Ansys CFX programı kullanılarak çözülmüştür. Deney aşamasında ise konserve kutuları su ve su - bezelye karışımı ile doldurulduktan sonra ısı çiftleri uygun yerlere yerleştirilip, kutu kapama makinasında kapatıldıktan sonra otoklavda ısı işlemleri gerçekleştirilmiş ve sıcaklık verileri elde edilmiştir. Daha sonra, simülasyon sonuçlarının doğrulanması amacıyla deneysel sıcaklık değişimleri ile simülasyon sonuçları karşılaştırılmış ve modellerin doğrulanması ile benzetim aşamasında modelin başarısına etki eden fiziksel ve matematiksel faktörler tartışılmıştır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMALARI

2.1.GIDA PROSESLERİNDE ISIL İŞLEMLER

Isıl işlemler, uzun yıllardan beri gıda proseslerinde uygulanan en yaygın koruma teknolojilerden birisidir [May, 2000]. Gıdaların korunması için ısıl olmayan teknolojiler geliştirilmiş olsa da, ısıl işlemler gıda ürünlerinin kalite ve güvenliğini korumak için hala en çok tercih edilen yöntemdir [Jagannath vd., 2005]. Belirli sıcaklık ve sürelerde uygulanan ısıl işlemler, yalnızca gıda içerisinde bulunabilen patojen mikroorganizmaları inaktif hale getirmek veya üründe bozulmaya neden olan mikroorganizma sayısını belirli bir seviyeye düşürmek için değil; aynı zamanda ürün kalitesini olumsuz yönde etkileyebilecek çeşitli enzimleri inaktif etmek amacıyla da kullanılmaktadır [Larousse ve Brown, 1997].

Isıl işlemler, uygulama sıcaklıklarına göre pastörizasyon ve sterilizasyon olarak ikiye ayrılmakta, uygulanacak işlem ise genel anlamda gıdanın asitlik derecesine bağlı olarak belirlenmektedir. pH'sı 4.6'dan düşük olan gıdalara (domates, elma, armut, vb.) 100 °C'nin altında uygulanan ısıl işleme pastörizasyon, pH'sı 4.6'dan yüksek olan gıdalara (bezelye, et, balık, vb.) 100 °C'nin üzerinde uygulanan ısıl işleme ise sterilizasyon adı verilmektedir. Bir ortamdaki tüm mikroorganizmalar ve sporlar, ürün boyutuna bağlı olarak, 121°C'de en az 15 dakika uygulanan ısıl işlem ile yok edilebilmekte ve bu işlem mutlak sterilizasyon olarak adlandırılmaktadır. Ancak mutlak sterilizasyon işlemi yüksek sıcaklıkta uzun süre uygulandığı için gıdanın renk, tekstür, lezzet gibi kalite özelliklerini olumsuz etkileyebilecek değişikliklere neden olmaktadır. Ayrıca çoğu gıdanın güvenli ve kaliteli olarak adlandırılabilmesi için bütün mikroorganizmaların tamamından arındırılmış olması gerekmektedir. Bu da ticari sterilizasyon kavramını ortaya çıkarmıştır [Marwaha, 2010]. Ticari sterilizasyon gıda kodeksinde; "Gıdaları; soğutma yapılmayan normal saklama koşullarında gelişebilecek mikroorganizmalardan arındırmak için uygulanan ısıl işlem" olarak tanımlanmıştır [Codex Alimentarius, 1979].

Gıda ürünlerinin güvenliğini sağlamak ve raf ömrünü uzatmak için kullanılan pastörizasyon ve sterilizasyon işlemleri; ürün özelliğine bağlı olarak ambalajlamadan önce yapılabildiği gibi (aseptik yöntem), hazırlanan gıdanın uygun bir kaba dolumundan sonra ambalajda da uygulanabilmektedir (konserve teknolojisi) [Larousse ve Brown, 1997]. Aseptik teknolojide gıdalar, 130-150 °C arasında birkaç saniye ısı işleme maruz bırakıldıktan sonra steril bir ortamda uygun steril ambalajlara doldurulmakta; ambalajda sterilizasyonda (genellikle konserve prosesi) ise çeşitli ön işlemlerle hazırlanan gıda ürününün uygun bir ambalaja (cam, metal, çeşitli plastik kaplar) dolumu yapıldıktan sonra kutu, hermetik olarak kapatılmakta ve sterilizasyonu yapılmaktadır [Verboven vd., 2004]. Konserve üretimi ve diğer benzeri kesikli sistemlerde istenilen sterilizasyon sıcaklığına ulaşma süresi; kutu boyutu, ürün yapısı gibi etkenlerden dolayı uzun olduğu için, karamelize tat ve zayıf renk gibi durumlar bu tür sistemlerin yerine aseptik teknoloji gibi sürekli sistemlerin ortaya çıkmasına neden olmuştur. Konservenin icadından yaklaşık 150 yıl sonra kullanılmaya başlanan aseptik teknolojinin [Tetrapak]; daha iyi son ürün elde edilmesi, otomasyon, yüksek sıcaklıklarda kısa süreli ısı işlem, düşük ambalaj ağırlığına karşın büyük ambalaj kullanabilme olanağı, enerji verimliliği, yeniden işlenebilirlik gibi özellikleri konserve üretimine alternatif olmasını sağlamıştır [Sandeep vd., 2004]. Mikrodalga, ohmik ısıtma, infrared ısıtma ve radyo frekans gibi yeni ve ürün kalitesini koruyucu prosesler de klasik konserve teknolojisine karşı farklı bir seçenek olarak ortaya çıkmıştır. Ancak ucuz ambalaj, düşük kurulum maliyeti, yaygın sanayileşme gibi özellikleri konserve teknolojisinin yaygın bir metot olarak hala en çok tercih edilen yöntem olarak kullanılmasını sağlamaktadır [Morgan vd., 2010].

2.2. KONSERVE ÜRETİMİ VE TARİHÇESİ

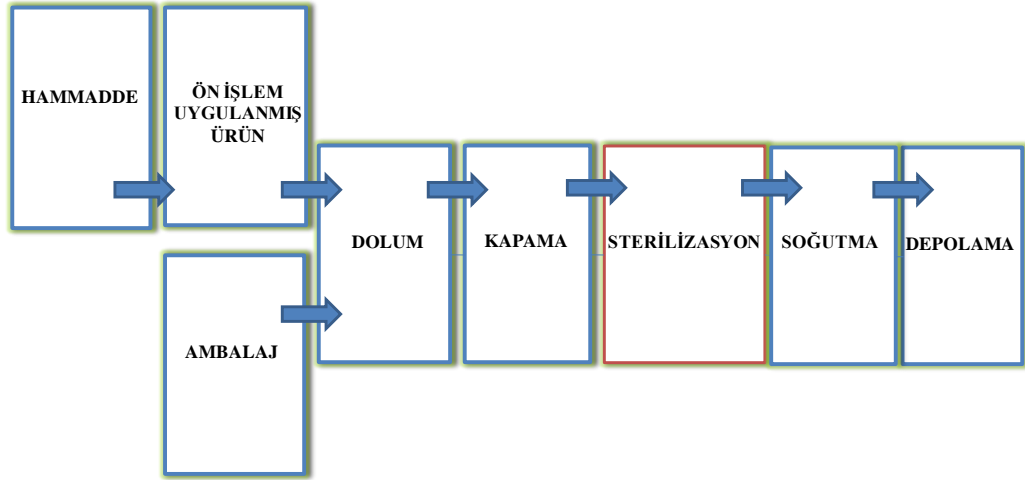
1809 yılında, uzun süre bozulmadan saklanabilen gıdalar elde edilmesi için Fransız hükümeti tarafından açılan bir yarışmaya katılan bira ve şekerleme üreticisi Nicolas Appert, cam kap içerisine koyduğu bazı gıdaları kaynar suda bekleterek bu şekilde 8 aydan daha uzun süre bozulmadan saklamayı başarmış ve yarışmayı kazanmıştır [Appert M., 1811]. Konserve teknolojisi, temeli N. Appert'in 1800'lü yılların

başında yaptığı bu çalışmaya dayanmasına rağmen; gıdaların işlenmesinde ve korunmasında günümüzde bile yaygın bir şekilde kullanılan, evrensel ve ekonomik bir yöntemdir [Weng, 2005]. Konserveler koruyucu katkı maddesi içermemekte ya da ürün özelliğine göre az miktarda içerebilmektedir. Genelde tüketime hazırdır ve yalnızca tekrardan ısıtılması yeterli olmaktadır. Isıl işlemle birlikte hermetik olarak kapatılmış ambalajı konserveye uzun bir raf ömrü kazandırmaktadır. Muhafaza edilmeleri için soğuk ortam koşullarında saklanmaları gerekmediğinden tüketiciye enerjiden tasarruf da sağlamaktadırlar [Larousse ve Brown, 1997]. Bu özellikleri konserve işleminin hala en yaygın kullanılan dayandırma yöntemlerinden biri olmasını sağlamaktadır. Konserve üretimi, sebzeler için en uygun işleme yöntemi olmakla birlikte bunu dondurma işlemi takip etmektedir. Meyveler için ise en uygun işleme yöntemi meyve suyu üretimi olup konserve üretimi ise ikinci sırada gelmektedir [USDA, 2008]. A.B.D.'de yıllık konserve satışı 6.4 milyar dolarlık bir değer sağlarken [USDA, 2008], Avrupa ülkelerinde yıllık konserve satışı 26 milyar adet üstündedir [Nicolai vd., 2000]. Türkiye'de ise konserveye işlenen meyve-sebze miktarı 2005 yılında 310 bin ton civarında olmuştur [Devlet Planlama Teşkilatı,2006].

Pek çok gıda ürünü konserveye işlenebilmekle birlikte, konserve üretimi genel olarak; hammadde hazırlanması, haşlama ve soğutma, konserve kaplarına dolgu sıvısı ile dolun, dolumu yapılan kapların havasının alınması, kapların hermetik olarak kapatılması, ısıl işlem uygulaması ve depolama aşamalarından oluşmaktadır [Cemeroğlu, 2003] . Şekil 2.1.'de konserve üretimi genel akım şeması gösterilmiştir.

Konserve üretim aşamaları arasında gıda güvenliğinin sağlandığı kritik nokta ısıl işlemdir. Konserve üretimi sırasında otoklavda gerçekleştirilen ısıl işlem en yaygın olarak üst kapaklı dikey kesikli otoklav sistemleri kullanılarak uygulanmaktadır. Ayrıca kesikli sistemler dairesel ya da dörtgensel kesitte yatay olarak da bulunabilmektedir. Ayrıca bazı otoklav sistemleri dönme hareketi özelliğine sahiptir [Holdsworth, 1997]. Otoklav sistemlerinde konservelerin konumu,

boyutu, dönme hareketinin bulunması ısı işlem parametrelerinin hesaplanmasında göz önünde bulundurulması gereken koşullardır.



Şekil 2.1. Konserve üretimi akım şeması.

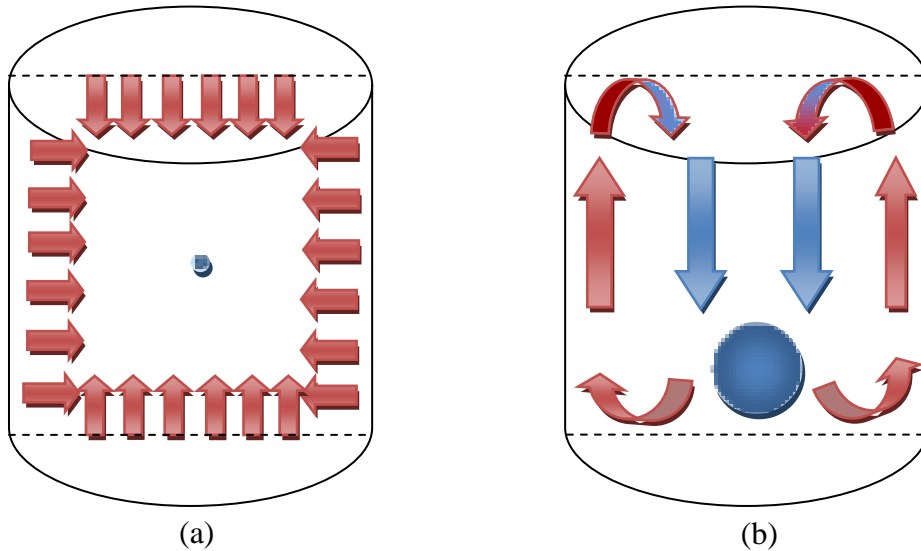
2.3.KONSERVELERDE ISIL İŞLEM HESAPLAMALARI

Mikrobiyolojik açıdan güvenli ve duyuşsal olarak kabul edilebilir bir konserve prosesinin tasarlanması ve uygulanması için konserve kutusu içerisindeki farklı konumlarda zamana göre değişen sıcaklık dağılımlarının matematiksel yöntemlerle belirlenmesi gerekmektedir. Bu ise ürün içerisinde ve ürün-ortam arasında olan ısı transfer mekanizmasının bilinmesi ile mümkün olmaktadır [Holdsworth, 1997].

Konserve teknolojisinde, ürün içerisindeki diğer bölgelere göre gerekli sterilizasyon sıcaklığına en son ulaşan ve dolayısıyla işlem hızını sınırlayan bölge soğuk nokta olarak tanımlanmaktadır [Varma ve Kannan, 2006]. Soğuk noktanın yeri konserve boyutu, içerisindeki ürünün özelliği, konserve şekli, konumu vb. ile değişmektedir. Bu kapsamda, mikroorganizma ve sporların yok edilebilmesi amacıyla tasarlanan ısı işlem uygulamasında ısının, en soğuk noktaya yeterli ölçüde iletildiği ve soğuk noktada ulaşılan sıcaklık değeri ile hedef mikroorganizma ve

sporların yok edildiği doğrulanmalıdır [Britt, 2008]. Bunun için de konserve iç ve dış ortamında gerçekleşen ısı transfer mekanizmaları aydınlatılmalıdır.

Isı, konservenin içeriğine göre; kondüksiyon, konveksiyon ve kondüksiyon-konveksiyon birleşimi olmak üzere 3 farklı mekanizma ile transfer olabilmektedir. Kondüksiyonda ısı, sıcaklığı yüksek olan ortamdaki düşük olan ortama kademeli olarak aktarıldığından sıcaklık belirli bir düzene göre değişmektedir. Bu durum ise daha çok katı ürünlerin bulunduğu konservelerde (ton balığı, konsantre meyve - sebze püreleri) geçerlidir [Larousse ve Brown, 1997]. Bu tür bir üründe soğuk nokta konservenin geometrik merkezinde olacaktır (Şekil 2.2a). Konveksiyonda ise, ısı akışkan hareketi ile transfer olduğundan bu mekanizma sıvı, sıvı ortamda asılı katı parçacık içeren karışımlar ve ısıl işlem sırasında yarı katı halden sıvı hale geçen (bazı yağlar ve nişasta jeli) ürünlerde baskındır. Konveksiyonla ısınan konservelerde sıvının hareketinden dolayı soğuk nokta tabana doğru kaymaktadır (Şekil 2.2b) [Britt, 2008]. Katı - sıvı karışımların bulunduğu konservelerde ise mekanizma hem kondüksiyon hem de konveksiyonu içerecek şekilde meydana gelmekte ve soğuk nokta konveksiyonla ısınan ürünlerde olduğu gibi konserve tabanına yakın bir bölgede yer almaktadır [Larousse ve Brown,1997]. Bu kapsamda, son iki durum için, "soğuk nokta" yerine "soğuk bölge" teriminin kullanılması daha uygun olmaktadır.



Şekil 2.2. Konservelerde soğuk nokta/bölge'nin şematik gösterimi (a) kondüksiyonla ısınan katı ürün içeren konserveler, (b) konveksiyonla ısınan sıvı ürün içeren konserveler.

Isıl işlem uygulanan herhangi bir üründe gerçekleşen ısı transfer mekanizması ve ürünün termofiziksel özellikleri biliniyorsa o ürünün soğuk nokta sıcaklığı hesaplanabilmekte ya da yaklaşık olarak belirlenebilmektedir. Aynı durum sürekli sistemlerde uygulanan ısı işlemler için de geçerlidir. Tutma tüpünün de dahil olduğu bir ısı değiştiricide bulunan bir ürünün akış rejimi, akış özellikleri ve termofiziksel özellikleri biliniyorsa o ürünün proses sırasındaki ortalama sıcaklığı ve alıkonma süresi belirlenebilmektedir. Ancak konserve proseslerinde, ürün hermetik olarak kapatılmış ambalajlarda steril edildiğinden sıcaklık profilinin doğru bir şekilde belirlenebilmesi konserve iç ve dış ortamlarında oluşabilecek homojensizlikler nedeniyle karmaşık olabilmektedir [Peleg, 2003].

Isıl işlemin mikroorganizmalar üzerine inhibe edici etkisinin soğuk noktadaki sıcaklık - süre verilerinin kullanılarak hesaplandığı "Genel yöntem" ilk olarak 20. yy başlarında Bigelow tarafından geliştirilmiştir. Grafikselleştirilen yöntemde hesaplamalar mikroorganizma ölüm hızının, zamana karşı değişim eğrisinin eğimi kullanılarak yapılmaktadır [Simpson vd., 2003]. Bigelow tarafından yapılan deneysel gözlemler sonucu ortaya çıkan model, düşük asitli gıdaların konservelenmesi için geliştirilen ısı işlem sistemlerinin temeli olarak kabul edilmektedir [Cunha vd., 1997]. Bakteriyolojik ve fiziksel verilerin ısı işlem hesaplamalarında ilk defa kullanıldığı bu model özellikle spor oluşturan bakteriler için de kanıtlandıktan sonra hem konserve hem de genel anlamda gıda endüstrisine oldukça büyük katkıda bulunmuştur [Jagannath vd., 2005]. Soğuk noktadaki ısı işlemin etkisinin belirlenebilmesi amacıyla, sterilizasyon değerinin hesaplandığı genel yöntem formülü Eşitlik 2.1'de verilmiştir. Burada T ısı işlemin hesaplandığı belirli bir sıcaklığı, T_{ref} sterilizasyon değeri için referans sıcaklığı (121.1 °C), F_0 değeri referans sıcaklıkta hedef mikroorganizma açısından istenilen sterilizasyon değerini elde etmek için gerekli süreyi, z değeri ise hedef mikroorganizmanın D değerinin bir logatirmik evre azaltılması için gerekli sıcaklık artışını belirtmektedir. Bu yöntemle yapılan sterilizasyon hesaplamalarında sterilizasyon değeri ürün sıcaklık değişimi ile Simpson ve Trapezoidal yöntem gibi sayısal integral yöntemleri kullanılarak hesaplanabilmektedir [Ramachandran vd., 2011].

$$F_0 = \int_0^t 10^{\frac{T-T_{ref}}{z}} dt \quad \text{Eşitlik 2.1}$$

Isıl işlem hesaplamalarında, genel yöntem olarak bilinen yöntemde fiziksel olarak ölçülen sıcaklık verileri kullanılmaktadır. Matematiksel modellerin kullanıldığı durumlarda ise sıcaklık dağılımı, matematiksel bir yöntemle göre belirlendikten sonra sterilizasyon değeri Eşitlik 2.1 kullanılarak hesaplanmaktadır. Isıl işlem hesaplama metotları sıcaklık dağılımlarının elde edilmiş biçimine göre dörde ayrılmaktadır [Weng, 2005]:

- Fiziksel olarak ölçülen sıcaklık-zaman verilerini kullanan genel yöntem (Bigelow yöntemi),
- Sabit ısıtma veya soğutma otoklav sıcaklıklarını kullanan yarı deneysel matematiksel yöntemler (Ball , Hayakawa, Gillepsy yöntemi, v.b.),
- Değişen otoklav sıcaklıklarını ayarlamak için kullanılan yenilikçi yöntemler,
- Enerji ve Navier-Stokes eşitliklerini de kullanabilen Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) modelleri.

Bu yöntemlerden özellikle değişen otoklav sıcaklıklarını hesaplamalara dahil edebilmek ve proses kontrolü amacıyla bilgisayar destekli HAD programlarının kullanıldığı hesaplama yöntemleri günümüzde oldukça ilgi uyandıran konulardır.

2.4. GIDA PROSESLERİNDE BİLGİSAYAR DESTEKLİ PROGRAMLARIN KULLANIMI

Isıl işlem proseslerinin tasarımında, en yavaş ısınan nokta ve ürün ısıl merkezinin belirlenmesi geleneksel olarak ısıl çiftlerin sıcaklık ölçümünde kullanımı ile gerçekleştirilmekteyken, ısıl işlem sırasında gıdanın sıcaklığının matematiksel modeller ile belirlenmesi son yıllarda dikkat çeken bir konu haline gelmiştir [Abdul Ghani vd., 2001]. Gıda proseslerinin matematiksel modellenmesi ve benzetim programlarının kullanımı; geleneksel, zaman harcayan sıcaklık ölçümleri ile mikrobiyolojik ve kaliteyi kapsayan analizlere güçlü birer alternatif olarak ortaya çıkmaktadır [Nicolai vd., 2000]. Pahalı ve zaman harcayan deneysel aşamalar yerine

yalnızca hesaplanan sayısal benzetim sonuçlarının doğruluğunun kontrolü için çok daha az sayıda deney yeterli olmaktadır [Cebeci vd., 2005]. Bilgisayar destekli teknolojiler çeşitli bilim ve mühendislik alanlarında önemli bir yere sahiptir. Oldukça maliyetli olan tasarım ve prototip üretim aşamasını kısaltarak zamandan tasarruf sağlarken, maliyetleri de düşürmektedirler. Ayrıca anlaşılması zor ve karmaşık proseslere de ışık tutarak kavranmasına olanak tanımaktadırlar [Datta, 1998].

Hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) ise, hesaplamalı dinamiğin bir dalı olup benzetim tekniklerinin bir parçasıdır. Benzetim, mühendislerin ve fizikçilerin bir mühendislik ürününü ya da fiziksel bir durumu varsayılan ya da ölçülen sınır koşulları altında tahmin etmek ya da aydınlatmak için kullandıkları bir yöntemdir [Löhner, 2001]. 1950'lerin başlarında süper-bilgisayarlarda aerodinamik sistemleri farklı yaklaşımlarla çözen programların geliştirilmesi ile HAD; pek çok bilgisayar ortamında çalıştırılabilen, kullanıcı dostu, çok yönlü ve etkileşimli bir program ortamı olarak ortaya çıkmıştır.

Gıda endüstrisi ise HAD programlarını, gıda ürünlerinin ısıl işleminde meydana gelen taşınım olaylarını araştırmak için 1980'lerin sonunda keşfetmiş ve gıda proseslerinde ısıl işlem tasarımlarında kullanmaya başlamıştır [Verboven vd., 2004]. Gıda mühendisliği alanında uygulama alanı bulan bilgisayar destekli HAD programları; proses optimizasyonu, farklı koşulların ürün ve proses üzerine etkileri, ürün geliştirme ve kalite kontrol alanlarında sıklıkla kullanılmaya başlanmıştır [Engez ve Eriş, 2002].

Gıda kalite ve güvenliğinin ısıl işlem ile sağlanmasının yanı sıra enerji tüketimi ve proses süresinin azaltılması, dolayısıyla proses optimizasyonunun yapılması gerekmektedir. İşleme ve depolama sırasında maliyetlerin azaltılıp verimliliğin artırılması temel amaçlardan olmakla birlikte, proseslerin uygulanmasında ve tasarlanma süreçlerinde tüm bunlar dikkate alınmalıdır [Chen ve Ramaswamy, 2007]. Isıl işlemin etkinliğinin test edilmesi ve soğuk nokta sıcaklığının ölçülmesinde de HAD benzetimlerinden sıklıkla yararlanılmakta ve bunlar proses optimizasyonunda önemli rol oynamaktadır.

2.5. HESAPLAMALI AKIŞKANLAR DİNAMİĞİ (HAD)

Son yıllarda benzetim tekniklerinin kullanımı; tahmin yürütme performansı, deney maliyetlerinin azaltılması, bazı yapılması imkansız deneylere ışık tutması, bir olayın daha iyi kavranmasını sağlaması ve bilgisayar teknolojilerinin gelişmesi nedeniyle oldukça artmıştır. Örneğin;

- Otomobil ya da uçak üreticileri için bir ürünü değişen koşullara göre baştan üreterek gözlem yapmak oldukça maliyetli olmakta ancak HAD ile ilgili bilginin artması ve bilgisayar teknolojilerinin gelişmesi ile yanlış hesaplamalara izin vermeyecek modellemeler ile bu maliyet ortadan kalkmaktadır.
- Benzetimlere tek alternatif olan deneylerin kurulumu oldukça maliyetli olmaktadır.
- Uzay ve gökyüzü araştırmalarından, nükleer patlama deneylerine pek çok durumda deneylerin yapılması mümkün olmamaktadır.
- Büyük ölçekte yapılan benzetim, bir olayı ya da ürünü deneylerden daha çok kavrama olanağı sağlamaktadır. Bir geometride 2×10^7 tane sayısal düğüm noktası, 2×10^7 ölçüm cihazına denk gelmektedir. Hiçbir araştırmacı tarafından deneylerde bu kadar ölçüm noktası kullanılamamaktadır. Ayrıca deneylerde ölçülemeyecek bazı büyüklüklerin (vortisite veya hız profillerinde meydana gelen değişimler gibi) benzetimler ile belirlenmesi mümkün olmaktadır.
- Bilgisayar hızı ve hafızası Moore yasasına göre her 18 ayda bir iki katına çıkmaktadır. Aynı zamanda algoritmaların kesinliği ve performansı da gelişmektedir. Bu da daha gerçekçi benzetimlerin yürütülebileceğini göstermektedir. 1983 yılında 1000 sonlu element ile araştırmalarda yürütülen benzetimler için bu ağ sayısının 'aşırı' olarak nitelendirilmiş olması bilgisayar teknolojisinin bu alanda gelişmekte olduğunun bir göstergesidir. [Löhner, 2001].

Tüm bu durumlarda benzetimler deneylere göre daha avantajlı görünse de, gerçeklik kontrolü (doğrulama) yapılmasını sağlayan deneylerin önemi de hesaba

katılmalıdır. Ancak bilgisayarla yapılan modellemelerin deney sayılarını önemli ölçüde azaltacağı dolayısıyla maliyetlerin de düşeceği unutulmamalıdır [Löhner, 2001].

Akışkanlar dinamiği temelde; kütle, enerji ve momentum korunumu olmak üzere üç temel fiziksel prensibe dayanmaktadır. Bu üç fiziksel prensip sistemdeki akış tipine uyarlanarak matematiksel olarak süreklilik, enerji ve momentum eşitlikleri şeklinde elde edilmekte ve bu denklemler HAD programlarında uygun sınır koşulları ve matematiksel düzenlemeler ile çözümlenerek, sonuçlar istenilen formatta ortaya çıkmaktadır [Anderson , 1995]. Bir benzetimin elde edilmesinde ilk olarak problemin tanımlanması ve ardından geometrinin oluşturulması gerekmektedir. Daha sonra, sayısal ağa ayrılan geometride belirlenen sınır koşulları ile çözüm yapılmakta ve çözümün doğrulması yapıldıktan sonra elde edilen sonuçlar görüntülenmektedir [Lomax vd. 2001].

2.5.1. Problemin Tanımlanması ve Geometrinin Oluşturulması

Problem tanımlandıktan sonra uygun korunum denklemleri ve sınır koşulları seçilmelidir. Akışın fiziği dahilinde etkin bir çözüm elde edilebilmesi için temel korunum yasalarının kısmi diferansiyel hali olan Navier-Stokes eşitliklerinin basitleştirilmiş halleri de kullanılabilir. Kullanılan sınır koşulu çeşitleri ise katı duvarlar, iç akış - dış akış sınırları, periyodik sınırlar, simetri sınır koşulları vb. olmakla birlikte bu koşulların seçimi kullanılacak korunum denklemlerine bağlıdır [Lomax vd., 1999].

2.5.2. Geometrinin Elementlerine Ayrılması

Sıvı akışı ve ısı transferinin modellendiği kısmi diferansiyel korunum denklemleri bazı basit ve özel durumlar dışında analitik olarak çözümlenmeye elverişli değildir. Bu nedenle akışı modellemek için akışın gerçekleştiği alan çok daha küçük alanlara (3 boyutta altıyüzlü, üçyüzlü vb. - 2 boyutta dikdörtgen, üçgen vb.) bölünerek, korunum denklemleri bu ayrılan basit elementlerde ayrı ayrı çözümlenmektedir [CFD Online, 2011]. Benzetimlerde ilk aşama problem tanımlamasının yapılarak

geometrinin oluşturulması ve ardından oluşturulan geometrinin hacimsel elementlere ayrılmasıdır. Bu kısım HAD'nin bir parçası olarak ortaya çıksa da çözüm aşamasından ayrı bir sayısal metot olarak düşünülebilir [Cebeci vd., 2005]. Ağ oluşturma aşamasının başarıya ulaşması için günümüzde özel paket programlar kullanılabilir gibi [WoTug ve Schineiders, 2011], çözüm programlarının kendi bünyelerinde bulundurduğu geometri ve hacimsel element oluşturma arayüzleri de kullanılmaktadır [Ansys , Comsol 2011]. Geometride kullanılacak ağ sayısı arttıkça sonuçların doğruluğu artmaktadır. Ancak çözümün hassasiyeti bilgisayar maliyetleri ve çözümlemedeki döngünün kısalığına bağlı olarak kalmaktadır [Tu vd., 2008]. Genel anlamda iki tür ağ yapısından söz edilebilmektedir; düzenli dağılım ve düzensiz dağılım. Düzenli dağılımlı ağlarda noktalar düzenli olarak bağlanmıştır ve her bir nokta aynı sayıda komşu noktaya sahiptir. Düzensiz dağılım ağlarda ise bağlantılar belirli bir kuraldan bağımsız olarak dağılmakta dolayısıyla her bir nokta farklı sayıda komşu noktaya sahip olabilmektedir [Abdulnaser, 2009]. Geometri özelliklerine göre bazı durumlarda her iki dağılım da kullanılabilir. Dikdörtgen geometri gibi basit geometrilere sahip durumlarda yapısal düzenli ağ yapısı kullanımı daha uygun olmaktadır. Ancak daha karmaşık geometrilere, sınırların düzensizliğinden dolayı üçgenel element kullanımı ağ oluşturma aşamasına esneklik kazandırmaktadır [Tu vd., 2008].

2.5.3. Başlangıç ve Sınır Koşulları

Bir büyüklüğün ve zamana göre değişiminin ilgili geometri alanı sınırlarında tanımlanmasına sınır koşulu (Hoffman ve Chiang, 2000), sınır koşulunun başlangıç zamanındaki ($t=t_0$) durumunun fiziksel bir durum için matematiksel olarak tanımlanmasına ise başlangıç koşulu adı verilmektedir. Problemi tanımlayan uygun sınır koşullarının seçimi, pek çoğu karmaşık olan akış davranışının fiziksel durumunu temsil etmesi açısından önemlidir. Akışın gerçek fiziğinden uzak seçilen sınır koşulları genellikle istenilen yakınsak çözümlerin elde edilmesi için gereken zamanın uzun olmasına hatta çözümlerin sapmasına neden olmaktadır. Akışkan proseslerinin modellenmesinde kullanılan HAD programlarında en çok kullanılan ve

ara yüzde tanımlanmış olan sınır koşulları simetri, duvar - kaymazlık, ısı akısı, iç akış, dış akış, açık akış sınır koşullarıdır [Tu vd., 2008].

Simetri ve periyodik sınır koşulları, geometrinin simetri ya da belirli bir periyodik özellik göstermesi durumunda, çözümü yalnızca modelleme alanının bir kısmında yaparak çözümleri hızlandırmak için kullanılmaktadır. Bu durumda fiziksel geometri ve akış alanı ayna simetrisine sahip olmalıdır ve simetri alanını eş parçalara ayıran normal çizgisi üzerinde hız ve taşınım özelliklerinin zamana göre değişiminin (gradyanlarının) sıfır olduğu doğrulanmalıdır. Simetri sınır koşulu ile modellemenin geometrinin belirli bir kısmında yapılması sağlanarak çözüm süreleri azaltılabilmektedir. Bu kapsamda, çözüm sürelerinin de uzun olması nedeniyle, sınırlı sayıda sayısal ağa bölünen geometrinin sayısal ağ dağılımı yoğunlaştırılarak elde edilen çözümlerin kesinliğini artırma olanağı doğmaktadır.

Duvar sınır koşullarında ise sabit duvarlar yüzeyinde kaymazlık sınır koşulu uygulanıp katı yüzeylerde bulunan akışkanın hız bileşenleri sıfıra eşitlenerek çözüm basitleştirilebilmektedir. Kaymazlık sınır koşulu sıvının duvar yüzeyinde hareketsiz olduğunu göstermektedir [Tu vd., 2008].

2.5.4. Çözümün Elde Edilmesi ve Sonuçların Görüntülenmesi

Genellikle fiziksel olarak karmaşık olan akış olayının istenilen sonuçlarını veren doğrusal olmayan matematiksel denklemlerin analitik çözümleri çoğunlukla karmaşık olmakta ve bu nedenle çözümler sayısal olarak iterasyon yöntemleri kullanılarak elde edilmektedir. Uygun başlangıç ve sınır koşulları kullanılmak üzere çözüm yapılacak programa aktarılan sayısal ağın içerisindeki tüm elementler için çözümlenmektedir. Seçilen yönteme göre yapılan iterasyonlarda, arka arkaya elde edilen verilerin değerindeki fark kullanıcı tarafından belirlenen maksimum bir değerin altında olduğu zaman çözümlenme sonucu elde edilen veriler yakınsak kabul edilmekte ve sonuç olarak işlenmektedir [Karamanoğlu vd., 2006]. Çözümlerin elde edilmesinde genellikle çözümün başlatılması, kontrolü, görüntülenmesi ve HAD çözümü yakınsamanın kontrolü olarak izlenmektedir.

Elde edilecek akışa ait özellikler (basınç, viskozite, sıcaklık, v.b.) belirlendikten sonra uygun öteleme taslağı ve çözücünün seçilmesi gerekmektedir. Akış özelliklerini belirleyen denkliklerin cebirsel biçimlerinde sonlu fark yöntemi ile çözümlenmeler yapılmaktadır. Her bir sayısal hacmin yüzeyinde hesaplanması gereken taşınım özelliklerinin yüzey akıları, farklı öteleme çözücüleri ile belirlenebilmektedir. Bu çözücülerden en çok kullanılanları birinci ve ikinci derece Upwind, ikinci derece Central, High resolution, Quadratic Upstream Interpolation Convective Kinetics (*QUICK*) yöntemleridir. Central çözüm taslağı yönteminin akışın yönünü çözümlenemesi Upwind ve Quick yöntemlerinin geliştirilmesini sağlamıştır [Tu vd., 2008]

Belirlenen bir yakınsama koşuluna göre çözümlerin yakınsaklığı kontrol edilmekte, bu sayısal ağ bağımsızlığına göre yorumlanmakta ve çözümler elde edilmektedir. Elde edilen çözümlerin bilgisayar ortamında görüntülenmesi ise konturlar veya vektör gösterimler gibi farklı şekillerde olabilmektedir. Ancak sıcaklık ve basınç dağılımı genellikle kontur gösterim, hız bileşenleri ise vektörel gösterim ile görüntülenmektedir.

2.6.KONSERVE PROSESLERİNDE HAD'İN KULLANIMI

Günümüzde kurutma, ısı işlem, soğutma, soğukta depolama gibi gıda proseslerinin benzetim çalışmalarında kullanılan HAD; bilgisayar teknolojilerinin gelişmesi ve yazılım maliyetlerinin düşmesi ile etkin ve verimli prosesler tasarlanmasında gıda alanında gittikçe artan bir kullanım alanına sahip olmaya başlamıştır [Norton ve Sun, 2006]. Prosesin incelenmesi için ürün içerisindeki sıcaklık dağılımı ile mikrobiyal yük ve kalite parametrelerinin belirlenmesinde kullanılmak üzere sayısal bir modelin varlığına ihtiyaç duyulmakta; tasarım ve optimizasyon çalışmalarında ise model çözümlenmelerinin hızlı olması istenmektedir. Yalnızca enerji denkliklerinin çözümünün yapıldığı kondüksiyon problemlerinde bile hesaplama süresi uzun olabilmekte iken; süreklilik, enerji ve momentum denkliklerinin birlikte çözüldüğü konveksiyon problemlerinde hesaplama süreleri çok daha uzun olmaktadır. Bu

nedenle ısı transfer mekanizmasında konveksiyon içeren ürünlerin optimizasyon çalışmaları yaygın değildir.

[Datta ve Texieira 1988] ilk kez konserveelenmiş gıdaların doğal konveksiyon ile ısınması sırasında yatışkın olmayan sıcaklık ve hız dağılımlarını sayısal olarak hesaplamıştır. Konveksiyonla ısınan sıvı olarak suyun kullanıldığı dikey konserve modelinde, eksensel simetri yaklaşımının yanı sıra fiziksel özelliklerin kaldırma kuvveti terimi dışında sıcaklığa bağlı olmadığı (Boussinesq yaklaşımı) kabul edilerek çözümlenmeler yapılmıştır. Doğal konveksiyon ile ısınmanın gerçekleştiği ortamlarda soğuk noktanın konumunun belirlenmesi zor olmakla birlikte kondüksiyonun aksine merkezde değildir. Nitekim bu çalışmada da soğuk nokta yerinin konserve içerisindeki hareketten dolayı zamanla değiştiği belirtilmekle birlikte, en yavaş ısınan nokta ya da bölgenin, konserve tabanından itibaren yüksekliğin %15'i kadar yukarıda ve halka şeklinde olduğu belirlenmiştir (Datta ve Teixeria, 1988).

Daha sonra [Kumar vd., 1990] ve [Kumar ve Bhattacharya, 1991] dikey konserveelerde bulunan viskoz sıvı gıdaların sterilizasyonunu modellemişlerdir. İlk çalışmada viskoz sıvı gıdalar için elde edilen konveksiyon sonuçları kondüksiyon ile karşılaştırılmıştır. Viskozite sıcaklığa bağlı olarak kabul edilirken diğer fiziksel özelliklerin sıcaklıkla değişmediği öngörülmüştür. Bu çalışmada tabana yakın noktalarda ısınmanın, kondüksiyondan daha geç olduğu belirtilmiştir. İkinci çalışmada ise sıvı içeren konserveelerde benzer yaklaşımlarla soğuk noktanın tabandan %10-12 yukarıda olduğu sonucuna varmışlardır.

[Abdul Ghani vd., 1999], HAD yaklaşımı ile konserve gıdaların doğal konveksiyon ile ısınması sırasındaki benzetimini yapmışlardır. Su ve gıda örneğini temsil eden viskoz sodyum karboksi-metilselüloz için sayısal çözümlenmeler yapıldığı çalışmada, her iki sıvı için de doğal konveksiyonun etkisi ile hız ve sıcaklık parametrelerinde meydana gelen değişimler incelenmiş ve soğuk nokta analizi yapılmıştır. Konserve geometrisinin y-ekseni üzerinde eksensel simetri yaklaşımı kullanılarak, problem aşaması 3 boyut yerine iki boyutlu olarak çözülmüş böylelikle hesaplama süresi kısaltılmıştır. Elde edilen sıcaklık ve hız profillerinde soğuk nokta sıcaklığının kondüksiyon ile ısınan gıdalardaki gibi konservenin geometrik

merkezine değil, tabana yakın bir bölgede olduğu gözlenmiştir. Yoğunluğun genel olarak sabit ancak kaldırma kuvveti teriminde sıcaklığa bağımlılığını tanımlayan Boussinesq yaklaşımının kullanıldığı çalışmada fiziksel özelliklerden viskozitenin ısınma süresine etkisi incelenmiş ve benzetim aşamasında sıvının viskozitesinin sıcaklığın bir fonksiyonu olarak kabul edilerek bu şekilde kullanılmasının önemi üzerinde durulmuştur.

[Varma ve Kannan, 2006] sabit hacimli farklı geometrilere sahip konserve kutularında (silindir ve koni), Newtonumsu olmayan bir sıvıda (sodyum karboksil metil selüloz) soğuk bölge yerini incelemiş ve ısı işlem etkinliğine viskozite sıcaklık değişiminin ve konserve geometrisinin önemini göstermişlerdir.

[Erdoğdu vd., 2010] aynı ürün içerisinde hem kondüksiyon hem de konveksiyonun etkisini gözlemlemek için yaptıkları çalışmada su ve %1 agar eklenmiş su örneğini kullanmışlardır. %5'e kadar eklenen agarın suyun termal özelliklerini değiştirmediği göz önünde bulundurularak benzetim çalışmaları eksensel simetri yaklaşımı ile yapılmış, ardından her iki örnek için de deneyler yürütülmüştür. Elde edilen sonuçlarda kondüksiyon ve konveksiyon mekanizmalarının farklılığı aynı ürün için ortaya koyulmuştur.

[Moraga vd., 2010] yaptıkları çalışmada farklı reolojik özelliklere sahip gıda ürünlerinin sterilizasyon ve pastörizasyonunu incelemişlerdir. Çalışmada ısı dirençleri değişen çeşitli malzemeden yapılmış ve farklı boyutlara sahip ambalajlardaki sodyum karboksil metil selüloz ve soya yağının benzetimini eksensel simetri yaklaşımıyla yaparak karşılaştırmışlardır. Elde edilen benzetim sonuçlarından yola çıkarak hız ve sıcaklık profillerinin farklı ısı dirençlere sahip ambalaj materyalinden bağımsız ancak ürünün reolojik özelliklerine bağlı olduğu belirlenmiştir.

[Kızıldaş vd., 2010] katı-sıvı karışımlardan oluşan konservelerin benzetimini eksensel simetri yaklaşımıyla bezelye konservesi için yapmışlar ve kutu içerisindeki sıcaklık dağılımını belirlemişlerdir. Soğuk bölge, baskın mekanizma olan konveksiyonun da etkisiyle geometrik merkez ile konserve tabanı arasında

bulunmuştur. Ardından benzetim sonuçları ile deneysel sonuçlar karşılaştırılmış ve bir farklılık gözlenmemiştir.

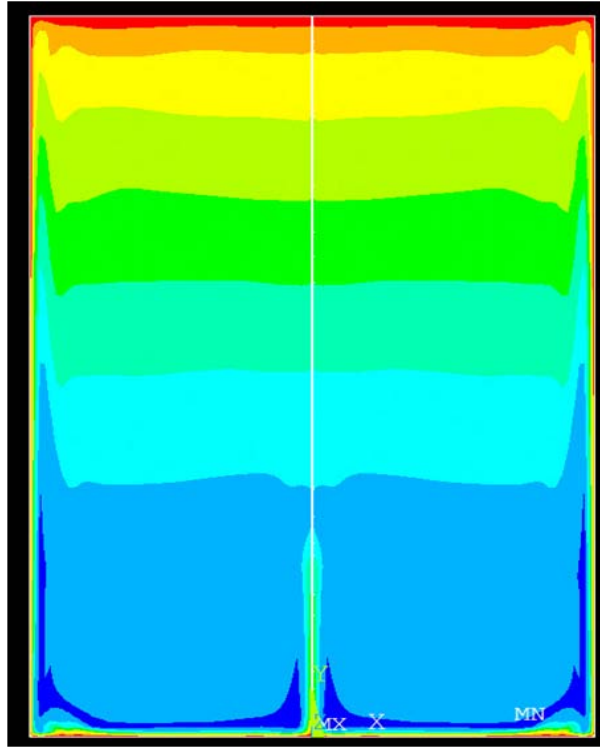
[Dimou ve Yanniotis, 2011] katı kuşkonmaz sebzelerini içeren konservede üç boyutlu benzetim yapmışlar ve soğuk nokta yerinin konserve tabanından %13.5 kadar yukarıda olduğunu belirlemişlerdir. Buna göre konserve içerisindeki ısınmanın homojen olmadığını ve kuşkonmaz sebzelerinin en çok ısınan bölgesinin konservede gerçekleşen doğal konveksiyon nedeniyle yukarı yönde bulunan uç kısımları olduğu belirlenmiştir.

[Agusto ve Cristianini 2010a, b] simetri sınır koşulunu daha küçük element hacmi ve daha kolay çözüm yaparak ele almışlardır. Yaptıkları ilk çalışmada (Agusto ve Cristianini, 2010a) uzun boyunlu bir şişede bulunan suyun simetri sınır koşulu kullanarak ANSYS CFX programında benzetimlerini yapmış ve simetri sınır koşulunun çözüm sürelerini kısalttığına dikkat çekmişlerdir. Diğer çalışmada ise hava boşluğunun da modellendiği su dolu bir konservede benzetim çalışması yapılmış elde edilen sonuçlar su aynı termofiziksel özelliklere sahip ancak farklı viskozite değerinde olan ürünlerin özellikleri ile karşılaştırılmıştır. Bu şekilde elde edilen sonuçlarda viskozitenin ısı işlemlerdeki etkisi belirlenmiştir [Agusto ve Cristianini, 2010b].

[Erdoğdu ve Tutar, 2011] konserve ile yapılan simülasyon çalışmalarında genellikle çözümü kolaylaştırmak için tepe boşluğunun ihmal edildiği durumların aksine, tepe boşluğunda hava bulunduğunu kabul ederek bir benzetim çalışması yapmışlardır. Bu çalışmada da eksensel simetri yaklaşımı kullanılmış sıcaklığa bağlı olarak verilen fiziksel özellikler ile enerji, momentum ve süreklilik eşitlikleri çözülmüştür. Elde edilen sonuçlarda düşük özgül ısı ve viskoziteye sahip hava fazının oldukça hızlı ısındığı dolayısıyla izolasyon etkisinin bulunmadığı belirtilmiştir.

Yukarıda verilen çalışmalarda belirtildiği gibi, dikey konservelerde simetri koşulunun kullanımı yaygın olup, bu yöntem çözüm sürelerinin kısaltılması

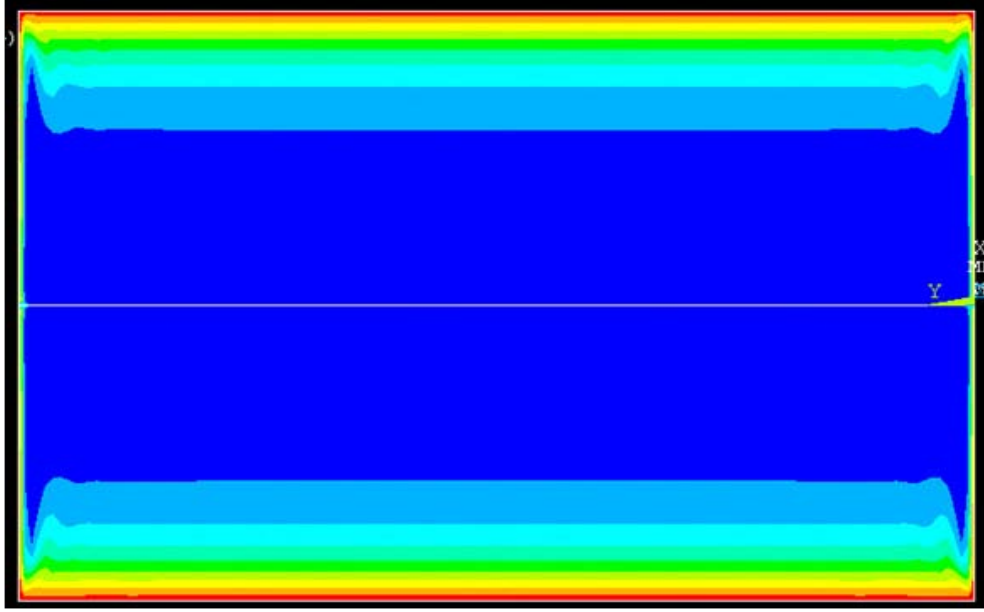
açısından etkin bir şekilde uygulanmaktadır. Ancak yatay konservelerde, doğal konveksiyonun etkin ısı transfer mekanizması olduğu durumlarda eksensel simetri yaklaşımının kullanılması mümkün değildir. Yatay konumlandırılmış konserveler için [Abdul Ghani vd., 2002] eksensel simetri yaklaşımının mümkün olmadığını bu nedenle 3 boyutlu geometri ile çözümlemenin yapılabileceğini öne sürmüşlerdir. Çözümleme sürelerinin kısaltılması ve benzetim aşamasının kolaylaştırılması için dikey konservelerde uygulanan eksensel simetri yaklaşımı, sıvı ürün içeren dikey konservelere uygulandığında elde edilen sıcaklık dağılımı Şekil 2.3' teki gibi olmaktadır. Burada daha önce yapılan çalışmalarla da doğrulanan simetrik ayna görüntüsü görülmektedir.



Şekil 2.3. Eksensel simetri yaklaşımı uygulanan sıvı ürün içeren dikey konservede sıcaklık dağılımı ve ayna görüntüsü.

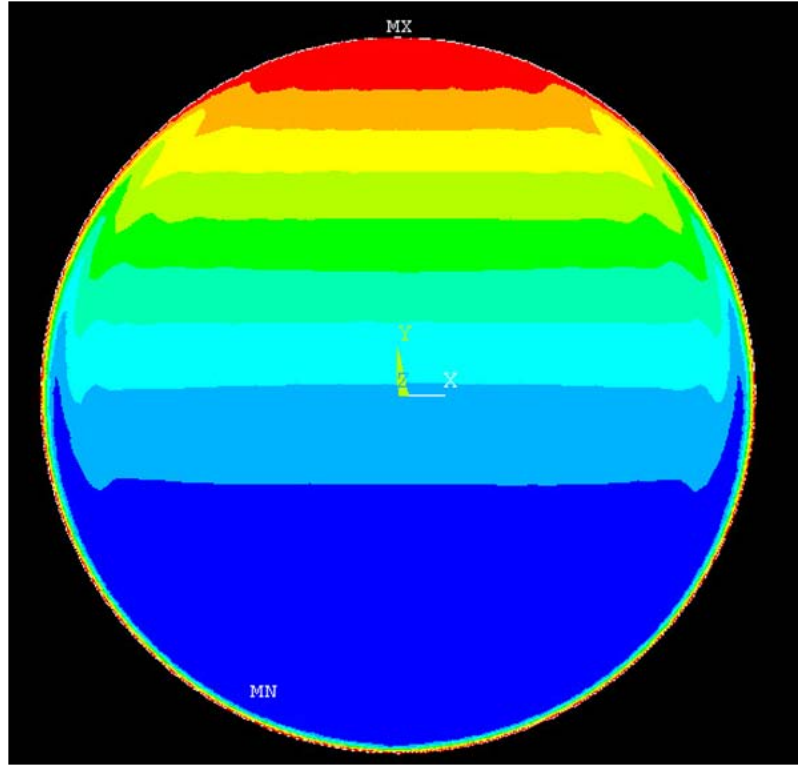
Yatay konserveye eksensel simetri yaklaşımı uygulandığında ise, dikey konumlu silindire benzer şekilde eksenin simetrik kısımlarında ayna görüntüsü oluşmaktadır ve elde edilen dağılım Şekil 2.4'te gösterilmektedir. Ancak doğal

konveksiyon mekanizması ele alındığında fiziksel olarak bu sıcaklık dağılımının mümkün olamayacağı görülecektir. Bu varsayım ile elde edilen sıcaklık dağılımı Şekil 2.4'te de gözlemlenebileceği gibi tipik bir kondüksiyon mekanizması ile gerçekleşen sıcaklık dağılımını andırmaktadır.

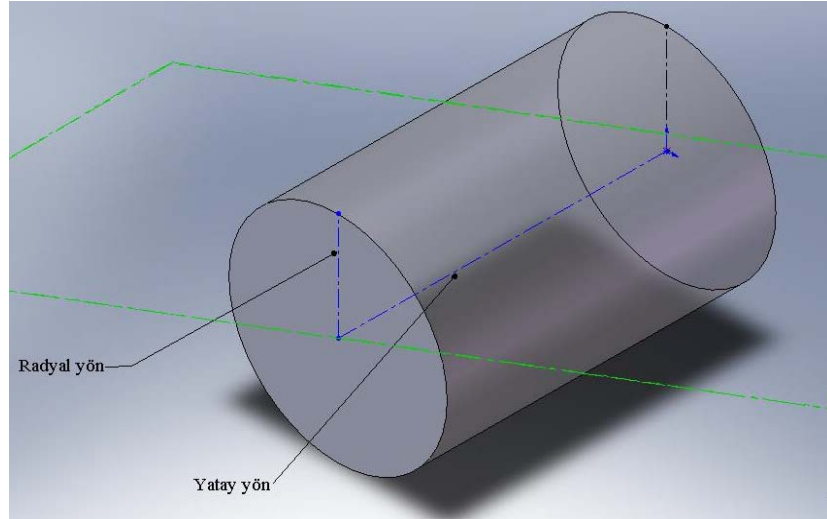


Şekil 2.4. Eksensel simetri yaklaşımı uygulanan yatay konumlandırılmış sıvı ürün içeren konserveerde elde edilen sıcaklık dağılımı.

Doğal konveksiyon; konserveinin pozisyonuna göre, tabandan ve yandan ısınan olarak sınıflandırılmaktadır [Das vd., 2002]. Dikey konserveelerde yüzey alanının daha büyük olmasından dolayı konserve yan duvarlarından ısınma gerçekleşmektedir. Benzer etki yatay konumlandırılan konserveelerde duvar kenarlarındaki sıvının genişlemesiyle de meydana gelmektedir. Bölgesel sıcaklık ve basınçların artması ve buna bağlı oluşan kaldırma kuvveti ısı transferini etkilemektedir [Aktas ve Farouk, 2003]. Isı transferi sırasında yüzeydeki sıvının sıcaklığının artmasıyla yoğunluğunun azalmasına bağlı olarak oluşan kaldırma kuvveti, soğuk sıvının ısınarak yukarı doğru yönelmesine neden olmaktadır [Kızıldaş vd., 2010]. Şekil 2.5'te konveksiyonla ısınan yatay konserveerde iki boyutlu yaklaşımda dairesel ara yüzeydeki sıcaklık dağılımı görülmektedir.



Şekil 2.5. Konveksiyonla ısınan yatay konservedeki 2 boyutlu modelleme sonucu elde edilen sıcaklık dağılımı.



Şekil 2.6. Yatay konservede radyal ve yatay yönlerin şematik gösterimi.

Bu mekanizmaya benzer şekilde; yatay konservede de radyal yönde oluşacak ısı transferinin baskın olacağı, böylece iki boyutlu yaklaşımların kullanılabileceği öngörülebilmektedir. Şekil 2.6'da yatay konumlu bir konservenin

radyal ve yatay yönleri şematik olarak gösterilmiştir. Nitekim, [Hassan ve Sanghi, 2007] 'de artan sıcaklığın etkilediği kaldırma kuvvetinin yatay yöndeki bileşenlerinin ihmal edilebileceğini belirtmişlerdir.

Bu kapsamda bu tez çalışmanın amacı yatay konservelerde iki boyutlu yaklaşımların kullanılabilirliğinin doğrulanması ve uygun benzetim parametrelerinin belirlenmesidir. Çalışma, deneysel ve sayısal bölüm olarak ikiye ayrılacak; deneysel bölümde su ve bezelye - su karışımı ile doldurulan konservelere ısı işlem uygulanarak sıcaklık verileri elde edilecektir. Sayısal bölümde ise deneylerden elde edilen başlangıç ve sınır koşulları kullanılarak benzetimler yürütülecek, elde edilen benzetim sonuçları ile deneysel sonuçlar karşılaştırılacaktır. Viskoz sıvı gıda örneğini temsil eden bir materyal (CMC) ile de üç ve iki boyutlu benzetimler yapılarak iki boyutlu yaklaşımların viskoz gıdalar için de kullanılabilirliği tartışılacaktır. Benzetimlerin başarısına etki eden faktörlerden sayısal ağ yapısı, zaman aralığı değeri seçimi, termofiziksel özelliklerin sıcaklığa bağlı olarak kullanımı gibi faktörler de incelenecektir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Yatay konservelerde ısı ve momentum transferinde iki boyutlu yaklaşımın kullanılabilirliğinin araştırılması için çalışma deneysel ve sayısal benzetim olmak üzere iki bölümde yapılmıştır. Ansys CFX v.12 (Ansys Inc, Canonsburg, PA) benzetim programı ile yapılan sayısal benzetimlerde kullanılan başlangıç ve sınır koşulları deneylerden elde edilen sonuçlara göre belirlenmiş ve sayısal benzetimler bu değerler kullanılarak tamamlanmıştır.

3.1.DENEYSEL YÖNTEM

Deneysel bölümde saf su (sadece doğal konveksiyonla olan ısı transferi örneği olarak) ve su-bezelye karışımı (kondüksiyon ve doğal konveksiyonla olan ısı transferi örneği olarak) ile hazırlanan konservelere, otoklav içerisinde kaynar suda ısı işlem uygulanarak konserve içi sıcaklıklar farklı noktalarda iğne tip ısı çiftler kullanılarak kaydedilmiştir (Şekil 3.1).

3.1.1. Saf Su Kullanılarak Yapılan Deneyler

Bu bölümde saf su ile doldurulan konserve kutularına kaynayan su içerisinde pastörizasyon koşullarında belirli sürelerde ısı işlem uygulanırken (konserve merkez sıcaklığı ortam sıcaklığının %90'ına gelene kadar) sıcaklık ölçümleri yapılmıştır. Bu kapsamda 500 g kapasiteli (1/2, 73 mm çapında \times 110 mm uzunluğunda) konserve kutuları saf su ile doldurulduktan sonra, 0.45 mm çapında T-tipi iğne ısı çiftler (Ecklund-Harrison Technologies, Fort Myers, FL) konserve kutusu içerisinde farklı noktalara yerleştirilmiştir. Kutular pnömatik pedallı tip bir kapama makinesinde (Şekil 3.2; MAC-230, Umar Makina Sanayii, İstanbul, Turkey) hermetik olarak kapatılmış ve otoklava (OMS Lab 20, Osmanli Makina, Balıkesir, Turkey) (Şekil 3.3) yatay olarak yerleştirilerek, kaynar su içerisinde ısı işlemler gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.4). Deneyler sırasında sıcaklık değişimleri, Keithley 2700 DMM (coupled with Keithley 7700.20CH multiplexer) veri toplama cihazı kullanılarak kaydedilmiştir. Konserve içerisindeki tepe boşluğu miktarı konserve içi sıcaklık

değişiminde etkili olduğundan [Erdoğan ve Tutar, 2011], hava boşluğu miktarı, konservelerin şişmesine neden olmayacak oranda (<5%) bırakılmış ve ardından yapılan ön ısıtma işlemiyle bu oranın konservelerde bombaja neden olmadığı doğrulanmıştır. Sıcaklık ölçümleri merkez çizgisi üzerinde ve merkez çizgisi dışında olmak üzere farklı noktalarda yapılmıştır.



Şekil 3.1. T tipi ısıtma çiftlerinin konserve kutusu içerisine yerleştirilmiş görünümü.



Şekil 3.2. Konserve kutularının hermetik olarak kapatılması için kullanılan kutu kapama makinesi (MAC 230, Umar Makine Sanayi).



Şekil 3.3. Konservelere uygulanan ısı işlem için kullanılan otoklav sistemi (OMS Lab 20, Osmanlı Makine).



Şekil 3.4. Konservelere yatay olarak ısı işlem uygulanması için oluşturulan deney düzeneği.

3.1.1.1. Merkez Çizgisi Üzerinde Sıcaklık Ölçümleri

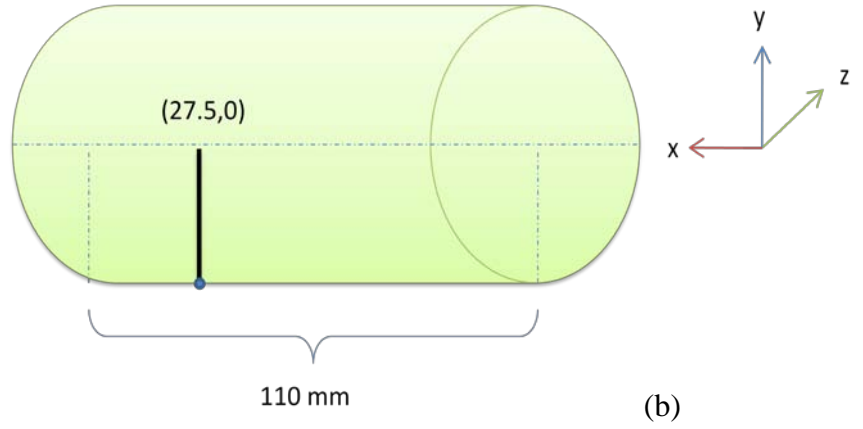
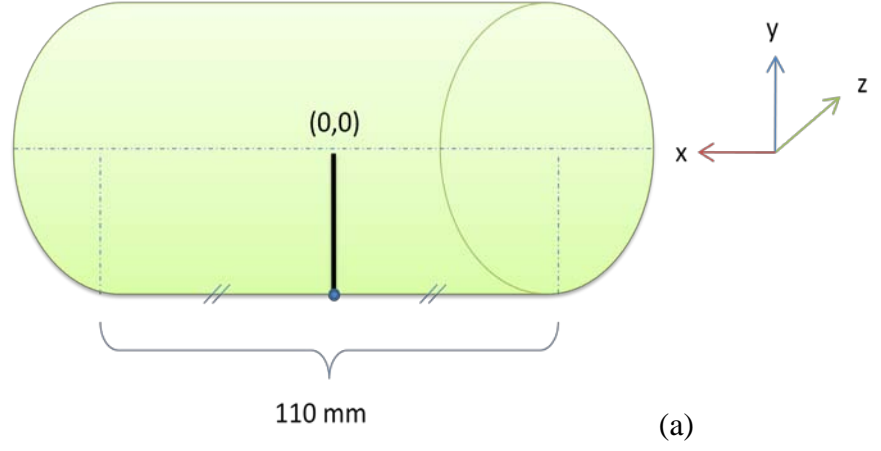
Yatay yönde sıcaklık değişimleri arasında fark olup olmayacağını gösterilmesi amacıyla konserve kutusu merkez çizgisi üzerinde iki ayrı kesitte; merkez (0,0,0) ve merkez ile konserve kapağının orta noktasına (27.5,0,0) yerleştirilen (Şekil 3.5) T-tipi 36.5 mm uzunluğundaki ısı çiftleri ile sıcaklık ısı işlem süresi boyunca kaydedilmiştir. Deneyler 10 tekrarlı yapılmış ve sonuçlar deney verileri ortalaması \pm standart sapma değerleri kullanılarak gösterilmiştir.

3.1.1.2. Merkez Çizgisinden Farklı Noktalarda Sıcaklık Ölçümleri

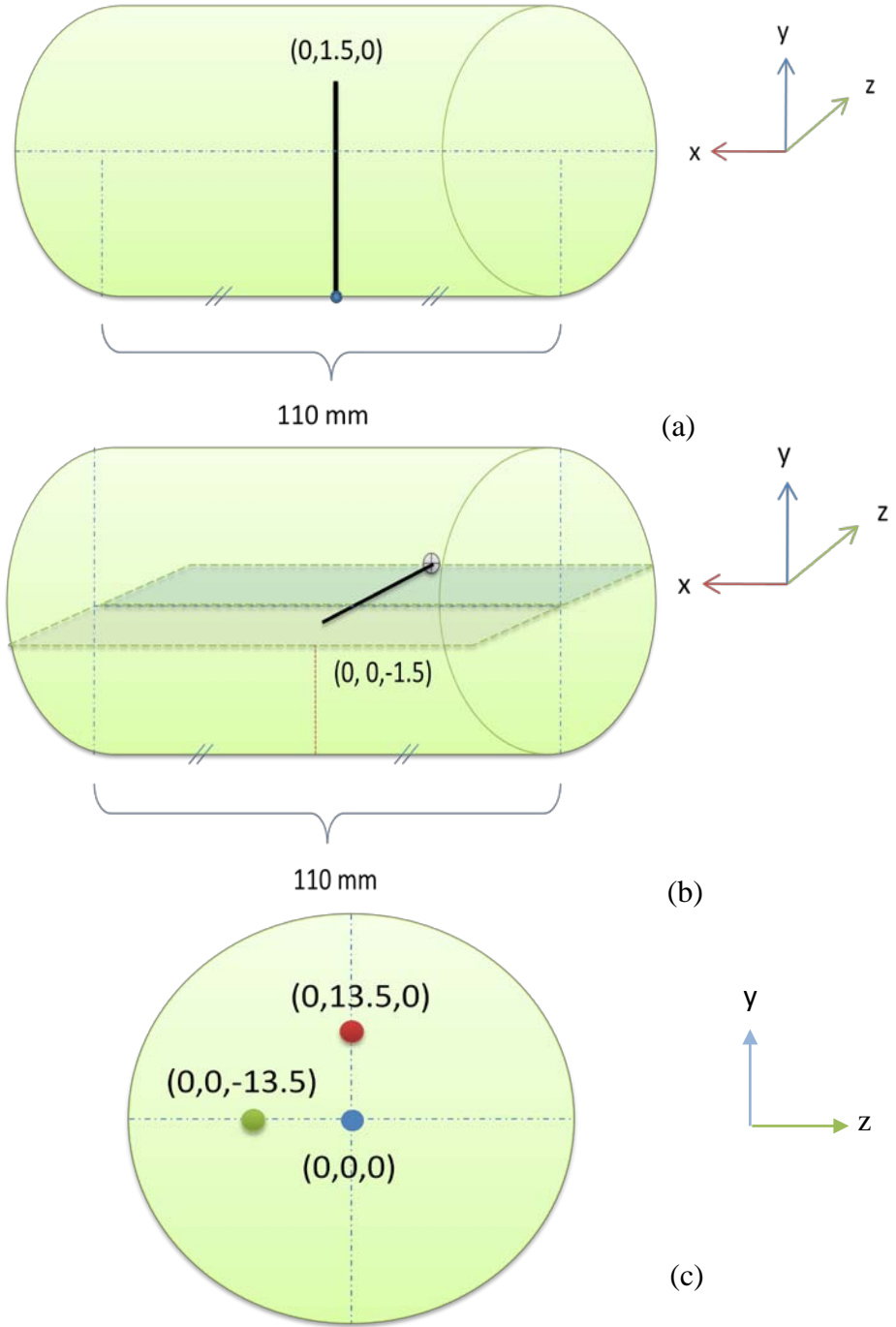
Yatay yön boyunca farklı kesitlerde sıcaklık değişiminin olmadığını gösterilmesinin yanı sıra, konserve içerisinde farklı noktalarda da sıcaklık değişimlerinin benzetim sonuçlarından farklı olup olmadığını gösterilmesi - modelin doğrulanması amacıyla da sıcaklık ölçümleri yapılmıştır. Bu amaçla 50 mm uzunluktaki T-tipi ısı çiftleri yatay yön boyunca;

- konserve merkezinden +y yönünde 13.5 mm (0,13.5,0) ve
- merkezden -z yönünde 13.5 mm (0,0,-13.5) uzaklıktaki

noktalara (Şekil 3.6) yerleştirilerek sıcaklık ölçümleri yapılmıştır. Model doğrulama çalışmaları kapsamında yapılan bu deneyler 10 tekrarlı yürütülmüş ve sonuçlar deney verileri ortalaması \pm standart sapma değerleri kullanılarak gösterilmiştir.



Şekil 3.5. Merkez sıcaklık sıcaklık ölçümlerinin şematik gösterimi;
a) Konserve kutusu merkezine yerleştirilmiş ısı çiftinin konumu,
b) Konserve merkezi ile kapak orta noktasına yerleştirilmiş ısı çiftinin konumu.



Şekil 3.6. Model doğrulaması için merkez çizgisinden farklı noktalarda sıcaklık ölçüm noktalarının şematik gösterimi; a) Konserve kutusu merkez kesitine y-yönünde yerleştirilmiş ısı çiftinin konumu, b) Konserve kutusu merkez kesitine z-yönünde yerleştirilmiş ısı çiftinin konumu,, (c) Sıcaklık ölçümü yapılan noktaların ara kesit görünümü.

3.1.2. Su-Bezelye Karışımı Kullanılarak Yapılan Deneyler

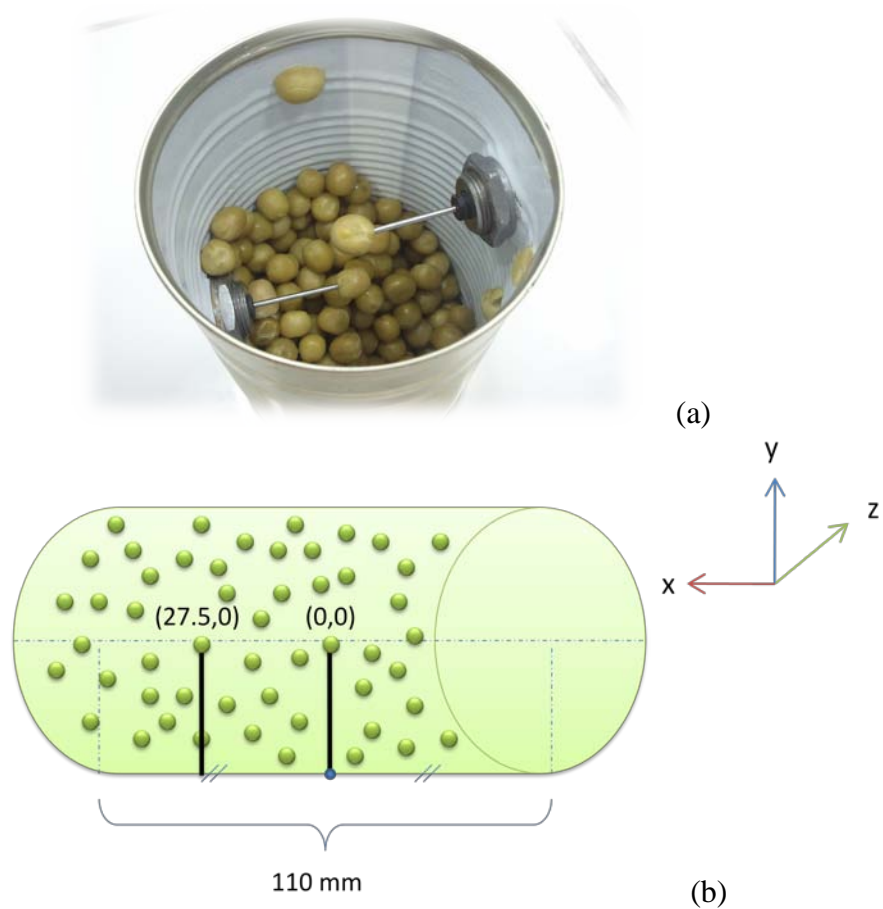
Deneylerin ikinci aşamasında perakende bezelye konserve içerikleri ile hazırlanan bezelye konserveleri kullanılarak deneyler yapılmıştır. Öncelikle, benzetim çalışmalarında kullanılmak üzere bir marketten temin edilen 500 g'lık bezelye konservelerinin gözeneklilik değerleri (kütlesel olarak su oranları) hesaplanmıştır ($35 \pm 2\%$). Bu amaçla bezelye konservesinde bulunan su miktarının net ağırlığa oranı gözeneklilik değeri olarak belirlenmiş ve bu ortalama gözeneklilik değerlerine göre tekrar hazırlanan yatay bezelye konservesinin farklı noktalarında (merkez (0,0) ve merkez-yüzey arası (27.5,0) su sıcaklık değişimleri belirlenmiştir (Şekil 3.7 ve Şekil 3.8).

[Kızıldaş vd., 2010] tarafından da uygulandığı şekilde dolgu sıvısı olarak saf su kullanılmıştır. Daha sonra bezelye iç sıcaklıklarındaki değişimin gösterilmesi amacıyla belirtilen noktalardaki ısı çiftlerine bezelyeler yerleştirilmiş (ısı çift ucu bezelye merkezinde olacak şekilde) ve konservelere yatay konumda ısı işlem uygulanarak bezelyelerdeki sıcaklık değişimleri belirlenmiştir. Isıl işlem sonrası bezelyelerin yerleştirildiği konumlarında (ısı çiftlerin ucunda) bulunduğundan emin olmak için konserve kutuları açılarak kontrol edilmiştir. Sıcaklık ölçümlerinin alındığı noktalar Şekil 3.7 - 3.9'da verilmiştir.

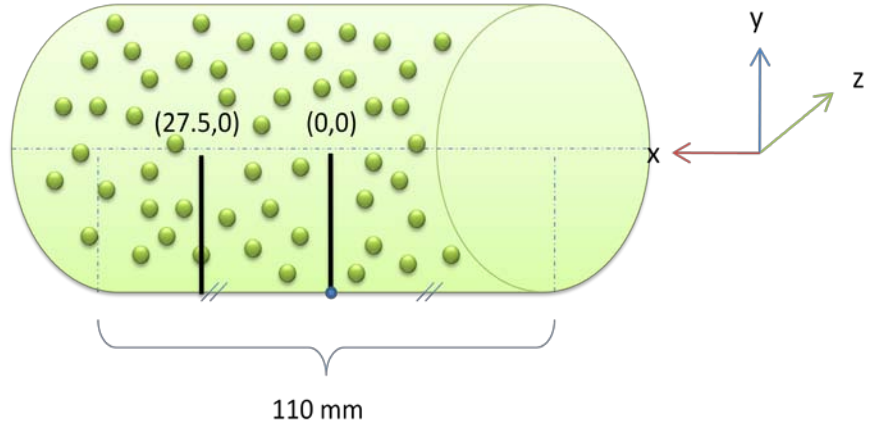
Yukarıda, bölüm 3.1.1'de belirtildiği üzere bu deneyler doğal konveksiyonla olan ısı transfer mekanizması temelinde merkez (0,0) ve merkez-yüzey arası (27.5, 0) noktalarda bulunan bezelyelerin belirlenen düzlemdeki sıcaklık değişimlerinden etkilenecekleri fakat yatay yönden olan ısı transferinin ise ihmal edilebilecek düzeyde olduğunu gösterebilmek amacıyla yapılmıştır (Şekil 3.7 ve Şekil 3.8). Bu kapsamda toplam 10 deney yapılmış ve deney sonuçları deney verileri ortalaması \pm standart sapma değerleri kullanılarak gösterilmiştir.

Katı-sıvı konserve karışımında iki boyutlu yaklaşımların kullanılacakları deneysel olarak doğrulandıktan sonra elde edilen benzetim sonuçları ile

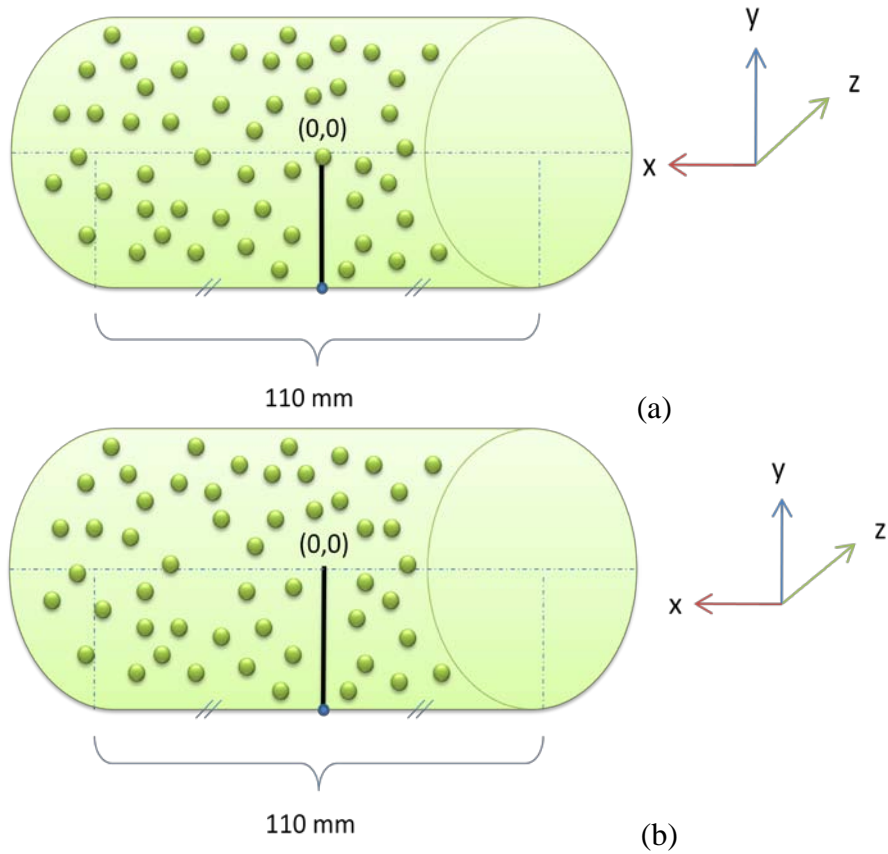
karşılaştırılması amacıyla konserve içerisinde merkez noktasında sıcaklık ölçümleri yapılmıştır. Bunun için öncelikle konserve geometrik merkezine yerleştirilen ısı çiftin ucuna bezelye yerleştirmeden ve bezelye yerleştirilerek sıcaklık ölçümleri alınmıştır. Benzetimler sonucunda elde edilen sıcaklık değişimleri hem bezelye hem de dolgu sıvısı sıcaklık değişimleri kullanılarak karşılaştırılmıştır. Deneyler 10 tekrarlı olarak yapılmış ve sonuçlar \pm standart sapma değerleri ile verilmiştir. Yapılan deneylerin şematik gösterimi Şekil 3.9.'da verilmiştir.



Şekil 3.7. Bezelye modelinde bezelye içi sıcaklık ölçümü için;
a) Hazırlanan konservein iç görüntüsü,
b) Sıcaklık ölçüm noktalarının şematik gösterimi.



Şekil 3.8. Su-bezelye yatay konserve modelinde farklı noktalarda su sıcaklık değişimlerinin belirlenmesi amacıyla yapılan deneylerin şematik gösterimi.



Şekil 3.9. Bezelye modelinde benzetim sonuçlarının doğrulanması için yapılan sıcaklık ölçümlerinin şematik gösterimi; a) Konserve merkezinde bezelye sıcaklığının ölçülmesi, b) Konserve merkezinde dolgu sıvısı sıcaklığının ölçülmesi.

3.2.SAYISAL BENZETİM

Sayısal benzetim çalışmaları ANSYS CFX V 12.1 (Ansys Inc, Canonsburg, PA) HAD programı kullanılarak yapılmıştır. Isı transferi ve akışkanlar dinamiğinin modellendiği benzetim programlarında öncelikle geometri oluşturulmakta, oluşturulan geometri belirlenen bir yönteme göre elementlere ayrılmakta, başlangıç ve sınır koşulları tanımlanmakta, çözüm yöntemi seçildikten sonra da çözümler yapılmakta ve sonuçlar değerlendirilerek çözüm elde edilmektedir. Karşılaştırma yapılabilmesi için benzetim aşamalarının deney düzeneklerini temsil edecek şekilde yürütülmesi gerekmektedir. Bu kapsamda bu çalışmanın son bölümünde benzetim sonuçlarının deneysel sonuçlar ile uyumluluğu incelenmiştir. D

Simülasyon çalışmalarında, belirtildiği gibi, Ansys (Ansys Inc, Canonsburg, PA) programının HAD seçeneklerinden CFX (Ansys Inc, Canonsburg, PA)'in kullanımı tercih edilmiştir. Sayısal benzetim bölümü 2- ve 3-boyutlu geometrinin oluşturulması ile hesaplamaların yapılması olmak üzere iki bölümden meydana gelmektedir. Model sistemin geometrisi oluşturulup, oluşturulan geometrinin hacim elementlerine bölünmesi amacıyla Ansys Workbench (Ansys Inc, Canonsburg, PA) programının geometri ve ağ yapısı oluşturma özellikleri kullanılmıştır.

Isı transferinin doğal konveksiyonla gerçekleştiği sayısal benzetim problemlerinde süreklilik, enerji ve momentum (Navier-Stokes denlikleri Eşitlik 3.1-3.6) denliklerinin birlikte çözülmesi gerekmektedir. Burada T sıcaklığı (K), t işlem süresini (s), P basıncı (Pa), g yerçekimi ivmesini (m/s^2), μ dinamik viskoziteyi (Pa.s), k_f sıvının ısı iletim katsayısını (W/m-K), ρ_f yoğunluğunu (kg/m^3), c_{pf} spesifik ısı kapasitesini (J/kg-K), v_r ve v_θ sırasıyla r ve θ yönündeki hız bileşenlerini (m/s) göstermektedir.

Radyal yöndeki momentum denliğinde yer alan kuvvet teriminin, kaynak terim olarak kullanıldığı ve sıcaklık farklılıklarından kaynaklanan yoğunluk değişimlerinin kaldırma kuvvetine neden olduğu kabul edilen Boussinesq yaklaşımı uygulanmıştır (Eşitlik 3.6).

Süreklilik denkliği:

$$\frac{1}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial r} (r \cdot \rho_f \cdot v_r) + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial \theta} (\rho_f \cdot v_\theta) + \frac{\partial}{\partial z} (\rho_f \cdot v_z) = 0 \quad (\text{Eşitlik 3.1})$$

Enerji denkliği:

$$\begin{aligned} \frac{\partial T}{\partial t} + v_r \cdot \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{v_\theta}{r} \cdot \frac{\partial T}{\partial \theta} + v_z \cdot \frac{\partial T}{\partial z} = \\ \frac{k_f}{\rho_f \cdot c_{p_f}} \left[\frac{1}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial r} \left(r \cdot \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \cdot \frac{\partial^2 T}{\partial \theta^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right] \end{aligned} \quad (\text{Eşitlik 3.2})$$

Radyal yönde momentum denkliği:

$$\begin{aligned} \rho_f \left(\frac{\partial v_r}{\partial t} + v_r \cdot \frac{\partial v_r}{\partial r} + \frac{v_\theta}{r} \cdot \frac{\partial v_r}{\partial \theta} - \frac{v_\theta^2}{r} + v_z \cdot \frac{\partial v_r}{\partial z} \right) = \\ - \frac{\partial P}{\partial r} + \mu \cdot \left[\frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{1}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial r} (r v_r) \right) + \frac{1}{r^2} \cdot \frac{\partial^2 v_r}{\partial \theta^2} - \frac{2}{r^2} \cdot \frac{\partial v_\theta}{\partial \theta} + \frac{\partial^2 v_r}{\partial z^2} \right] \\ + g \cdot \rho_{ref} \cdot [1 - \beta \cdot (T - T_{ref})] \end{aligned} \quad (\text{Eşitlik 3.3})$$

Açısal yönde momentum denkliği:

$$\begin{aligned} \rho_f \cdot \left(\frac{\partial v_\theta}{\partial t} + v_r \cdot \frac{\partial v_\theta}{\partial r} + \frac{v_\theta}{r} \cdot \frac{\partial v_\theta}{\partial \theta} + \frac{v_r \cdot v_\theta}{r} + v_z \cdot \frac{\partial v_\theta}{\partial z} \right) = \\ - \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial P}{\partial \theta} + \mu \cdot \left[\frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{1}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial r} (r v_\theta) \right) + \frac{1}{r^2} \cdot \frac{\partial^2 v_\theta}{\partial \theta^2} + \frac{2}{r^2} \cdot \frac{\partial v_r}{\partial \theta} + \frac{\partial^2 v_\theta}{\partial z^2} \right] \end{aligned} \quad (\text{Eşitlik 3.4})$$

Yatay yönde momentum denkliği:

$$\begin{aligned} \rho_f \cdot \left(\frac{\partial v_z}{\partial t} + v_r \cdot \frac{\partial v_z}{\partial r} + \frac{v_\theta}{r} \cdot \frac{\partial v_z}{\partial \theta} + v_z \cdot \frac{\partial v_z}{\partial z} \right) = \\ - \frac{\partial P}{\partial z} + \mu \cdot \left[\frac{1}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial r} \left(r \cdot \frac{\partial v_z}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \cdot \frac{\partial^2 v_z}{\partial \theta^2} + \frac{\partial^2 v_z}{\partial z^2} \right] \end{aligned} \quad (\text{Eşitlik 3.5})$$

Boussinesq yaklaşımı:

$$\rho = \rho_{ref} [1 - \beta(T - T_{ref})] \quad (\text{Eşitlik 3.6})$$

3.2.1. Saf Su Kullanılarak Yapılan Benzetimler

2-boyutlu yaklaşımın doğruluğunun test edilebilmesi için öncelikle model olarak suyun kullanıldığı benzetimler yapılmıştır. Bu amaçla geometri oluşturulmuş, elementlerine ayrılmış, başlangıç ve sınır koşulları tanımlanmış daha sonra da en uygun çözüm yöntemi ile benzetimler tamamlanmıştır.

3.2.1.1. Geometrinin oluşturulması ve elementlere ayrılması

Benzetimlerde problem tanımlandıktan sonra sınır koşullarının en uygun şekilde tanımlanabilmesi ve problemin çözümü için bir geometrinin oluşturulması gerekmektedir. İki boyutlu ve üç boyutlu model arasındaki farkların görülmesi amacıyla geometriler oluşturularak elementlerine ayrılmıştır.

3.2.1.1.1. 2-Boyutlu geometrinin oluşturulması ve elementlere ayrılması

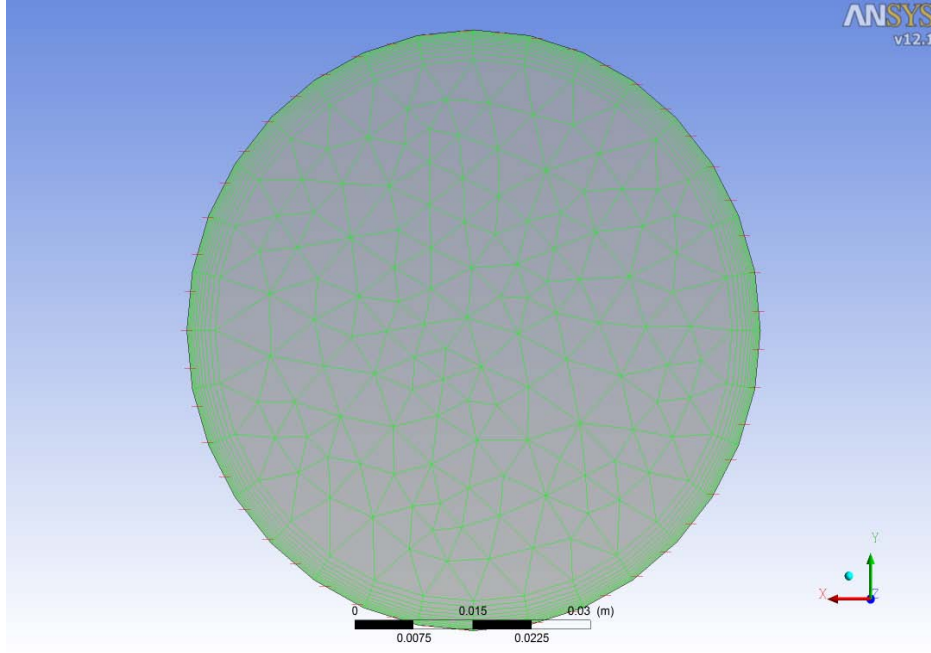
Mekezi XY düzleminin orijininde, yarıçapı 36.5 mm olan bir dairesel arayüz ANSYS Workbench V.12'nin geometri oluşturma bölümünde çizilmiştir. Kullanılan benzetim programı iki boyutta modellemeye izin vermemektedir. Ancak yapılan bir düzenleme ile karşılıklı yüzeyler periyodik olarak tanımlanıp, kalınlığın verildiği yönde tek bir element elde edilebilmektedir. Bu kapsamda dairesel kesitli iki boyutlu geometriye programın gerektirdiği derinliği sağlamak amacıyla 'extrude' seçeneği kullanılmış ve ince bir silindir elde edilmiştir. Ansys Workbench'in element oluşturma bölümünde karşılıklı yüzeyler periyodik tabaka çifti olarak tanımlanmıştır. Böylelikle silindir gibi görünen ancak üçüncü boyutta tek element oluşturulduğu için iki boyutta bir dairesel geometri elde edilebilmiştir.

Geometrinin elementlerine ayrılması için gelişigüzel dağılım tekniği kullanılmıştır. Doğal konveksiyonla ısı transferi sırasında, konserve duvarına yakın olan sıvı, ısı transferinin etkisiyle genişleyerek daha düşük bir yoğunluğa sahip olmakta ve sıcaklık artışının da etkisiyle viskozitesi azalmaktadır. Oluşan yoğunluk farkı sıvıya yukarı yönde bir kaldırma kuvveti uygulayarak kendine özgü bir dolaşım

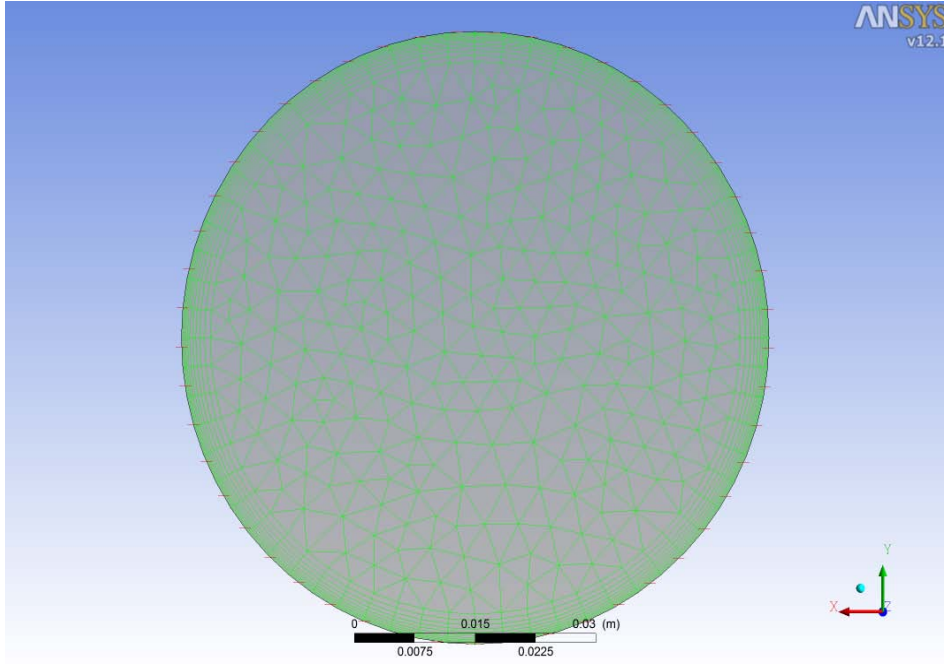
hareketi oluşmasına yol açmaktadır. Dolayısıyla bu bölgelerde sıvı özelliklerindeki değişim diğer bölgelere göre daha hızlı olmakta ve bu nedenle de konserve duvarı yakınındaki sıvının yukarı yöne olan hareketi iç kısımlara göre daha belirgin olarak meydana gelmektedir. Bu kapsamda, ısı transferinin geometri sınırlarında doğru bir şekilde modellenmesi amacıyla iki boyutlu dairesel ara yüzeyin sınırlarında yüzey elementleri dikdörtgensel olarak hazırlanmış ve inflation seçeneği kullanılarak yoğunlaştırılmıştır. Yüzey elemanlarının sınırlarda yoğunlaştırılması sıcaklık ve hız bileşenlerinin çözümlenmesinde doğruluk ve kesinliği arttırmaktadır [Erdoğan vd., 2010]

En uygun ağ yoğunluğu ve dağılımına karar vermek için ağ bağımsızlık çalışması yapılmıştır. 2 boyutlu durumda 946, 1866, 6436, 16458 ve 29882 düğüm noktası sayısına sahip ağ yapıları kullanılmıştır (Şekil 3.10a-d). En uygun ağ yoğunluğuna ve bu ağ yapıları için en uygun zaman adımına karar vermek için farklı zaman adımları kullanılmış (0.1, 0.01 ve 0.001 s) ve sayısal benzetim sonuçları ile deney sonuçları karşılaştırılarak uygun ağ yapısı ve zaman adımı istatistiksel analiz ile belirlenmiştir. Benzetim verilerinin deneysel veriler ile uygunluğu Karekök Ortalama Hata (KOH) değerleri ile hesaplanmıştır. KOH değerleri Eşitlik 3.8'e göre elde edilmiştir:

$$KOH = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (T_{deneysel} - T_{benzetim})^2} \quad (\text{Eşitlik 3.8})$$

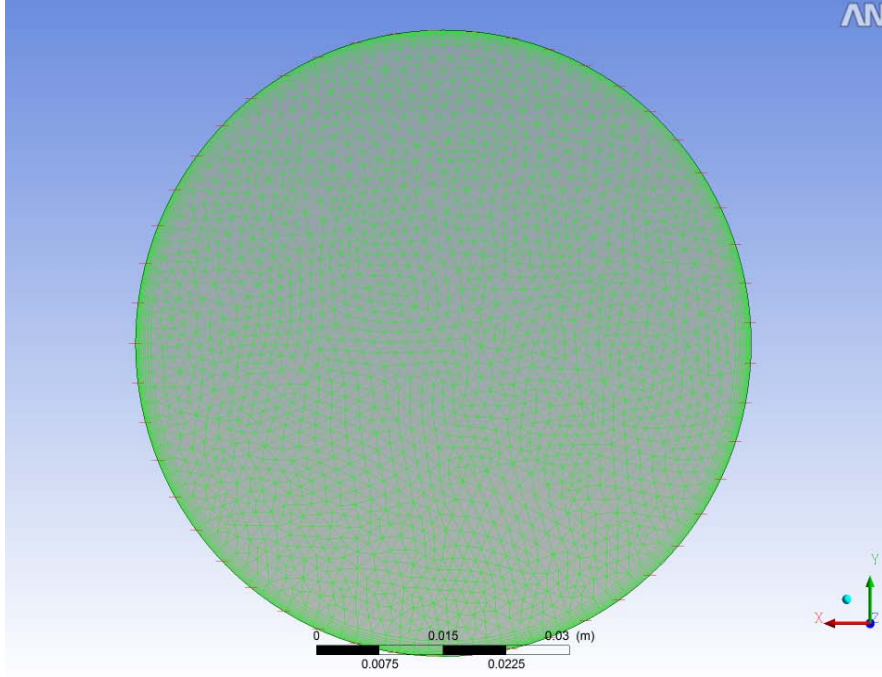


Şekil 3.10 (a)

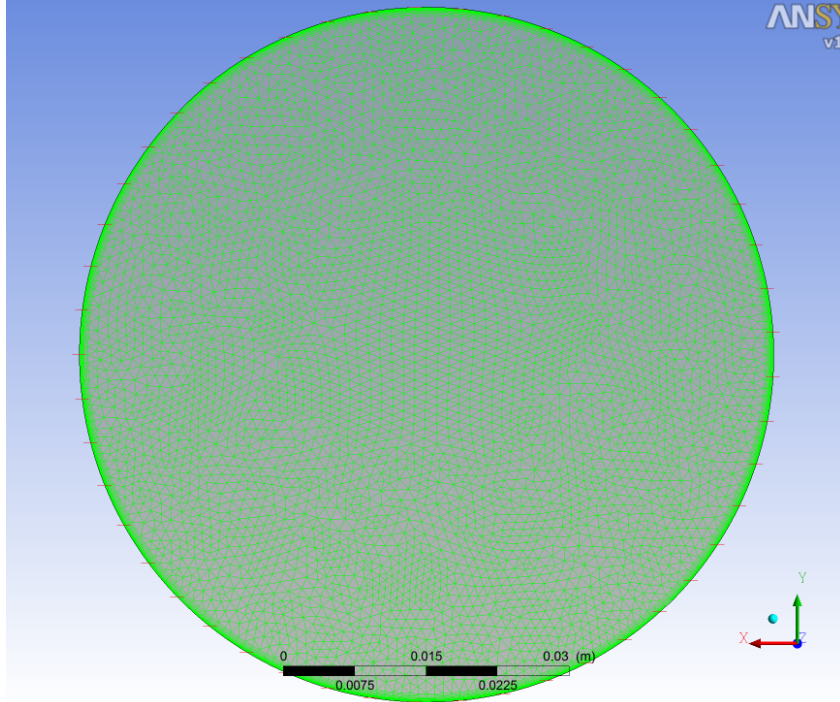


Şekil 3.10 (b)

Şekil 3.10 devamı...

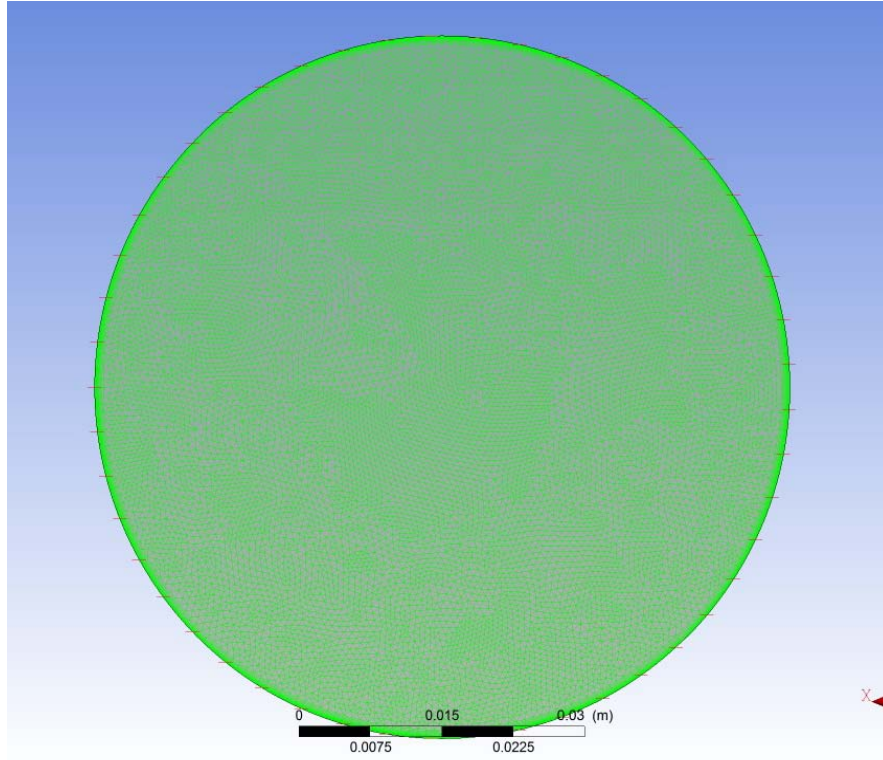


Şekil 3.10 (c)



Şekil 3.10 (d)

Şekil 3.10 devamı...



Şekil 3.10 (e)

Şekil 3.10. Farklı düğüm noktası sayısına sahip ağ yapılarının gösterimi a) 946 düğüm noktalı ağ yapısı, b) 1866 düğüm noktalı ağ yapısı, c) 6436 düğüm noktalı ağ yapısı, d) 16458 düğüm noktalı ağ yapısı, (e) 29882 düğüm noktalı ağ yapısı.

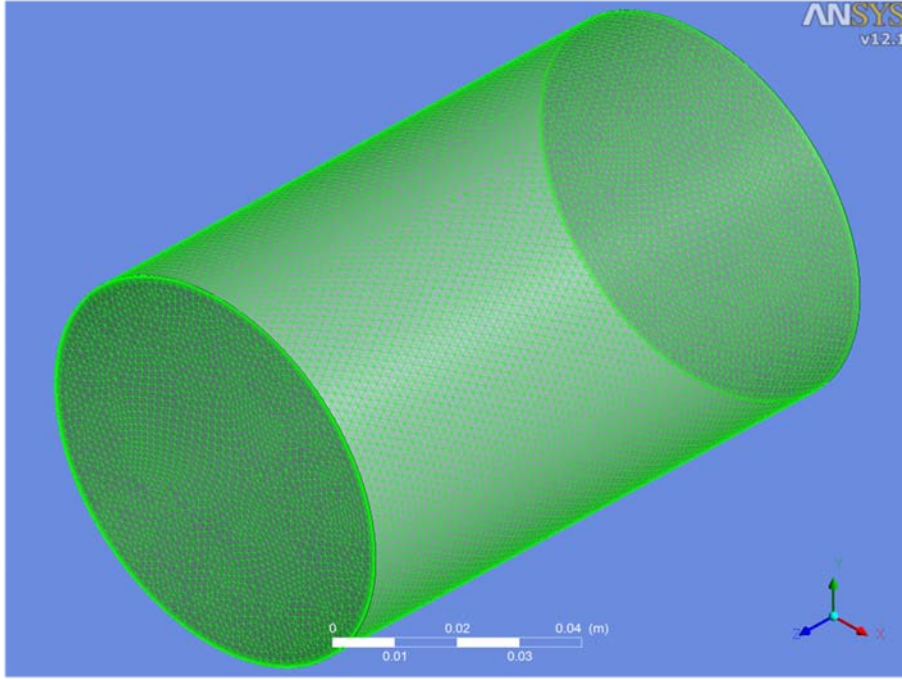
3.2.1.1.2. 3-Boyutlu geometrinin oluşturulması ve elementlerine ayrılması

2 boyutlu yaklaşımların doğruluğunu göstermek için üç boyutlu benzetimler de yapılmıştır. 3-boyutlu model hazırlanırken dairesel ara yüz 110 mm konserve uzunluğuna sahip olacak şekilde yatay ekseninde extrude seçeneği kullanılarak üç boyutlu bir yatay silindir elde edilmiştir. İki boyutlu model hazırlarken izlenen yöntemin aksine periyodik yüzey seçeneği kullanılmamış, bu nedenle oluşturulan silindirin uzunluğuna istenilen sayıda element yerleştirilerek üç boyutlu olarak çözüme devam edilmesi sağlanmıştır. Geometrinin elementlerine ayrılması için gelişigüzel dağılım tekniği kullanılmıştır. Bu nedenle hazırlanan üç boyutlu modelde de katı sınırlara yoğun sayıda element yerleştirilmiş iç kısımlarda ise üçgensel

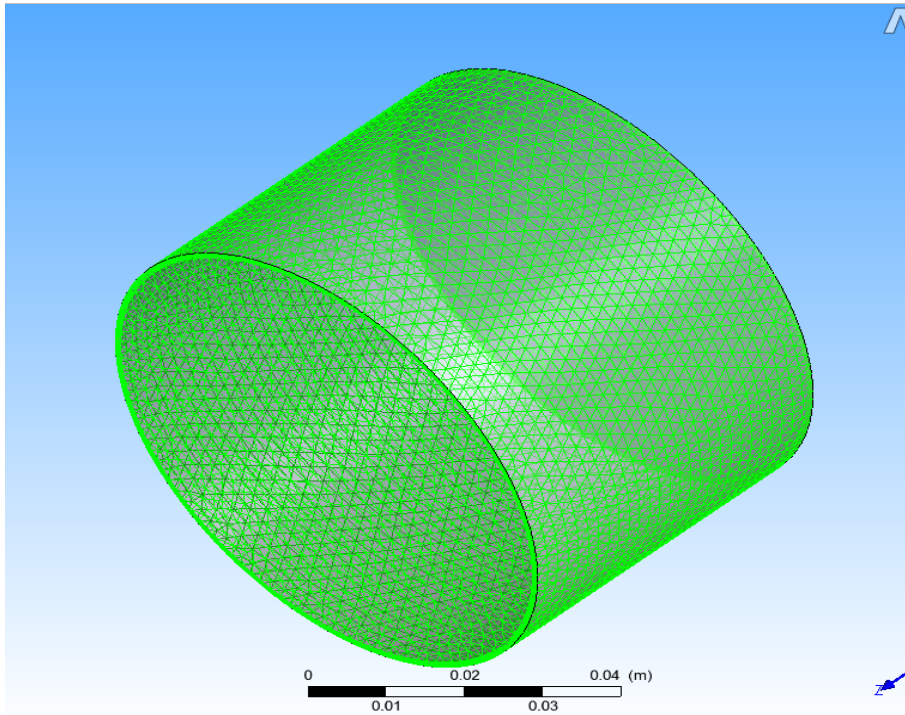
elementler kullanılmıştır. Toplam olarak 467610 düğüm noktalı bir ağ yapısı elde edilmiştir (Şekil 3.11).

[Tu vd., 2008]'de belirtildiği gibi; katı duvar yüzeylerine, genel olarak dörtgen ve altıgen elementlerin, akışın gerçekleştiği iç kısma ise üçgenel ve dörtgenel elementlerin yerleştirilmesi ile daha kesin sonuçlar elde edilerek çözümlerin yakınsaklık derecesi artmaktadır. Nitekim hazırlanan iki ve üç boyutlu modellerde de sınır boyunca dörtgenel element yapıları kullanılırken, geometrinin geri kalanına üçgenel ağ yapısı dağılımı uygulanmıştır (Şekil 3.10 ve Şekil 3.11). İki boyutta üçgenel ve dörtgenel elementlerin; üç boyutta ise dörtyüzlü, altıyüzlü, prizma ve piramitlerin kombine edilmesi ile oluşturulan hibrit ağ yapılarının kullanımı; sınır yüzeyleri ile ağ yapısı hücrelerinin eşleştirilmesinde esneklik sağlamaktadır [Tu vd., 2008].

Radyal yönde oluşan doğal konveksiyon etkileri nedeniyle yatay yönden olan ısı transfer etkisinin ihmal edilebileceğini farklı bir açıdan gösterebilmek amacıyla, daha önce hazırlanan geometrilerle aynı çapta fakat daha kısa (73 mm çapında - 55 mm boyunda) konserve boyutu kullanılarak, daha önce tamamlanan simülasyonlarla aynı koşullarda, bir simülasyon çalışması da tamamlanmıştır (Şekil 3.11b; 115054 düğüm sayısı).



Şekil 3.11 (a)



Şekil 3.11 (b)

Şekil 3.11. Üç boyutlu hazırlanan modellerde ağ yapılarının görünümü
a) Orijinal konserve geometrisi (36.5×110 mm) 467610 düğüm sayısı;
b) Kısa silindir (36.5×55 mm) 115054 düğüm sayısı.

3.2.1.2. Başlangıç ve sınır koşulları

Başlangıç hız koşulları için, suyun proses başlangıcında hareketsiz olduğu kabul edilmiştir. Sıcaklık başlangıç koşulu ise deneysel olarak ölçülmüş ve yapılan deneylerin ortalama sıcaklık değeri sayısal benzetimlerde homojen olarak kullanılmıştır (297.48 ± 1.35 K). Sabit yüzey sıcaklığı sınır koşulu uygulanması ile birlikte, konserve kutusu yüzeyinin ısıtma ortamı sıcaklığına (371.13 ± 0.50 K) hızlı bir şekilde eriştiği ve bu sıcaklığın işlem süresince sabit kaldığı varsayılmıştır. Çok yüksek ısı transfer katsayısına ek olarak, konserve kutusu duvarlarının düşük ısı dirence sahip olduğu (ince duvar kalınlığı ve yüksek ısı iletim katsayısı) ve doğal konveksiyonun katmanlı akışa yol açtığı varsayımları yapılmıştır. Bu kabuller daha önce [Erdogdu vd. 2010], [Kiziltas vd., 2010] ve [Erdogdu ve Tutar 2011] tarafından da doğrulanmış ve uygulanmıştır. Momentum denklemlerini sabit sıcaklık sınır koşulu ile çözebilmek için hazırlanan modelin dış sınırlarına kaymazlık sınır koşulu uygulanmıştır. Momentum denkleminin yatay yöndeki etkileri yatay silindirin 2 boyutlu yaklaşımında ihmal edilmiştir. Bu yaklaşımla birlikte çözüm süresi de önemli ölçüde azaltılmıştır.

3.2.1.3. Termal ve fiziksel özellikler

Boussinesq yaklaşımında yoğunluk, kaldırma kuvveti teriminde sıcaklığa bağlı, diğer terimlerde ise sabit olarak kabul edilmektedir (Eşitlik 3.6). Benzetimlerde kullanılan özelliklerin sabit ve sıcaklığa bağlı olarak kullanılması arasındaki farkın belirlenmesi amacıyla suyun fiziksel ve termal özelliklerinden ısı iletim katsayısı, özgül ısı ve viskozitenin sıcaklığın etkilerini içerecek şekilde polinom denklemler halinde ve sabit bir değer kullanılmıştır. Her bir element sayısı ve zaman aralığı değerleri için değişken ve sabit özellikler kullanılarak sayısal benzetimler yapılmıştır. Saf suyun benzetimlerde kullanılan sabit fiziksel ve termal özellikleri Çizelge 3.1'de, sıcaklığın bir fonksiyonu olarak kullanılabilmesi için hazırlanan polinom denklemler ise Çizelge 3.2'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Saf suyun sabit kabul edilen fiziksel ve termal özellikleri.

Isı iletim katsayısı (W/m-K)	Viskozite (Pa-s)	Özgül ısı (J/kg-K)	Isıl genleşme katsayısı (1/K)
0.61	8.90×10^{-4}	4181.7	2.57×10^{-4}

Çizelge 3.2. Saf suyun ısı iletim katsayısı, özgül ısı ve dinamik viskozitesinin sıcaklığın fonksiyonu olarak kullanılabilmesi amacıyla hazırlanan polinom denkliler.

Saf suyun ısısal ve fiziksel özellikleri	Polinom denklik (T - K)
Isı iletim katsayısı - k (W/m-K)	$k = -0.000009 \times T^2 + 0.07 \times T - 0.6893$
Özgül ısı - c_p (J/kg-K)	$c_p = -0.0092 \times T^2 - 5.6859 \times T + 5058.2$
Viskozite - μ (Pa.s) $\times 100000$	$\mu = -0.00018576 \times T^3 + 0.197172 \times T^2 - 70.15 \times T + 8401.04$

3.2.1.4. Modelin çözülmesi

Navier-Stokes eşitliklerinin çözülmesi için kullanılacak yöntemi belirlemek amacıyla CFX programında farklı çözüm yöntemlerinin deney sonuçları ile uyumluluğu kontrol edilmiştir. Literatürde önerilen Upwind-Advection Scheme, High Resolution ve Specified Blend Factor çözüm metotları kullanılarak 1866 ağ sayısına ve 0.01 s zaman aralığı değerine sahip modellerde benzetimler yapılmıştır. Buradan elde edilen sonuçlara çözümlerin yapılmasında Upwind-Advection Scheme çözüm yönteminin Backward Euler seçeneği ile kullanılmasına karar verilmiştir. Tüm değişkenler için yakınsama kriteri 10^{-5} olarak kullanılmıştır.

Hazırlanan konserve modelinde tepe boşluğunun bulunması hava-su fazları ara yüzey hesaplamaları ile çözüm modeline beraberinde karmaşık problemler getirmektedir. [Erdogdu and Tutar 2011], konservenin ısınması sırasında su ve havanın etkilerini incelemiş ve tepe boşluğundaki havanın (hacimce %10) ısınmaya artı bir etkisi olduğunu belirtmişlerdir. Ancak [Erdoğan vd., 2010] ve [Kızıldağ vd. 2010] hacimce %5'ten daha düşük kullanılan hava boşluğunun etkisini ihmal edilebildiğini ve bunun benzetim sonuçlarında bir farklılık yaratmadığını belirtmişlerdir. Bu çalışmada da hava-su ikili faz etkisinin ihmal edilmesi için, bombaja neden olamayacak kadar az tepe boşluğu (hacimce <%5) bırakılmıştır.

Benzetim çalışmaları HP Z400, Intel Xezon CPU (2.66 GHZ) ve 12 GB RAM'e sahip bilgisayarlarda yürütülmüştür. Bir zaman adımıdaki yeterli yakınsama için mevcut donanımdaki iterasyon süresi 3 ve 2 boyutlu durumlar için sırasıyla 35 ve 5 saniye olarak belirlenmiştir.

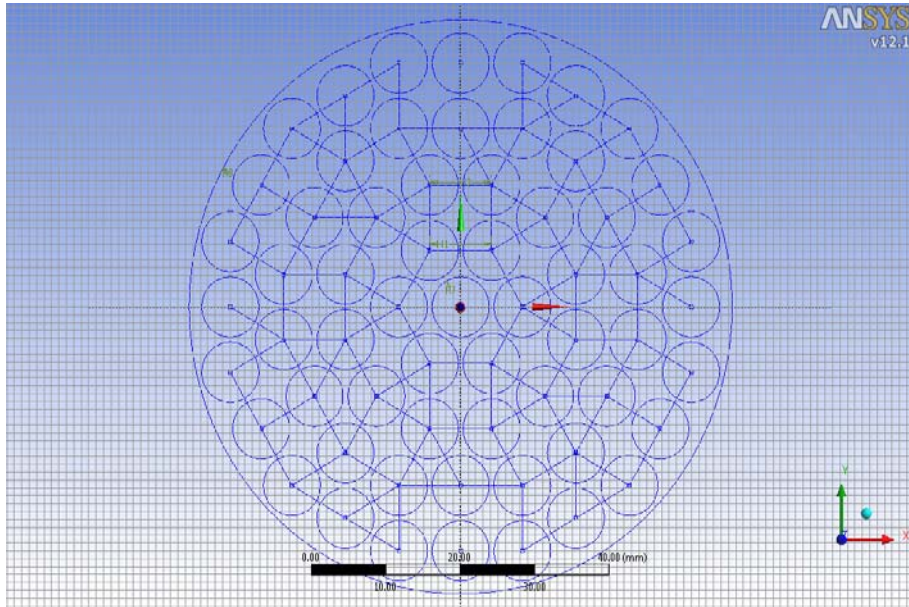
3.2.2. Su- Bezelye Karışımı Kullanılarak Yapılan Benzetimler

Benzetimlerin ikinci aşamasında katı-sıvı karışımlar içeren bir gıda konservesinde iki boyutlu yaklaşımın geçerliliği eş gözeneklilik uygulaması ile araştırılmıştır. Bu amaçla iki boyutlu konserve kesit alanı içerisine bezelye geometrisinin temsili için dairesel geometriler yerleştirilip, deneylerde elde edilen başlangıç ve sınır koşulları ile benzetimler yapılmıştır. İki boyutta hazırlanan bezelye içeren bir konserve geometrisinin gözenekliliği suyun kapladığı alanın, bezelyelerin kapladığı toplam alana oranı olarak hesaplanmıştır.

Perakende olarak satılan bezelye konservelerinde gözeneklilik değeri $35 \pm 2\%$ (10 konserveden elde edilen değerlerin ortalaması)'dir. Bu kapsamda oluşturulan iki boyutlu modelin gözeneklilik değeri 33% olarak tasarlanabilmiştir. 33% 'lük ortalama gözeneklilik değerini elde etmek için 36.5 mm yarıçapa sahip bir konserve kutusu kesit alanı üzerinde 3.825 mm yarıçapa sahip toplam 61 adet bezelye yerleştirilmiştir. 61 adet dairesel geometrinin konserve kesit alanına dağılım şekli benzetim sonuçları açısından önemli olduğu için matematiksel bir yöntem ile oluşturulmuştur. Bu yöntem [Fen ve Erkoç, 2007]'un süper akışkanların oluşturduğu vorteks hareketi ile ilişkili olarak bir dairesel geometri üzerine yerleştirilebilecek birim dairelerin homojen dağılımını ve bunlar arasındaki geometrik ilişkiyi bir korelasyon ile belirledikleri çalışmada da kullanılmıştır.

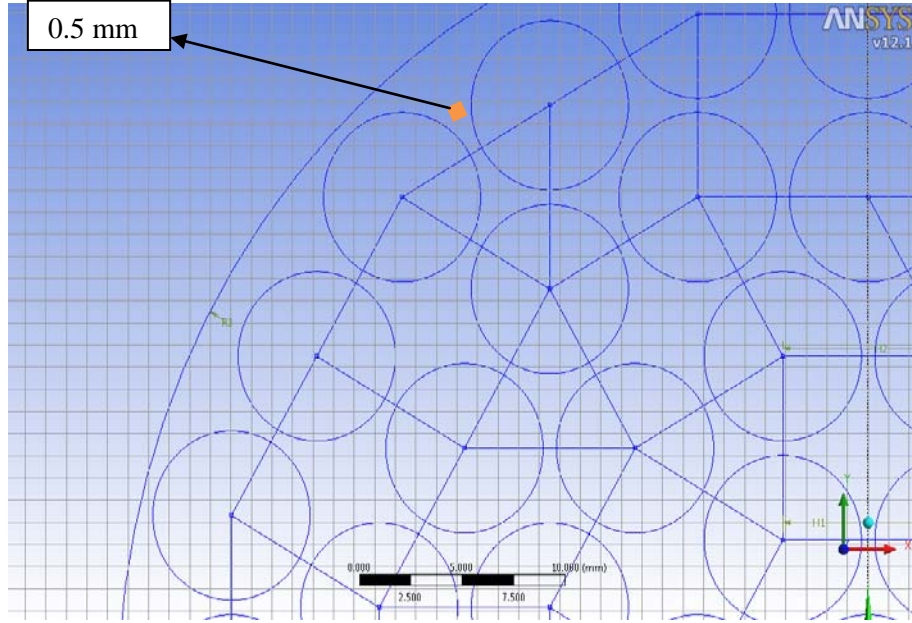
3.2.2.1. Geometrinin oluşturulması ve elementlerine ayrılması

Belirtilen çalışmadan [Fen ve Erkoç, 2007] yola çıkarak 36.5 mm yarıçapa sahip olan bir dairesel kesit içine, 61 dairesel geometriyi kapsayan eşmerkezli düzgün altıgen, onikigen ve onsekizgenler yerleştirilmiş ve bezelyeleri temsil eden dairesel geometriler hazırlanan çokgenlerin köşe noktalarına yerleştirilmiştir. Dağılımın kuralı gereği çokgenler, eşkenar dörtgen ve eşkenar üçgenlerden oluşmaktadır. Örneğin bir onikigen, bir eşkenar dörtgen ve bir eşkenar üçgenin; bir onsekizgen ise iki eşkenar dörtgen, bir eşkenar üçgenin ardı ardına sıralanması ile oluşturulmaktadır. Bu şekilde hazırlanan bir geometride birim dairelerin çapları çokgenlerin bir kenarına eşit olacak şekilde hazırlanmakta ve bu sayede tüm birim geometriler birbirine bir noktada teğet olmakta ve arada boşluk bulunmamaktadır. Ancak bu durum benzetimlerde bezelye geometrisi dışında kalan su fazının aradaki boşluklara girmesini engelleyerek fiziksel olarak gerçekçi olmayan sonuçlar elde edilmesine neden olacaktır. Dolayısıyla hazırlanan bu teğet geometrilerin merkezleri modeldeki düzgün dağılımı sağlamak amacıyla çokgen köşelerine yerleştirilmiş ancak çap uzunlukları, arada 0.8 ve 0.5 mm boşluk bulunacak şekilde azaltılmıştır. Bu yöntemle hazırlanan iki boyutlu bir geometri modeli Şekil 3.12'de gösterilmiştir.



Şekil 3.12. (a)

Şekil 3.12. devamı...

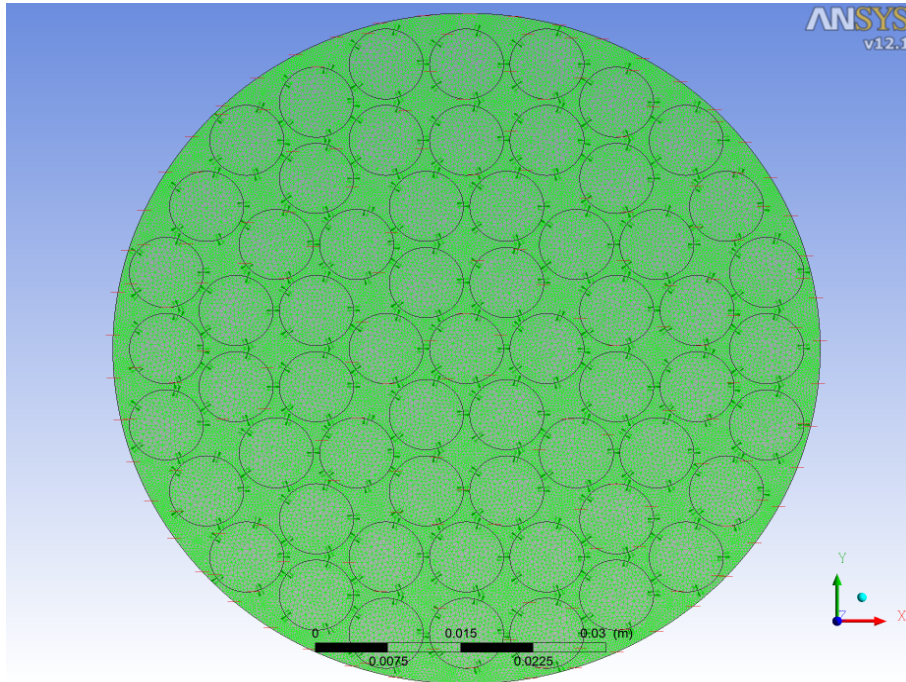


Şekil 3.12. (b)

Şekil 3.12. Konserve geometrisi içerisine yerleştirilecek 3.825 mm yarıçapa sahip dairesel geometrilerin;
a) genel dağılım, b) yüzeye yakın bölgeden kesit görüntüsü.

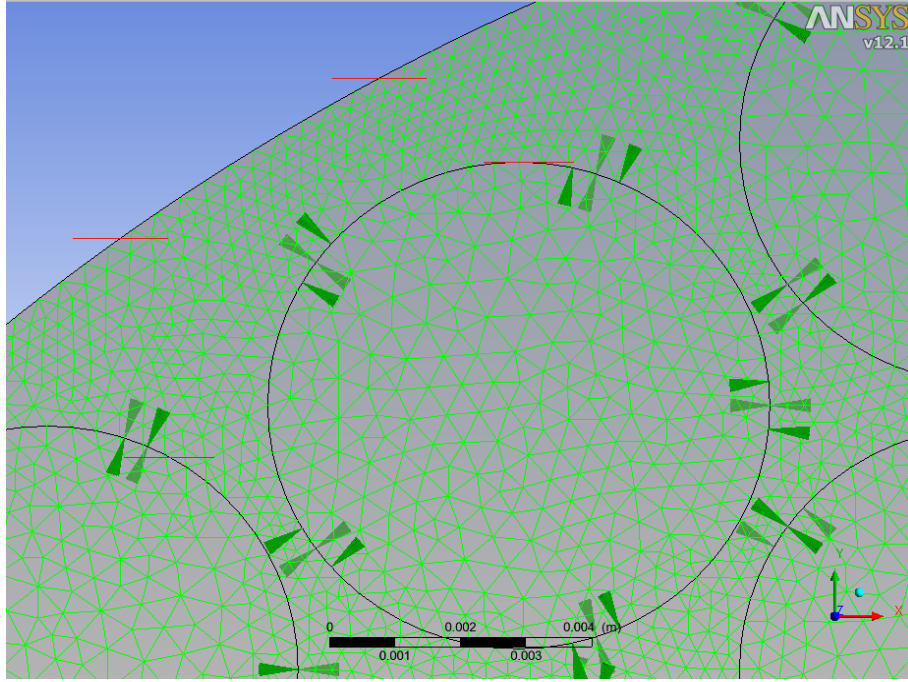
Çalışmanın diğer aşamasında elde edilen iki boyutlu dağılımın (Şekil 3.12) üç boyutta uygulanabilirliği incelenmiş, bu amaçla oluşturulan matematiksel geometride kullanılan daireler küreye dönüştürülmüş, konserve geometrisinin kalınlığı tek bir bezelye sırasını içerecek ve bezelye sıralarının üst üste gelmesini engelleyecek kalınlıkta ayarlanmıştır. Ayrıca bu şekilde oluşturulan üç boyutlu modelin gözeneklilik değerinin, gerçek gözeneklilik değerini temsil etmesi amaçlanmıştır. Ancak sonuçlarda 36.5 mm yarıçapa sahip bir konserve kutusu arayüzüne yerleştirilecek belirli çaplara sahip küresel bezelyelerin hangi sayı ve dağılıma sahip olduğu önemli olmaksızın gerçek gözeneklilik değeri olan % 35'in oldukça üzerinde olacağı (>%42) belirlenmiştir. Bu şekilde yürütülecek bir benzetimde su fazı olması gereken değerden çok daha fazla olacağından ısınma hızlı bir şekilde gerçekleşecek ve fiziksel olarak gerçekçi olmayan sıcaklık dağılımları elde edilmesine neden olacaktır. Dolayısıyla çalışmanın başında amaçlanan eş gözeneklilik yöntemi uygulanamayacaktır. Bu kapsamda, yatay bezelye konserveleri için de 2-boyutlu yaklaşımın kullanılabileceği varsayılmıştır.

Bu bölümdeki simülasyonlarda geometri ve element oluşturma için ANSYS Workbench ve çözümler için ANSYS CFX v12.1 kullanılırken, 2 boyutlu sistemin hazırlanmasında [Kızıltas vd., 2010] tarafından da belirtildiği şekilde eş-porozite yaklaşımı (su kısım yüzey alanının toplam yüzey alanına oranı %35) kullanılmış, bezelyeler 7.65 mm çapında küre olarak kabul edilmiş, küreler arası boşluklar 0.8 mm olarak belirlenmiş, bu boşluklarda, hız profillerini doğru olarak belirleyebilmek için ortalama 3 element kullanılmıştır. Konserve yüzeyinde yoğunlaştırılmış element etkisini gözlemek için yüzeyde yoğunlaştırma yapılmadan (Şekil 3.13) ve 10 kat yoğunlaştırma (Şekil 3.14) yapılarak benzetimler yürütülmüştür. Eşitlik 3.1 - 3.6'da verilen momentum ve enerji denklıkları bezelye-su karışımı ile yapılan benzetimlerde de kullanılmış ve model toplamda 68158 (Şekil 3.13) ve 59442 (Şekil 3.14) sayısal düğüme ayrılarak 0.001 s olarak seçilen zaman aralığında çözümler tamamlanmıştır.



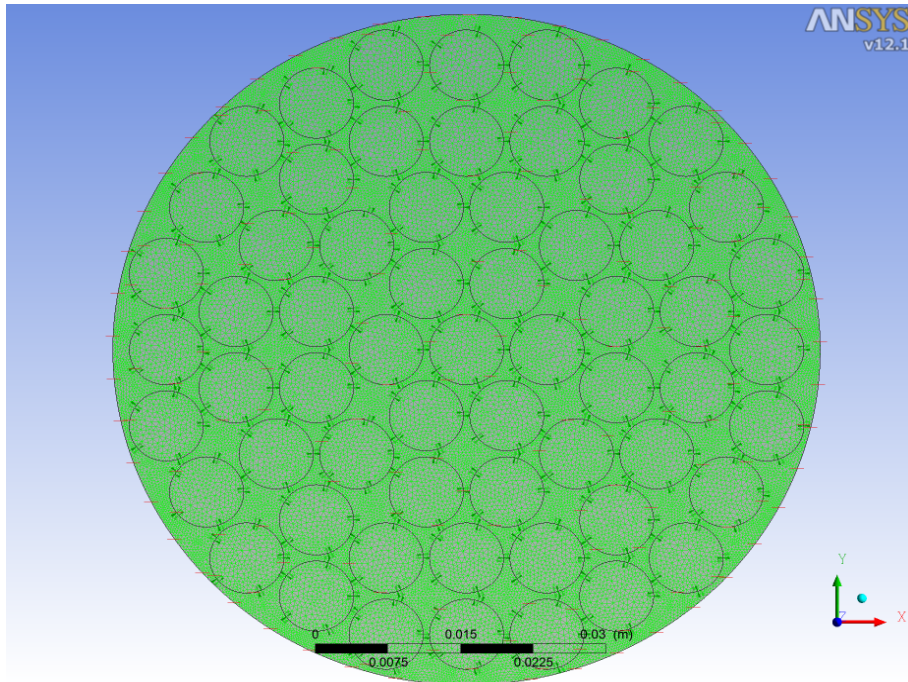
Şekil 3.13 (a)

Şekil 3.13 devamı...



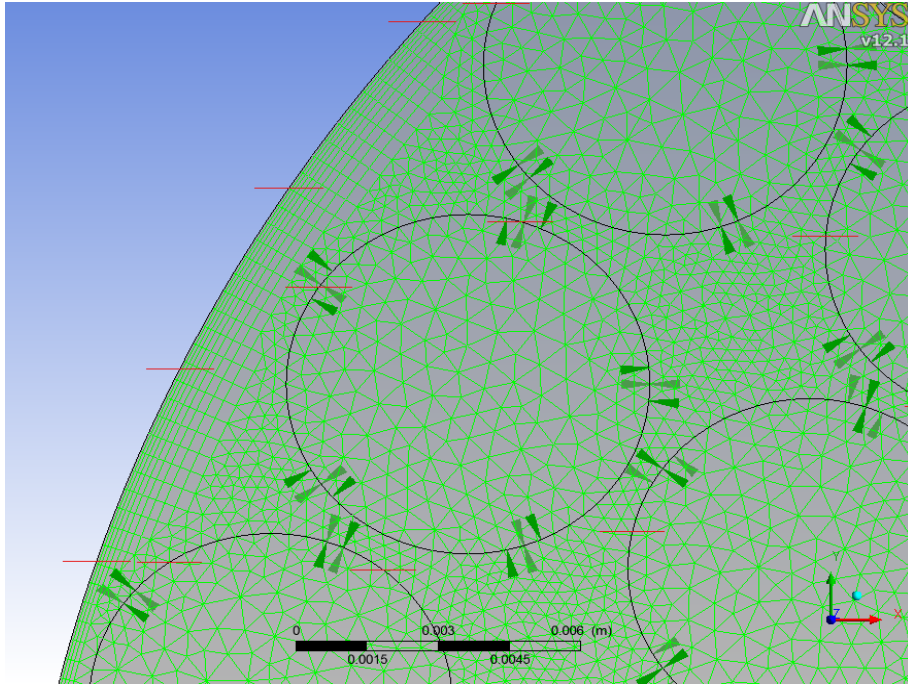
Şekil 3.13 (b)

Şekil 3.13. 3.825 mm yarıçapa sahip bezelye benzetimlerinde kullanılan yüzeyde yoğunlaştırma yapılmamış element yapısı (68158 düğüm noktası);
a) genel, b) kesit görünümü



Şekil 3.14 (a)

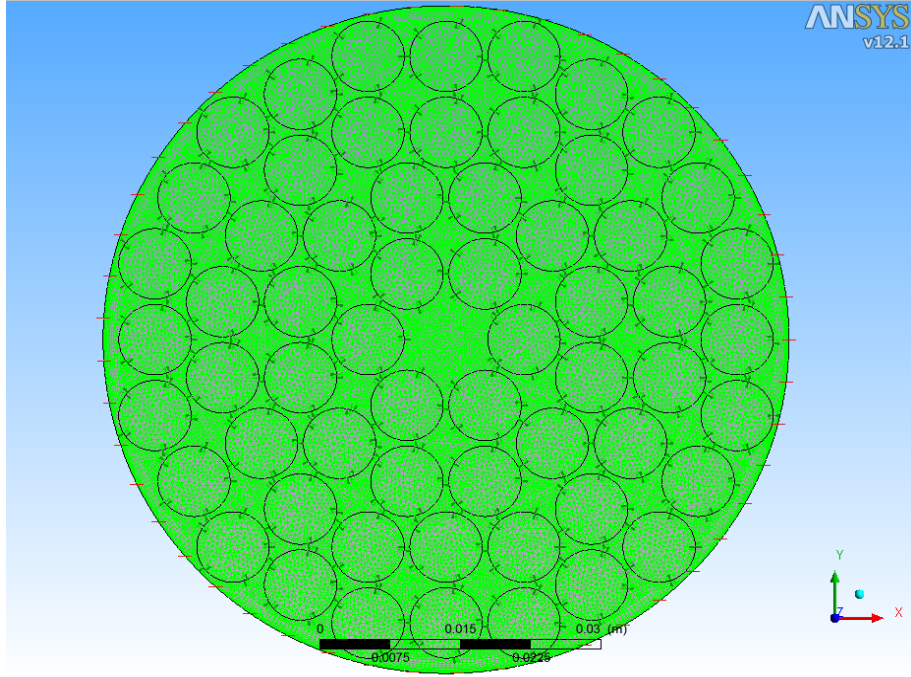
Şekil 3.14 devamı...



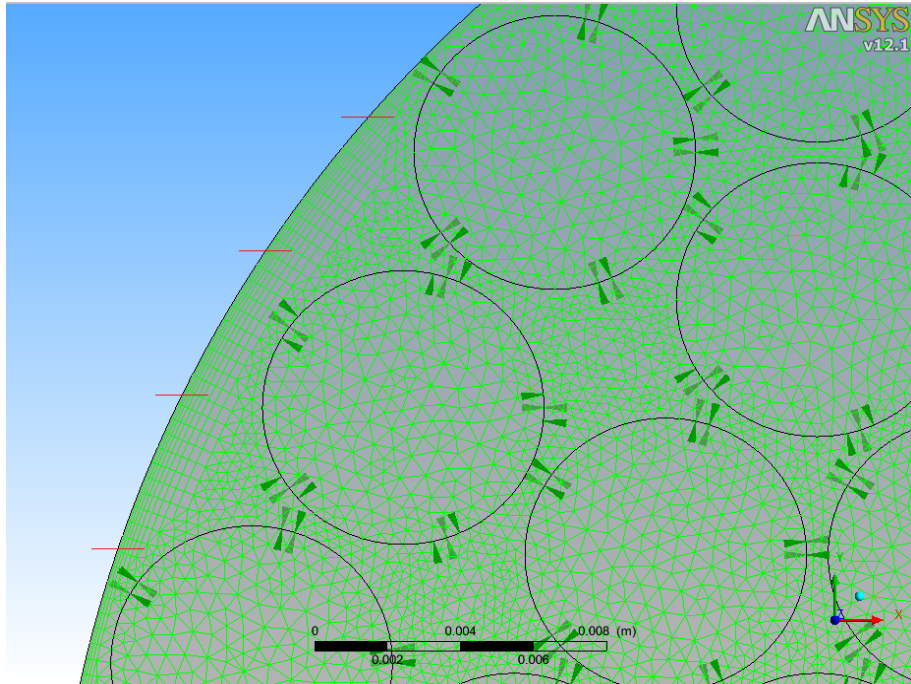
Şekil 3.14 (b)

Şekil 3.14. 3.825 mm yarıçapa sahip bezelye benzetimlerinde kullanılan yüzeyde yoğunlaştırma yapılmış element yapısı (59442 düğüm noktası);
a) genel, b) kesit görünümü.

Modelin doğrulanması aşamasında merkezde bulunan bezelyenin iç sıcaklık değişim sonuçları ile birlikte, daha önce hazırlanan geometride merkezde bulunan dairesel geometri modelinden çıkarılarak toplan bezelye sayısı 60'a düşürülmüş ve böylece merkezde dolgu sıvısı sıcaklık değişimleri elde edilmiştir. Ancak istenilen %33'lük gözeneklilik değerinin elde edilmesi için bir önceki durumda (61 adet bezelye) 3.825 mm olarak kullanılan bezelye yarıçapları, merkezde dolgu sıvısı sıcaklıklarının modelleneceği durumda (60 adet bezelye) 3.8567 mm'ye çıkartılmış bezelyeler arası boşluk da aynı oranda azaltılmıştır. Şekil 3.15 merkezde dolgu sıvısı sıcaklık değişimlerinin benzetimi için hazırlanan 62718 düğüm noktalı geometri ve ağ yapısını göstermektedir.



Şekil 3.15 (a)



Şekil 3.15 (b)

Şekil 3.15. Merkezde dolgu sıvısı sıcaklık değişimlerinin benzetimi için hazırlanan ağ yapısı (62718 düğüm noktası); a) genel, b) kesit görünümü.

3.2.2.2. Başlangıç ve sınır koşulları

Isıl sınır koşulu olarak dış yüzeyde sabit sıcaklık (sonsuz ısı transfer katsayısı), momentum sınır koşulu olarak da kaymazlık sınır koşulu uygulanmış, başlangıç sıcaklığı sabit ve tekdüze olarak kullanılmıştır. Kaymazlık sınır koşulu küre yüzeylerinde de uygulanmıştır. Simülasyon sırasında akış modu olarak çizgisel akış yaklaşımı kullanılmıştır.

3.2.2.3. Termal ve fiziksel özellikler

Katı-sıvı karışımlarda su-bezelye modeli iki ayrı faza sahip olduğu için katı ve sıvı fazın özellikleri benzetim programında birbirinden bağımsız olarak tanımlanmıştır. Su fazı için Çizelge 3.2’de verilen sıcaklığa bağlı polinom denklikler kullanılırken, bezelyeyi temsil eden katı faz için Çizelge 3.3’deki değerler kullanılmıştır.

Çizelge 3.3. Benzetimlerde kullanılan bezelyelerin ısısal ve fiziksel özellikleri [Garrote ve ark., 2006, 2008; Kızıldağ vd., 2010].

Yoğunluk (kg/m ³)	Isı İletim katsayısı (W/m-K)	Özgül Isı (J/kg-K)
1062	0.5	3057

3.2.2.4. Modelin Çözülmesi

Modelin çözülmesi kısmında da su benzetimlerinde belirlendiği üzere Upwind-Advection Scheme çözüm yönteminde ikinci dereceden Backward Euler seçeneği kullanılarak çözülmüştür. Değişkenler için yakınsama kriteri de 10^{-5} olarak kullanılmıştır.

3.2.3. CMC Modeli Benzetimleri

Gıda ürünleri genellikle Newtonumsu olmayan özellik göstermekte olup yüksek viskoziteye sahiptirler. Bu nedenle yatay konservelerde iki boyutlu yaklaşımın yüksek viskoziteye sahip Newtonumsu olmayan özellikteki gıda ürünlerinde de

uygulanabileceğinin doğrulanması için yüksek viskoziteye sahip Newtonumsu olmayan bir modelde de benzetimler yapılmıştır.

3.2.3.1. Geometrinin oluşturulması ve elementlerine ayrılması

CMC modeli benzetimlerinde geometri, su modelinde olduğu gibi iki ve üç boyutlu olarak hazırlanmıştır. İki boyutlu geometri Şekil 3.10'da gösterildiği şekilde gıda ürünlerini temsil eden viskoz ürünler için de karşılaştırılması amacıyla yine beş farklı sayıda düğüm noktasına (946, 1866, 6436, 16458, 29882) ayrılmıştır. Üç boyutlu model ise su modelinde (Şekil 3.11) olduğu gibi 467610 düğüm noktasına ayrılarak hazırlanmıştır.

3.2.3.2. Başlangıç ve Sınır Koşulları

CMC modeli için deneyler yapılmadığından model doğrulaması yapılmamıştır. Bu nedenle başlangıç ve sınır koşulları su için yapılan benzetimlerde olduğu gibi (Bölüm 3.2.1.2) kullanılarak sıcaklık ve hız dağılımları elde edilmiştir.

3.2.3.3. Fiziksel ve Termal Özellikler

Benzetimlerde, literatürde de farklı çalışmalarda kullanılmış olan sodyum karboksil metil selülozun (CMC) fiziksel özellikleri kullanılmıştır. CMC, Newtonumsu davranış göstermediğinden ve fiziksel özellikleri ile literatürde daha önce de farklı çalışmalarda [Kumar vd., 1990; Abdul Ghani vd., 1999b] viskoz gıda ürünlerini temsil ettiği için kullanılmıştır. Benzetimler viskozitenin sabit ve sıcaklığa bağlı olarak değişmesine göre su modelinde uygulandığı gibi sabit ve değişken viskozite değerleri kullanılarak yapılmıştır. Viskozitenin sıcaklığa bağlı değişimi polinom denklik kullanılarak tanımlanmıştır. Kullanılan özellikler ve polinom denklik sırasıyla Çizelge 3.4 ve Çizelge 3.5'de verilmiştir. CMC ile yapılan benzetimler, su için yapılan benzetimlerden yalnızca kullanılan fiziksel özellikleri ile ayrılmaktadır. Dolayısıyla saf su benzetimi için hazırlanan geometri ve ağ yapısı özellikleri, yukarıda belirtildiği gibi, CMC için de kullanılmıştır.

Çizelge 3.4. Gıda örneğini temsil etmesi için benzetimlerde kullanılan modelin (sodyum karboksi metil selüloz, %0.85 w/w) termal ve fiziksel özellikleri.

Yoğunluk (kg/m ³)	Isı iletim katsayısı (W/m.K)	Özgül Isı (J/kg.K)	Isıl genleşme katsayısı β (1/K)
950	0.7	4100	0.0002

Çizelge 3.5. CMC örneğinin sabit ve sıcaklığa bağlı (polinom) viskozite değerleri (T: K).

Viskozite (sabit) (Pa.s)	Viskozite (değişken) (Pa.s)
2.78	$\mu = 40.49119 - 0.20401T + 0.00026T^2$

3.2.3.4. Modelin Çözülmesi

Denklikler su ve su-bezelye benzetimlerinde olduğu üzere Upwind-Advection Scheme çözüm yönteminde ikinci dereceden Backward Euler seçeneği kullanılarak çözülmüştür. Değişkenler için de yakınsama kriteri 10^{-5} olarak kullanılmıştır. Zaman aralığı değerleri iki boyutlu model için 0.1, 0.01 ve 0.0001 s olarak kullanılmıştır. Üç boyutlu modelde ise suyun üç boyutlu olarak modellenmesinde olduğu gibi 0.001 saniye olarak kullanılmıştır.

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

Konserve endüstrisinde optimizasyon çalışmaları için gerekli olan ısı işlemlerinin matematiksel modellerinin elde edilmesi ve benzetimlerde kullanılmasında sistemi 3-boyuttan 2-boyuta indirgeyerek çözümü kolaylaştıran eksensel simetri yaklaşımı sıklıkla uygulanmaktadır. Yatay konumlandırılarak ısı işlemleri uygulanan konservelerde ise bu yaklaşım, fiziksel olarak mümkün olmayan sıcaklık dağılımı ile sonuçlanmakta bu nedenle kullanılmamaktadır (Şekil 2.4). Literatürde, eksensel simetri yaklaşımı yerine yatay konservelerin 3 boyutlu olarak modellenmesi, elementlerine ayrılması ve çözülmesi önerilmektedir. Ancak sıvı ürün içeren konservelerde ısı işlemleri doğal konveksiyon mekanizması ile olmakta, benzetim sonuçlarının elde edilmesi enerji denkleminin momentum denklemleri ve kütle korunumu denklemi ile birlikte çözülmesini gerektirmesi nedeniyle uzun zaman almaktadır. Bu nedenle sıvı ürün içeren yatay konservelerde optimizasyon çalışmalarına literatürde rastlanmamıştır.

Bununla birlikte; [Hassan ve Sanghi 2007] yatay yöndeki yerçekimi kuvvetinin, doğal konveksiyon üzerine etkisini belirledikleri benzetim çalışmalarında, ihmal edilebileceğini önermişlerdir. Bu kapsamda sıvı ürün içeren yatay konservelerde doğal konveksiyonun yatay yöndeki ($g_z=0 \text{ m/s}^2$) etkisinin, radyal yöne ($g_y=9.81 \text{ m/s}^2$) göre ihmal edilmesi durumunda eksensel simetri yaklaşımına gerek duyulmadan, çözümün 2-boyutlu yaklaşımlar ile yapılabileceği fikri doğmuştur.

Deneyel çalışmalarda, hazırlanan konservelere ısı çiftleri yerleştirilmiş ve belirli noktalarında ısı işlemleri süresi boyunca sıcaklık ölçümü yapılmıştır. İki boyutlu yaklaşımların kullanılabileceği deneysel olarak belirlendikten sonra su, su-bezelye karışımı ve viskoz gıda örneğini temsil eden CMC ile iki ve üç boyutlu benzetimler tamamlanmıştır. Deneylerden elde edilen başlangıç ve sınır koşulları (ilk sıcaklık ve ortam sıcaklığı) ile kullanılan sistemin fiziksel ve termal özellikleri (özellikler, ısı iletim katsayısı, yoğunluk ve viskozite) benzetim programında kullanılarak çözümler yapılmıştır. Sonuçların doğruluğunun belirlenmesi için benzetim sonuçları hazırlanan

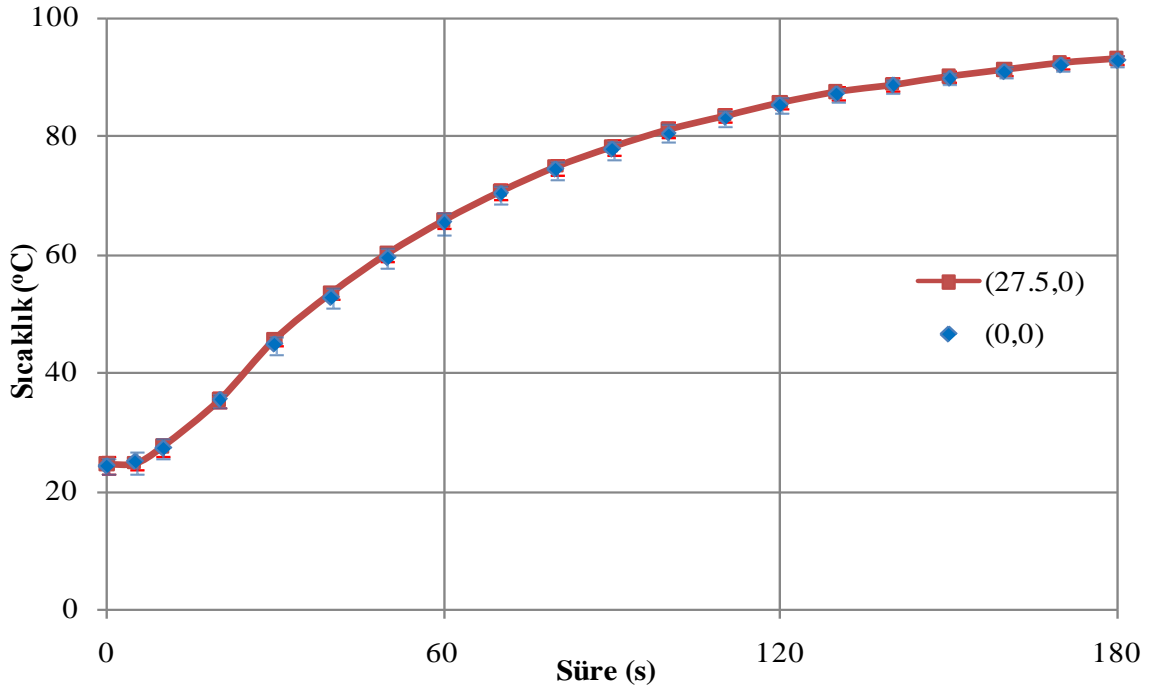
konserveelere uygulanan ısı işlem sırasında elde edilen sıcaklık ölçüm sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

4.1. İKİ BOYUTLU YAKLAŞIMIN KULLANILABİLİRLİĞİ

Çalışmada, yatay konserveelerde ısı işlem benzetimlerin 3 boyut yerine 2 boyutlu dairesel bir ara kesitte yapılarak çözüm sürelerinin azaltılması öngörülmüştür. Bu yaklaşımın uygulanabilirliğinin gösterilmesi için yatay yöndeki sıcaklık ve hız değişimlerinin ihmal edilmesi dolayısıyla yalnızca radyal yönden ısı transferi olacağı varsayımı yapılmıştır. Yatay yönde ısı transferinin ihmal edilmesi yaklaşımı konserve içerisinde yatay yönde ölçülen sıcaklıklarda bir farklılığın olmaması ile doğrulanabilmektedir. Bu amaçla konserveye uygulanan ısı işlem sırasında, yatay yönde konserve merkezi ve merkez ile yüzey arasında sıcaklık ölçümü yapılmıştır. Şekil 4.1 yatay konserve içerisinde iki ayrı noktadan (konserve merkezi (0,0) ve konserve merkezi ile kapak arası orta noktası (27.5, 0)) 10 tekrar olarak elde edilen deneysel verilerin ortalamalarının karşılaştırılmasını göstermektedir. Görüldüğü gibi yatay yönde merkez çizgisi üzerindeki iki ayrı noktada (konserve merkezi ve konserve yüzeyi ile merkez orta noktası) alınan sıcaklık verileri arasında deneysel olarak bir fark gözlenmemiştir. Bu durum yatay yönde kayda değer bir ısı transferinin gerçekleşmediğini ve yatay konserveelerde benzetimlerin ısı transferinin baskın olduğu radyal yönde iki boyutlu yapılabileceği konusunda bir ipucu vermiştir.

4.2. SU İLE YAPILAN İKİ BOYUTLU BENZETİMLER

2 boyutlu yaklaşımların kullanılabilirliği belirlendikten sonra, 2 boyutta benzetimlerin yapılabilmesi için en uygun element sayısı ve zaman aralığı değerleri belirlenmiştir. Bu amaçla yapılan ağ bağımsızlık çalışmalarında farklı düğüm sayısına sahip modellerin, farklı zaman adımı değerleri ile yapılan benzetim sonuçları karşılaştırılmıştır. Benzetimlerde kullanılacak olan model parametrelerinin seçimi termal ve fiziksel özelliklerin etkisi karşılaştırılarak yapılmıştır.



Şekil 4.1. Konserve merkez (0,0) ve merkezi ile konserve kapağının orta noktası (27.5,0) deneysel sıcaklık değişimlerinin karşılaştırılması.

4.2.1. Benzetimler için Uygun Parametrelerin Belirlenmesi

2 boyutlu yaklaşımların kullanılabilirliğinin deneysel olarak gösterilmesinden sonra 2 boyutlu benzetim için hazırlanacak model parametreleri belirlenmiştir. Bu kapsamda farklı sayıda element sayısına sahip ağ yapıları farklı zaman adımları ile kombine edilerek benzetimler yürütülmüş, benzetim sonuçlarının deney verileri ile uygunluğu sonucu yapılan istatistiksel analizlerle de kullanılan iki boyutlu modelin özelliklerine karar verilmiştir.

Benzetimlerde kullanılacak en uygun sayısal çözüm yöntemine ise benzetim programının sağladığı önceden tanımlı üç farklı yöntem (High resolution, Specified blend factor, Upwind) ile elde edilen sonuçların deneysel veriler ile karşılaştırılması sonucu karar verilmiştir. Su ile yapılan iki boyutlu benzetimler için hazırlanan modelin ağ bağımsızlık çalışmalarında, sıcaklık ve hız parametrelerinin doğru bir şekilde belirlenmesi için hazırlanan geometrinin duvar bölgesinde yoğunlaştırma

yapılmış ve iki boyutlu geometri sırasıyla 946, 1866,6436 16458, 29882 düğüm noktasına ayrılmıştır. Zaman adımları ise 0.1, 0.01 ve 0.0001 s olarak kullanılmıştır.

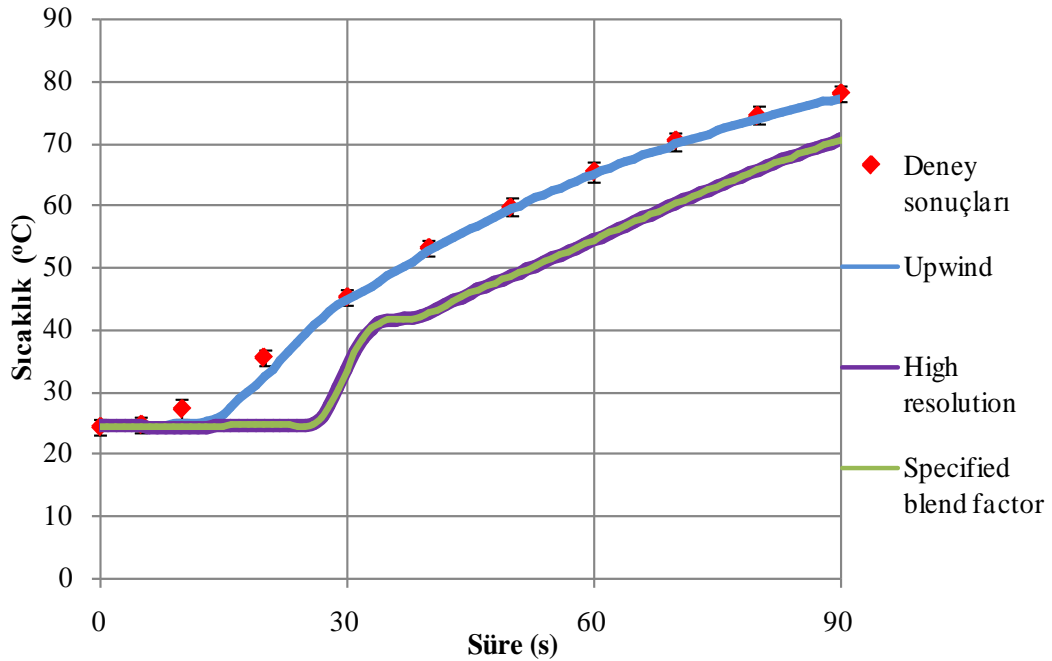
4.2.1.1.Çözüm yöntemi

Ansys CFX programında eş zamanlı ısı ve momentum transferi problemlerinin çözümü için Upwind şemasının yanısıra, High Resolution ve Specified Blend Factor metodları da önerilmektedir [Varma ve Kannan, 2006; ANSYS yardım dosyaları, 2012]. Ancak, bu metodlar arasında Upwind metodu genellikle en çok kullanılan ve yakınsak sonuçlar veren çözüm yöntem olarak belirtilmektedir. Bu yöntemde, su gibi viskozitesi yüksek olmayan sıvı akışkanlardaki doğal konveksiyonla olan ısı transferinin çözümünde gözlenebilen fiziksel olarak mümkün olmayan anlık sıcaklık dalgalanmaları diğer metotlara göre minimum düzeyde olmaktadır. Çözümlerin elde edilmesi sırasındaki gerçek sonuçtan uzak salınımlar Upwind çözüm yönteminde diğer yöntemlere göre daha az olduğundan pek çok ticari HAD programında varsayılan çözüm şeması olarak kullanılmaktadır [Sorensen ve Nielsen, 2003]. Çizelge 4.1'de 1866 düğüm sayısı ile farklı zaman adımlarına sahip benzetim sonuçlarının deney sonuçları ile uyumluluğunu belirten karekök ortalama hata KOH değerleri gösterilmiştir. Buna göre Upwind yöntemi tüm zaman aralığı değerlerinde (0.1, 0.01 ve 0.0001 saniye) diğer yöntemlere göre daha düşük hata değerine sahiptir. İkinci dereceden olan çözüm yöntemleri korunum denkliklerindeki konveksiyon terimlerine ağırlık vermekte bu da fiziksel olarak birinci dereceli çözüm yönteminden daha gerçekçi sonuçlar elde edilmesini sağlamaktadır [Cornelissen vd., 2007]. Özellikle zamana bağlı olan çözümlerde ikinci dereceden çözüm yöntemi ile daha iyi sonuçlar elde edilebilmektedir [Sorensen ve Nielsen, 2003]. Bu nedenle benzetimler Upwind yöntemi ikinci dereceden Backward Euler yöntemi ile çözülmüştür.

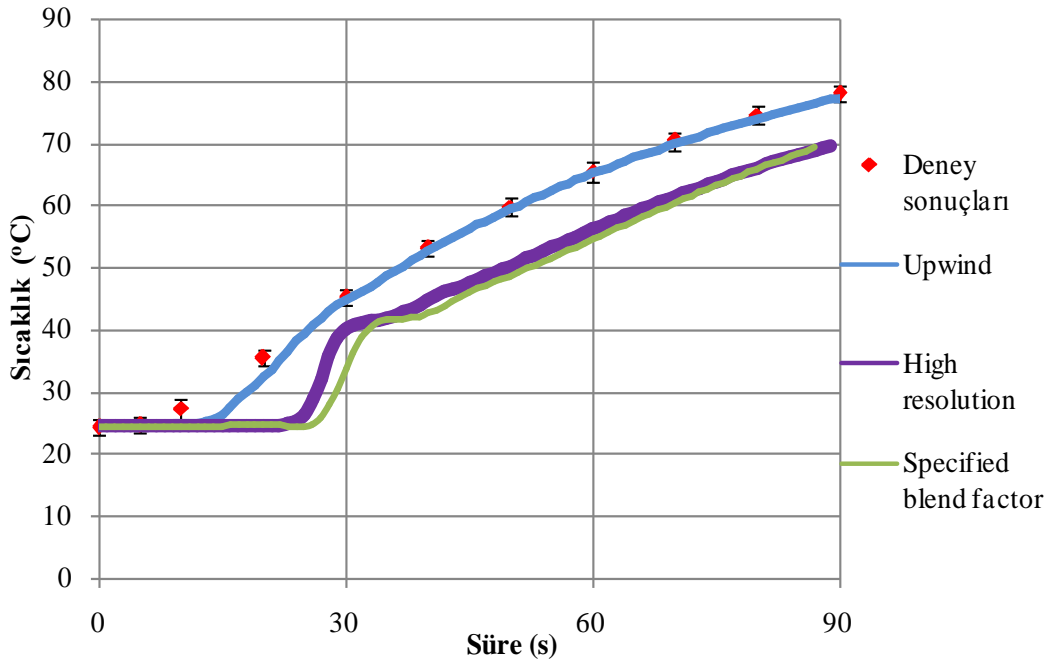
Çizelge 4.1. 1866 düğüm noktasına sahip modelin farklı çözüm yöntemleri ve zaman adımları ile elde edilen KOH değerleri.

Çözüm yöntemi	Zaman adımları (s)		
	0.1	0.01	0.0001
Upwind Advection Scheme	1.29	1.27	1.27
High Resolution	8.82	7.09	8.73
Specified Blend Factor	8.84	8.76	8.76

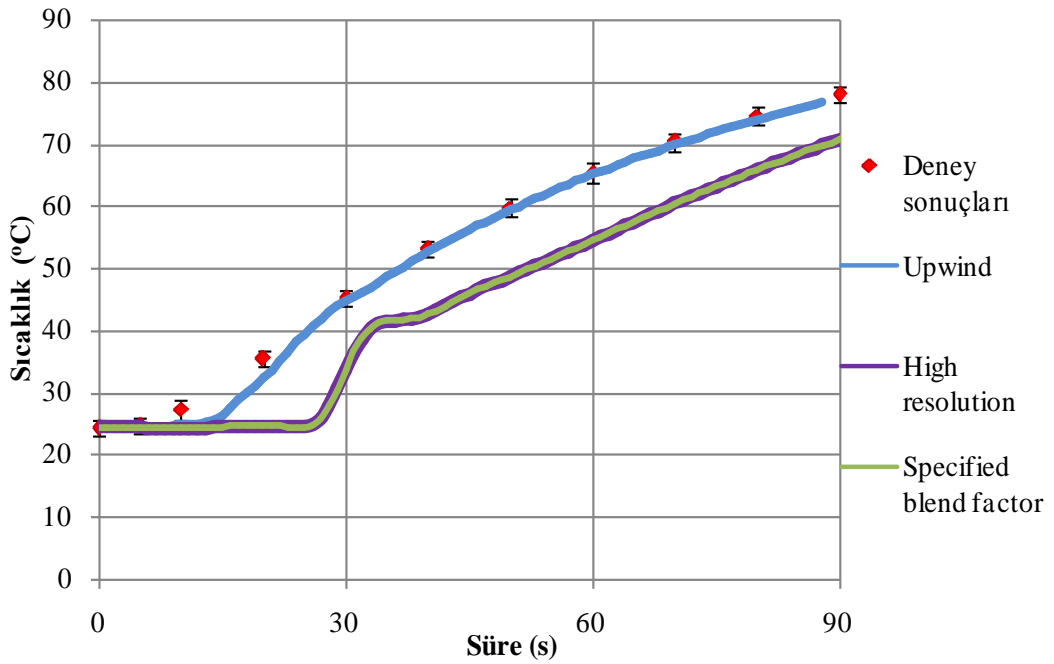
Şekil 4.2 0.1 s, Şekil 4.3 0.01 s, Şekil 4.4 ise 0.0001 s zaman aralığı değerlerinin uygulandığı 1866 düğüm sayılı ağ yapısı ve High resolution, Upwind ve Specified Blend Factor metotlarının kullanılması sonucu elde edilen sıcaklık değişimlerinin deneysel verilerle karşılaştırmasını göstermektedir. High Resolution ve Specified Blend Factor yöntemlerinde başlangıçtaki sıcaklık dalgalanması oldukça belirgindir. Bu sonuçlar temelinde, benzetimler Ansys CFX (Ansys Inc, Canonsburg, PA) programında Upwind Advection Scheme yöntemi ile yapılmış ve bu şema 2. derece Backward Euler seçeneği ile birlikte kullanılmıştır.



Şekil 4.2. 1866 düğüm sayısı ve 0.1 s zaman aralığına sahip modelde farklı çözüm yöntemleri ile elde edilen sıcaklık değişimleri.



Şekil 4.3 1866 düğüm sayısı ve 0.01 s zaman aralığına sahip modelde farklı çözüm yöntemleri ile elde edilen sıcaklık değişimleri.



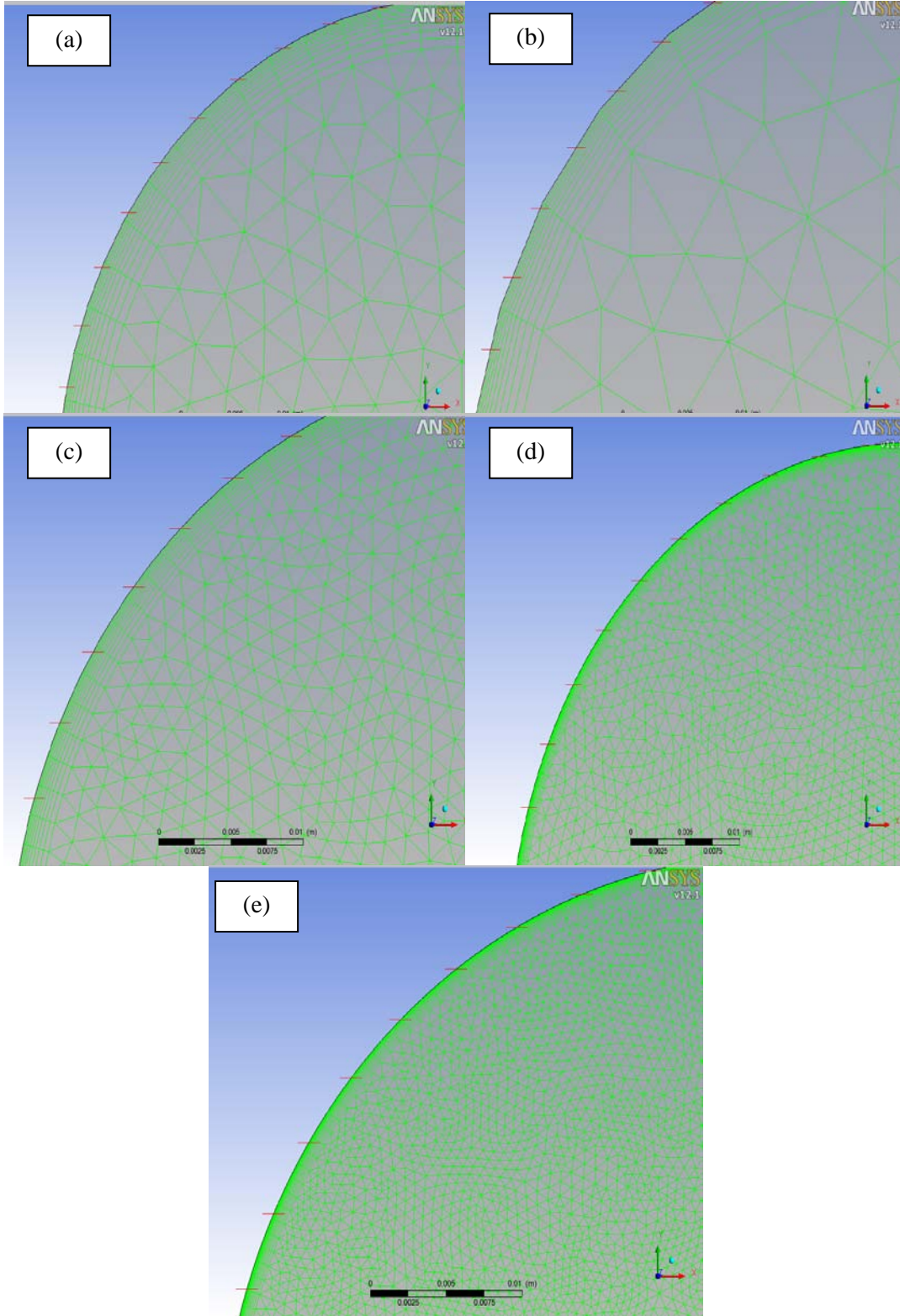
Şekil 4.4. 1866 düğüm sayısı ve 0.0001 s zaman aralığına sahip modelde farklı çözüm yöntemleri ile elde edilen sıcaklık değişimleri.

4.2.1.2. Element sayısı ve dağılımı

İki ve üç boyutlu geometrilerin yüzey ve hacim elementlerine bölünmesinde düzenli dağılıma sahip olmayan element tekniği uygulanmıştır. Konserve yüzeylerinde ani sıcaklık değişimlerinin etkisiyle oluşan sıvı hareketi ve dolayısıyla sıcaklık değişimlerinin doğru belirlenebilmesi için yüzeydeki element sayısı özellikle iç kısımlara göre çok daha yoğun (10 kat) olarak kullanılmıştır. Dış yüzeylerde ani ısınmanın etkisiyle sıvı kısımdaki hacimsel genişleme ürün yoğunluğunun ani olarak azalmasına sebep vermekte ve yoğunluktaki değişimler ve kaldırma kuvvetinin etkisiyle yukarıya doğru hızlı bir hareket oluşmaktadır. Bu nedenle, prosesin özellikle ilk aşamalarında, ani sıcaklık değişimlerinin gözleneceği yüzeylerde yoğun bir element yapısının kullanılması tercih edilmiştir.

Simülasyon sonuçları ile deney sonuçların doğru olarak karşılaştırılabilmesi ve tam bir sayısal çözümlenme analizi yapılabilmesi amacıyla (benzetimlerde yüzey element sayısı ve uygulanan zaman adımı temelli problemleri minimuma indirebilmek açısından) 2-boyutlu sistem için ağ bağımsızlık çalışmaları yapılmıştır. Bu kapsamda yüzey düğüm noktası sayısı 946, 1866, 6434, 16458 ve 29882 olarak oluşturulmuştur. Şekil 4.5, benzetimlerde kullanılan farklı düğüm sayılarına sahip iki boyutlu modellerin element dağılımını göstermektedir. Element bağımsızlık çalışmaları ağ sayıları ile zaman aralığı değerlerinin bir arada karşılaştırılması ile yapılmaktadır. Farklı zaman aralığı ve farklı element sayısı kullanılarak elde edilen benzetim sonuçlarının deneysel sonuçlarla uyumluluğunu gösteren KOH değerleri EK 1'de verilmiştir. EK 1'de verilen KOH değerlerine göre sayısal ağ yoğunluğu arttıkça benzetim sonuçlarının deney sonuçlarından uzaklaştığı gözlenmektedir. Bu kapsamda en düşük KOH değerleri 1866 düğüm sayısına sahip modelde elde edilmiştir. Daha fazla sayıda (6434, 16458, 29882) düğüm noktası içeren geometri ile yapılan benzetimlerde elde edilen KOH değerleri ise en uygun element sayısı olarak belirlenen 1866'dan farklılık göstermektedir. Ayrıca artan düğüm noktası yoğunluğu ile çözüm süreleri uzamakta bu nedenle konserve ısıl işlem optimizasyonlarında kullanılabilecek model için pratik bir çözüm sunmamaktadır. Bu

olay çok yoğun ağ yapılı modellerde, doğal konveksiyon ile meydana gelen akış profilinin fiziksel olarak oluşturulamamasıyla da açıklanabilmektedir.

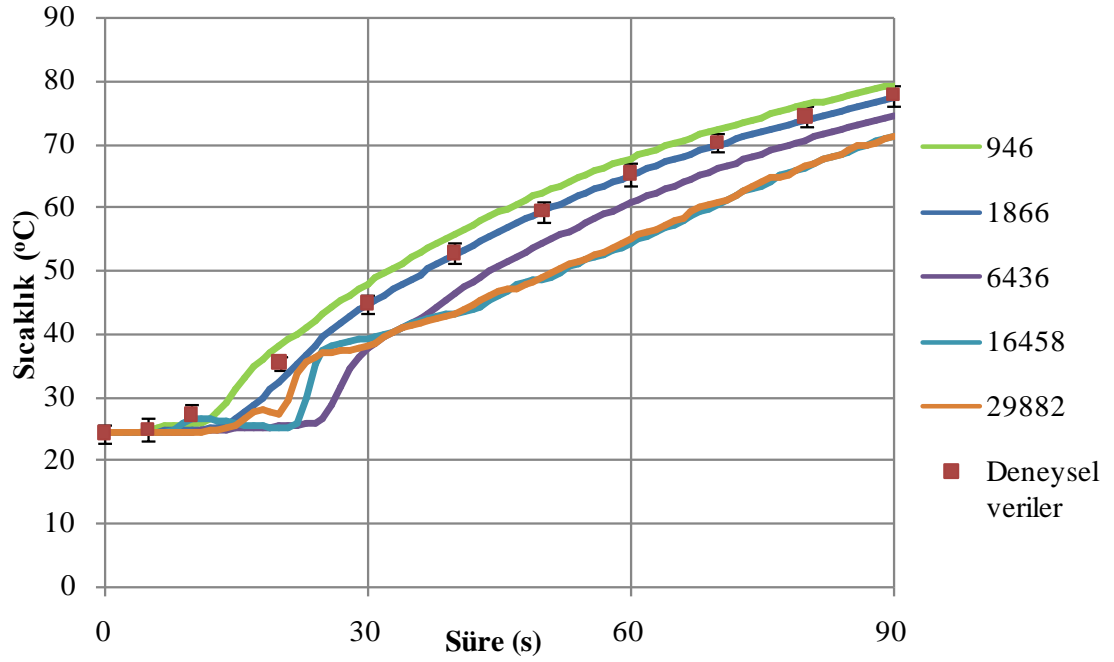


Şekil 4.5. iki boyutlu benzetimler için farklı sayılarda hazırlanan; (a) 946 (b) 1866 (c) 6436 (d) 16458 (e) 29882 düğüm noktalı ağ yapıları.

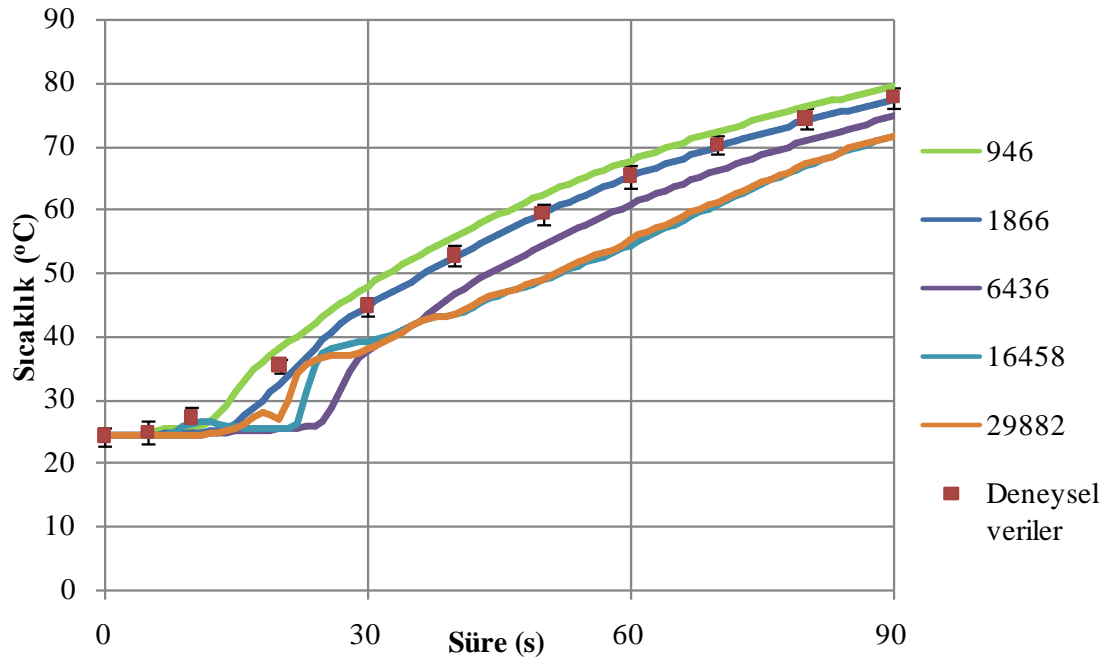
Şekil 4.6, sırasıyla 0.1, 0.01, 0.0001 saniye zaman aralığı değerlerinde farklı düğüm noktası sayısına sahip modellerden elde edilen benzetim sonuçları ile deneysel sıcaklık verileri karşılaştırmasını göstermektedir. Aynı zaman aralığı değerinde sayısal ağ yoğunluğu arttıkça benzetim sonuçlarının deneysel sonuçlardan uzaklaştığı görülmektedir.

Sayısal ağ yoğunlaştırma işleminin geometrinin karmaşık hale geldiği ve hesaplanan büyüklüklerin zamana göre değişimlerinin fazla olduğu kısımlarında yapılmasıyla sayısal çözümlerin kesinliği genellikle artmaktadır [Sorensen ve Nielsen, 2003]. Ancak, korunum denkliklerinin yakınsama yöntemleri ile çözülmesinden elde edilen sonuçların gerçekte ölçülen fiziksel değerler ile ne kadar uyumlu olduğu kontrol edilmelidir (validasyon). [Druzeta vd. 2009], iki boyutlu sıg su seviyelerindeki değişimin çözümünü yaptıkları benzetim çalışmalarında, sayısal ağ yoğunlaştırmanın nümerik ve analitik çözüm arasındaki uyumluluğu (verifikasyon) arttırdığını, ancak deneysel doğrulamalarda (validasyon) daha az yoğun sayısal ağ yapısı ile elde edilen sonuçların deneysel sonuçlar ile daha uyumlu olduğunu belirtmişlerdir. Sayısal ağ yoğunluğunun artırılması her zaman daha iyi sonuç vermemekte, hatta Şekil 4.6'da görüldüğü üzere 16458 ve 29882 düğüm noktasına sahip modellerde deneysel verilerden oldukça uzak sonuçlar elde edilmesine neden olabilmektedir. Bu nedenle [Druzeta vd. 2009]'da da belirtildiği gibi artan sayısal ağ yoğunluğu daha iyi sonuçlar elde edilmesini sağladığı genellemesinin özellikle pratikte uygulaması olan durumlar için yapılması uygun değildir.

Ayrıca artan düğüm sayısı ile suyun ısısal ve fiziksel özelliklerinin sabit veya sıcaklığa bağlı olarak kullanılması ile de deneysel verilerle uyumluluk değişmektedir. Bu kapsamda ısısal ve fiziksel özelliklerin seçimi farklı bir başlık altında incelenecektir.

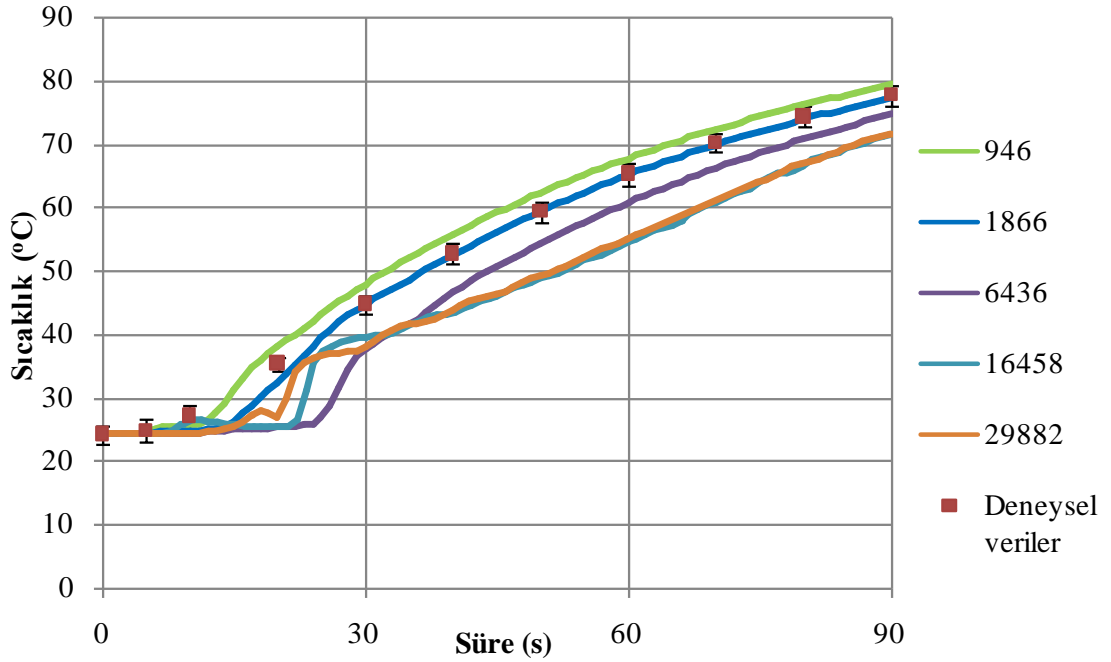


Şekil 4.6 (a)



Şekil 4.6 (b)

Şekil 4.6 devamı...



Şekil 4.6 (c).

Şekil 4.6. Farklı düğüm noktası değerleri ile yürütülen benzetimlerde elde edilen merkez sıcaklık değişimlerinin aynı zaman aralığı değerlerinde karşılaştırılması (a) 0.1; (b) 0.01; (c) 0.0001 saniye.

4.2.1.3. Zaman aralığı

Bir problemin çözümü için oluşturulan HAD modeli belirli bir özelliği (örneğin basınç) her bir sayısal ağ için belirli bir yakınsama kriterine göre adım adım çözmektedir. Suyun düşük viskoziteye sahip olması ve viskozitenin sıcaklığa bağlılığı nedeniyle sonuçların doğruluğunu arttırmak için fazla sayıda iterasyon işlemi gerekmektedir. Geometride kullanılan elementlerin sayısı arttıkça; yakınsama sürelerini azaltmak, kesinliği arttırmak ve çözümlerin istikrarlı olmasını sağlamak için uygulanan zaman adımlarının seçimi çok önemlidir. Şekil 4.7’de farklı zaman aralığı ile az yoğundan (946) çok yoğuna (29882) değişen sayısal ağ değerlerinde elde edilen benzetimlerin sıcaklık karşılaştırması verilmiştir. Burada da düşük zaman aralığı değerinde düğüm sayısı yoğunluğu arttıkça verilerin hata oranının arttığını görülmektedir. [Abdul Ghani vd. 1999a], suya uygulanan ısı işlem sırasında, ısı ve momentum transferinde, daha fazla sayıdaki iterasyon kullanılmasının modellerin

doğruluğunu arttıracaklarını belirtmiştir. Ayrıca, oluşturulan geometrik modelde ne kadar çok element kullanıldıysa, zaman adımlarının o kadar düşürülmesi gerekmektedir. KOH değerlerinin verildiği EK 1'de görüldüğü üzere çok yoğun kullanılan sayısal ağ değerlerinde (29882, 16458, 6436) 0.1 saniye olarak kullanılan zaman aralığı değerleri 0.0001 saniyeden daha fazla hataya neden olmuştur. 1866 düğüm sayısında ise azalan zaman aralığı değerleri önemli bir değişikliğe neden olmamıştır.

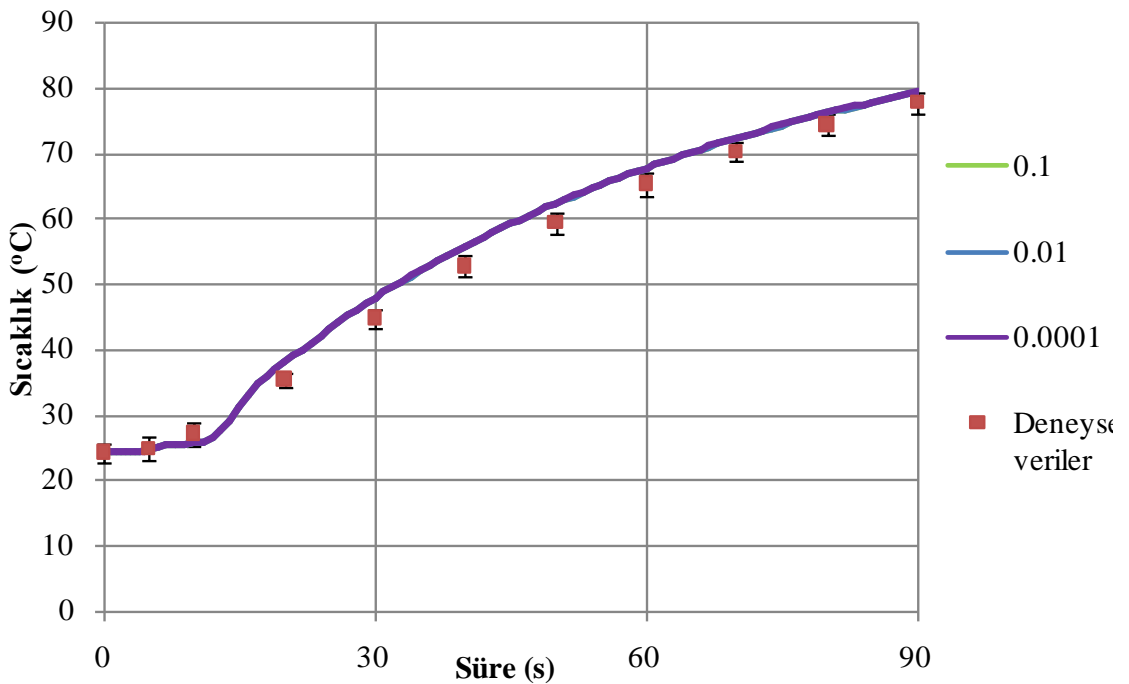
Düğüm sayısı değerlerine bağlı olarak, zaman aralığı değıştikçe sıcaklık değışimlerinde keskin bir farklılık gözlenmemektedir. Hangi element yapısı ve zaman aralığı değerinin seçileceği sayısal hata, element bağımsızlık çalışmalarının yanı sıra deneysel sonuçlar ile karşılaştırılarak yapılmıştır. Bu da benzetim sonuçlarının deneysel sonuçlar ile karşılaştırılmasının önemini göstermektedir.

Sayısal ağ yapısında bulunan bir hücredeki bir özelliğın t ve Δt süreleri arasında değışmesi her bir sayısal ağın boyutu ve zaman aralığı değerinin birbiriyle orantılı olmasına bağılıdır. Bu durum çözümlerin kesinliğini yansıtmakta ve Courant sayısı (Co) adı verilen boyutsuz bir sayı ile ilişkilendirilebilmektedir;

$$Co = \bar{V}_t \frac{\Delta t}{\Delta y}$$

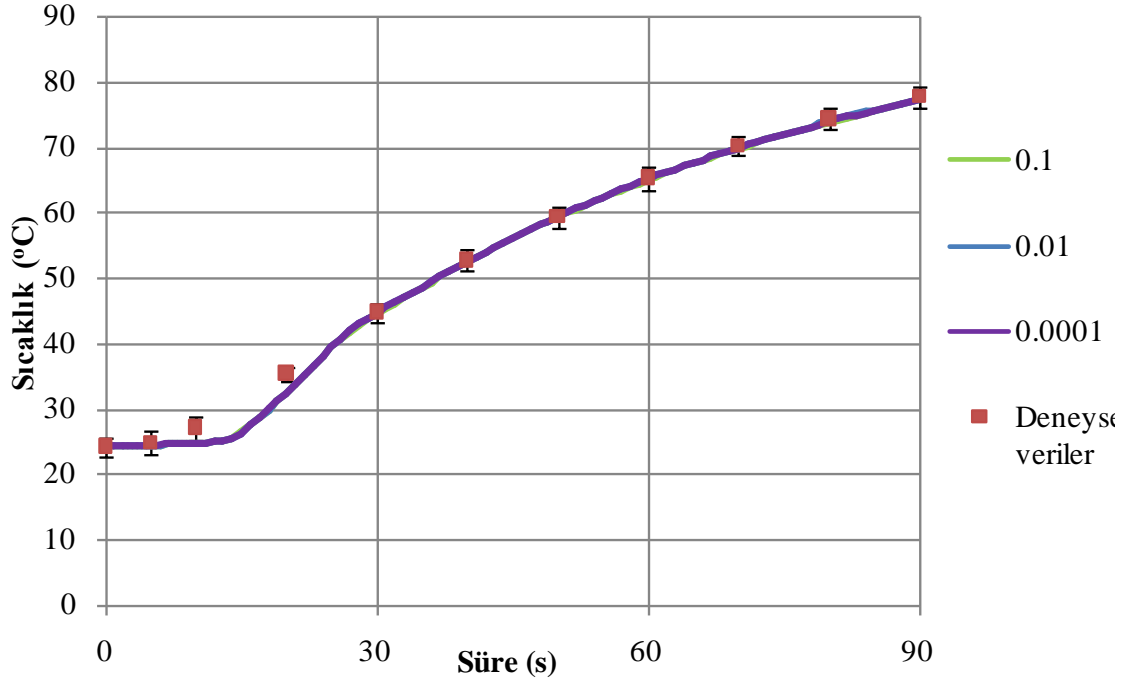
Burada \bar{V}_t sayısal hücre içerisinde hareket eden sıvının hızını, Δt zaman aralığı değerini, Δy ise sıvının iletim terimine paralel olarak aldığı sayısal ağın uzunluğunu göstermektedir. Courant sayısı belirli bir zaman aralığı değerinde sıvı tarafından katedilen sayısal hücre kısmını bir oran ile yansıtmaktadır. Courant sayısının düşük tutulması salınımları azaltırken, kesinliği ve sayısal ayrışmayı arttırmaktadır [Cornelissen, 2007]. Zaman aralığı değerinin çok düşük olması gerçekçi olmayan sonuçlar elde edilmesine neden olmakta, bu nedenle simülasyon sürecinde Courant sayısının genel olarak 0.3'ten düşük olması istenirken, belirli bir değerden de yukarıda olması beklenmektedir. [Cornelissen, 2007]. Ancak Courant sayısı özellikle deneysel validasyonun yapıldığı çalışmalarda tek başına yeterli bir

parametre değildir [Coroneo, 2011]. Benzetimlerin ve deneysel verilerin karşılaştırılmasında en düşük uyumluluğu gösteren 29884 sayısal ağ ve 0.001s zaman aralığı değerinde bile Courant sayısı 10^{-3} 'ten düşüktür. En uyumlu sonuçların elde edildiği 1866 sayısal ağ değerlerinde ise ortalama Co sayısı değerleri 10^{-4} ile 10^{-1} arasında değişmektedir. Bu da [Coroneo vd. 2011]'de belirtildiği gibi Courant sayısının tek başına yeterli bir ölçüt olmadığını ve model parametreleri ve validasyonuna göre değişiklik gösterebileceğini kanıtlamaktadır. Doğrulama analizleri HAD çalışmalarında önemli bir yer tutmakta ve kısmi diferansiyel eşitliklerin çözümlerinin doğru yapılmasının yanı sıra sonuçların gerçek verilerle (deneysel ölçümler v.b.) uyumluluk da göstermesi gerekmektedir. Benzetimlerin sonuçlarının matematiksel olarak değerlendirilerek (sayısal hatalar, yakınsaklık vb.) kesin çözümleri ile karşılaştırılması sağlama (verifikasyon), deneysel sonuçlar ile karşılaştırılması ise doğrulama (validasyon) olarak adlandırılmaktadır [Sorensen ve Nielsen, 2002]. Verilerin yakınsama kriterlerini sağlaması ve o çözümün matematiksel olarak doğru olduğu anlamına gelse de fiziksel uyumluluğu da önemlidir. Bu nedenle sağlama ve doğrulama işlemleri bir arada yapılarak sayısal modelin doğruluğu tartışılmalıdır.

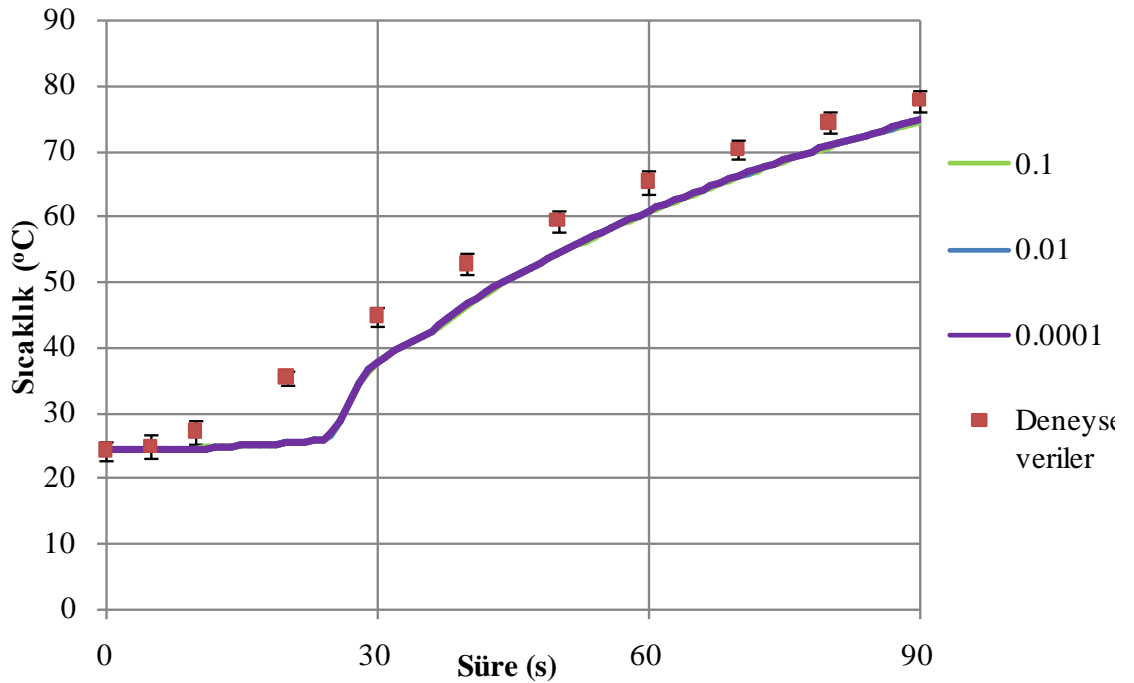


Şekil 4.7 (a)

Şekil 4.7 devamı...

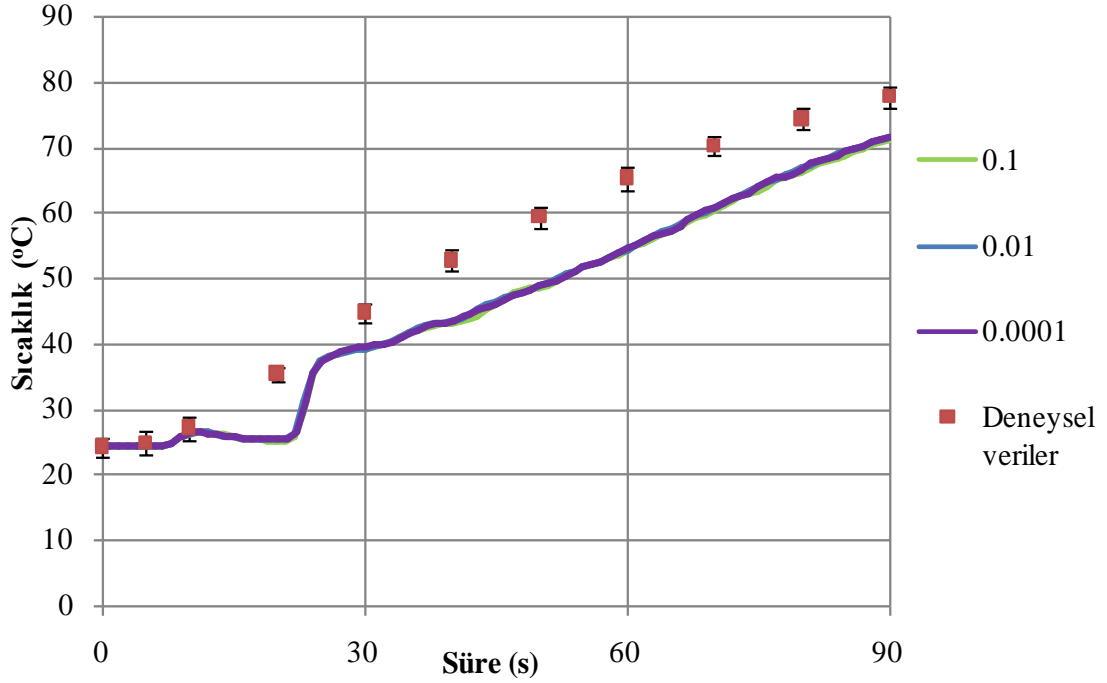


Şekil 4.7 (b)

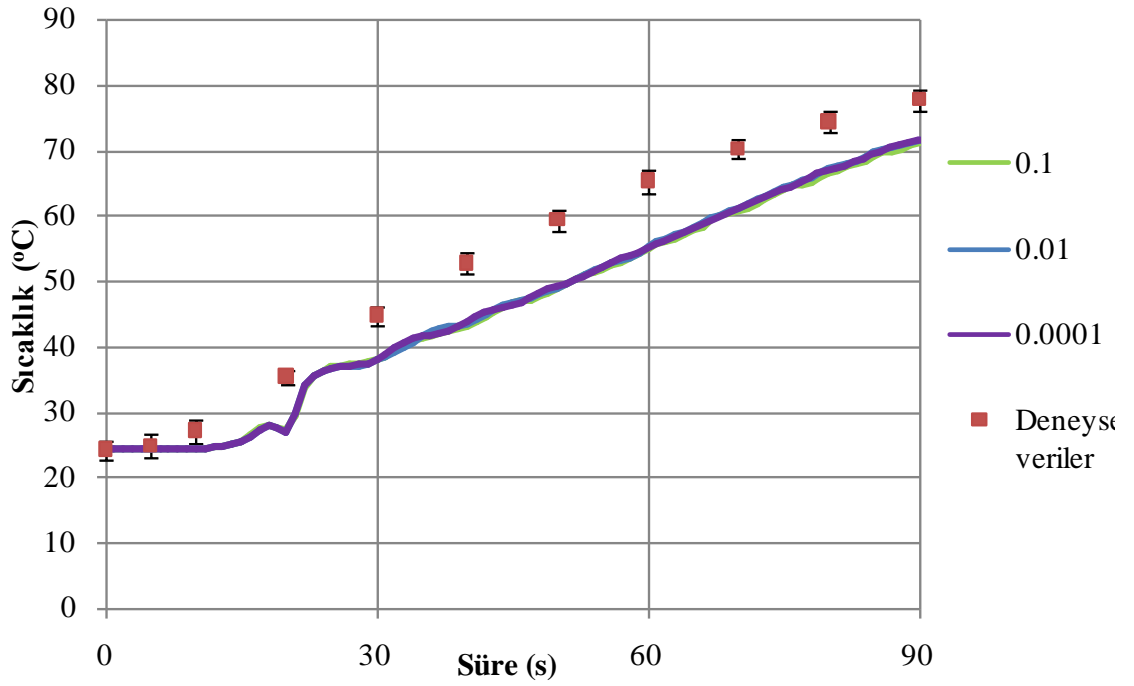


Şekil 4.7 (c)

Şekil 4.7 devamı...



Şekil 4.7 (d)



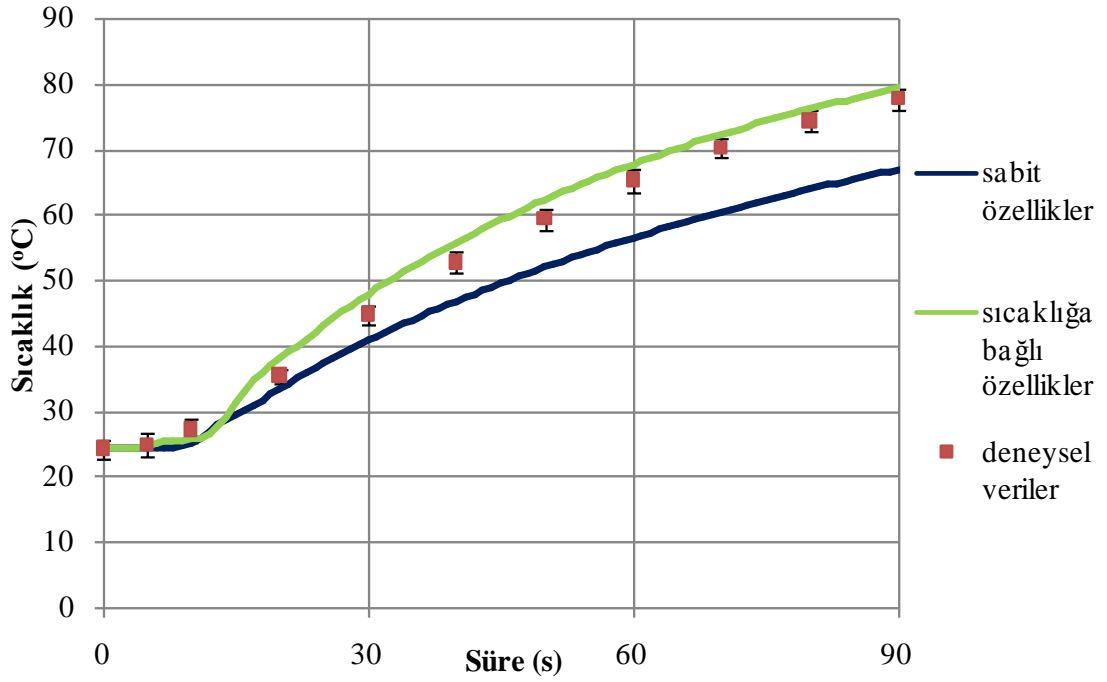
Şekil 4.7 (e)

Şekil 4.7. Farklı zaman aralığı değerleri ile yürütülen benzetimlerden elde edilen sıcaklık değişimlerinin aynı düğüm noktası sayısı değerlerinde karşılaştırılması; (a) 946 (b) 1866 (c) 6436 (d) 16458 (e) 29882.

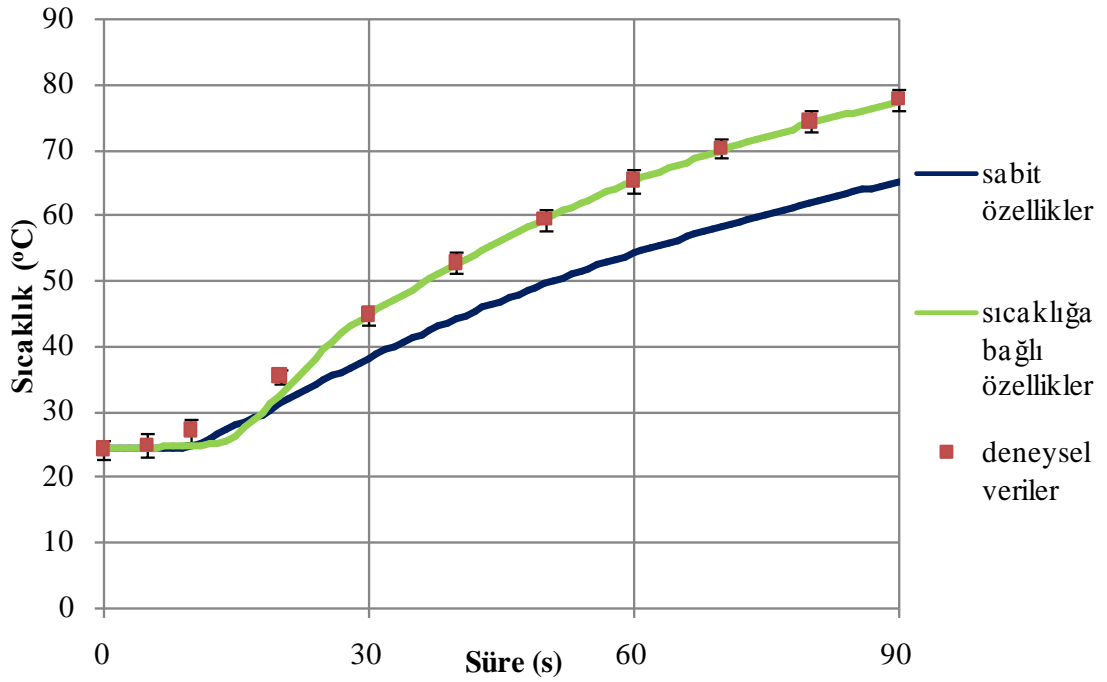
4.2.1.4.Sıcaklığa bağlı termofiziksel özelliklerin kullanımı

Literatürde daha önce yapılan konserve benzetimlerinde konserve içerisinde ısınan ürünün fiziksel özellikler sabit kabul edilmiş ya da yalnızca viskozitenin artan sıcaklıkla değiştiği polinom denklemler kullanılarak benzetimler yürütülmüştür [Kumar ve Bhattacharya,1990, Abdul Ghani vd. 1999a, 1999b, 2001, 2002; Varma ve Kannan, 2006]. [Augusto ve Cristianini, 2010]'da ise saf suyun termofiziksel özelliklerinin tamamı sıcaklığın fonksiyonu olarak kullanılmıştır. Bu çalışmada da saf suyun ısıl ve fiziksel özellikleri (ısı iletim katsayısı, dinamik viskozite ve özgül ısı) kullanılmış; bunun için verilen özellikler Ansys CFX (Ansys Inc, Canonsburg, PA) programında sıcaklığın fonksiyonu olarak kullanılacak şekilde polinom denklemler hazırlanmıştır (Çizelge 3.1).

Bu kapsamda, ısı iletim katsayısı, özgül ısı ve dinamik viskozitenin literatürden alınmış tablo değerleri kullanılarak Microsoft Excel programı ile 2. veya 3. dereceden polinom denklemleri elde edilmiştir. Konserveler içerisinde sıcaklık değişimleri etkisiyle meydana gelen yoğunluk değişimi sonucu oluşan doğal konveksiyonla ısı transfer mekanizmasının modellenmesi amacıyla, yoğunluk değişimleri CFX programında Boussinesq modeli kullanılarak belirlenmiştir. Tüm zaman adımı ve sayısal ağ değerlerinde sıcaklığa bağlı özelliklerin kullanılması ile hata değerinin önemli ölçüde azaldığı görülmektedir (EK 1). Şekil 4.8 farklı düğüm noktası sayısına sahip modellerin 0.01 s zaman aralığında elde edilen sıcaklık değişimlerinin deneysel sonuçlarla karşılaştırılmasını göstermektedir. Sabit zaman aralığı değerlerinde, sıcaklığa bağlı termal ve fiziksel özelliklerin kullanımı ile verilerin deney sonuçları ile uyumluluğu artmaktadır. Bu karşılaştırma sonucu elde edilen KOH değerleri de sabit özellikler kullanılması ile artmıştır (Ek 1). Bu sonuçlarda sıcaklığın termofiziksel özellikler üzerine etkisini göstermektedir. 0.1 ve 0.0001 s zaman aralığı değerlerinde de sıcaklığa bağlı termofiziksel özelliklerin kullanımında aynı sonuçlar elde edilmiştir. Bu sonuçlar Ek-2'de verilmiştir.

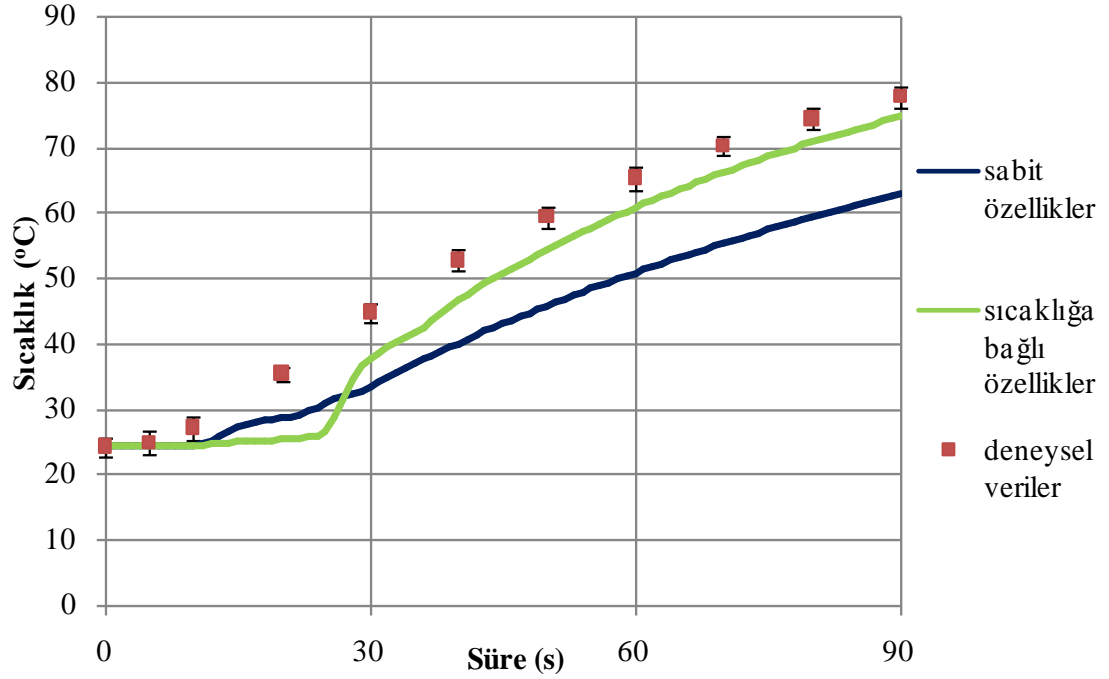


Şekil 4.8 (a)

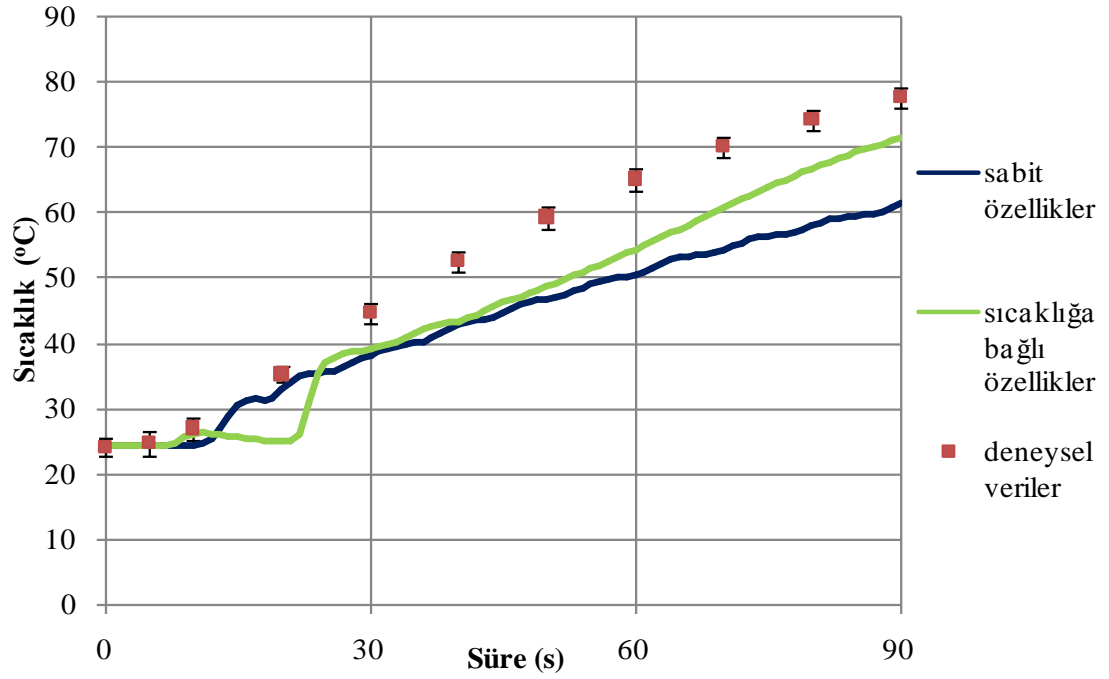


Şekil 4.8 (b)

Şekil 4.8 devamı...

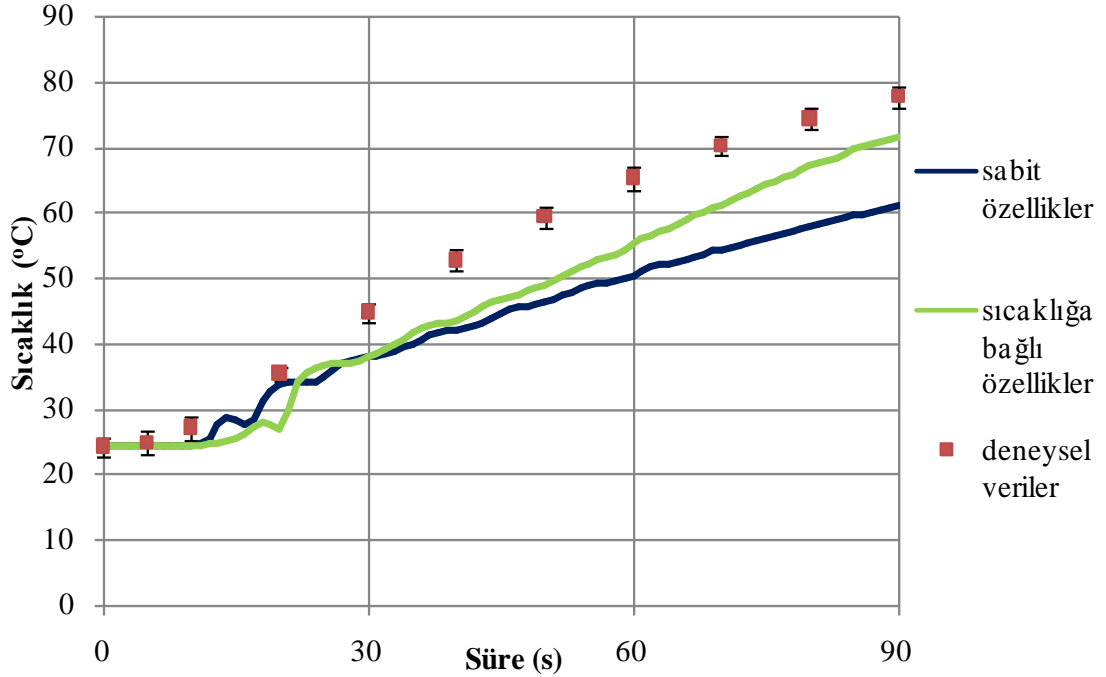


Şekil 4.8 (c)



Şekil 4.8 (d)

Şekil 4.8 devamı...

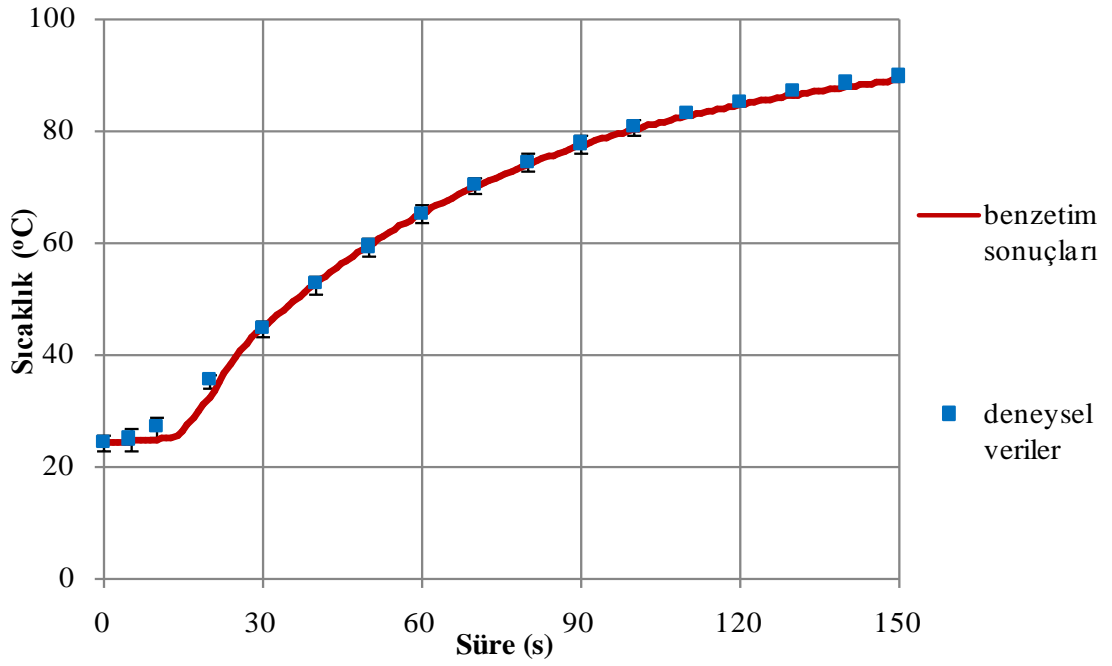


Şekil 4.8 (e)

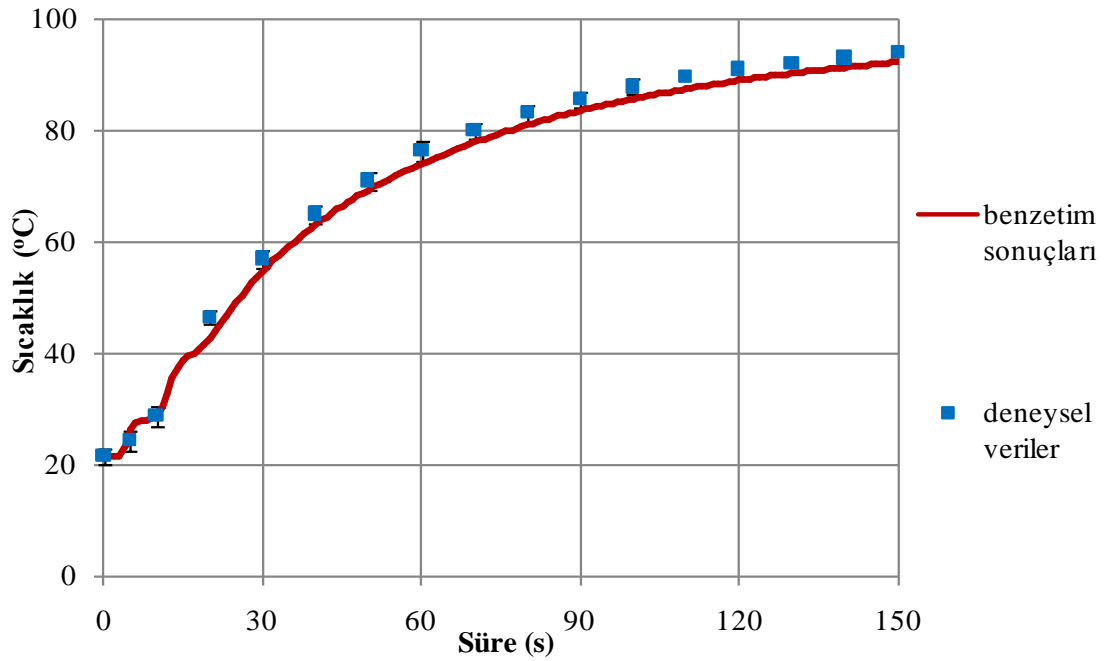
Şekil 4.8. 0.01 s zaman aralığına sahip modelde sabit ve sıcaklığa bağlı değişkenler kullanılmasıyla birlikte düğüm sayılarına göre elde edilen sıcaklık değişimleri; (a) 946; (b) 1866; (c) 6436; (d)16458 (e)29882

4.2.2. İki Boyutlu Benzetim Sonuçlarının Doğrulanması

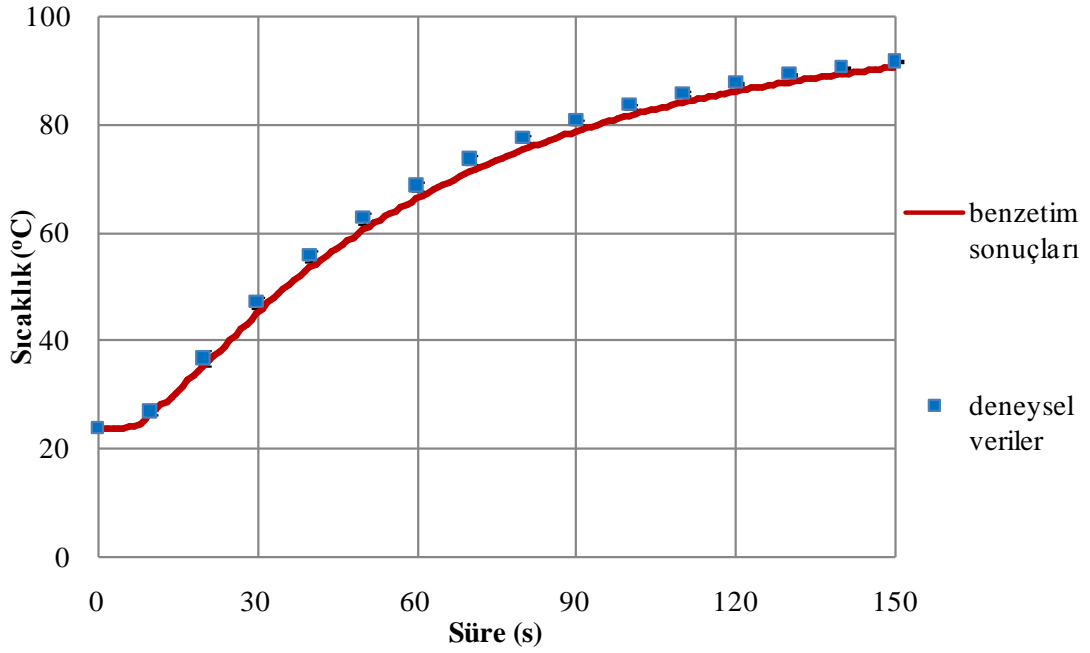
Benzetim sonuçları ile deneysel veriler arasındaki uyumluluğu gösteren KOH değerleri sırasıyla sıcaklık karşılaştırmalarının yapıldığı noktalara göre merkez, merkezin 13 mm yukarısında ve merkezin 13 mm sağında/solunda sırasıyla 1.552, 2.08 ve 2.00 °C olarak bulunmuştur. Elde edilen KOH değerlerinin düşüklüğü benzetim sonuçları ile deneysel verilerin uyumluluğunu göstermektedir. Şekil 4.9, Şekil 4.10 ve Şekil 4.11 sırasıyla belirtilen noktalarda deneysel olarak ölçülen sıcaklık verilerinin 1866 düğüm sayılı ağ yapısına sahip 2-boyutlu modelde yine konserve merkezinde elde edilen benzetim sonuçları ile karşılaştırılmasını göstermektedir.



Şekil 4.9. Simülasyon sonuçları ile deney sonuçlarının merkez noktası için karşılaştırılması (KOH=1.269).



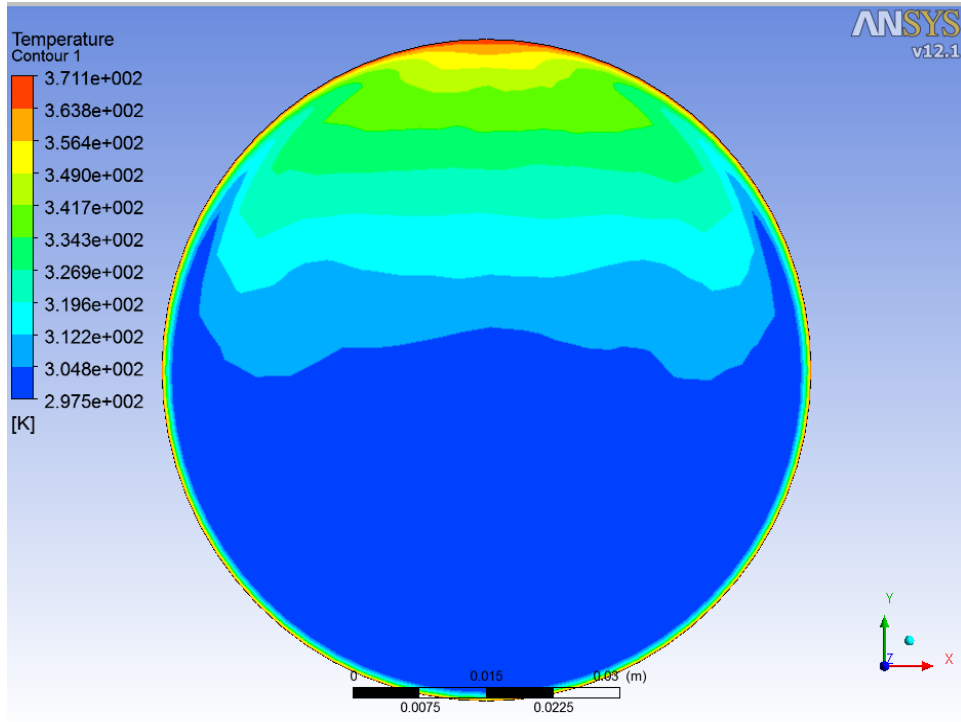
Şekil 4.10. Simülasyon sonuçları ile deney sonuçlarının merkez çizgisi üzerinde merkezden 13 mm yukarısı için karşılaştırılması (KOH=2.08).



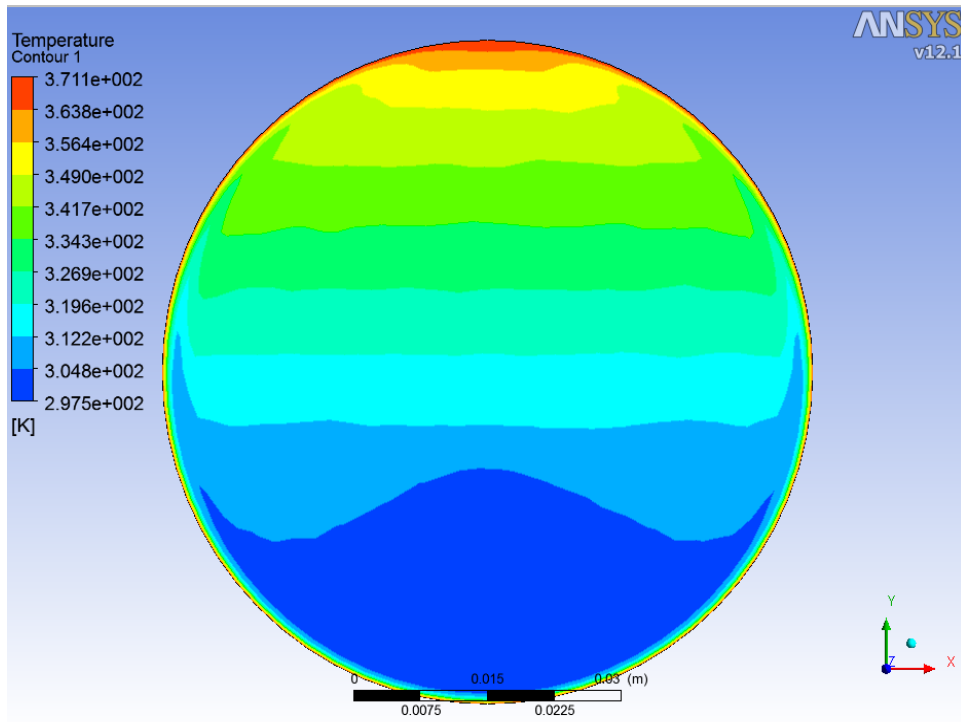
Şekil 4.11. Simülasyon sonuçları ile deney sonuçlarının merkez çizgisi üzerinde merkezden 13.5 mm sağında yapılan deney sonuçları ile benzetim sonuçlarının karşılaştırılması (KOH=2.00).

4.2.3. İki Boyutlu Benzetim Sonuçları

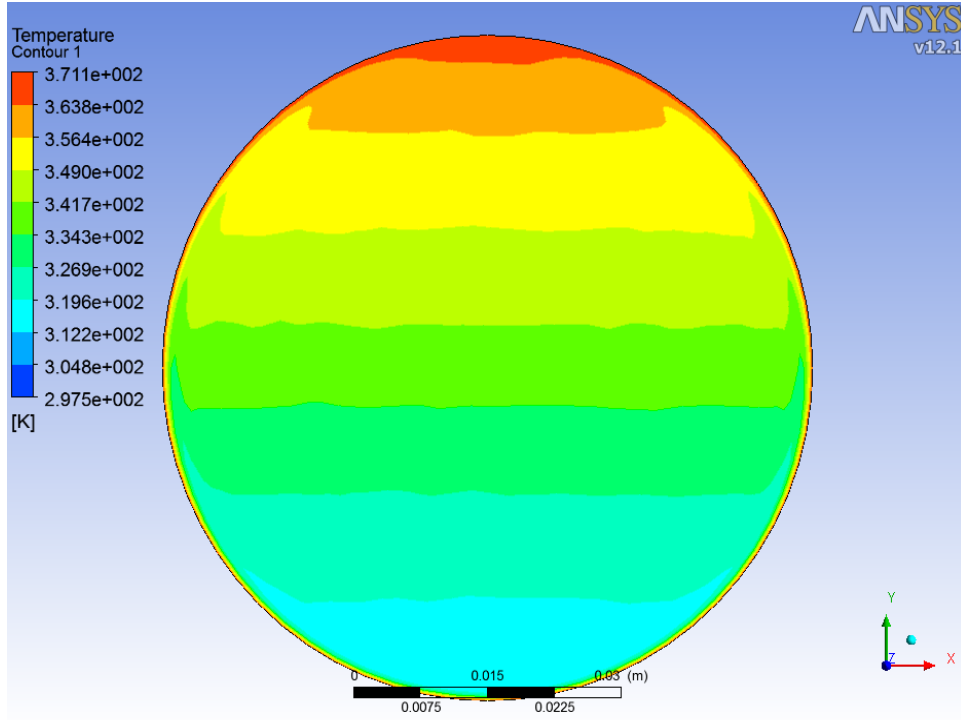
En uygun sonuçların 1866 düğüm noktası içeren sayısal ağ ve 0.01 s zaman aralığına sahip modelde elde edilmesinin ardından bu modelde elde edilen sıcaklık ve hız konturları incelenmiştir. Şekil 4.12, 1866 düğüm noktalı sayısal ağ ve 0.01 s zaman adımına sahip olan iki boyutlu sıvı içeren yatay konserve modeli için elde edilen farklı sürelerdeki sıcaklık dağılımlarını göstermektedir. Yatay konserve benzetiminde elde edilen sıcaklık konturları, dikey konservelerde elde edilen tipik doğal konveksiyon sıcaklık dağılımı (Şekil 1.3) ile benzerlik göstermektedir. Isıl işlemle suyun yoğunluğu azaldığından, kaldırma kuvvetinin de etkisiyle yukarı yönde hareket etmekte daha sonra yukarı yüzeyin engeli ile karşılaşarak soğumanın da etkisiyle tekrar tabana doğru hareket etmektedir. Bu nedenle elde edilen sıcaklık dağılımı konveksiyona özgü olmakta ve katmanlar halinde gözlenmektedir.



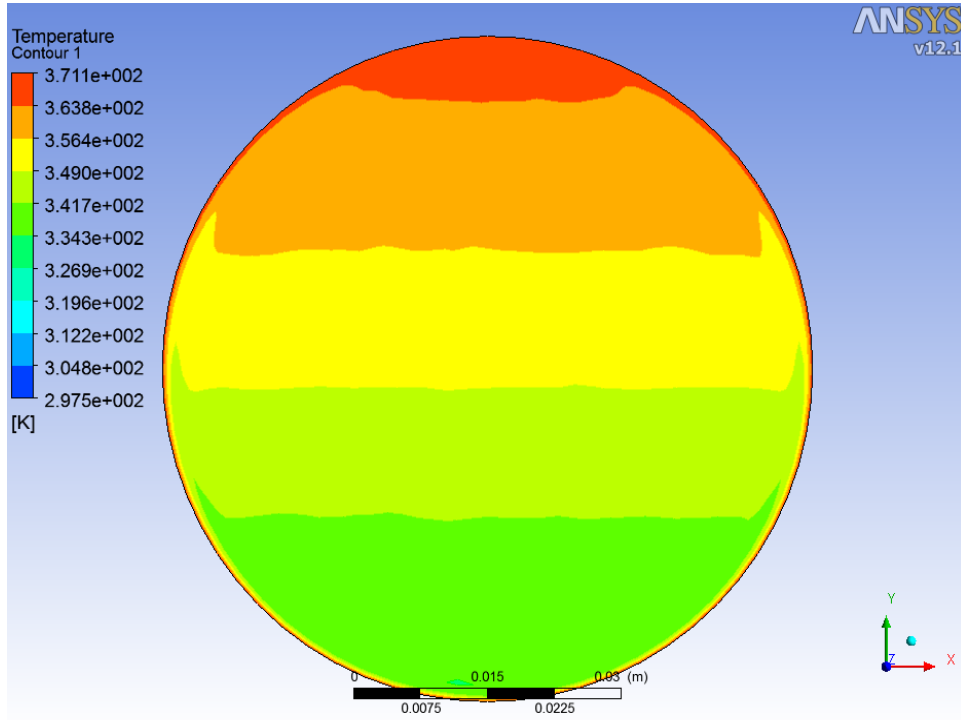
Şekil 4.12 (a)



Şekil 4.12 (b)



Şekil 4.12 (c)



Şekil 4.12 (d)

Şekil 4.12. 1866 düğüm noktalı ağ yapısı ve 0.01 s zaman adımı kullanılarak tamamlanan 2-boyutlu benzetim çalışmasının; (a)15 (b)30 (c)60 (d)90. saniyesinde elde edilen sıcaklık profilleri.

Şekil 4.13 ise 1866 düğüm noktası içeren sayısal ağ ve 0.01 s zaman adımına sahip olan iki boyutlu sıvı içeren yatay konserve modeli için elde edilen farklı sürelerdeki vektörel hız dağılımlarını göstermektedir. Yukarı yüzeyin engel oluşturması ve sıcaklığın etkisi sonucu yoğunluğun artması ile su molekülleri hareketine aşağı yönde soğuyarak devam etmektedir. Bu da konserve içerisinde ısınan sıvının kendine özgü bir döngü hareketi yapmasına neden olmaktadır.

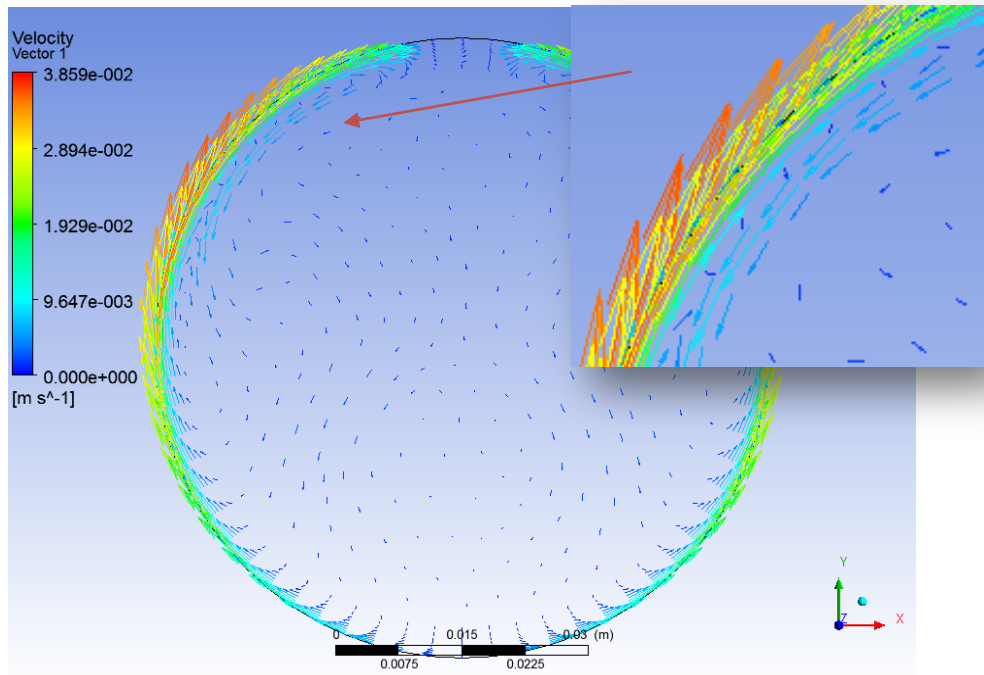
Doğal konveksiyon mekanizmasında sıvı yoğunluk değişimlerinin neden olduğu sıvı hareketinin akış tipi Bölüm 3'te belirtildiği üzere katmanlı olarak seçilmiştir. Bu yaklaşımın geçerliliğinin kontrolü için boyutsuz sayılardan Grashoff (Gr), Prandtl (Pr) ve Rayleigh (Ra) sayıları hesaplanmıştır. Grashof sayısı kaldırma kuvvetlerinin viskoz kuvvetlere oranını vermektedir:

$$Gr = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)D^3\rho^2}{\mu^2} \quad (\text{Eşitlik 4.1.})$$

Burada g yerçekimi ivmesini, β ısı genleşme katsayısını, $(T_s - T_\infty)$ maksimum sıcaklık farkını, D konserve çapını, ρ yoğunluğu, μ ise dinamik viskoziteyi göstermektedir. Gr sayısının büyüklüğü akış rejiminin katmanlı, geçiş tipi ya da kargaşalı olup olmadığını belirtir. Viskoz sıvılar için viskoz kuvvetler büyüktür bu nedenle Gr sayısı düşüktür [Kumar vd.,1990, Ghani vd., 1999b]. Akış rejiminin katmanlı akış olması için 10^9 'den düşük olması gerekmektedir [Çengel, 2007]. Maksimum sıcaklık farkının yanı sıra, Çizelge 3.2.'de verilen termofiziksel özellikler ortalama sıcaklığa göre elde edilmiştir. Su ile yapılan benzetimlerde Gr sayısı 6.44×10^8 olarak hesaplanmıştır. Bu değer katmanlı akış kabulünün geçerliliğini göstermektedir. Akışın katmanlı ya da kargaşalı olduğunu belirten Gr sayısının yanı sıra sıvıdaki ısı transferinin konveksiyon ya da kondüksiyon mekanizması olup olmadığını gösteren Rayleigh sayısı (Ra) hesaplanmıştır. Rayleigh sayısı:

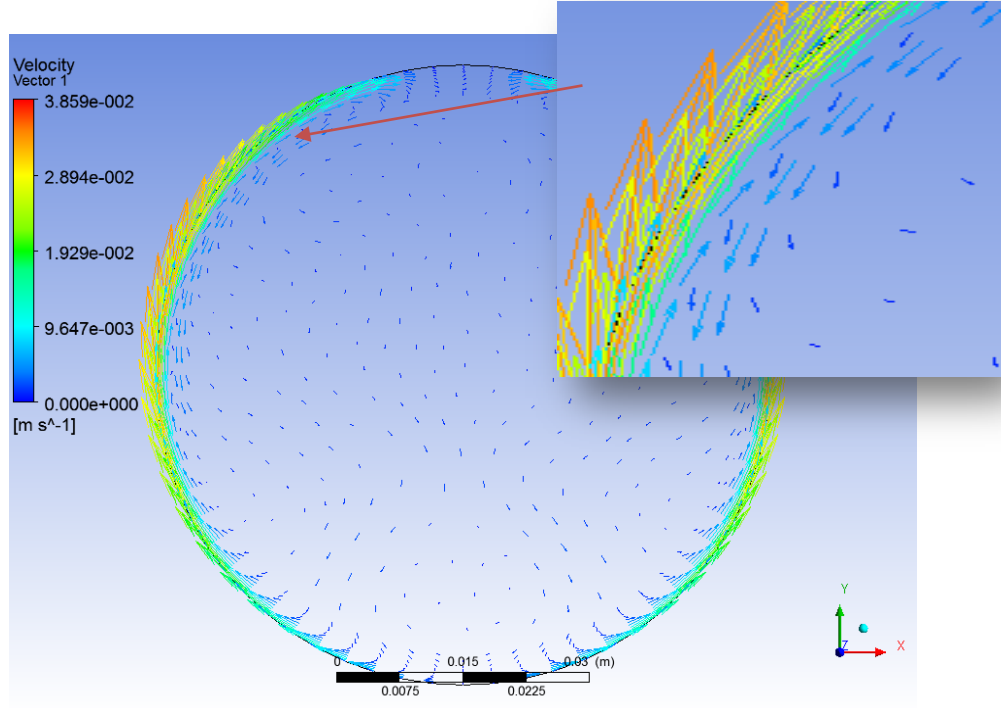
$$Ra = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)D^3}{\alpha\nu} \quad (\text{Eşitlik 4.2.})$$

Burada ısı yayılım katsayısı değerini göstermektedir. Düşük Ra sayısı değerlerinde ısı transferi konduksiyon, yüksek Ra değerlerinde ise konveksiyon baskın olarak yürümektedir. 10^4 değeri Ra sayısı için kritik değerdir [Abu Nada, 2011]. Su ile yapılan benzetimlerde Ra 1.93×10^9 olarak bulunmuştur. Bu nedenle ısı transferi baskın olan mekanizma beklendiği üzere konveksiyondur.

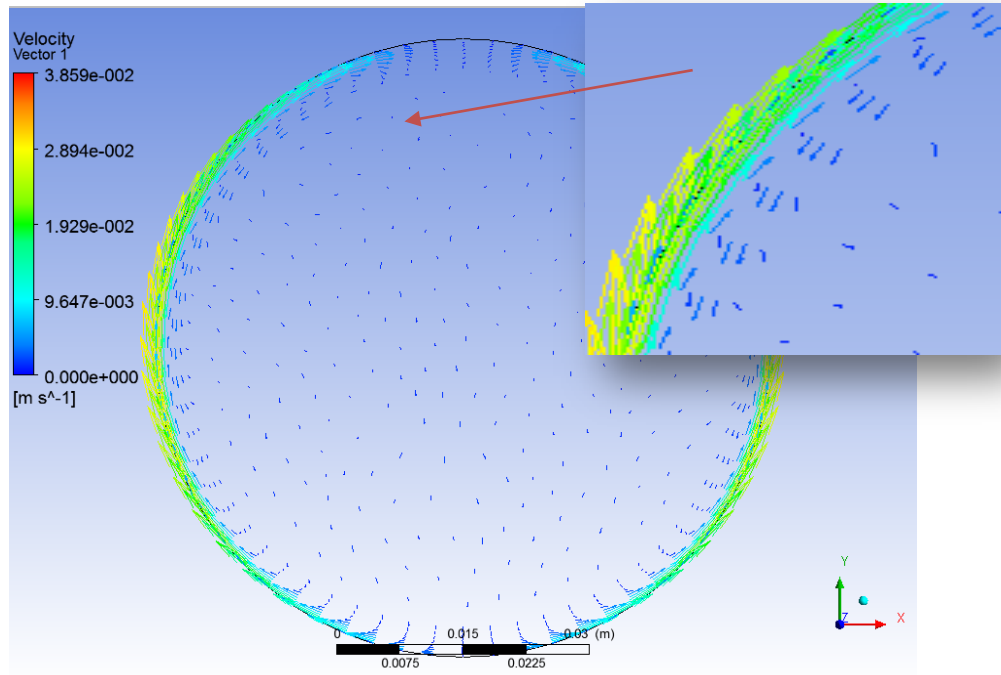


Şekil 4.13 (a)

Şekil 4.13 devamı...

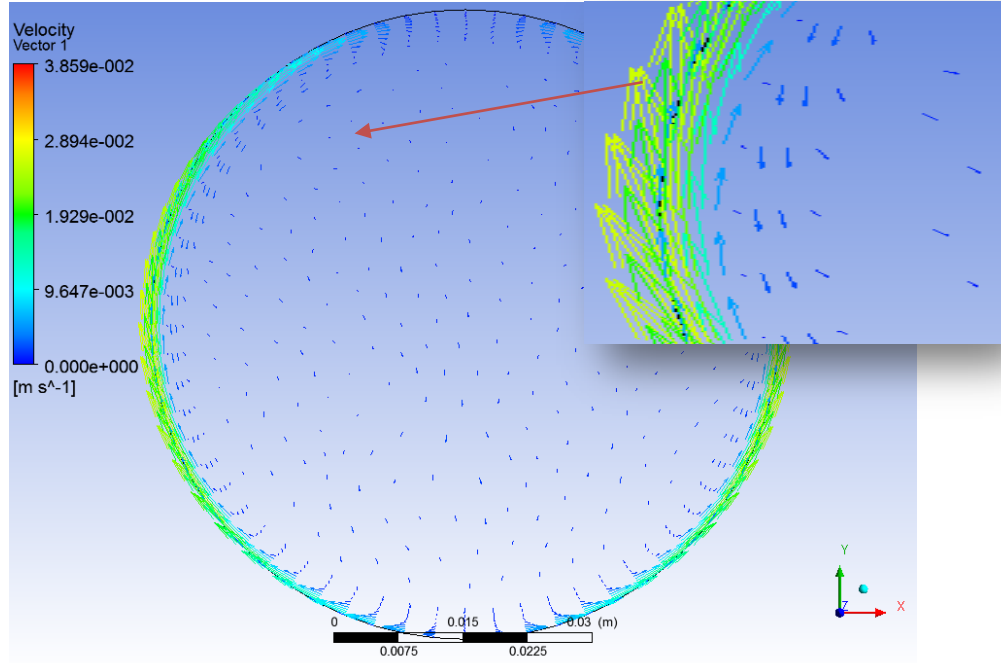


Şekil 4.13 (b)



Şekil 4.13 (c)

Şekil 4.13 devamı...



Şekil 4.13 (d)

Şekil 4.13. 1866 düğüm noktalı ağ yapısı ve 0.01 s zaman adımı kullanılarak tamamlanan 2-boyutlu benzetim çalışmasının; (a)15 (b)30 (c)60 (d) 90 saniyesinde elde edilen hız profilleri.

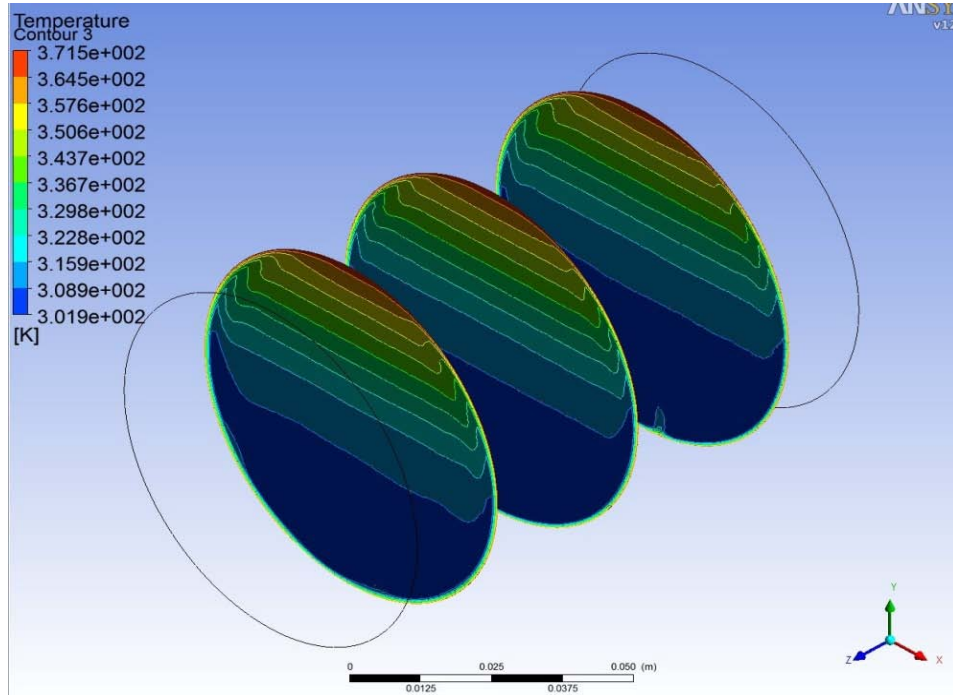
4.3.SU İLE YAPILAN ÜÇ BOYUTLU BENZETİMLER

4.3.1. Üç Boyutlu Benzetimlerin Yapılması

Literatürde iki boyutlu eksensel simetri yaklaşımının yatay konservelere uygulanamamasından dolayı üç boyutlu benzetimlerin yapılması gerektiği belirtilmiştir. İki boyutlu yaklaşımların kullanılabilirliği deneysel ve sayısal olarak gösterildikten sonra elde edilen sonuçların karşılaştırılması amacıyla, yatay yöndeki ısı transferinin etkisi ihmal edilmeden, 467610 sayısal ağ ve 0.001 s zaman adımı kullanılarak üç boyutlu benzetim çalışmaları yapılmıştır.

Şekil 4.14'de, yatay yönde belirgin bir sıcaklık farklılığı olmadığı gösterilmesi amacıyla 3-boyutlu konserve geometrisi içerisinde farklı kesitlerdeki radyal yönde olan sıcaklık değişimleri verilmiştir. Prosesin 30. saniyesinde konserve

kutusunun sağ kapak yönünden, 0.0175, 0.055 (orta yüzey) ve 0.09 m uzağındaki kesitlerde elde edilen sıcaklık konturlarından da görüldüğü üzere; bu üç farklı düzlemde sıcaklık değişimleri açısından bir fark bulunmamaktadır. Sıcaklığın yüksek olduğu bölgelerde, hız vektörlerinin oluşmasını sağlayan kaldırma kuvvetinin etkisi azalmaktadır. Doğal konveksiyonla ısı transferi mekanizmasına bağlı olarak bazı Bernard konveksiyon hücreleri oluşmakta ve farklı ara kesitlerdeki sıcaklık konturlarında oldukça az bir değişim meydana gelmektedir (Şekil 4.14) Ancak genel olarak farklı XY ara düzlemlerindeki sıcaklık konturları radyal yöndeki etkinin yatay yöndekine göre baskın olduğunun görülmesi için yeterlidir.

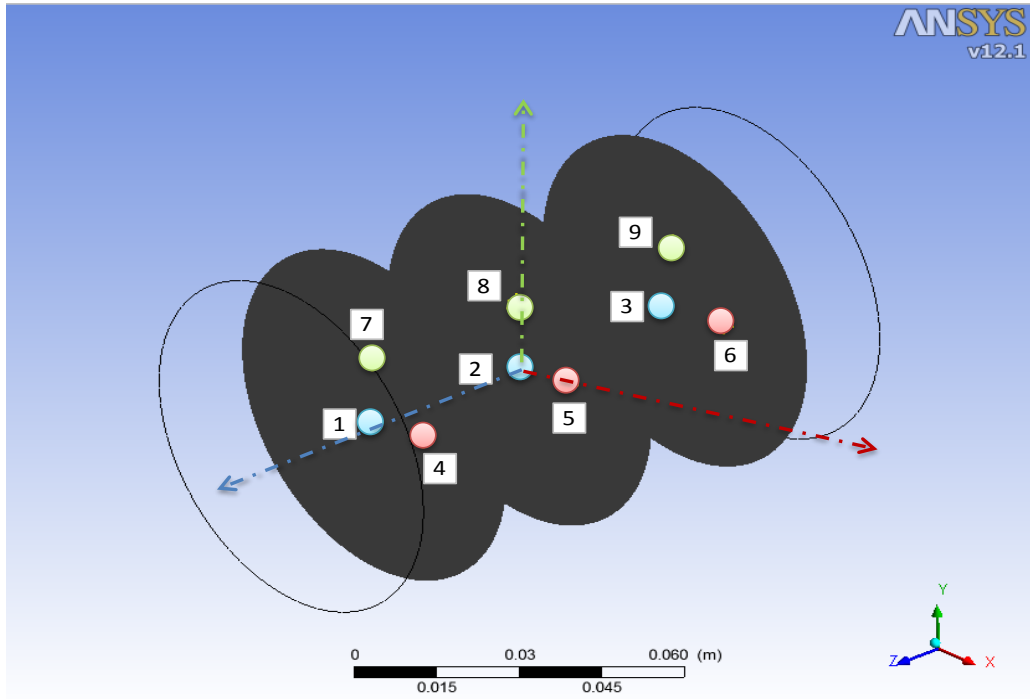


Şekil 4.14. 3-boyutlu konserve geometrisinde prosesin 30. saniyesinde, radyal yöndeki farklı ara kesitlerde sıcaklık dağılımı.

Şekil 4.15 ise bu üç farklı ara kesit için ısıl işlem süresince değişen merkez ve merkez dışındaki farklı noktadaki sıcaklık değişimleri ile alan ortalama sıcaklık değişimlerini göstermektedir. Alan ortalama sıcaklık değeri seçilen kesitlerdeki tüm sıcaklıkların ortalama değerlerinin alınmasıyla belirlenmektedir. Beklenildiği üzere

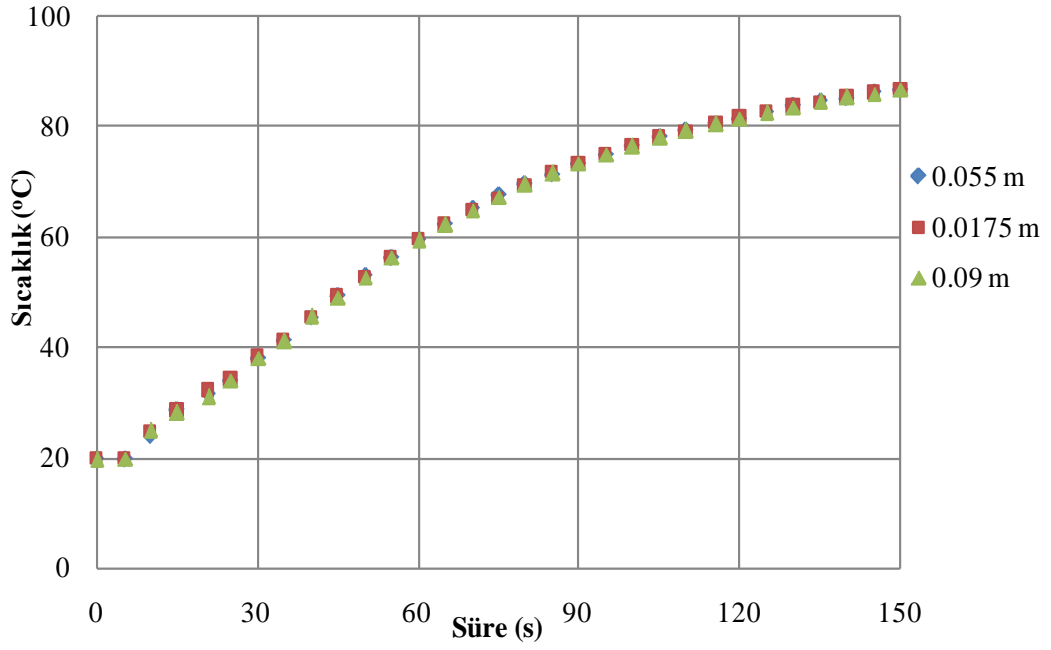
yatay yönde sıralanmış ara kesitlerdeki ortalama sıcaklıkları arasında bir farklılık bulunmamaktadır.

Z ekseninde sıralanmış kesitlerin merkez noktalarındaki (Şekil 4.15b), merkezden 13.5 mm sağda bulunan noktalardaki (Şekil 4.15c) ve merkezden 13 mm yukarıda bulunan noktalardaki (Şekil 4.15d) sıcaklık değişimleri arasında üç farklı düzlem ($z=0.0175$, $z=0.055$, $z=0.09$ m) için de bir farklılık gözlenmemiştir. Yatay yönde oluşacak belirgin bir ısı transferi bu yönde sıralanmış düzlemlerin ortalama sıcaklıklarında da farklılık meydana getirecektir. Bu yönde ilerledikçe kesitlerdeki sıcaklık dağılımlarında belirgin bir farklılığın olmaması yatay yönde etkin bir ısı transferinin gerçekleşmediğini kanıtlamaktadır. Deneysel olarak elde edilen sıcaklıklar arasında bir farklılığın olmamasının yanı sıra (Şekil 4.1) üç boyutlu benzetimlerden elde edilen sonuçların da bu yöndeki ısı transferinin ihmal edilmesinin uygun bir yaklaşım olduğunu göstermektedir.

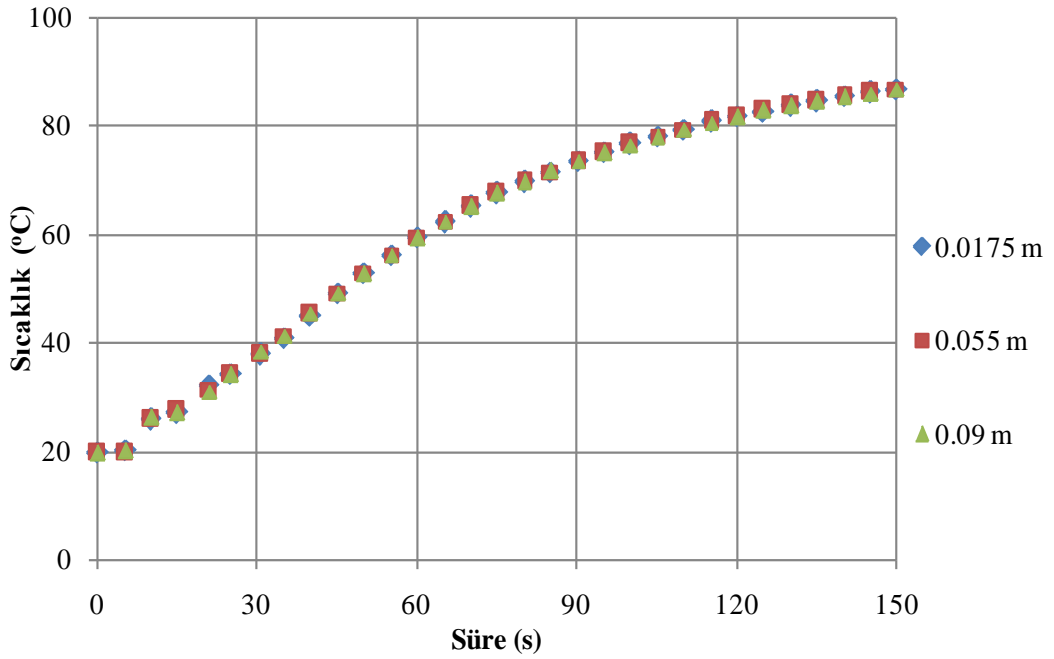


Şekil 4.15 (a)

Şekil 4.15 devamı...

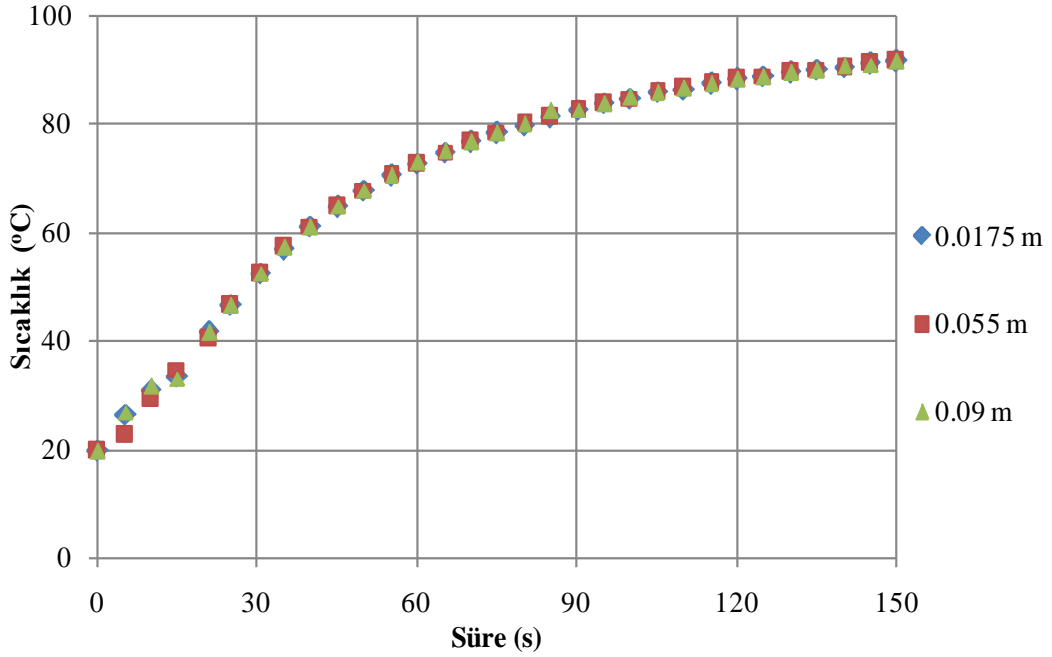


Şekil 4.15 (b)

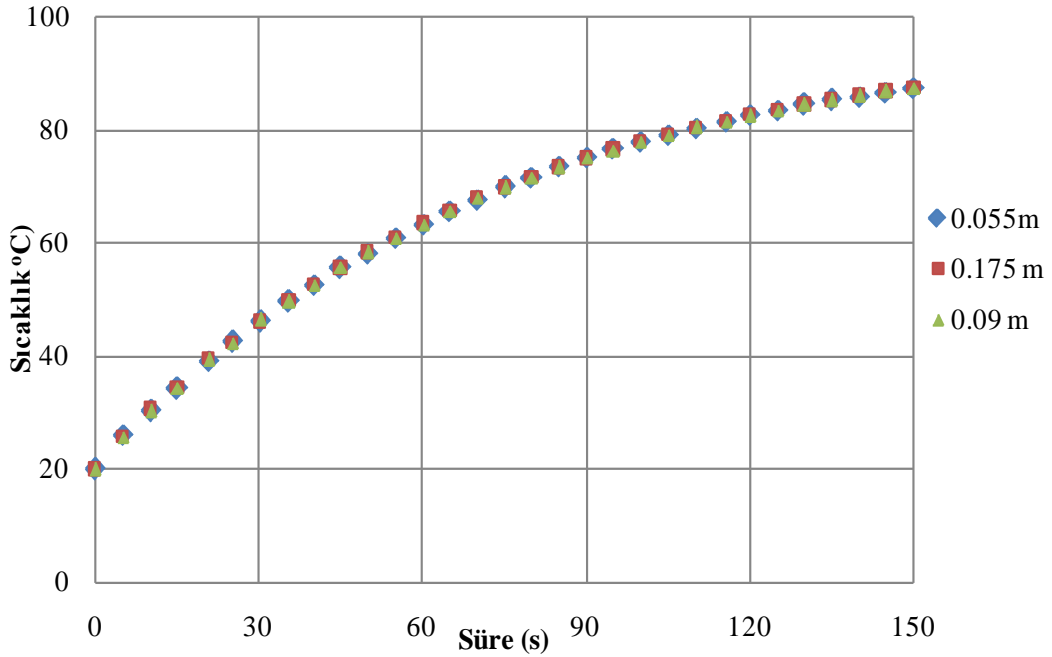


Şekil 4.15 (c)

Şekil 4.15 devamı...



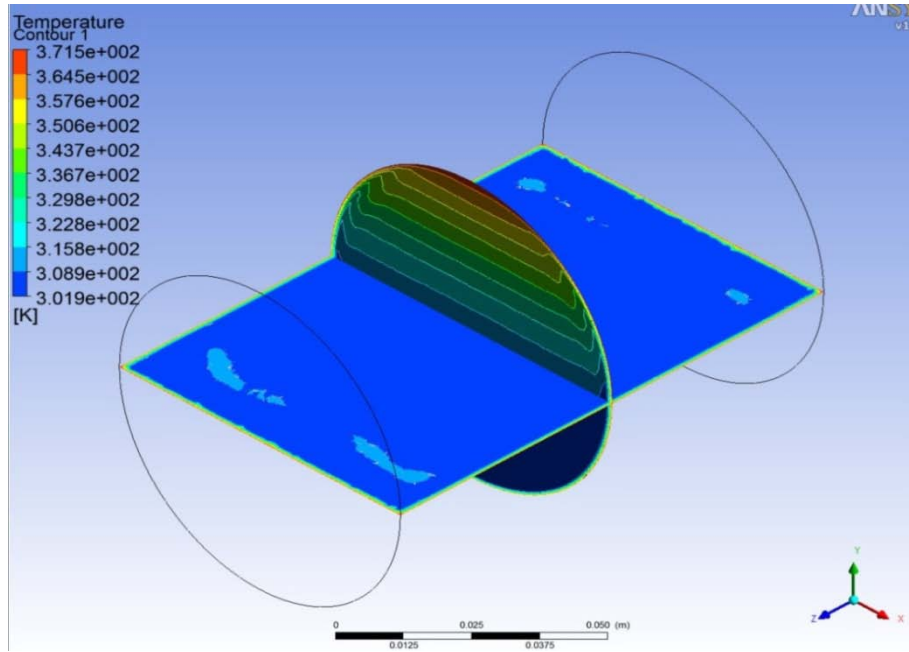
Şekil 4.15 (d)



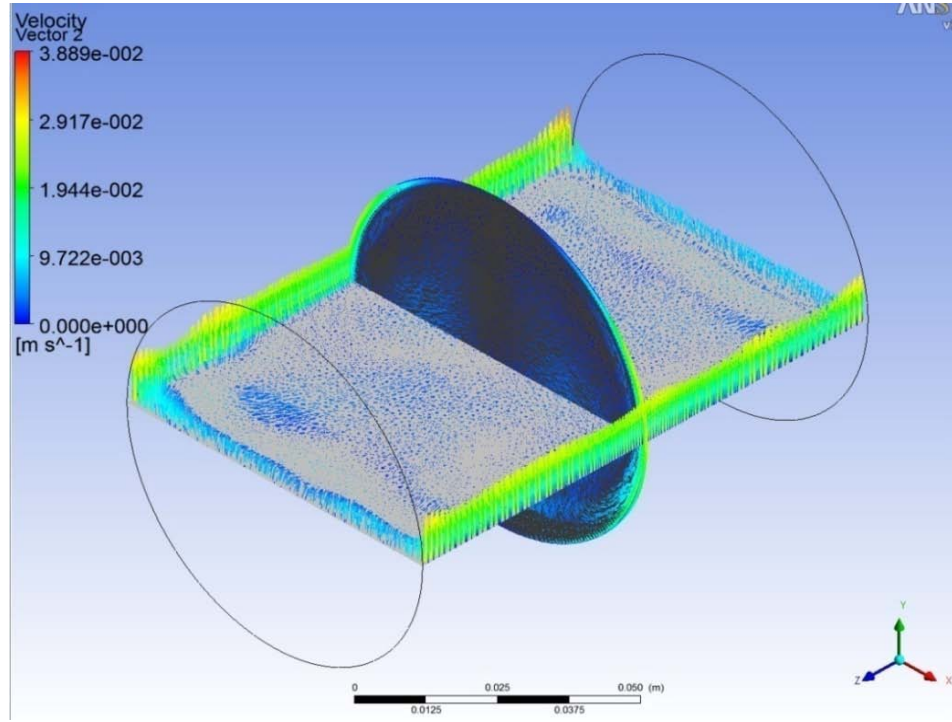
Şekil 4.15 (e)

Şekil 4.15. 3-boyutlu konservede yatay yöndeki farklı düzlemlerde merkez çizgisi üzerinde ve merkez çizgisi dışında proses zamanına bağlı benzetim sonuçları: (a) Sıcaklık verilerinin alındığı düzlem ve noktaların gösterimi (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9); (b) Merkez noktalarında (1, 2, 3); (c) Merkez çizgisinin 13.5 mm sağında bulunan noktalarda (4, 5, 6); (d) Merkez çizgisinin 13 mm üzerinde bulunan noktalarda sıcaklık değişimlerinin karşılaştırılması (7, 8, 9); (e) Üç farklı düzlemdeki alan ortalama sıcaklık değişimlerinin karşılaştırılması.

Şekil 4.16 ve Şekil 4.17’de 3 boyutlu çözülen modelde yapılan benzetim çalışmalarında 30 saniyelik ısınma sonucu konservenin orta XY ve orta ZX düzlemlerinde, sırasıyla sıcaklık ve hız dağılım profilleri görülmektedir. Şekil 4.16’da radyal yönde doğal konveksiyonun (yerçekimsel kaldırma kuvveti) etkisiyle katmanlara ayrılmış keskin bir sıcaklık dağılımının yatay yönde ise – sınırlara yakın bölgelerdeki değişimler hariç tutulursa - tekdüze bir sıcaklık dağılımının meydana geldiği görülmektedir. Şekil 4.17’de hız vektörlerinin oluşumu radyal yönde oluşmakla birlikte yatay yöndeki değişimlerinde sınırlı ve radyal yönde olan değişimlere göre ihmal edilebileceği görülmektedir. Bu şekillerden de görüldüğü üzere, radyal yönde baskın olarak gerçekleşen doğal konveksiyon etkilerinin yanında, yatay yönden olan ısı transferi etkisi ihmal edilebilmektedir.



Şekil 4.16. Radyal ve yatay yönde prosesin 30. saniyesinde sıcaklık profilinde meydana gelen değişimlerin gösterimi.



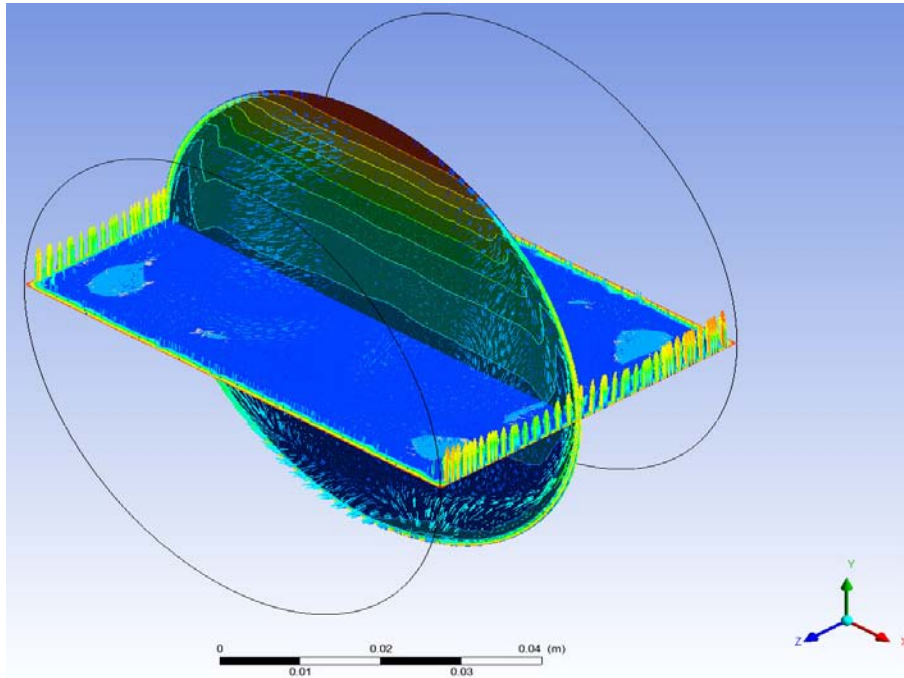
Şekil 4.17. Radyal ve yatay yönde prosesin 30. saniyesinde hız profilinde meydana gelen değişimlerin gösterimi.

Çizelge 4.2. Şekil 4.17’de hız dağılımı verilen yatay konservenin üç boyutlu geometride farklı sürelerdeki ortalama hız değerlerinin x,y,z bileşenlerini (u,v,w) göstermektedir. Çizelge 4.2’den de görüldüğü üzere hız bileşenlerinden y yönüne ait olan v bileşeni diğerler yönlerden belirgin oranda yüksektir. Bu da hız bileşenlerinin daha çok dikey yönde oluştuğunu, x ve z yönlerinde ise daha düşük olduğunu göstermektedir.

Çizelge 4.2. Su modeli ile yapılan 3-boyutlu benzetimlerde x,y,z yönündeki hız bileşenlerinin tüm geometri için farklı proses sürelerindeki ortalama değerleri (mm/s).

t (s)	u	v	w
30	-0.0111	1.98	0.0017
60	-0.0057	1.46	-0.0038
90	0.0002	1.10	-0.0046

Üç boyutlu konservede yapılan benzetimlerin ardından yatay yöndeki ihmal edilebilir ısı transferi daha kısa uzunluktaki bir konservede yapılan benzetim sonuçlarında da gözlenmektedir (Şekil 4.18). Radyal yönde oluşan doğal konveksiyon etkilerinin yatay yönden olan ısı transfer etkisine göre ihmal edilebileceğini farklı bir açıdan gösterebilmek amacıyla, deneysel çalışmalarda kullanılan konserve ile aynı çapa sahip fakat daha kısa uzunluktaki (73 mm çapında - 55 mm boyunda) bir konserve kullanılarak aynı koşullarda, benzetim yapılmış ve sonuçlar elde edilmiştir. Şekil 4.18 bu konservede, radyal ve yatay orta düzlemlerde prosesin 30. saniyesindeki sıcaklık ve hız profillerini göstermektedir. Görüldüğü gibi radyal yönde Şekil 4.16'da gözlenen profillere benzer, keskin bir sıcaklık dağılımı gerçekleşirken, yatay yönde homojen bir sıcaklık dağılımı ortaya çıkmakta ve radyal yöndeki hız profillerinin yanında yatay yönde meydana gelen hız profillerinin ihmal edilebileceği görülmektedir. Orta düzlemdeki sıcaklık dağılımını üç ve iki boyutlu modelden farklı olmamakla birlikte hız vektörleri de yalnızca radyal yönde oluşmuştur.



Şekil 4.18. Kısa konservede radyal ve yatay orta düzlemlerde prosesin 30. saniyesindeki sıcaklık ve hız profillerinin gösterimi.

Çizelge 4.3. ise Şekil 4.18'de hız dağılımı verilen kısa konservenin üç boyutlu konservede farklı sürelerdeki ortalama hız değerlerinin x,y,z bileşenlerini (u,v,w) göstermektedir. Burada da Çizelge 4.2'dekine benzer şekilde hız bileşenleri dikey yönde (y yönünde) oluşmuştur. x ve z yönündeki hız bileşenleri ise (u, w) dikey yöne göre daha düşüktür. Bu da yatay yöndeki sıvı akışının dikey yöne göre daha yavaş olduğunun dolayısıyla doğal konveksiyon mekanizmasında ısı akışını kolaylaştıran hareketin de düşük olduğunu göstermektedir.

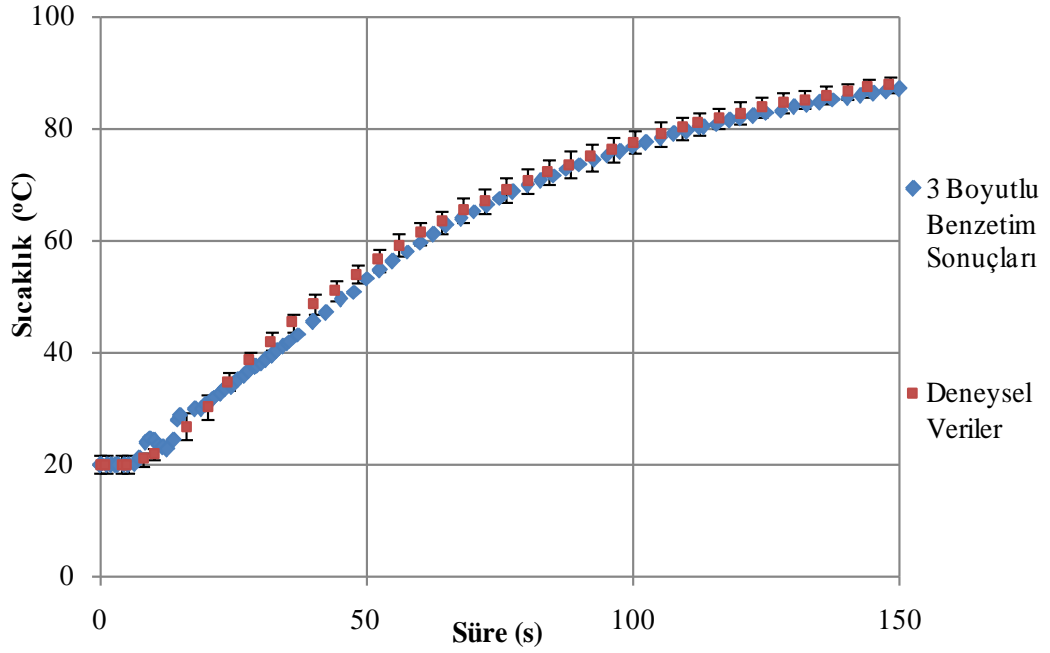
Çizelge 4.3. Kısa konservede su modeli ile yapılan 3-boyutlu benzetimlerde x,y,z yönündeki hız bileşenlerinin tüm geometri için farklı proses sürelerindeki ortalama değerleri (mm/s).

t (s)	u	v	w
30	-0.0528	5.109	0.0287
60	-0.0301	3.727	0.0208
90	0.0596	2.908	0.0199

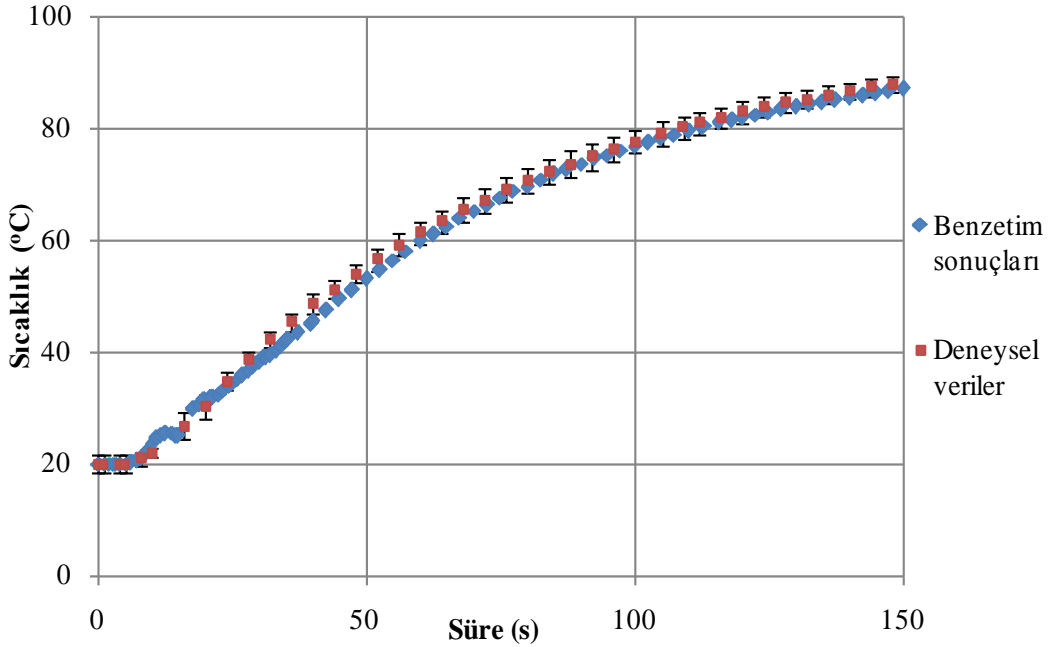
4.3.2. Üç Boyutlu Benzetim Sonuçlarının Doğrulanması

Üç boyutlu benzetim sonuçlarında yatay yönde belirgin bir ısı transferinin olmadığı gösterilmesinin yanı sıra elde edilen sonuçların deneysel veriler ile doğrulanması gerekmektedir. Orta düzlemde (0,0) ve orta-yüzey arasında bulunan ara düzlemde merkez noktadaki (0, 27.5) sıcaklık değişim sonuçları Şekil 4.19 ve Şekil 4.20'da verilmiştir. Deneysel sonuçları ile üç boyutlu modelde her iki düzlemde de benzetim sonuçlarının deneysel sonuçlar ile uygunluğu görülmektedir.

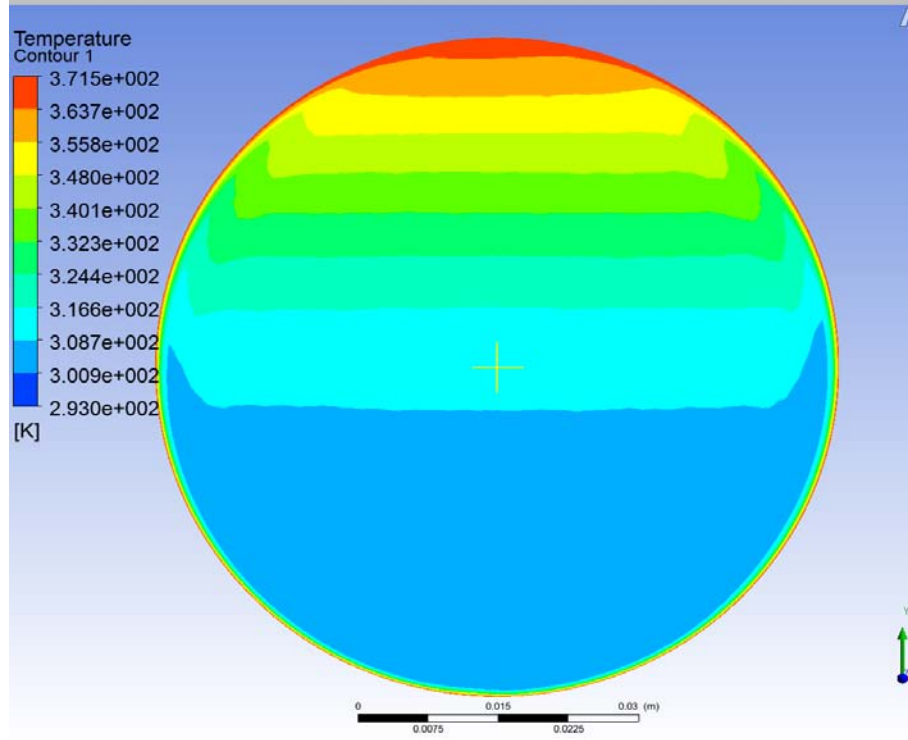
Şekil 4.21 ise üç ve iki boyutlu modelde ısı işleminin 30. Saniyesinde elde edilen sıcaklık dağılımı sonuçlarını göstermektedir. Elde edilen grafikler birbirine oldukça benzer olmakla birlikte iki boyutlu modelde taban noktalarında bazı farklılıklar bulunmaktadır. Ancak genel anlamda bakıldığında doğal konveksiyonun etkilerini yansıtacak şekilde olduğu görülmektedir.



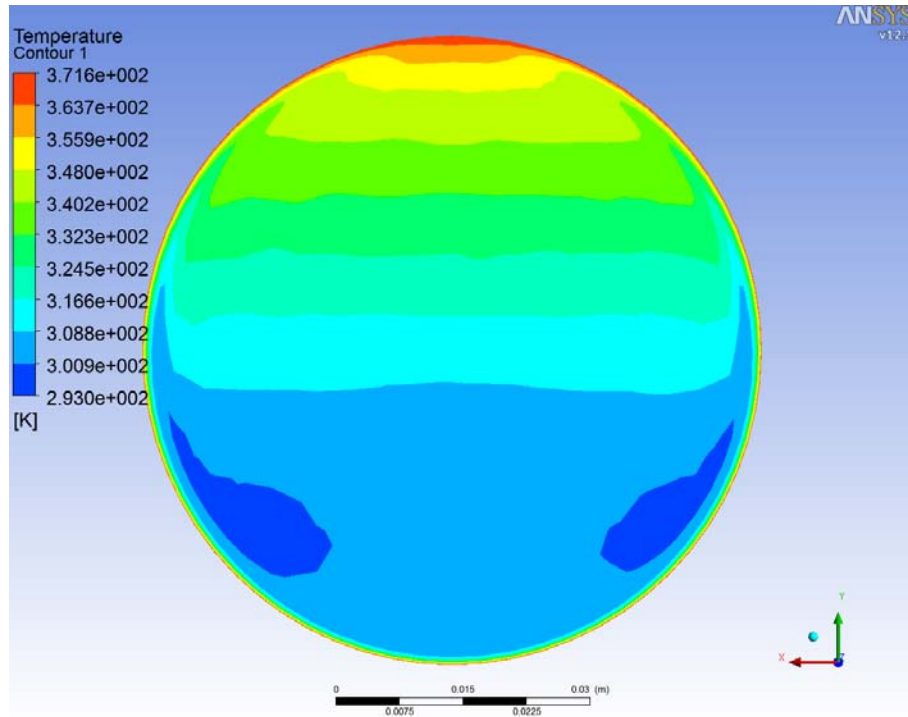
Şekil 4.19. Üç boyutlu konservede merkez noktasında (0,0) yapılan deneysel sıcaklık ölçümleri sonuçları ile üç boyutlu benzetim sonuçlarının karşılaştırılması (KOH=2.10).



Şekil 4.20. Üç boyutlu konservede merkez çizgisi üzerinde yüzey-merkez orta ara düzleminde (0,0.0275) yapılan deneysel sıcaklık ölçümleri sonuçları ile üç boyutlu benzetim sonuçlarının karşılaştırılması (5.44).



Şekil 4.21 (a)



Şekil 4.21 (b)

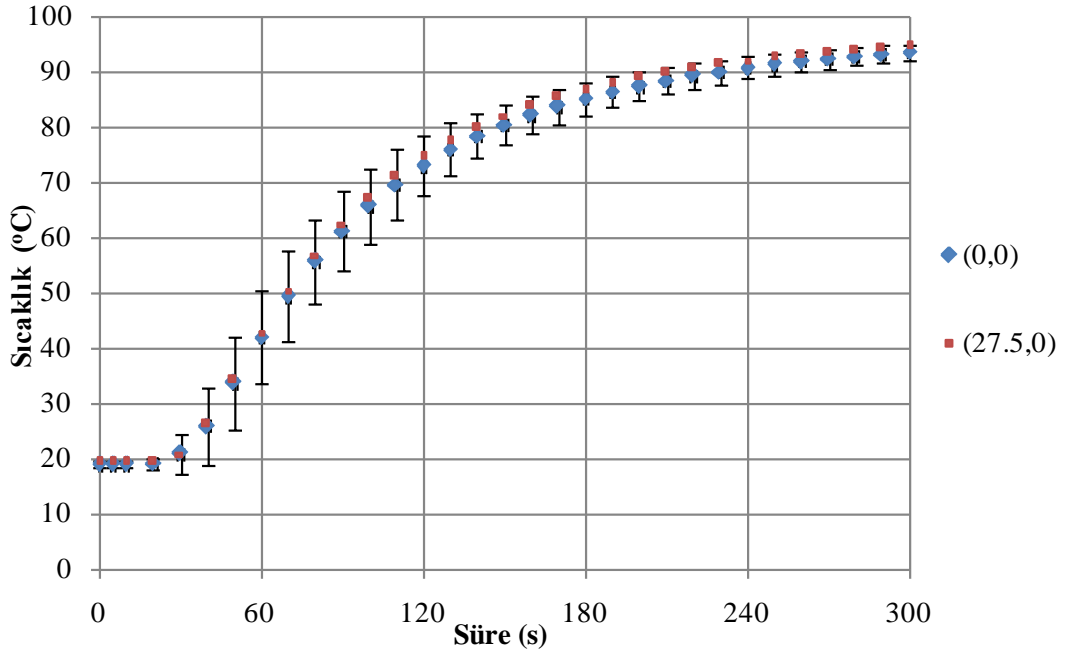
Şekil 4.21. Üç ve iki boyutlu modelde prosesin 30. saniyesinde orta ara düzlemde 30. Saniyedeki sıcaklık dağılımları; (a) Üç boyutlu model, (b) iki boyutlu model.

4.4.BEZELYE-SU KARIŞIMI İLE YAPILAN BENZETİMLER

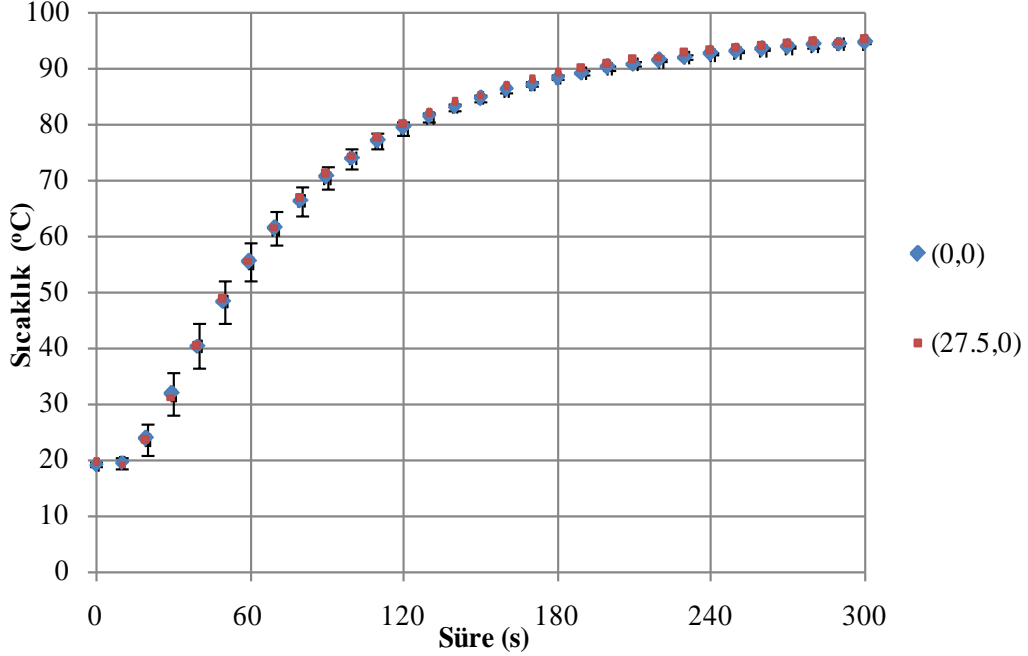
4.4.1. İki Boyutlu Yaklaşımların Doğrulanması

2-boyutlu yaklaşımın, yani yatay yönden olan ısı transfer etkisinin bezelye dolu konservelerde de ihmal edilebileceğini göstermek için, su dolu konservelerde olduğu gibi konserve içerisinde iki ayrı noktada dolgu sıvısı - su sıcaklık değişimleri belirlenmiştir. Isıl çiftler Şekil 3.2'de gösterilen noktalardan (konserve merkezi (0,0): Veri-1; konserve merkezi ile kapak arası orta noktası (27.5, 0): Veri-2) konserve kutusuna yerleştirilmiş ve daha sonra konserve kutusu bezelye ve su ile doldurulmuştur. Şekil 4.22 bezelye konservesinde dolgu sıvısı sıcaklıklarının ölçüldüğü deneysel verilerin (yapılan 10 farklı deneyin ortalama sonucu) karşılaştırılmasını göstermektedir.

Şekil 4.23 konserve merkezi (0,0) ve konserve merkezi ile kapak orta noktasına yerleştirilen bezelyelerin orta noktalarındaki sıcaklık değişimini göstermektedir. Bezelyelerin sıcaklıkları arasında da belirgin bir farkın olmaması yatay yönde ısı transferinin etkin olmadığını göstergesidir. Bu şekil yatay yönden olan ısı transferi etkisinin, sadece su kullanılarak hazırlanan konservelerden elde edilen sonuçlarda olduğu gibi, katı-sıvı konservelerde de ihmal edilebileceğini göstermektedir.



Şekil 4.22. Bezelye dolu yatay konservede deneysel dolgu sıvısı sıcaklık ölçümlerinin konserve merkezi (0,0) konserve merkezi ile kapak arası (27.5, 0) noktalarında karşılaştırılması.



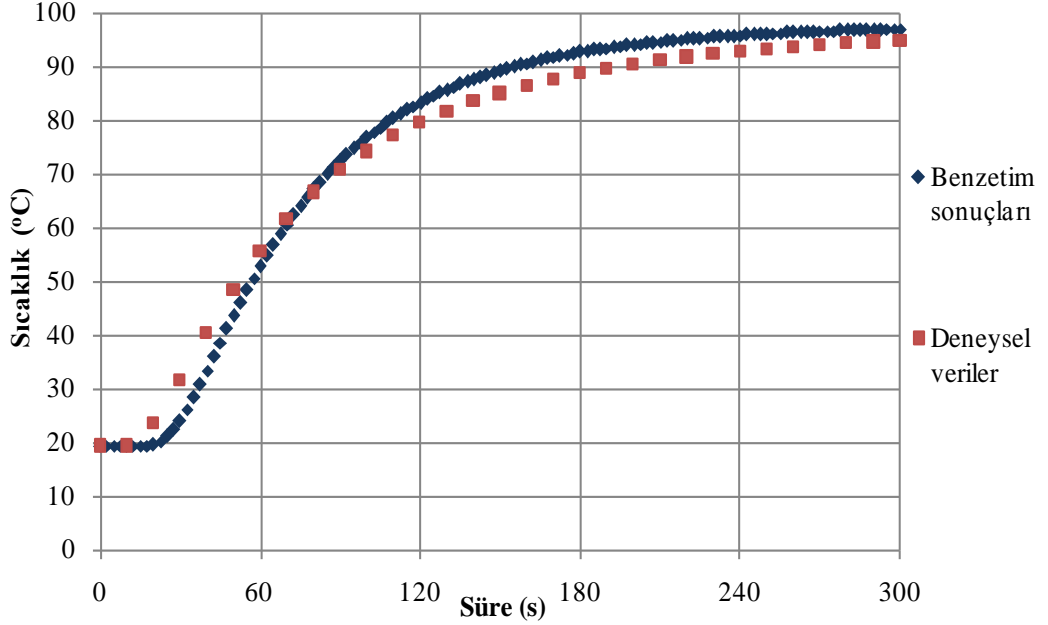
Şekil 4.23. Yatay bezelye konservesinde konserve merkezi(0,0) ve konserve merkezi ile kapak orta noktası (27.5,0) noktalarından bulunan bezelyelerin deneysel merkez sıcaklık ölçümlerinin karşılaştırılması

4.1.1. Benzetim Sonuçlarının Elde Edilmesi ve Doğrulanması

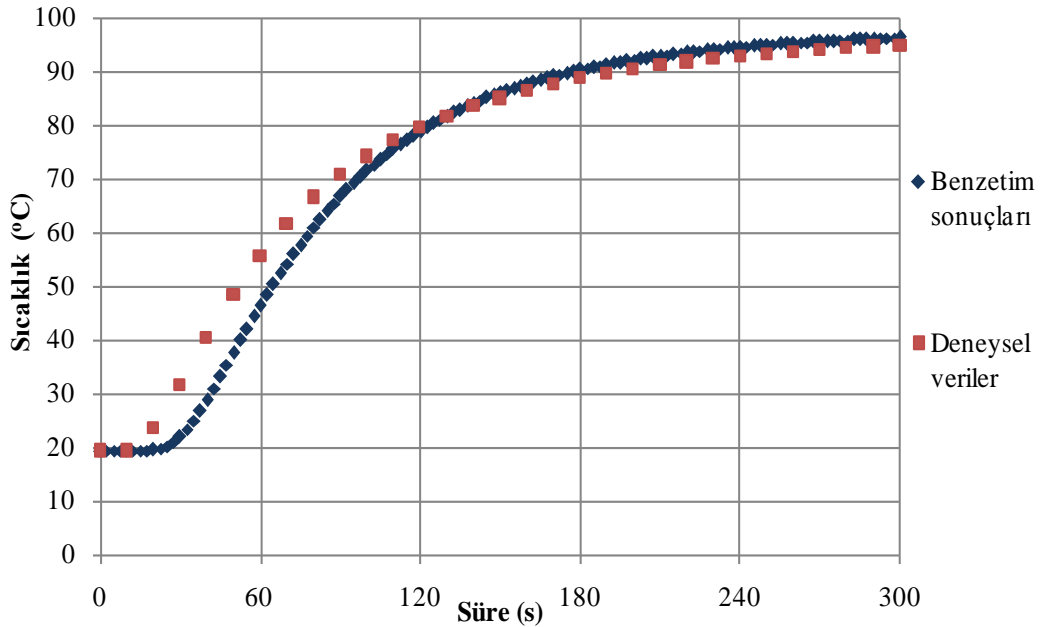
Katı-sıvı karışımlar için de iki boyutlu yaklaşımların kullanılabilceği deneysel olarak gösterildikten sonra benzetimlerin bu tür bir sistemi temsil edecek şekilde tamamlanması gerekmektedir. Ancak katı-sıvı karışımlar içeren çok fazlı ve kompleks sistemler için benzetimlerin hazırlanması ve sonuçların elde edilmesi oldukça karmaşık olmakla birlikte zaman almakta ve birçok parametrenin bir arada düşünülmesini gerektirmektedir. Örneğin, hazırlanan geometride faz değişim noktaları arasında yoğunlaştırılmış bir ağ yapısı kullanılmalı, ancak gereğinden fazla kullanılması zaman alacağından en uygun ağ yapısına karar verilmelidir. Bunun için hazırlanan iki boyutlu geometride bezelye sayısı eş gözeneklilik yaklaşımına göre belirlenmiş, konserve ara yüzeyindeki dağılımları ise bezelye aralarında eşit miktarda boşluk olacak bir düzene göre yerleştirilmiştir. Yüzeydeki ağ yapısının yoğunlaştırılması yapılarak ve yapılmadan edilen benzetim sonuçları deneysel sıcaklık değişimleri ile karşılaştırılmıştır (Şekil 4.24). Birçok parçacık içeren katı-sıvı konservelerdeki gibi kompleks sistemlerin benzetimleri literatürde daha önce yapılmıştır [Kızıldaş vd. 2011; Dimou ve Yaniotis 2011].

Şekil 4.25 ise yumurta gibi görece olarak daha basit bir sistemde ve süte uygulanan ısı işlem sırasında benzetim sonuçlarının deney sonuçları ile karşılaştırılmasını göstermektedir [Ramanchandran vd., 2011; Anand Paul vd. 2011]. Bu sistemlerde de görüldüğü gibi sistem karmaşıklığına ve sistemin CFD modeli ile ne kadar doğru olarak tanımlanabilmesine bağlı olarak deney sonuçları ile model sonuçları arasında farklılıklar olabilmektedir. Ancak buna bağlı olarak kullanılan benzetim programının doğru çözümü elde etme başarısının da tartışılması gerektiği ve farklı çözüm yöntemleri ile ayrıştırma yöntemlerini içeren programların da denenmesi gerektiği unutulmamalıdır. Özellikle katı sıvı parçacıklardan oluşan sistemlerde parçacıkların sistem içerisindeki dağılımları ısı transfer ve akış profilini önemli oranda etkilemektedir. Bu nedenle, sonuçları olumlu yönde geliştirebilmek amacıyla sayısal paketleme algoritmaları ve optimizasyon tekniklerinin geometri hazırlama bölümünde kullanılması gerekmektedir. Örneğin Mueller [2005] silindirik geometriler içerisinde küresel parçacıkları optimum olarak yerleştirebilmek için

gerekli bir paketleme algoritmasının kullanımını açıklamıştır. Bu tür algoritmaların CFD geometri hazırlama yöntemleriyle birlikte kullanılabilmesiyle kompleks ısı transferi - akışkanlar dinamiği problemlerinden daha etkin sonuçlar elde edilebilecektir.

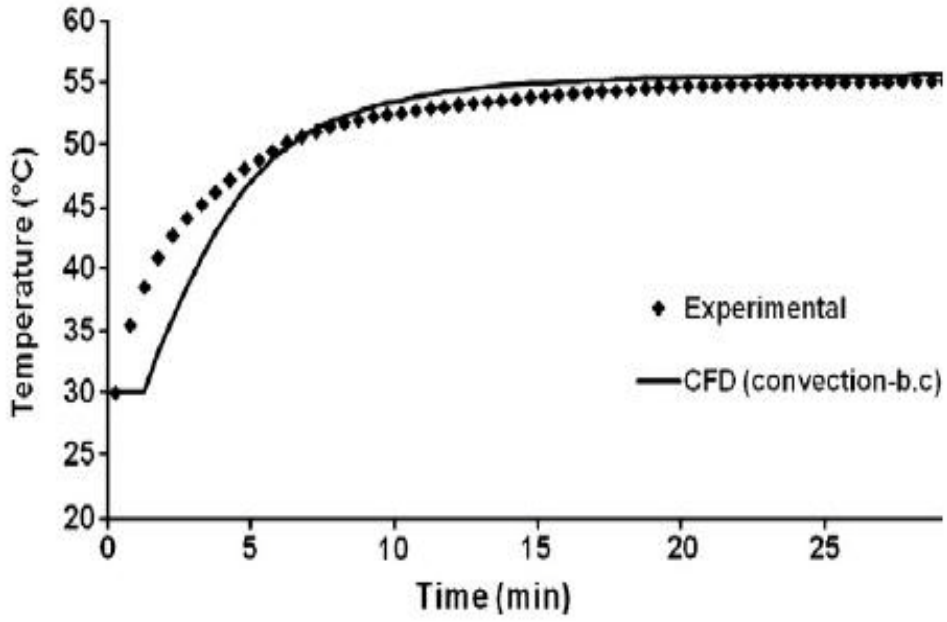


4.24 (a)

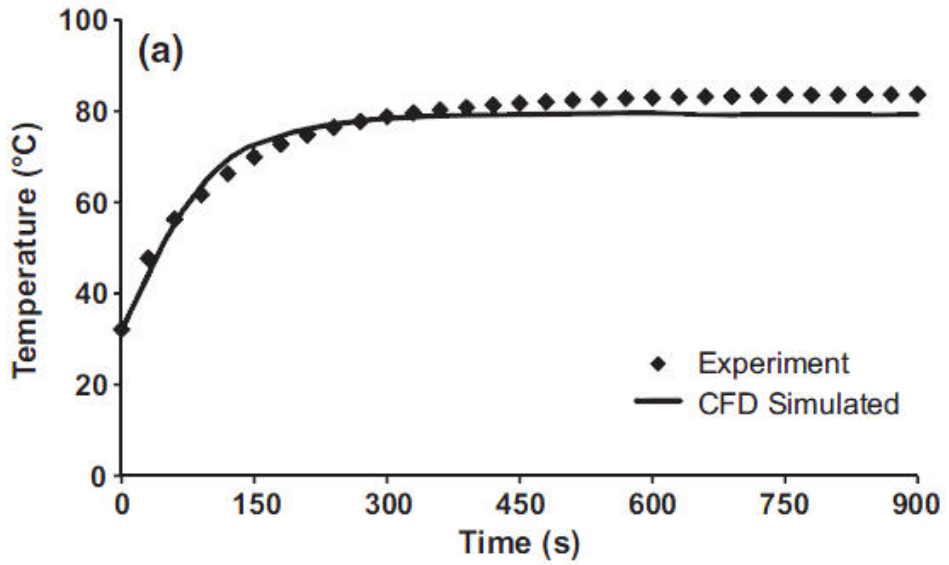


4.24 (b)

4.24. Bezelye-su modelinde merkezde bulunan bezelyenin orta noktasındaki sıcaklık değişiminin benzetim ve deney sonuçları; (a) Benzetimlerde yüzeyde yoğunlaştırma yapılmamış model (KOH=3.63); (b) Yüzeyde yoğunlaştırma yapılmış model (KOH=4.41).



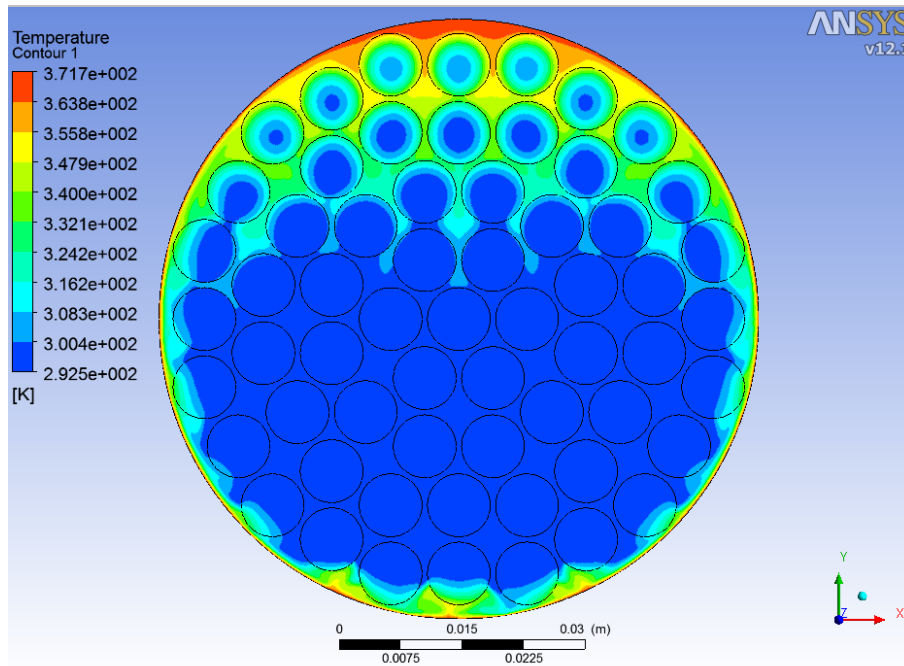
Şekil 4.25 (a)



Şekil 4.25 (b)

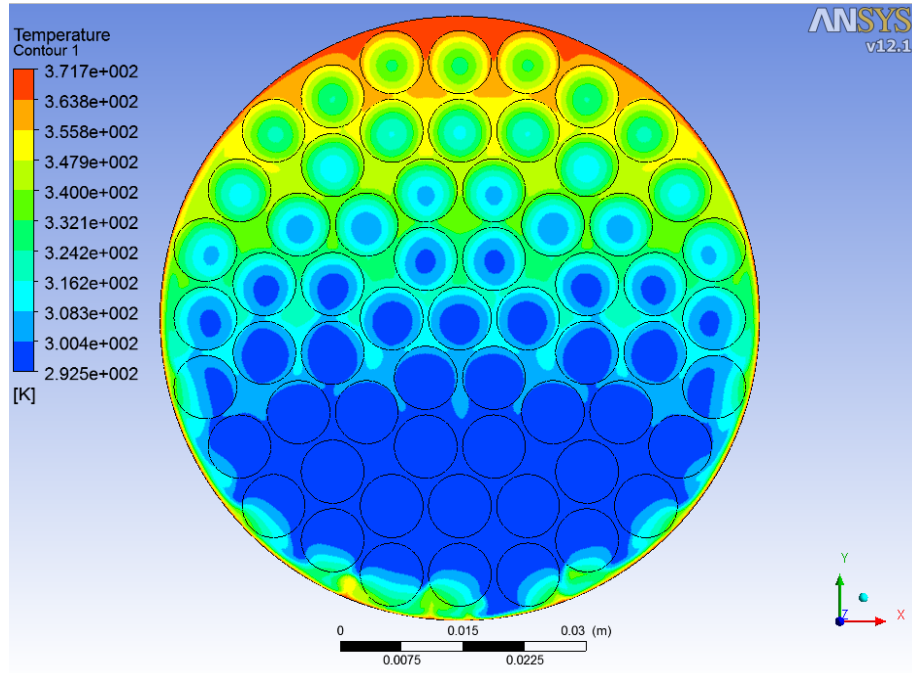
- Şekil 4.25. Literatürde farklı gıda örneklerinin benzetimi sonucu elde edilen sıcaklık değerlerinin deneysel veriler ile karşılaştırılması;
- (a) Yumurtanın ısınmasının modellendiği bir çalışmada elde edilen sonuçlar (Ramanchandran vd. (2011));
 - (b) Sütün pastörizasyonunun modellendiği bir çalışmada elde edilen sonuçlar (Anand Paul vd. (2011)).

Şekil 4.26 bezelye-su konservesinde prosesin farklı sürelerindeki sıcaklık profillerini göstermektedir. Şekil 4.27'de ise bezelyeler arasında ısıl işlem sırasında oluşan hız profil gelişimi görülmektedir. %35 gözeneklilik değeri ile hazırlanan ve düzgün bir dağılıma göre yerleştirilen bezelyelerin arasındaki boşlukta su bulunmakta ve su fazındaki ısınma doğal konveksiyon ile olmaktadır. Bezelyelerin olduğu katı fazda ise ısınma kondüksiyon ile gerçekleşmektedir. Bu nedenle ısınma katı fazda daha hızlı, katı fazda ise daha yavaştır. Bezelye konservesinin modellendiği bu durumda da doğal konveksiyon ile ısı transferinin daha baskın olduğu görülmektedir. Vektörel hız dağılımlarında da (Şekil 4.27) sıvının kutunun yan duvarlarından yukarı doğru ilerlediği ve üst kısımda duvarın ve o kısımdaki bezelyelerin de etkisiyle iç kısımlara doğru hareket ettiği görülmektedir.

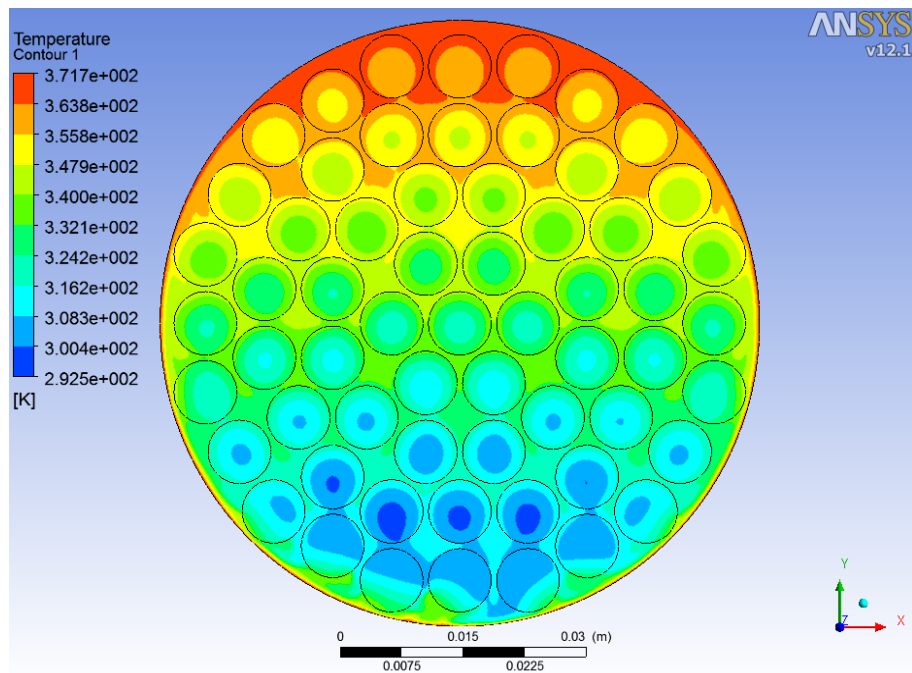


Şekil 4.26 (a)

Şekil 4.26 devamı...

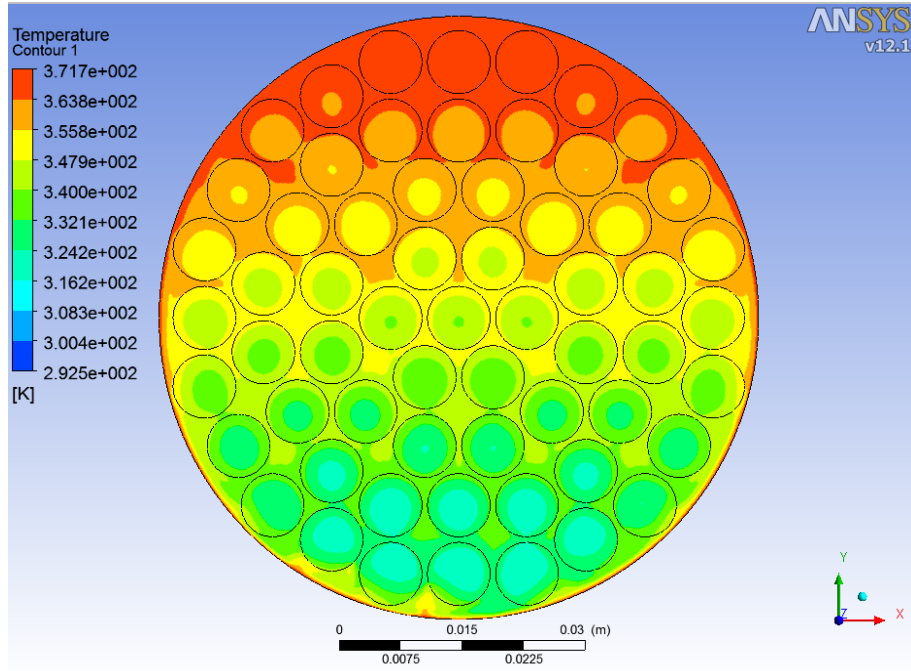


Şekil 4.26 (b)

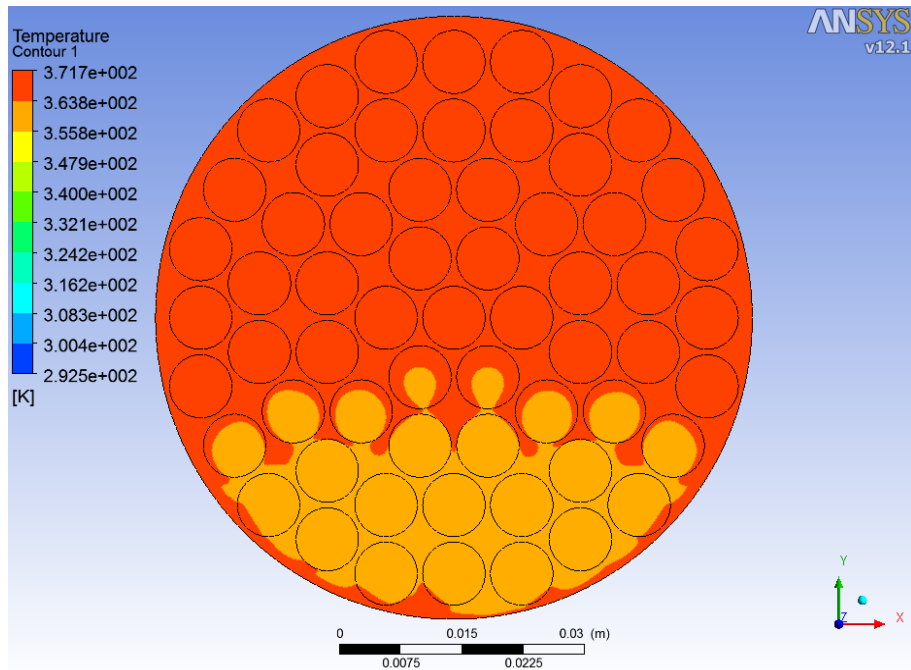


Şekil 4.26 (c)

Şekil 4.26 devamı...

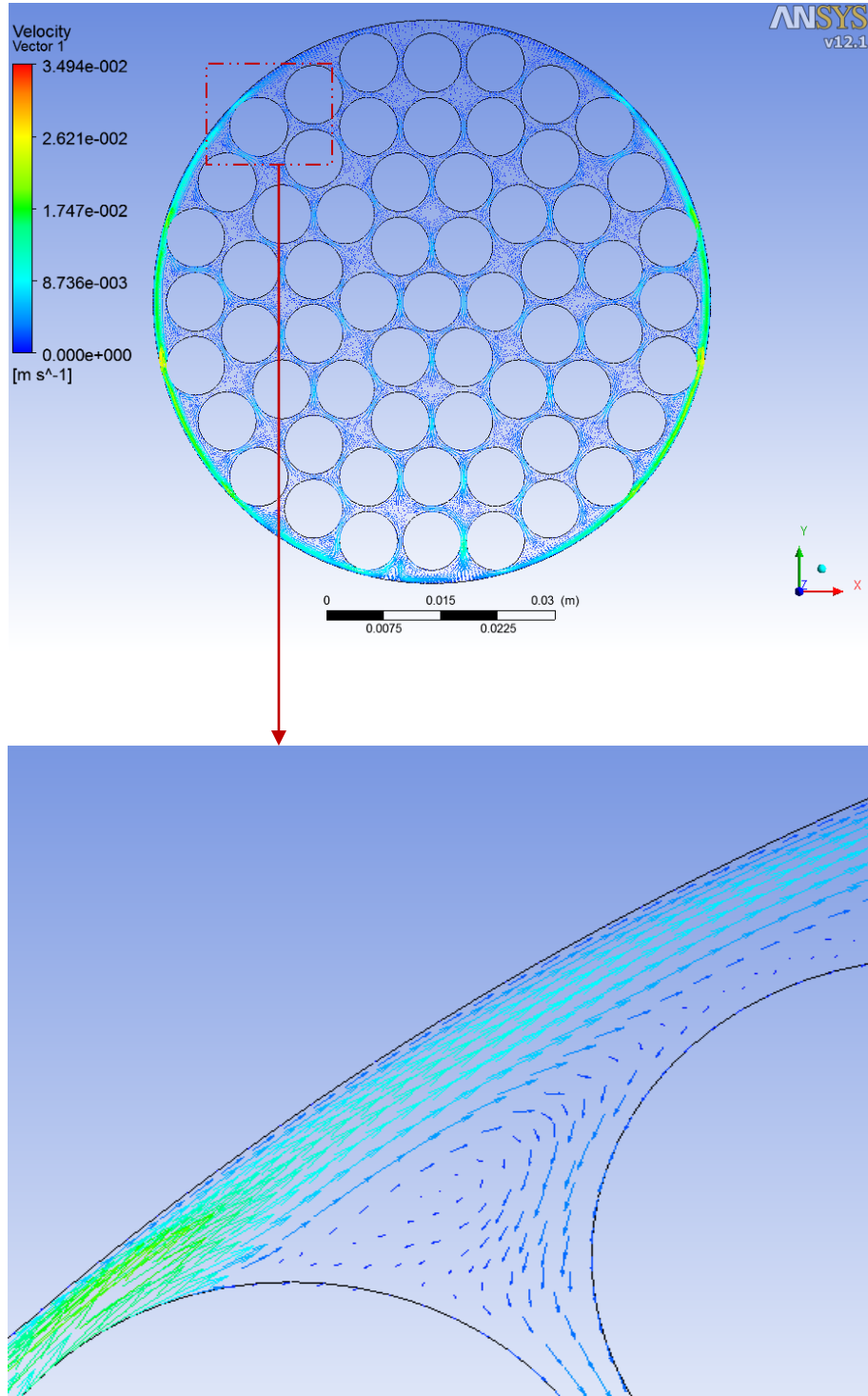


Şekil 4.26 (d)



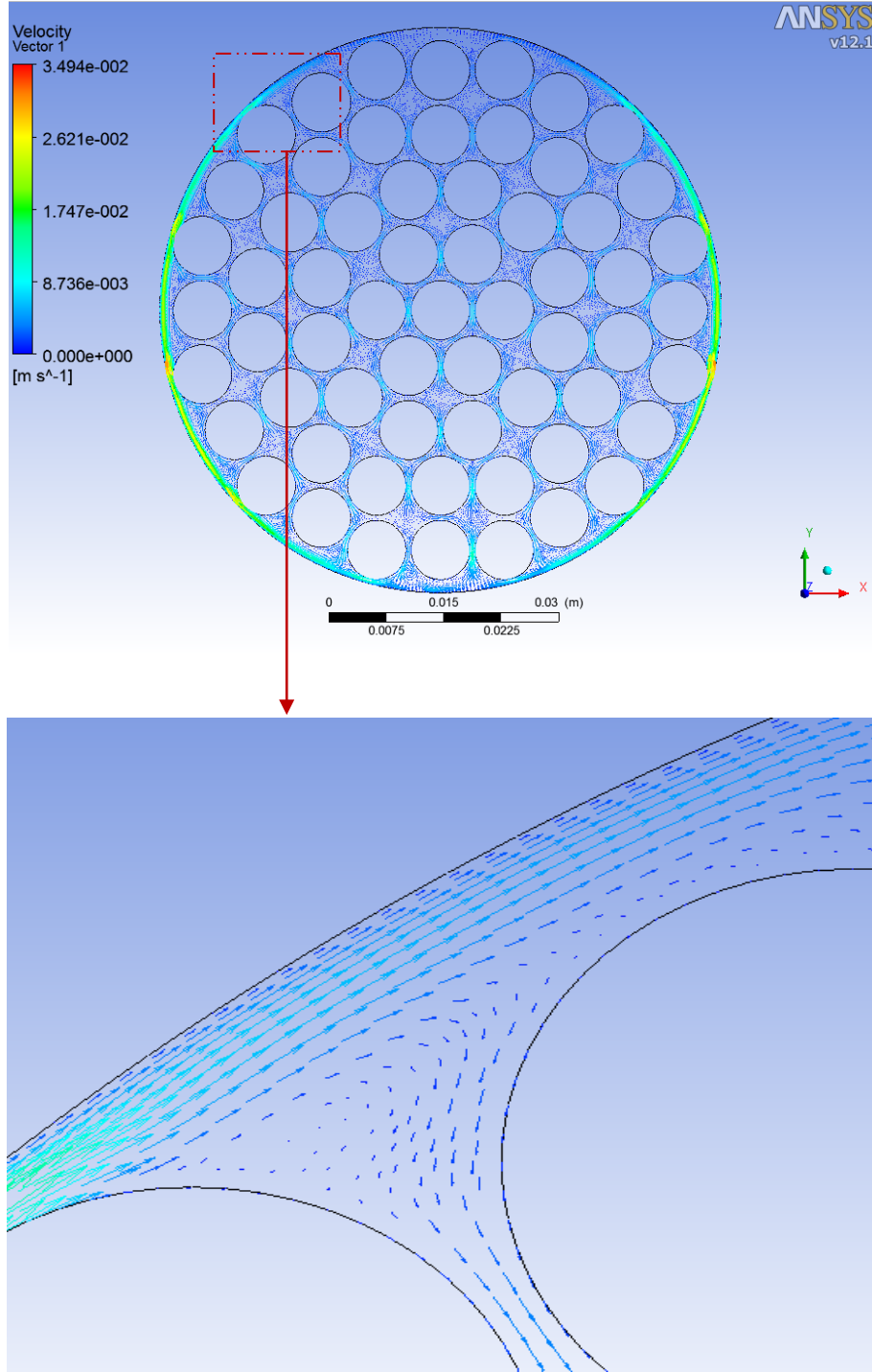
Şekil 4.26 (e)

Şekil 4.26. Bezelye modeli ile yapılan benzetimlerdeki sıcaklık profilleri; (a)15. (b)30. (c)60. (d)90. (e) 200. saniye.

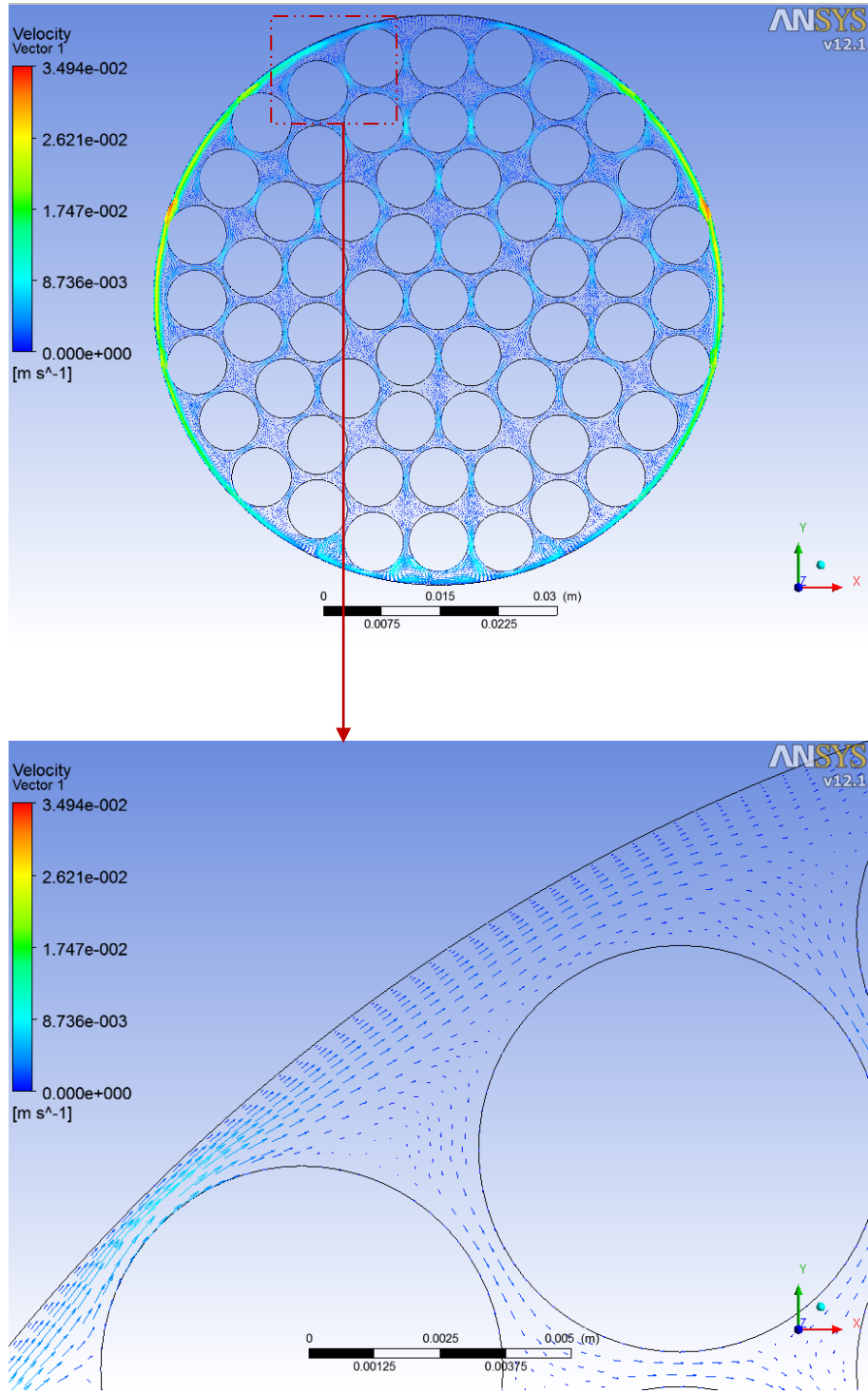


Şekil 4.27 (a)

Şekil 4.27 devamı...



Şekil 4.27 (b)

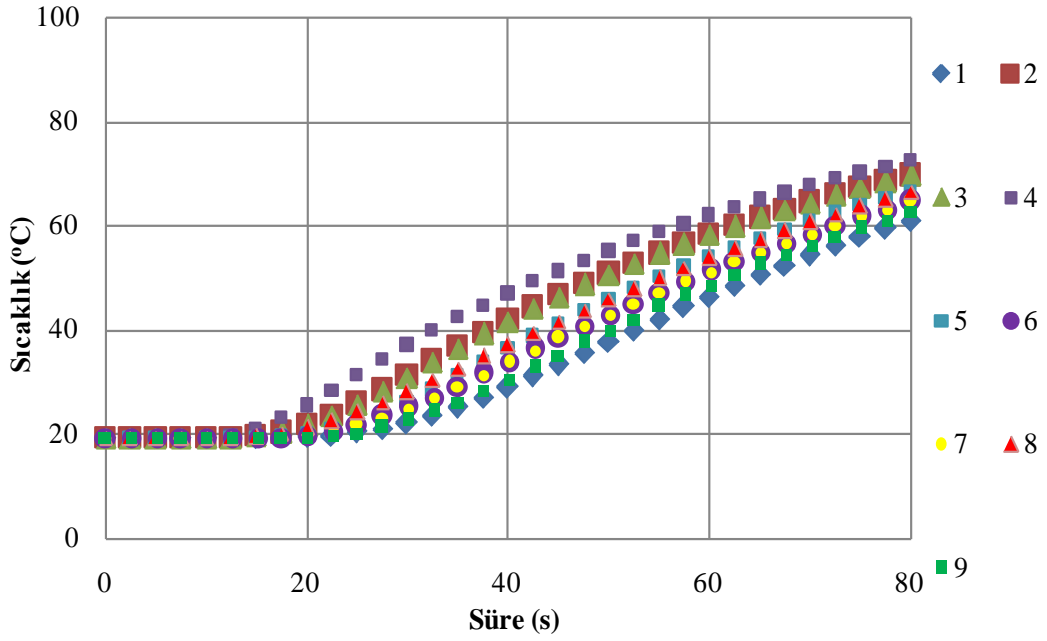


Şekil 4.27 (c)

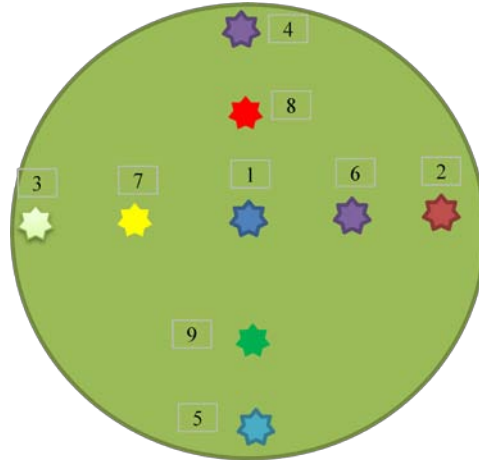
Şekil 4.27. Bezelye modeli ile yapılan benzetimlerdeki hız profilleri;
a)30 b)60 c)120. saniye

Bezelye içeren katı-sıvı katı sıvı karışımı konservede ölçülen bezelye merkez sıcaklıkları merkez noktasına yerleştirilen ısı çiftleri ile kaydedilmiştir. Ancak deneysel olarak ısı çiftinin bezelyenin merkezine yerleştirildiğini kesin olarak doğrulayacak bir yöntem bulunmamaktadır. Bu nedenle ısı çiftlerinin deney sırasında bezelyelerin tam merkezine yerleştirildiği kabul edilmiş ve benzetim sonuçları ile bu kabul göz önünde bulundurularak karşılaştırılmıştır. Ancak sonuçlar yorumlanırken bu durum göz önünde bulundurulmalıdır. Şekil 4.24'de gözlenen model-deneysel sonuçları arasındaki farklılıkların sebebini incelemek amacıyla ısı çiftinin bezelye içerisinde yerleştirildiği noktada sapmalar olabileceği de düşünülmüştür.

Şekil 4.28 benzetimlerden yola çıkılarak, ısı çiftlerinin bezelyenin merkezi dışında farklı noktalara yerleştirilmesi durumunda elde edilecek olası sıcaklık değişimlerini göstermektedir. Doğal konveksiyondan dolayı bezelyenin üst kısmındaki bir noktadaki sıcaklık alt kısmındaki göre daha yüksek olmaktadır. Merkezdeki noktanın sağ veya solunda bulunan simetrik noktadaki değişimler yaklaşık olarak aynı olmakta ancak her durumda merkez sıcaklığından daha yüksek olmaktadır. Şekilden de görüldüğü üzere sıcaklık ölçümlerinin istenildiği gibi tam merkezden alınması durumunda en düşük sıcaklık değişimi elde edilmektedir. İki boyutlu bu model ile hesaplanacak olan ısı işlem parametrelerinin bezelye içerisindeki en düşük sıcaklık değişimi olan noktada yapılacak olmasından dolayı gıda güvenliği açısından bir sorun oluşturmayacağı görülmektedir.



Şekil 4.28 (a)



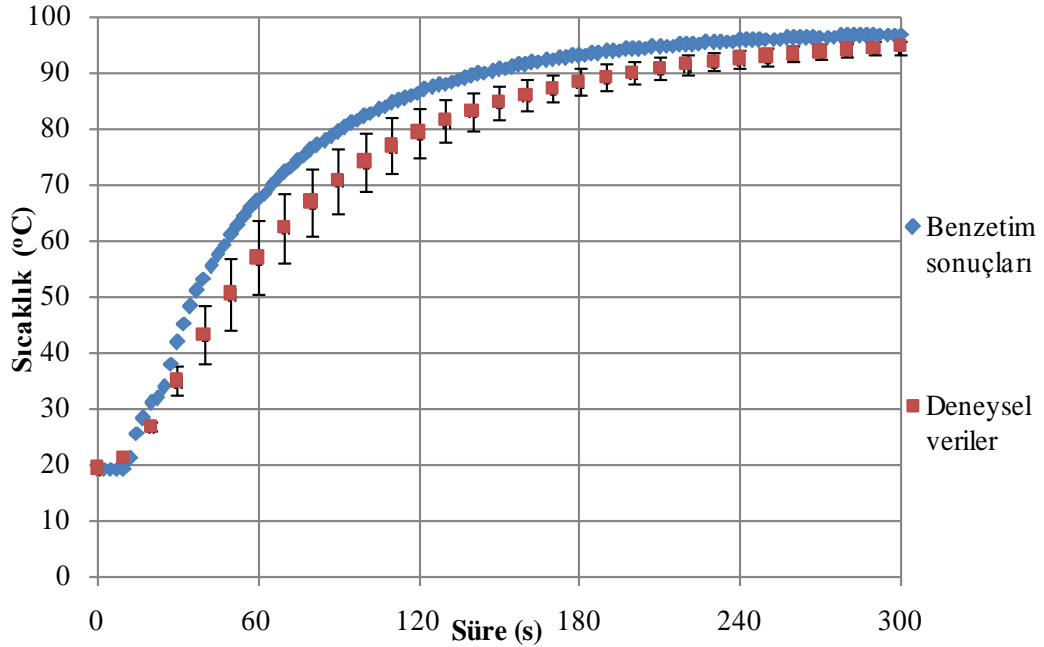
Şekil 4.28 (b)

Şekil 4.28. (a) 3.825 mm yarıçapa sahip bezelyelerden oluşan sistemde merkezdeki bezelye içerisinde farklı noktalarındaki sıcaklık değişimlerinin gösterilmesi; (b) Sıcaklık verilerinin alındığı noktalar N1 (0,0); N2 (3,0); N3(-3,0); N4 (0,3); N5 (0,-3); N6 (1.92,0); N7 (-1.92,0); N8 (0,1.92); N9 (0,-1.92).

Bezelye-su konserve benzetim sonuçlarında merkezde bulunan bezelyenin sıcaklık değişimleri incelendiğinde gıda güvenliğinin sağlandığı 50 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda yüzeyde yoğunlaştırılmış sayısal ağ kullanılan modelin deney ile en

uyumlu sonuçları verdiği görülmüştür (Şekil 4.24). Sistem iki ayrı fazdan (katı-sıvı) oluştuğu için bezelye dışında su sıcaklık değişimlerinin de benzetimler için karşılaştırılması gerekmektedir. Merkez çizgisi üzerinde dolgu sıvısında sıcaklık ölçümleri yapıldığından, benzetimlerde merkezde bulunan bezelye geometrisi çıkarılmış böylelikle bezelyenin yerini o noktada dolgu sıvısı almıştır. Ancak daha önce belirtilen 33 ± 2 'lik eş gözeneklilik değerini elde etmek için geometri içerisine dağılmış bezelyelerin yarıçap değerleri 3,825'den 3,8567 mm' ye çıkarılmıştır. Bu durumda elde edilen benzetim sonuçlarında merkez noktasının sıcaklık değişimi ile deneylerle belirlenen dolgu sıvısı sıcaklık değişimleri karşılaştırılmıştır (Şekil 4.29). Şekil 4.19'da da görüldüğü üzere ısınmanın başlangıç kısımlarında deneysel veriler ile uyumluluk gösteren benzetim sonuçları ilerleyen sürelerde deneysel sonuçlardan sapmaktadır. Sıcaklık değişimi prosesin ilerleyen sürelerinde benzetimler için daha yüksek olmaktadır. Bezelye içi sıcaklık değişimleri dolgu sıvısı sıcaklık değişimlerinden gıda güvenliği açısından daha önemli olsa da, benzetim sonuçlarının deney sonuçları ile her iki faz için de uyumluluk göstermesi gerekmektedir. Bu durumda bezelyelerin gerçekte, üzerlerine etki eden hidrodinamik kuvvetlerin etkisiyle, hareketli olabilmeleri, konserve içerisindeki dağılımlarının düzenli olmaması, büyüklüklerinin eş olmaması sebepleri ile iki boyutlu modellemenin bu durumda uygun olmadığı görülmektedir. Sıcaklık ölçümlerinde yatay yönde belirgin bir farklılığın olmaması (Şekil 4.22 ve Şekil 4.23) bu yönde ısı transferinin etkin olmadığını gösterirken; katı sıvı konservelerin iki boyutlu benzetimlerinde konserve içerisinde düzenli dağılım gösteren bezelyelerin eş gözeneklilik yaklaşımının bu durum için kullanılması da doğru gözükmemektedir. Modelde sabit duran bezelye parçacıklarının viskozitesi düşük olan ve hızlı bir şekilde ısınarak doğal konveksiyon akış profillerinin oluşumunu kısıtlaması, tepe boşluğunda bulunan ancak benzetimlerde hesaba katılmayan havanın suyu daha hızlı bir şekilde ısıtması, v.b. nedenler bu gibi sonuçların elde edilememesine neden olabilmektedir. Hareketli sayısal ağ düzenekleri ve olası farklı deneysel teknikleriyle benzetim sonuçları ile deneysel sonuçlar uyumluluğu artırılabilir. Ancak daha önce de belirtildiği üzere katı-sıvı karışımlar için yapılacak benzetimler farklı iki fazı içerdiğinden oldukça karmaşıktır. Deneysel kısımda ise bezelyenin merkez sıcaklığı ölçümünde ısıl işlem

süresince merkez sıcaklığının ölçüldüğünden emin olunamaması gibi iki fazın getirdiği zorluklar ortaya çıkmaktadır.



Şekil 4.29. Bezelye-su karışımından oluşan iki boyutlu modelde merkezde deneysel dolgu sıvısı sıcaklık değişimlerinin, benzetim sonuçları ile karşılaştırılması (KOH=9.46).

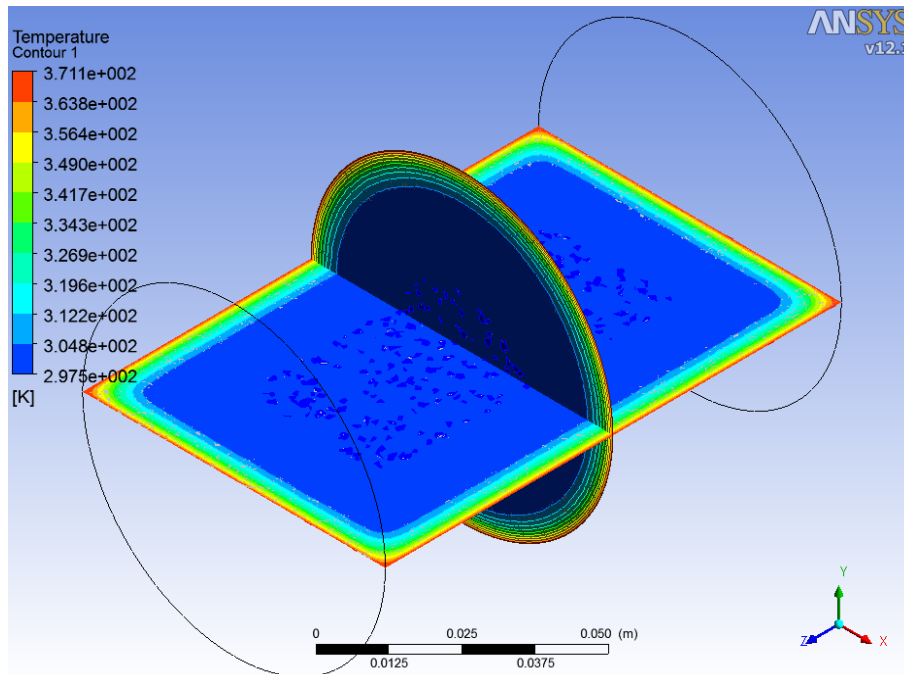
4.2. CMC İLE YAPILAN BENZETİMLER

Gıda ürünleri genellikle Newtonumsu olmayan özellik göstermektedirler ve özelliklerinin sıcaklıkla değişimi matematiksel modellemelerinde büyük önem taşımaktadır [Kumar ve Bhattacharya, n1990] Sıvı ürünlerin ısıtılmasında meydana gelen doğal konveksiyonda viskozite değişimleri hız ve sıcaklık profillerini etkilemekte, yüksek hız profilleri, su gibi düşük viskoziteye sahip sıvılarda diğer sıvı maddelere nazaran daha çok gözlenmektedir. [Moraga vd. 2010, ve Augusto ve Cristianini, 2010] ise sterilizasyon için gerekli sürenin ürünün akış özelliğine bağlılığına işaret etmektedirler. [Tutar ve Erdoğan, 2011] dönen sıvı konserve için, ürünlerde viskozitenin sıcaklık ve hız oluşumlarındaki etkisine dikkat çekmektedirler. Bu çalışmada da viskozitenin etkisini belirlemek için, gıda maddesini temsil eden bir sıvının (sodyum karboksi metil selüloz) verilen termal ve

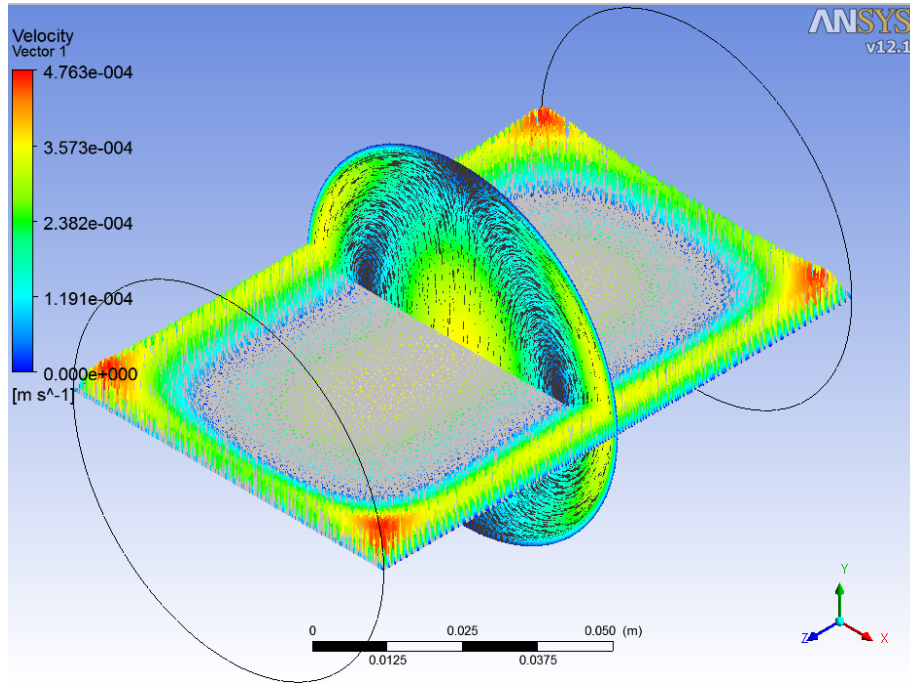
fiziksel özellikleri (Çizelge 3.3) kullanılarak iki ve üç boyutlu model ile benzetimler yapılmıştır.

4.2.1. 3 Boyutlu Benzetimler

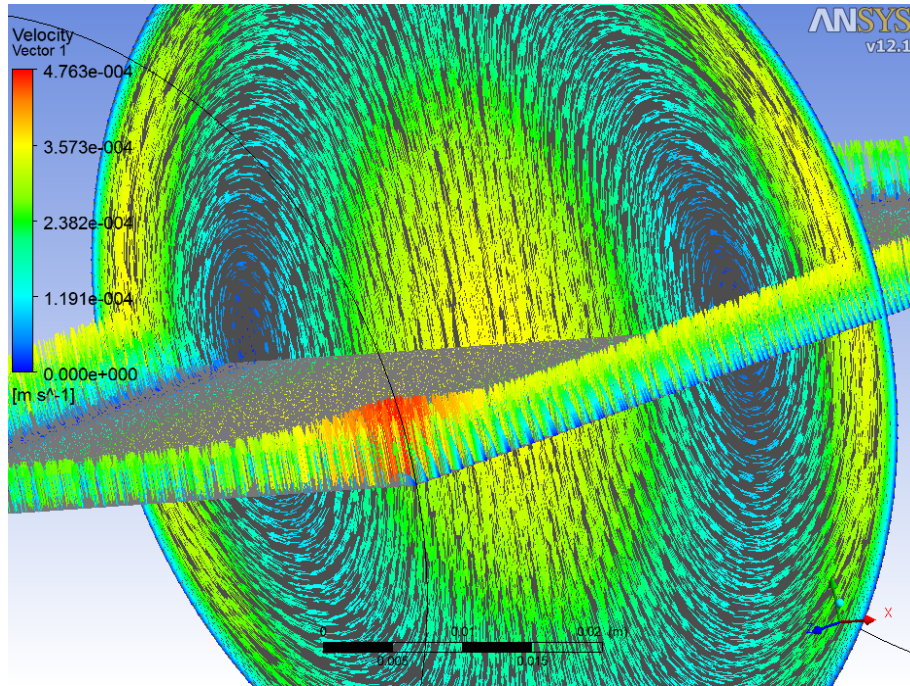
3 boyutlu yaklaşımlarda CMC modelinin benzetimlerden elde edilen sıcaklık ve hız sonuçları Şekil 4.30 ve 4.31'de verilmiştir. yatay ve radyal düzlemlerde elde edilen sıcaklık değişimleri yatay yönde belirgin bir ısı transferinin olmadığını göstermektedir. Hız dağılımlarında da görüldüğü üzere hız vektörleri yalnızca radyal yönde belirgin olarak oluşmaktadır. Çizelge 4.4 CMC ile yapılan üç boyutlu modelde prosesin farklı sürelerindeki x,y ve z yönlerindeki hız bileşenlerinin ortalama değerlerini göstermektedir. Çizelgeden de görüldüğü üzere y yönündeki hız bileşeni olan v değeri tüm sürelerde diğerlerinden yaklaşık 500 kat daha fazladır. Bu da yatay yöndeki sıvı hızının dolayısıyla ısı transferinin etkisinin etkisinin az olduğunu göstermektedir. Bu durum vizkoz gıda içeren yatay konservelerde yatay yöndeki ısı transferinin ihmal edilebileceğini böylelikle iki boyutlu yaklaşımların kullanılabileceğinin göstergesidir.



Şekil 4.30. 3-Boyutlu CMC ile yapılan benzetimlerde ,elde edilen sıcaklık profilleri (30 s).



Şekil 4.31 (a)



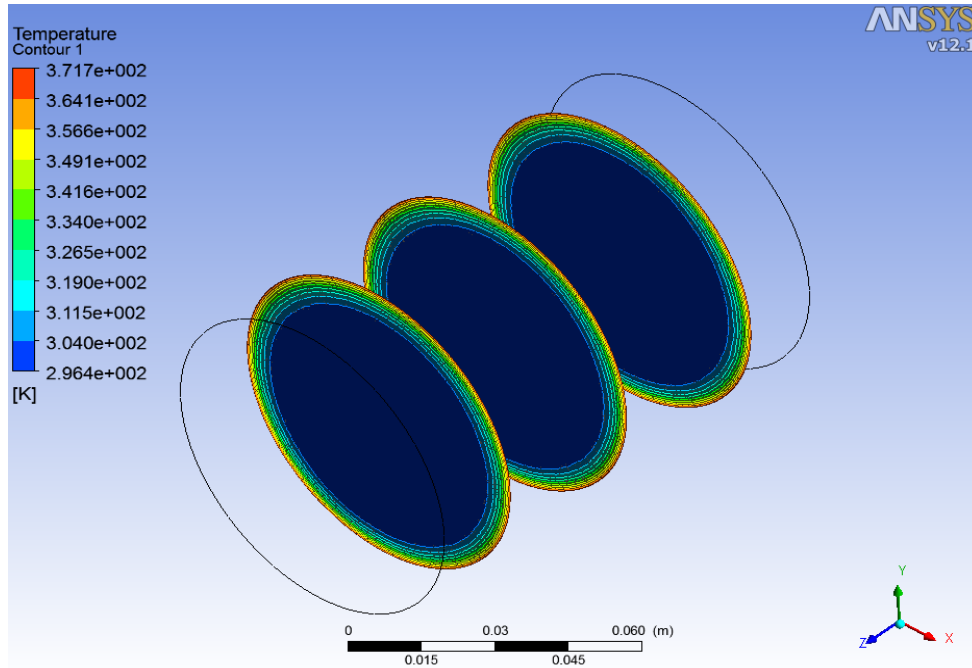
Şekil 4.31 (b)

Şekil 4.31. 3-Boyutlu CMC ile yapılan benzetimlerde prosesin 30. saniyesinde elde edilen hız profilleri; (a) Genel görünüm, (b) Yakınlaştırılmış görünüm.

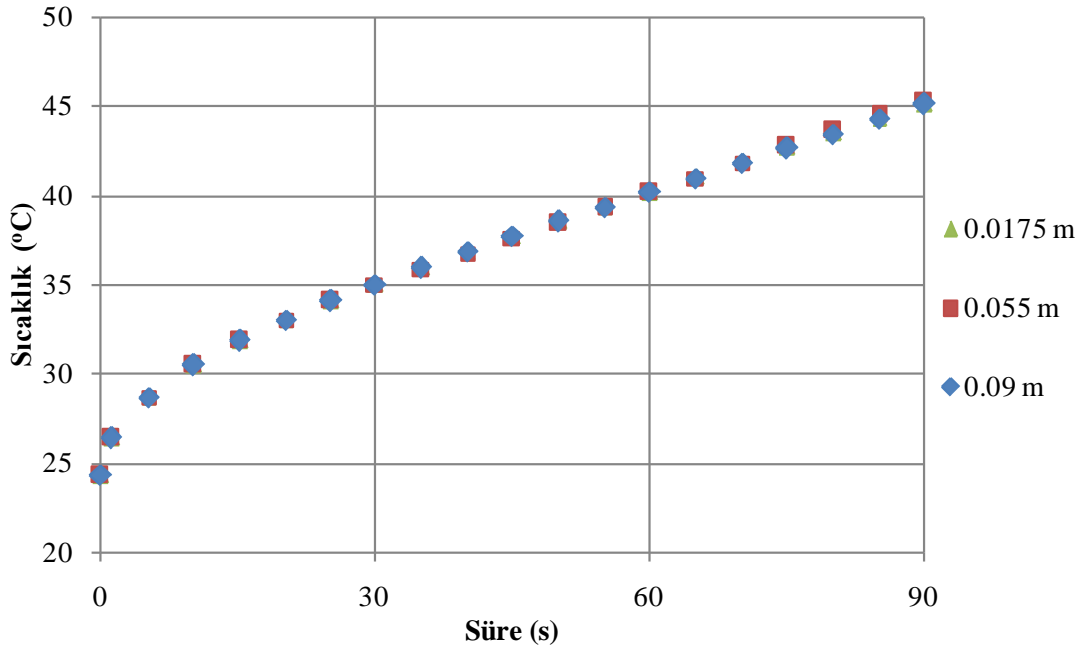
Çizelge 4.4. CMC modeli ile yapılan 3-boyutlu benzetimlerde x,y,z yönündeki hız bileşenlerinin tüm geometri için farklı proses sürelerindeki ortalama değerleri (mm/s).

t (s)	u ($\times 10^5$)	v ($\times 10^5$)	w ($\times 10^5$)
30	-3.64	1136.9	-5.57
60	5.31	1336.7	-9.28
75	-5.23	1314.2	-9,69

Şekil 4.32 yatay konservenin üç boyutlu modellenmesinde prosesin 30. saniyede farklı ara düzlemlerden elde edilen sıcaklık profillerini göstermektedir. Düzlem ortalama sıcaklıkları da verilen şekildeki sonuçlar incelendiğinde her üç düzlemin de ortalama sıcaklık değişimleri arasında farklılık görülmemektedir. Şekil 4.33 ise, Şekil 4.32’de sıcaklık dağılımları gösterilen düzlemlerin ortalama düzlem sıcaklıklarının karşılaştırılmasını göstermektedir. Konserve eksen yönünde seçilen bu üç düzlemin ortalama alan sıcaklıklarında da belirgin bir farklılığın gözlenmemesi iki boyutlu yaklaşımların viskoz gıdalar için de yatay yönde olan ısı transferinin ihmal edilebileceğini ve iki boyutlu yaklaşımların uygulanabileceğini bir kez daha göstermektedir.



Şekil 4.32. CMC modeli için 3-boyutlu konserve geometrisinde, prosesin 30. saniyesinde, radyal yöndeki farklı düzlemlerde sıcaklık dağılımlarının görünümü.



Şekil 4.33.CMC modeli ile yürütülen 3 boyutlu benzetimlerde radyal yönde kapak yönünden farklı uzaklıklarda elde edilen alan ortalama sıcaklık değişimleri.

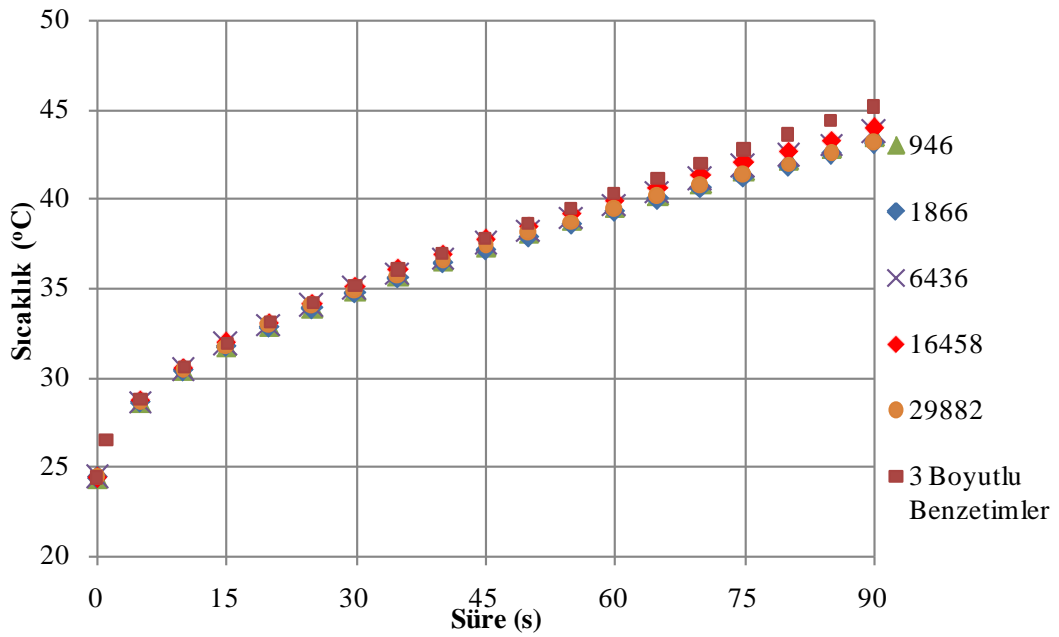
4.2.2. İki Boyutlu Benzetimler

Üç boyutlu model ile yapılan benzetimlerde iki boyutlu yaklaşımların viskoz gıdalar için de kullanılabileceğinin belirlenmesinin ardından iki boyutlu benzetimler yürütülmüştür. Ancak en uygun modelin belirlenmesi için su modelinde olduğu gibi ağ bağımsızlık çalışmaları yürütülmüştür. Bunun için iki boyutlu yaklaşım sonuçları üç boyutlu sonuçlarla karşılaştırılarak KOH değerleri belirlenmiştir. Çözüm yöntemi, ağ sayısı ve zaman aralığı değerleri belirlendikten sonra sıcaklığa bağlı viskozite değeri kullanmanın önemi tartışılmıştır.

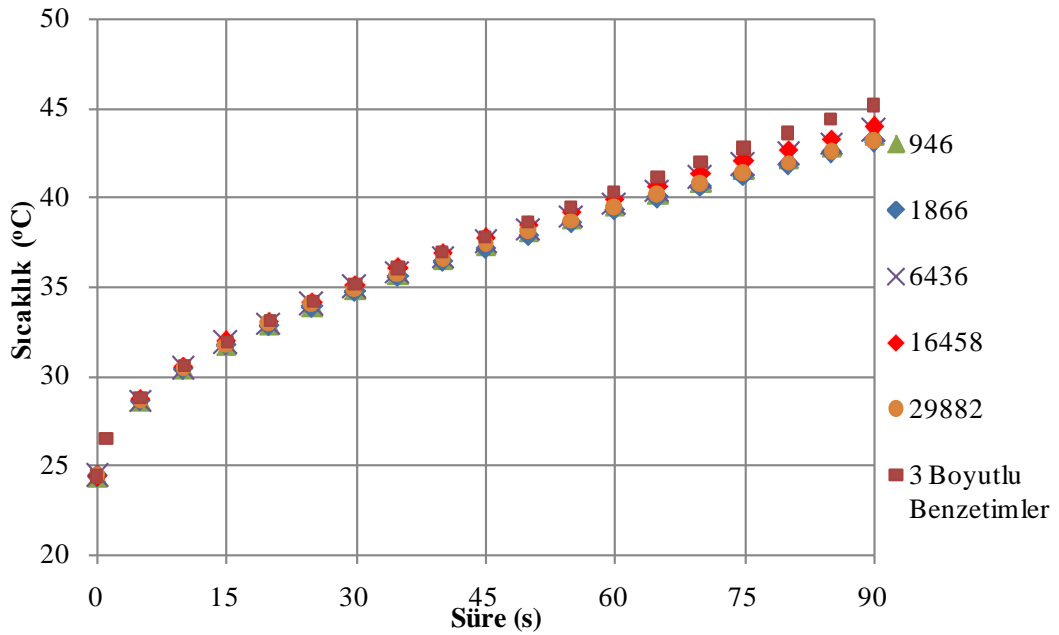
4.2.2.1.Düğüm noktası sayısı ve dağılımı

CMC modeli ile yürütülen benzetimlerde element bağımsızlık çalışmalarının tamamlanması için; seçilen sayısal ağlarda farklı zaman aralığı değerleri ile elde edilen sıcaklık değişimlerinin karşılaştırılması gerekmektedir. Zaman aralığı değerinin etkisinin gözlenmediği element yapısı zamandan bağımsız olarak

tanımlanmaktadır. Şekil 4.34 farklı element yoğunluklarında farklı sayısal ağ değerleri ile elde edilen sıcaklık değişimlerini göstermektedir. Sayısal ağ ne kadar yoğun olursa olsun, zaman aralığı değerleri değiştikçe belirgin bir değişiklik olmamaktadır. Viskoz ürünlerde doğal konveksiyon hız bileşenleri düşük olmakta bu nedenle konserve içi hareket yavaşlamaktadır. Bu nedenle en düşük zaman aralığı değerinde bile (0.0001) çözüm sonuçları yeterli kesinlikte olmaktadır.

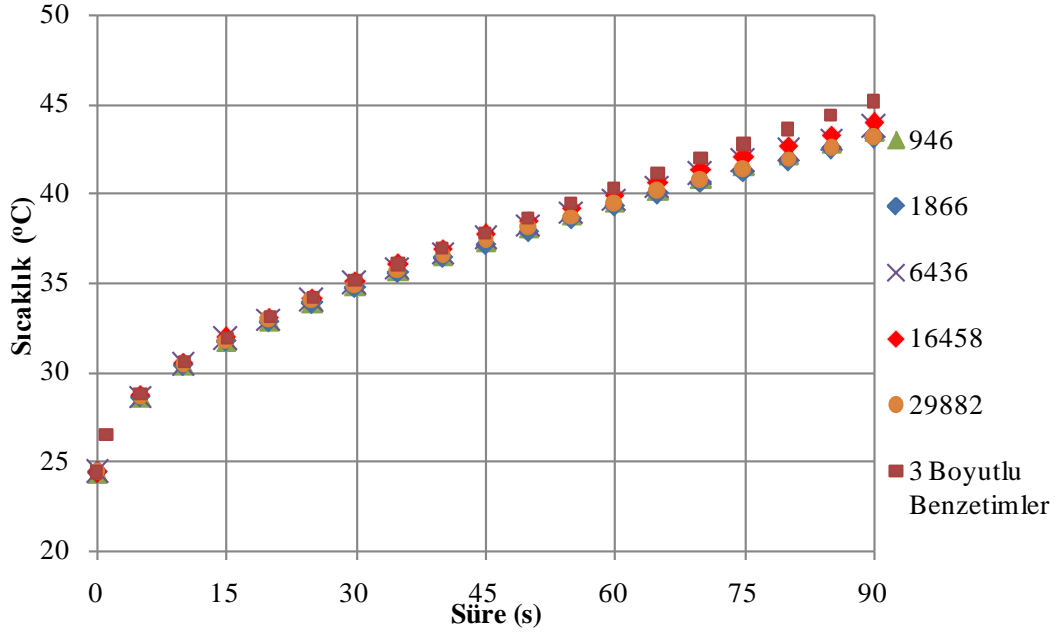


Şekil 4.34 (a)



Şekil 4.34 (b)

Şekil 4.34 devamı...



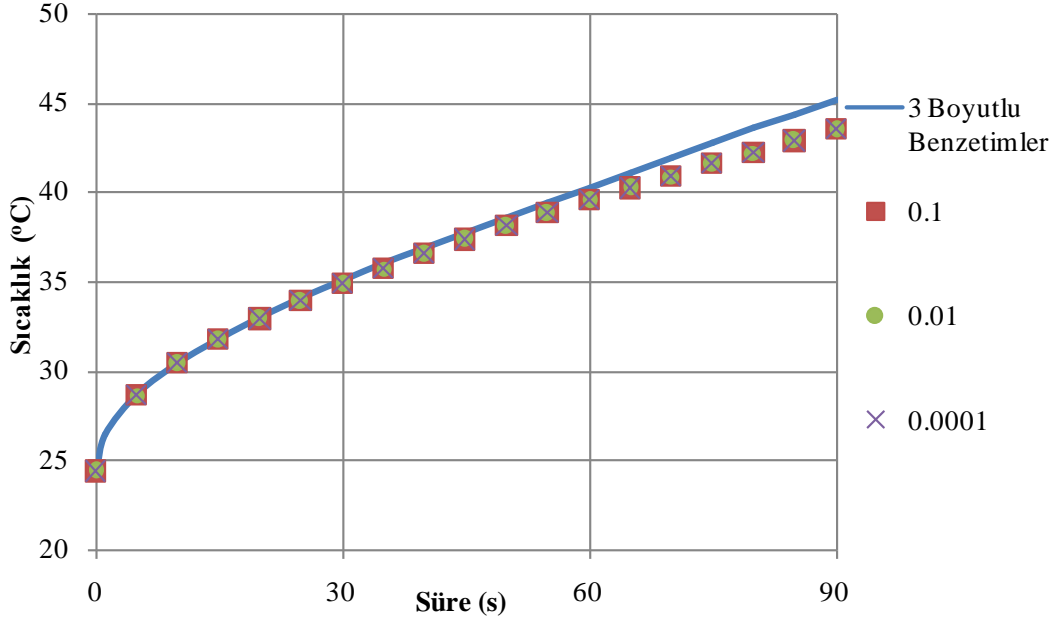
Şekil 4.34 (c)

Şekil 4.34. CMC ile yapılan iki boyutlu benzetimlerde farklı düğüm noktası ve farklı zaman aralığı değerlerinde elde edilen alan ortalama sıcaklıklarının üç boyutlu modelde elde edilen alan ortalama sıcaklık sonuçları ile karşılaştırılması; (a) 0.1, (b) 0.01, (c)0.0001 saniye.

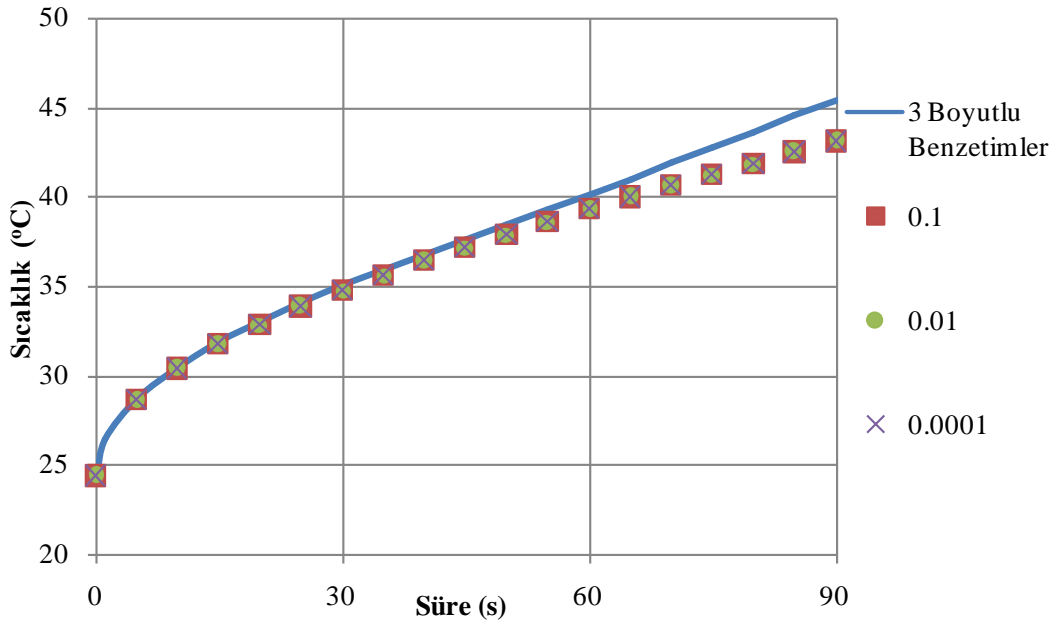
4.2.2.2.Zaman Aralığı

CMC modeli ile yürütülen benzetimlerde iki boyutlu yaklaşımla elde edilen sıcaklık değişimlerinin üç boyutlu model ile elde edilen sıcaklık değişimleri ile karşılaştırılması Şekil 4.35'da görülmektedir. Burada aynı düğüm noktası değerine sahip modelde, her bir saniyeyi çözmek için kullanılan zaman aralığı değerleri değiştikçe sonuçların değişmediği gözlenmektedir. Bu yaklaşım HAD çözümlerinde, hazırlanan sayısal ağ yapısının zamandan bağımsız (element bağımsızlığı) olduğunun gösterimi için kullanılan kriterlerden biridir. Tüm düğüm noktası değerlerinde (946, 1866, 6436, 16458, 29882) yürütülen benzetimlerde azalan ya da artan zaman aralığı değerlerinde sonuçların değişmediği görülmüştür. (Şekil 4.35.). Bu nedenle oluşturulan sayısal ağ yapısı tüm modeller için bağımsızdır denilebilmektedir. Ancak en uygun parametrelerin kullanımını açısından, üç boyutlu modelde elde edilen alan

ortalaması sıcaklık değerleri ile en uyumlu düğüm noktası değerinin 16458 ve 6436 olduğu görülmektedir. 16458 düğüm noktasına sahip modelde çözümün elde edilmiş süresi 6436'ya göre daha uzun olduğundan dolayı sonuçların elde edilmesi için 6436 düğüm noktasına sahip modelin kullanımı daha uygun olmaktadır.

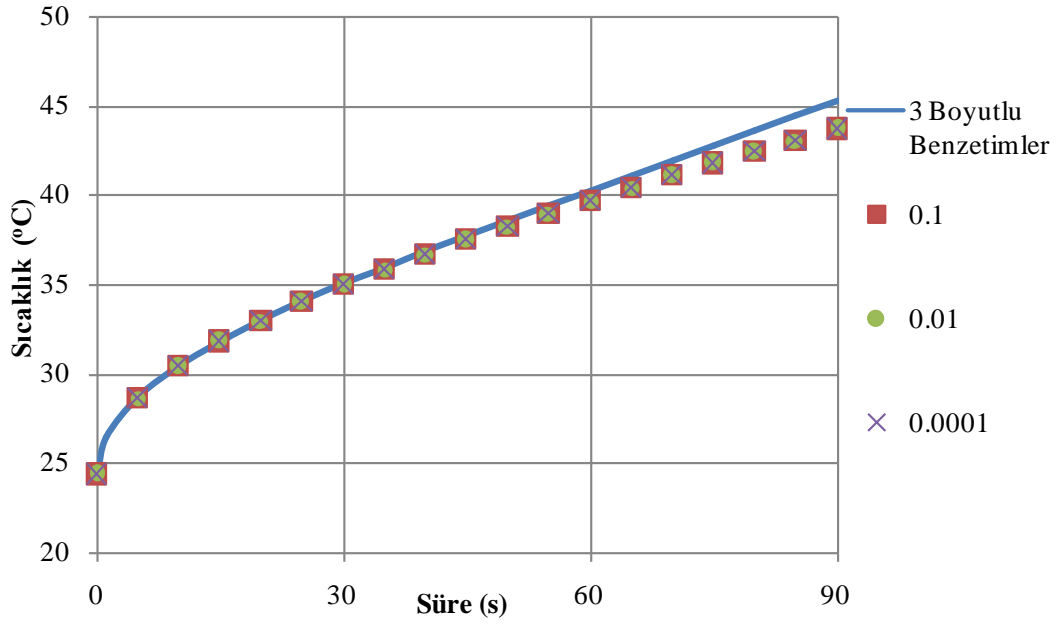


Şekil 4. 35 (a)

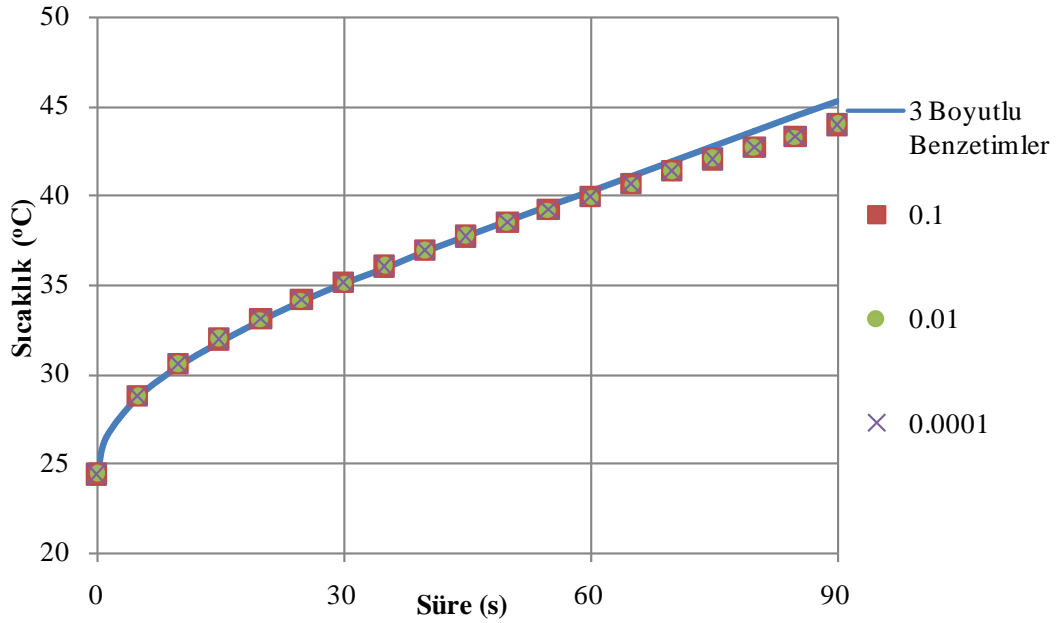


Şekil 4. 35 (b)

Şekil 4.35 devamı...

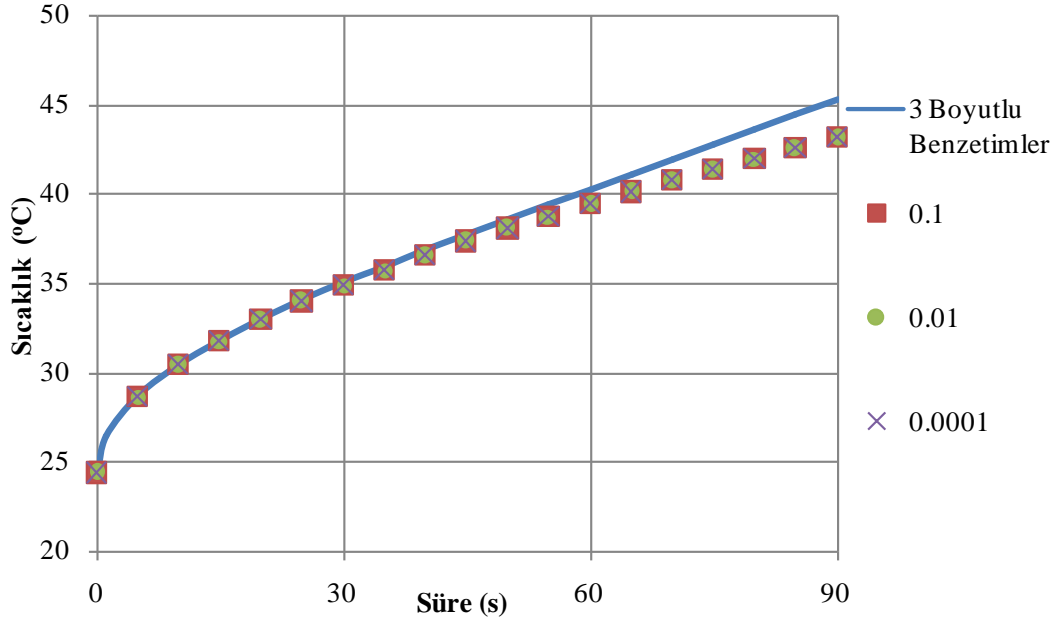


Şekil 4. 35 (c)



Şekil 4. 35 (d)

Şekil 4.35 devamı...



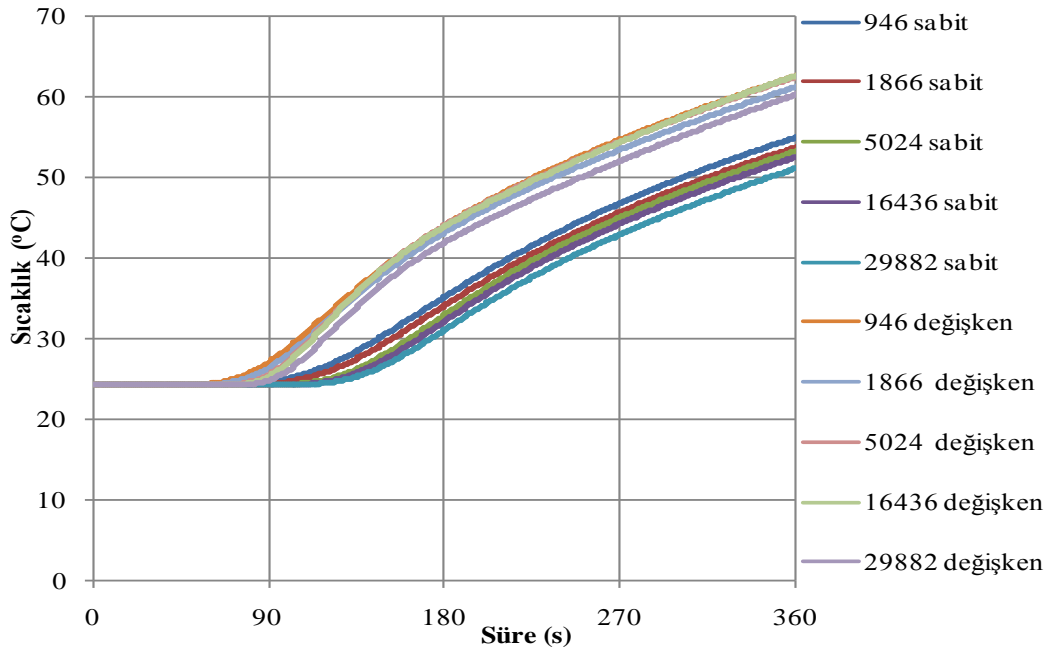
Şekil 4. 35 (e)

Şekil 4. 35. CMC modelinde yapılan iki boyutlu benzetimlerde 0.1, 0.01 ve 0.0001 saniye zaman aralığı değerinde farklı düğüm sayılarında elde edilen sıcaklık değişimleri; 946 (b) 1866 (c) 6436 (d) 16458 (e) 29882.

4.2.2.3.Sıcaklığa bağlı termal ve fiziksel özelliklerin kullanımı

Doğal konveksiyonla ısınmanın gerçekleştiği Newtonumsu sıvıların modellenmesinde fiziksel ve termal özelliklerin sıcaklığa bağlı olarak kullanımının çözümün doğruluğuna etkisi Bölüm 4.2.1.4'te tartışılmıştır.

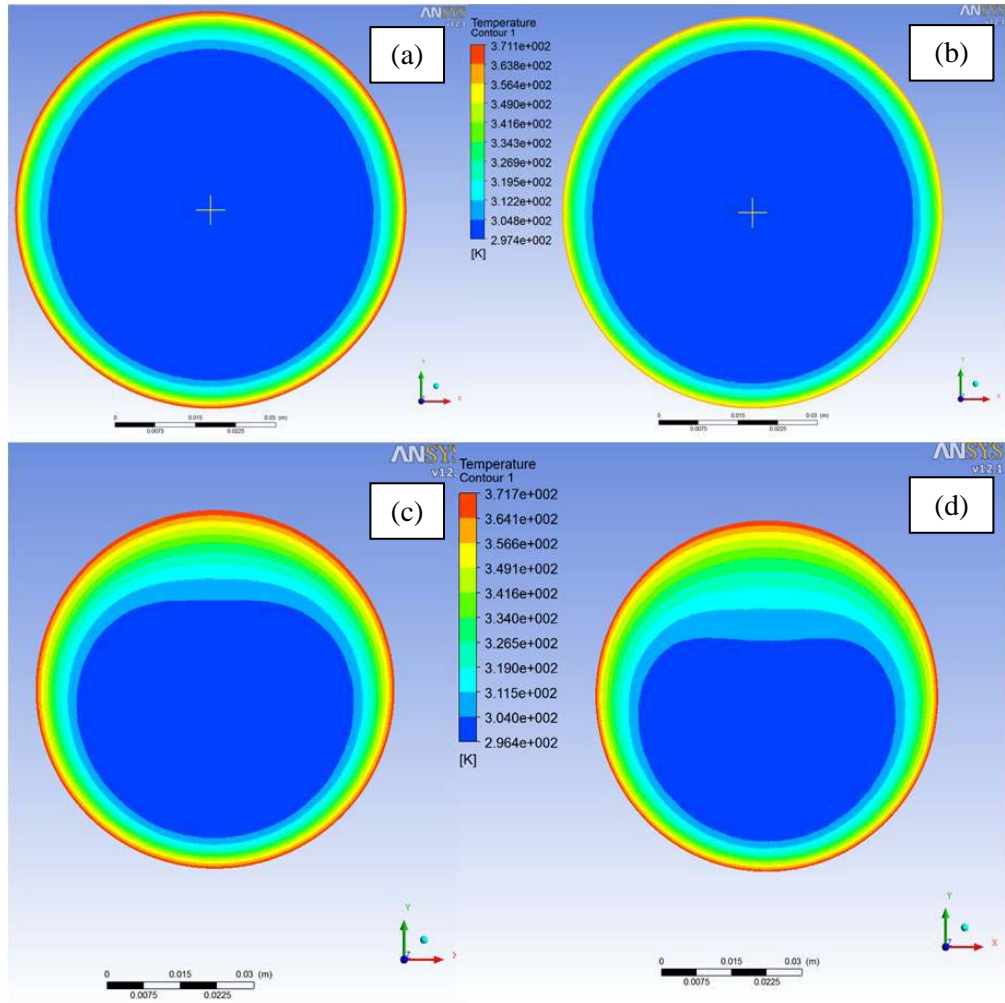
Şekil 4.36. 1866 düğüm sayısına sahip modelde tüm zaman aralığı değerlerinde elde edilen sıcaklık değişim sonuçlarının karşılaştırılmasını göstermektedir. Burada da viskozitenin sıcaklığın bir fonksiyonu olarak kullanıldığı durumda elde edilen sonuçların, sabit olduğu durumdan çok farklı olduğu görülmektedir. Bu da sıcaklığın ısı işlem süresi boyunca fiziksel özellikler üzerindeki etkisini göstermektedir.



Şekil 4.36. CMC ile yapılan 2-boyutlu benzetimlerde 0.01 saniye zaman aralığı değerinde farklı düğüm noktası değerlerinde viskozitenin sabit ya da sıcaklığa bağlı kullanılması durumunda benzetimlerden elde edilen merkez sıcaklık değişimlerinin gösterimi.

4.2.2.4. Çözümün elde edilmesi ve sonuçların değerlendirilmesi

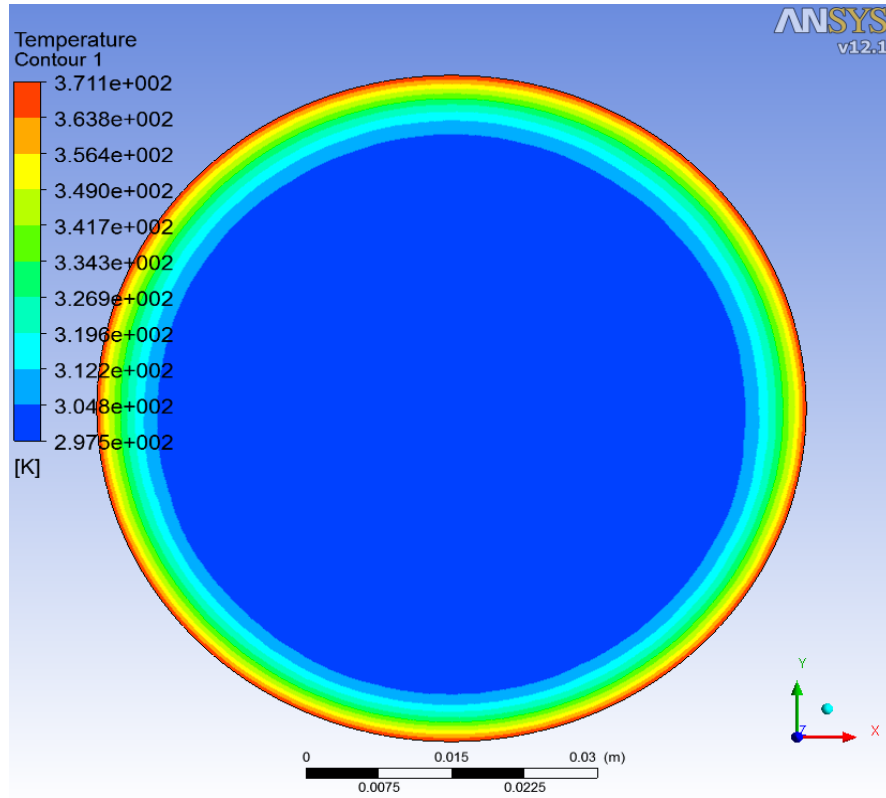
Şekil 4.37 üç ve iki boyutlu modelde ısıl işlemin 30. saniyesindeki sıcaklık dağılımını, Şekil 4.38 ise 2-Boyutlu CMC modeli ile yapılan benzetimlerde elde edilen yatışkın olmayan sıcaklık profillerini farklı ısıl işlem süreleri için göstermektedir. Yerçekimsel kaldırma kuvvetinin radyal yöndeki etkisi burada da açıkça görülmektedir. Sudaki duruma nazaran viskoz gıdada doğal konveksiyonun etkisi yüksek viskozitenin etkisiyle sınırlanmıştır. Başlangıç safhalarında sıcaklık izotermi neredeyse kondüksiyon durumundaki sonuçlar ile aynı olmakla birlikte doğal konveksiyonun etkisi zamanla gözlenmektedir. Ancak doğal konveksiyonun radyal yöndeki baskınlığı burada da gözlenmektedir. Şekil 4.39 ise iki boyutlu hazırlanan CMC modelinde elde edilen hız vektör dağılımlarını göstermektedir. Hız sonuçlarından da doğal konveksiyona özgü dögüsel hareket açık bir şekilde görülmektedir. Su modelinde elde edilen hız büyüklükleri ile karşılaştırıldığında oldukça düşüktür. Bu da viskozitenin konveksiyon mekanizması üzerine etkisini göstermektedir.



Şekil 4.37. İki ve üç boyutlu yürütülen CMC benzetimlerinde prosesin farklı sürelerdeki sıcaklık dağılımı a) 30. s 2-boyutlu, b) 30. s 3-boyutlu, c) 75. s. 2-boyutlu, d) 75. s 3-boyutlu model (2 boyutlu modelde sayısal ağ özellikleri;16436 düğüm sayısı 0.01 saniye zaman aralığı değeri kullanılmıştır).

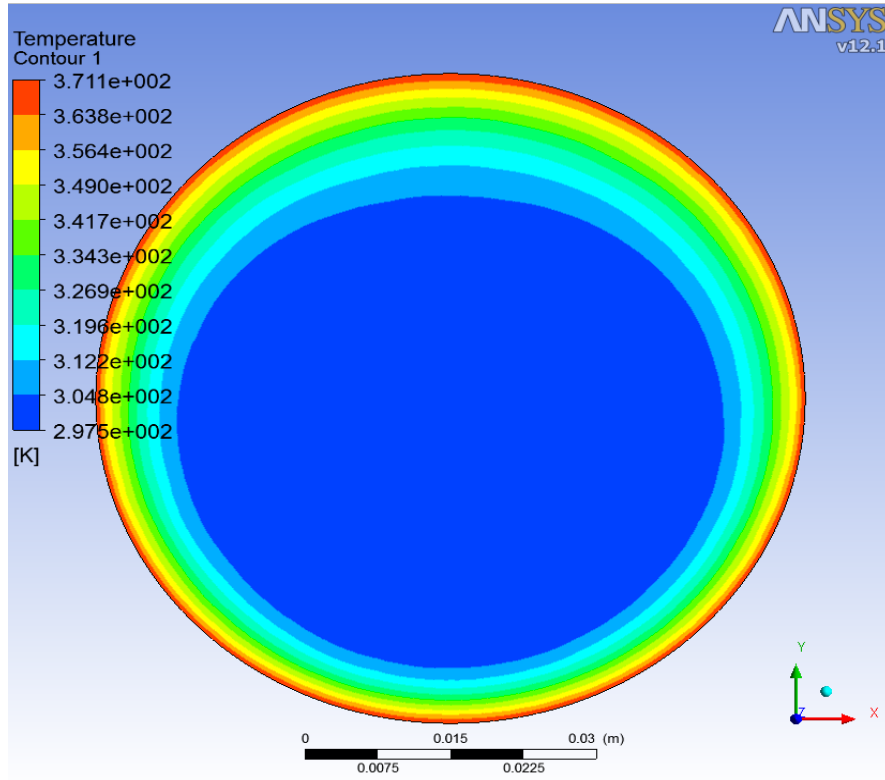
Su modelinde olduğu gibi akış rejimi ve ısı transferinin baskın mekanizması Gr ve Ra sayıları (Eşitlik 4.1. ve Eşitlik 4.2.) Çizelge 3.4 ve Çizelge 3.5'deki termofiziksel özellikler kullanılarak hesaplanmıştır. CMC için Gr sayısı 6.42 bulunmuştur. Kritik değer olan 10^9 'dan düşük olan bu değer akışın katmanlı akış olduğunu göstermektedir. CMC'nin viskozitesi sudan oldukça yüksek olduğu için, viskoz kuvvetler kaldırma kuvvetine göre oldukça yüksektir Su için karşılaştırılan değerlerde bile akışın katmanlı olduğu bir durumda CMC modelinin katmanlı akış çıkması beklenen bir durumdur. Kumar vd.,(1990) CMC modeli ile konservede

yaptıkları benzetimlerde Gr sayısı değerini 10^{-3} olarak hesaplamıştır. [Abdul Ghani vd., 1999b] ise CMC için Gr sayısının genellikle $10^{-2} - 10^{-1}$ düzeyinde olduğunu belirtmişlerdir. Isı transfer mekanizmasının konduksiyon veya konveksiyon olduğuyla ilgili bilgi veren Ra sayısı su modelinde olduğu gibi CMC modeli için de hesaplanmış ve 10^5 olarak belirlenmiştir. Bu değer ise kritik değer olan 10^4 'ten büyüktür ve ısı baskın olarak konveksiyonla transfer olmaktadır. Elde edilen sıcaklık grafiklerinde de merkezden yüzeye doğru artan sıcaklık dağılımlarında bu durum oldukça açık bir şekilde görülmektedir.

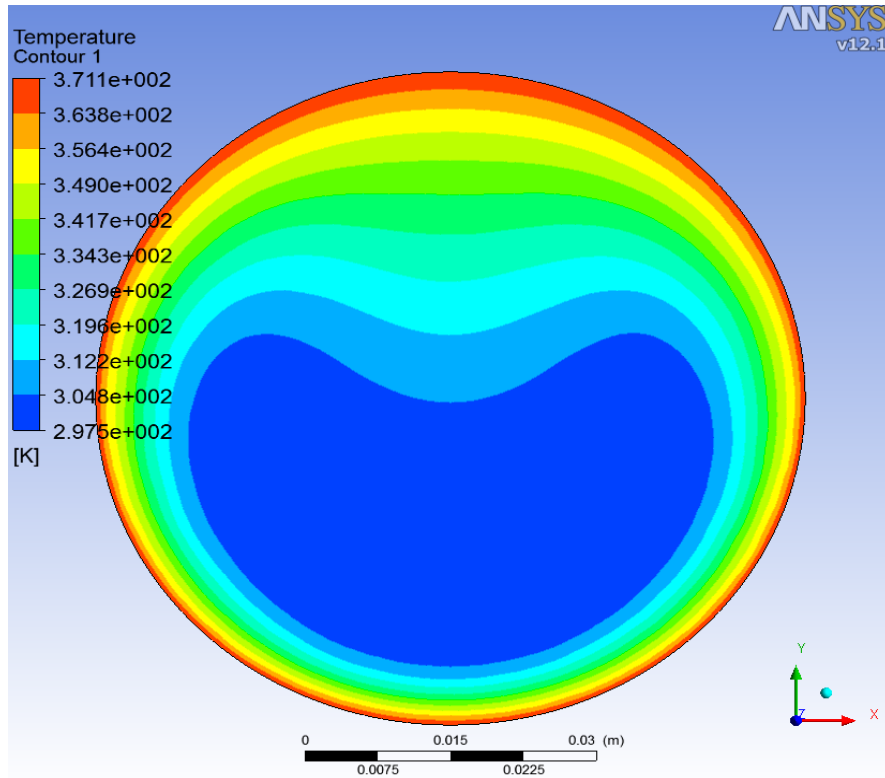


Şekil 4. 38 (a)

Şekil 4. 38 devamı...

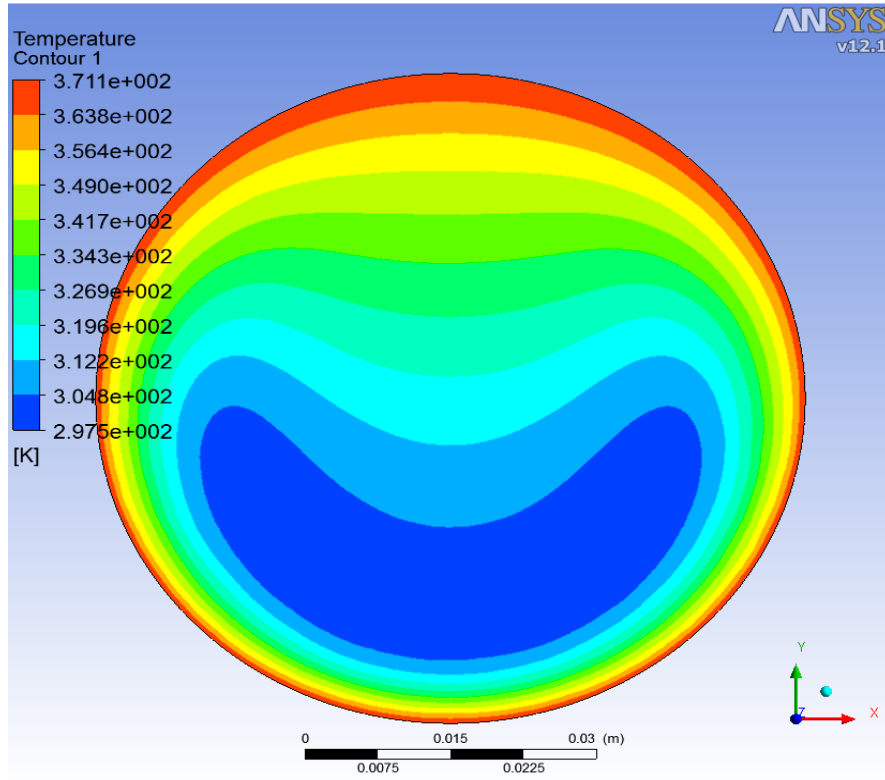


Şekil 4. 38 (b)

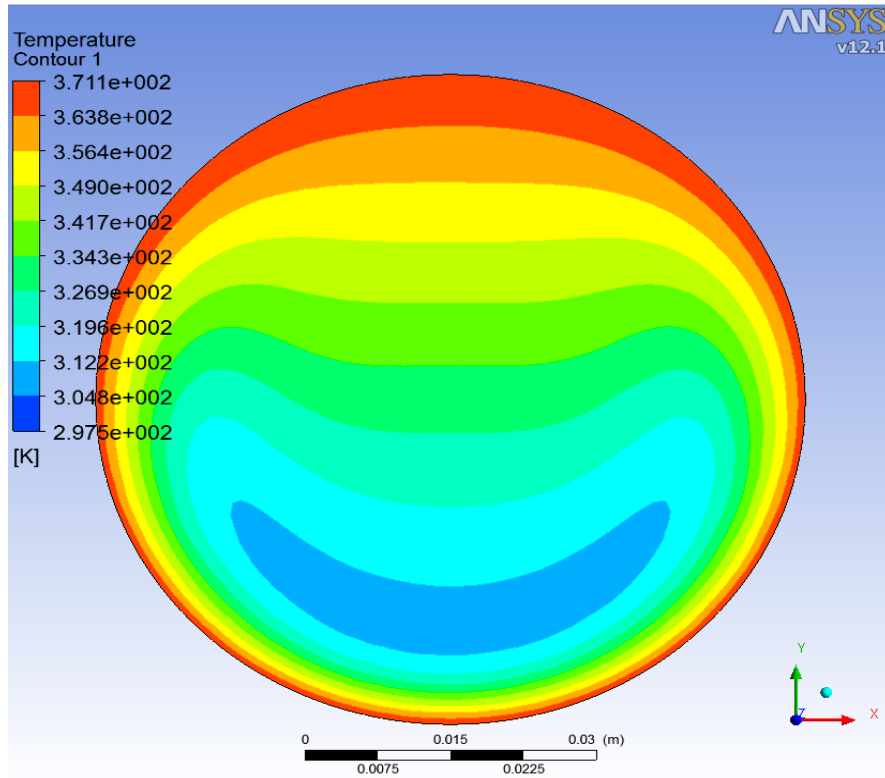


Şekil 4. 38 (c)

Şekil 4. 38 devamı...

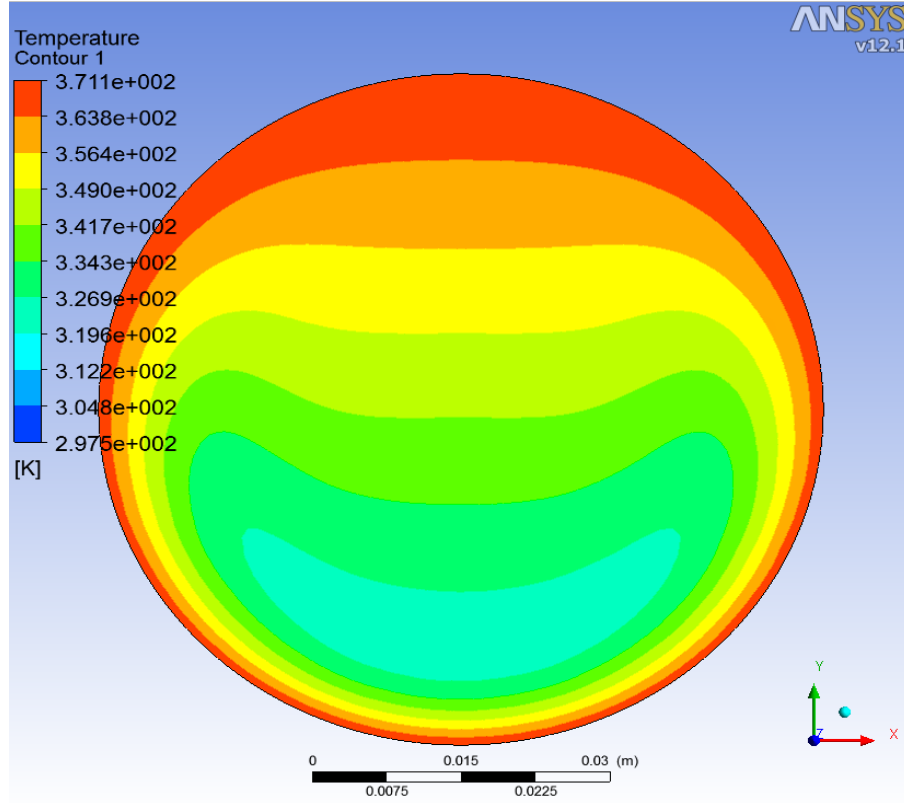


Şekil 4. 38 (d)



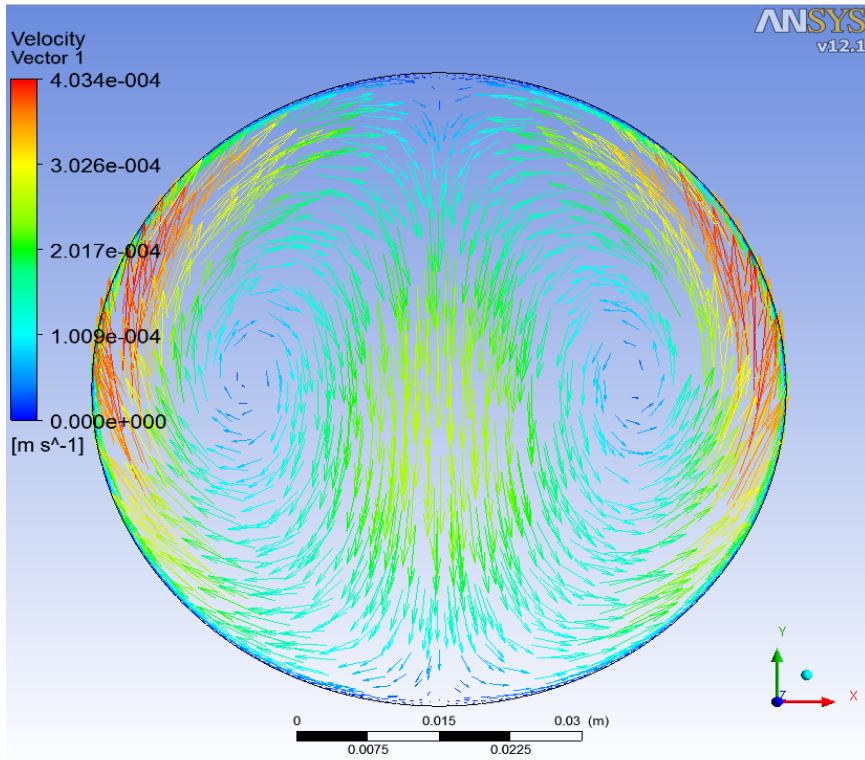
Şekil 4. 38 (e)

Şekil 4. 38 devamı...

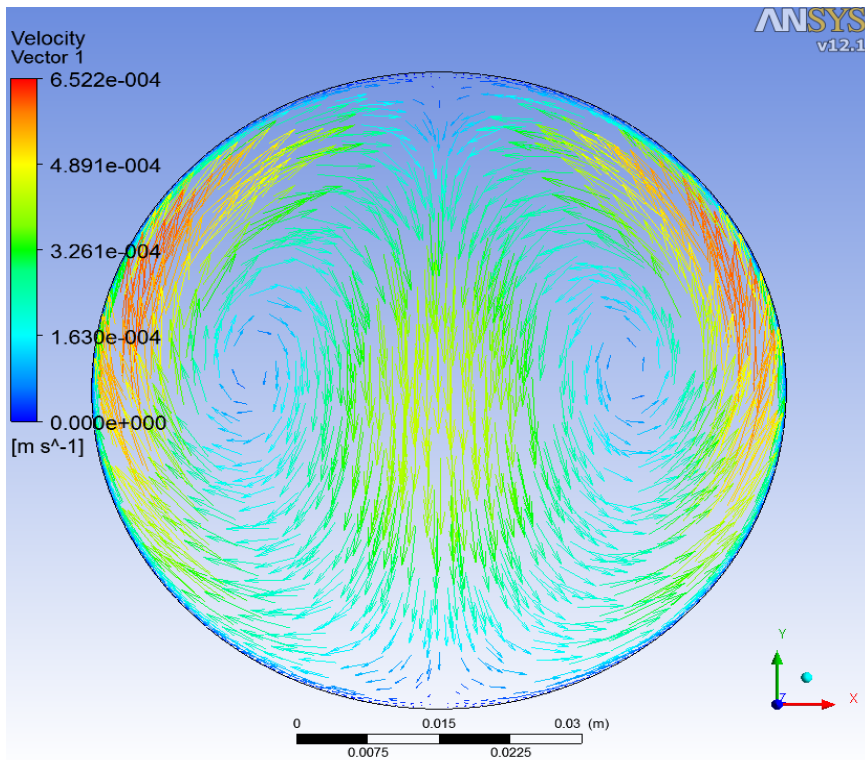


Şekil 4. 38 (f)

Şekil 4. 38. 2-Boyutlu CMC modeli ile yapılan benzetimlerde (1866, 0.01 s) elde edilen yatışkın olmayan sıcaklık profillerinin gösterimi; a)30 b)60 c)120 d)180 e)300 f)450. saniye.

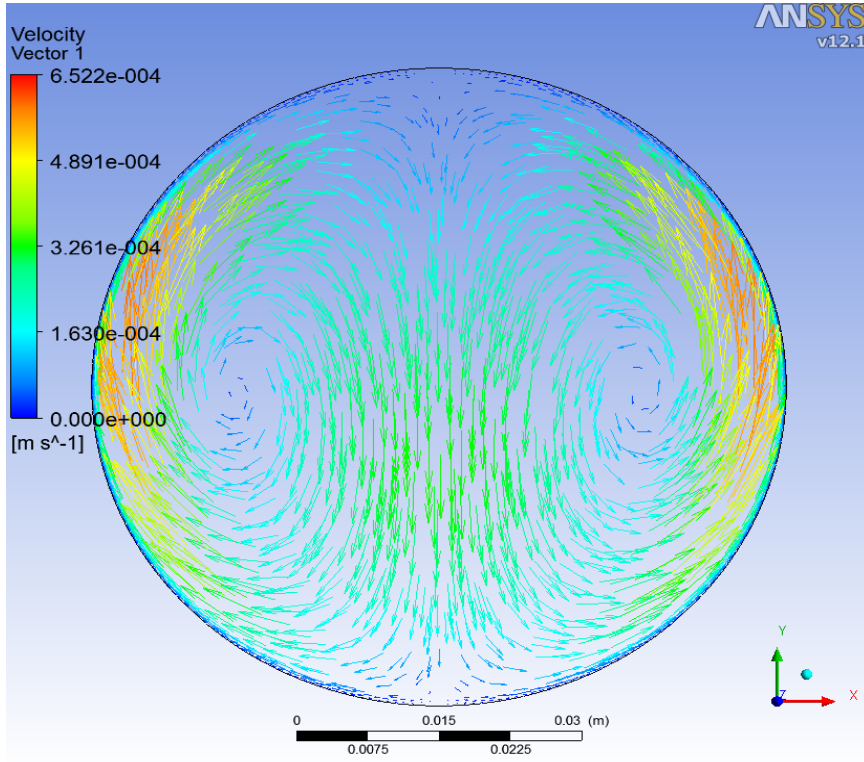


Şekil 4.39 (a)

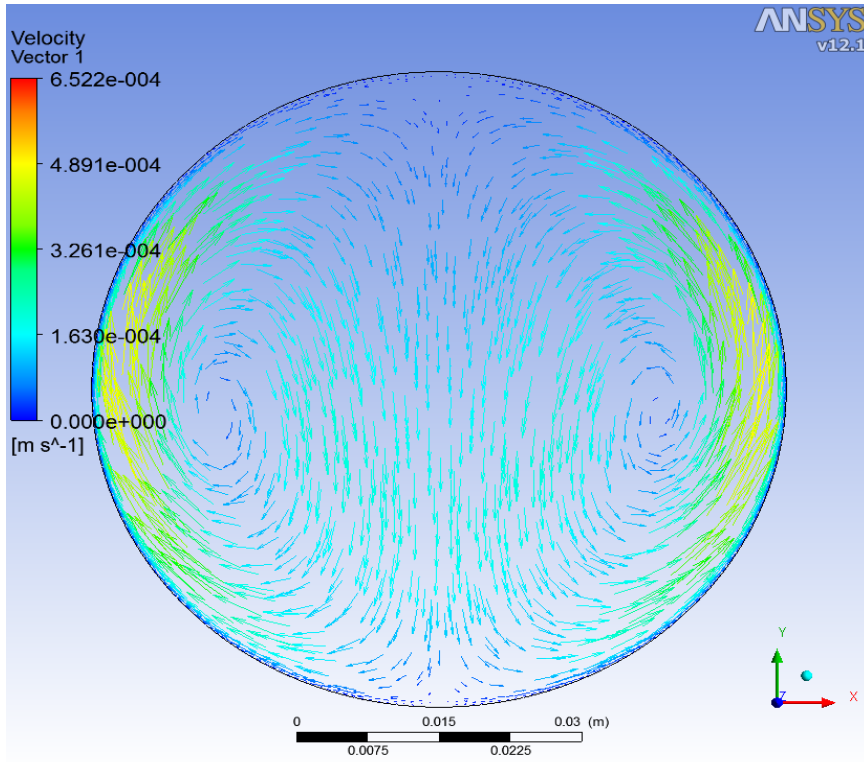


Şekil 4.39 (b)

Şekil 4.39 devamı

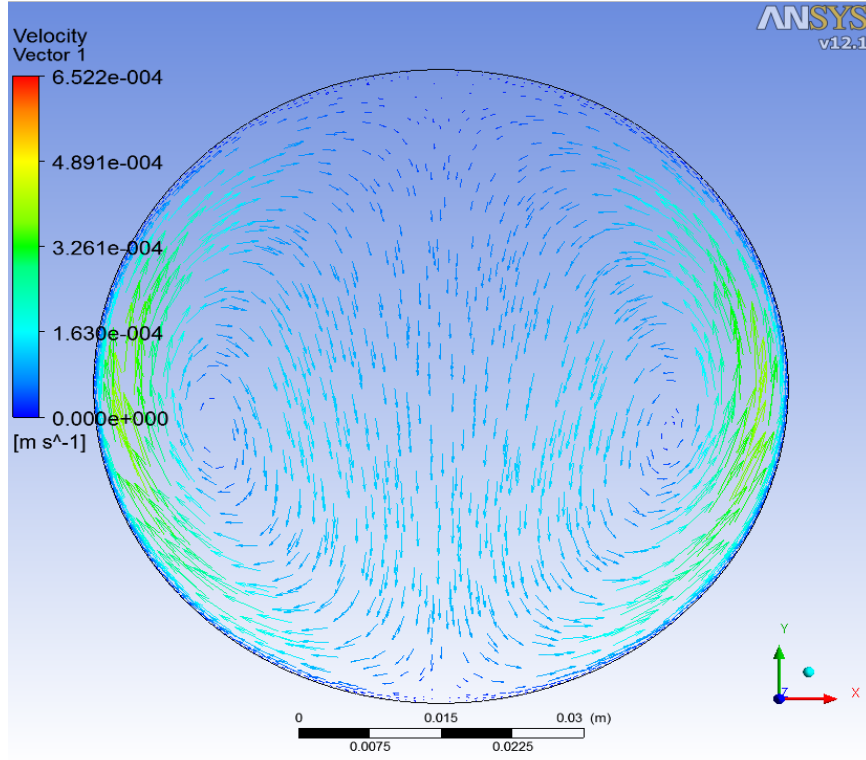


Şekil 4.39 (c)

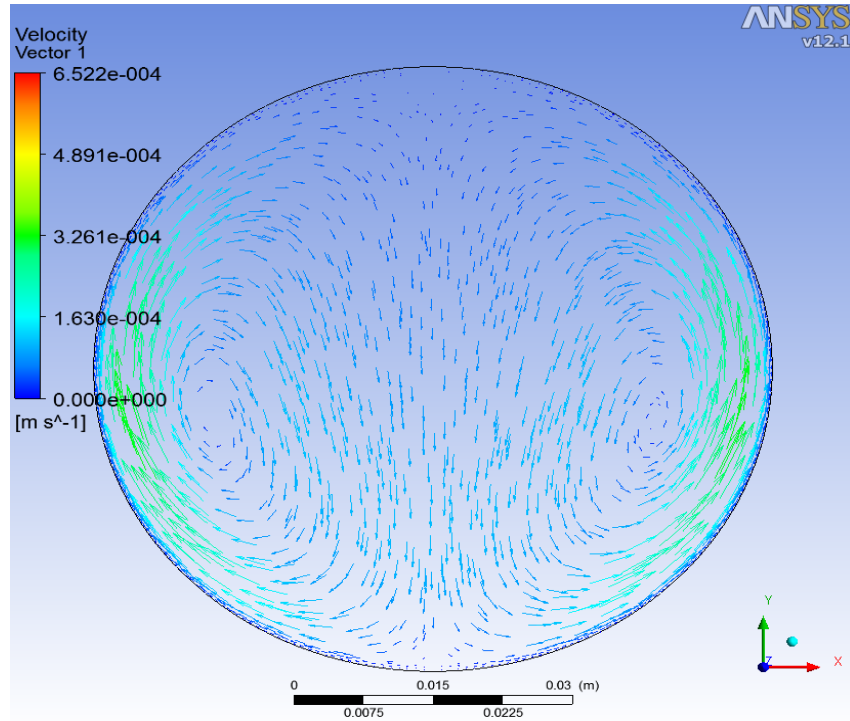


Şekil 4.39 (d)

Şekil 4.39 devamı



Şekil 4.39 (e)



Şekil 4.39 (f)

Şekil 4.39. 2-Boyutlu CMC modeli ile yapılan benzetimlerde elde edilen yatışkın olmayan hız profillerinin gösterimi; a)30 b)60 c)120 d)180 e)300 f)450. saniye.

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Konserve üretiminde proses parametrelerinin belirlenmesinde ya da kullanılan sistemlerin optimizasyonunda uygulanan matematiksel modellerin Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) ile çözülmesi 1980'lerden bu yana kullanılmaktadır. Dikey olarak ısı işlem gören konservelerde HAD modellerinin çözümü, geometriye uygulanan eksensel simetri yaklaşımının uygulanması ile çözüm için gerekli süre azaldığından hızlı olmaktadır. Ancak yatay konumlandırılmış konservelerde doğal konveksiyonun etkisi bu yaklaşımın uygulanamamasına neden olmaktadır. Sistem içerisinde yatay olarak konumlandırılan konservelerde, ısı ve momentum transferinin HAD ile çözümü için üç boyutlu modellerin kullanılması literatürde [Abdul Ghani v.d. 2002] önerilmiştir. Ancak, yatay yöndeki ısı transferi etkisinin radyal yönde doğal konveksiyon mekanizması sonucu oluşan ısı transferi etkisine göre ihmal edilmesi ile sistemin iki boyuta düşürülerek çözümün yapılabileceği fikri kapsamında bu tez çalışmasında yatay yöndeki ısı transferinin etkisi ihmal edilerek çözümler yapılmıştır.

Su ve viskoz gıda örneğini temsil eden CMC ile dolu konserva modeli için elde edilen iki boyutlu çözümler, yapılan üç boyutlu çözümlerle karşılaştırılmıştır. Su ve katı-sıvı konserva için bezelye-su örneği ile hazırlanmış konservelerde iki boyutlu modellemelerin yanı sıra deneysel sıcaklık ölçümleri ile de karşılaştırmalar yapılmıştır. Tek faza sahip su ve CMC örneği için elde edilen iki boyutlu benzetim sonuçları üç boyutlu çözümlen sonuçlarla ve benzetim sonuçlarıyla uyumlu olarak elde edilmiştir. Yapılan deneysel sıcaklık karşılaştırmaları ile de yatay yönde belirgin bir ısı transferinin olmadığı doğrulanmıştır. Bu kapsamda su ile yapılan benzetimlerde en uygun sayısal benzetim parametrelerin kullanıldığı modelde 30 saniyelik ısınmayı modellemek için çözümün elde edilmiş süresi üç boyutlu modelde 1968.17 gün, iki boyutlu modelde ise 23 saat sürmektedir. Yatay konservelerde ısınmanın modellenmesi için iki boyutlu benzetimlerin kullanılması ile çözüm süreleri görüldüğü gibi önemli ölçüde kısaltılmıştır.

Ancak bezelye-su karışımı için yapılan iki boyutlu benzetimlerin deneysel sonuçlar ile karşılaştırılmasında (özellikle merkezde dolgu sıvısı bulunduğu durumda) model ile deneylerin diğer modellerdeki kadar uyumlu olmadığı

görülmüştür. Bu uyuşmazlığın nedeni sadece sistemi üç boyuttan iki boyuta indirgemiş olmaktan değil aynı zamanda bezelyelerin gerçekte hidro-dinamik kuvvetlerin etkisi ile hareket halinde olmalarına karşın uygulanan iki boyutlu modelde sabit kabul edilmesi ile açıklanmıştır. Ayrıca, deneyler sırasında doğal konveksiyonun etkisiyle oluşan sıvı akımları ile hareket eden bezelyelerin deneysel sıcaklık ölçümlerini belirli bir oranda etkilemesiyle sıcaklık dağılımlarının beklenenden farklı elde edilmiş olması mümkündür.

Deneysel olarak, konserve içerisindeki farklı iki boyutlu düzlemlerin merkez noktalarında, elde edilen sıcaklık değişimlerinde bir farklılığın bulunmaması bu yönde baskın bir ısı transferinin bulunmadığına ve iki boyutlu yaklaşımların bu kapsamda kullanılabileceğine işaret etmektedir. Bunun için hazırlanan iki boyutlu modelin gerçekte hidrodinamik kuvvetlerin etkisi ile hareket halinde bulunabilecek olan bezelyelerin ileri matematiksel ve deneysel yöntemler kullanılarak hareket dinamiğinin belirlenmesi vb. ile sistemin gerçek fiziğini yansıtacak modeller oluşturulması deneysel doğrulama aşamasındaki olumsuzlukları ortadan kaldıracaktır. Bunun yanı sıra farklı benzetim programlarında farklı çözüm şemalarını kullanan ANSYS, Fluent, Cradle CFD v.b. gibi çözüm metodlarının kullanılması modelin başarısını etkileyebilecek faktörler arasında gösterilebilir. Ayrıca katı-sıvı parçacıklı gıdaların iki boyutlu benzetim sonuçlarında parçacıkların tüm kesit içerisinde homojen olarak dağılmasının modelin deneysel sonuçlardan uzaklaşmasına neden olabileceği göz önüne alındığında benzetimlerin geometri hazırlama kısmında katı bezelye parçacıklarının en uygun şekilde yerleştirilmesi için optimum bir dağılım algoritmasının belirlenmesi diğer bir yöntem olarak ortaya çıkmaktadır. Bu yaklaşım [Mueller, 2005] tarafından oluşturulmuş ve silindirik bir geometriye yerleştirilebilecek küre sayısı maksimize edilmiştir.

Bunun dışında tez çalışmasında su gibi viskozitesi düşük Newtonumsu ya da CMC gibi viskoz ve Newtonumsu olmayan ve tek fazda bulunan sistemler için kullanılan iki boyutlu yaklaşımın doğrulanması ile yatay konumlandırılmış konservelerin proses tasarım veya optimizasyonlarında bu sonuçlar kullanılabilecektir.

6. KAYNAKLAR

Abdul Ghani, A.G., Farid., M.M., Chen, X.D. and Richards, P., "Numerical simulation of natural convection heating of canned food by computational fluid dynamics", Journal of Food Engineering, 41, 55-64, (1999^a).

Abdul Ghani, A.G., Farid., M.M., Chen, X.D. and 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^b).

Abdul Ghani, A.G., Farid, M.M., A.,Chen, X.D. and Richards, P., "Thermal Sterilization of Canned Food in a 3-D Pouch Using Computational Fluid Dynamics", Journal of Food Engineering, 48, 147-156, (2001).

Abdul Ghani, A.G., Farid., M.M. and 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).

Abdulnaser, S., "Computational Fluid Dynamics", s:115, Abdulnaser Sayma & Ventus publishing ApS, (2009).

Abu-Nada, E., "Rayleigh-Bénard convection in nanofluids: Effect of temperature dependent properties", International Journal of Thermal Sciences, 50, 1720-1730, (2011).

Anand, P. D., Anishaparvin, A. and Anandharamakrishnan, C., "Computational fluid dynamics studies on pasteurisation of canned milk", International Journal of Dairy Technology, 64(2), (2011).

Anderson, J.D., "Computational Fluid Dynamics: The Basics with Applications", 39-40., McGraw-Hill, USA, (1995).

ANSYS CFX Yardım Dosyaları, ANSYS v12. Solver Theory Guide, ANSYS Inc.

ANSYS , "ANSYS Meshing"

<http://www.ansys.com/Products/Workflow+Technology/ANSYS+Workbench+Platform/ANSYS+Meshing> (16.11.2011)

Augusto, P.E.D. and Cristianini, M., "Evaluation of geometric symmetry condition in numerical simulations of thermal process of packed liquid food by computational fluid dynamics (CFD) ", International Journal of Food Engineering, 6(5), Article 1. (2010^a).

Augusto, P.E.D. and Cristianini, M., "Computational fluid dynamics analysis of viscosity influence on thermal in-package liquid food process. ", International Journal of Food Engineering 6(6), Article 16, (2010^b).

Aktas, M.K. and Farouk, B., Numerical simulation of developing natural convection in an enclosure due to rapid heating", International Journal of Heat and Mass Transfer, 46, 2253-2261, (2003).

Appert M., "The art of preserving all kinds of vegetable substances for several years", Printed for Black, Parry and Kingburry, London, (1811), Google Books, <http://books.google.com> (10.12.2011)

Britt, I.J., "Thermal Processing", (Editor: Tucker G.), "Food Biodeterioration & Preservation", 67 (s), Wiley-Blackwell, Hoboken, NJ, USA, (2008).

Cebeci, T., Shao, J.P., Kafyeke F. and Laurendeau E. "Computational Fluid Dynamics for Engineers", vi. (s), Horizons publishing Long Beach, USA (2005).

Cemeroğlu, B. , "Meyve ve Sebze İşleme Teknolojisi", Cilt:3, 193 (s), Gıda Teknolojisi Derneği yayınları, Ankara, (2003).

CFD online, "Mesh Generation" http://www.cfd-online.com/Wiki/Mesh_generation. (18.10.2011)

Chen, C.R. and Ramaswamy, H.S., "Visual Basics computer simulation package for thermal process calculations", Chemical Engineering and Processing, 46, 603–613, (2007).

Codex Alimentarius, Code Of Hygienic Practice For Low And Acidified Low Acid Canned Foods, CAC/RCP 23-1979, (1979), (Editoral corrections 2011).

COMSOL, "Comsol Products"

<http://www.comsol.com/products/cfd/?tab=products> (16.11.2011)

- Cornelissen, J. T., Taghipour, F., Escudié, R., Ellisa, N. and Grace, J. R., "CFD modelling of a liquid–solid fluidized bed", *Chemical Engineering Science*, 62 ,6334-6348, (2007).
- Coroneo, M., Mazzei, L., Lettieri P. Paglianti A.. and Montante G., "A CFD prediction of segregating fluidized bidisperse mixtures of particles differing in size and density in gas–solid fluidized beds", *Chemical Engineering Science*, 66, 2317–2327, (2011).
- Cunha, L. M., Oliveira, F. A. R.,Oliveira, J. C. and Brandao T. R. S., "Optimal experimental design for estimating the kinetic parameters of the Bigelow model", *Journal of Food Engineering*, 33,111-128, (1997).
- Çengel, Y., "Heat and Mass Transfer: A practical Approach", Mc Graw Hill, Ch9, p:465, (2007).
- Das, S.P., Chakraborty, S. and Dutta, P., "Natural convection in a two-dimensional enclosure heated symmetrically from both sides. "International Communications in Heat and Mass Transfer, 29, 345-354, (2002).
- Datta, A.K. and 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).
- Datta, A. K., "Computer Aided Engineering in a Food Process and Product Design, *Food Technology*, 52, No: 10, (1998).
- Devlet Planlama Teşkilatı,"Dokuzuncu kalkınma planı (2007-2013), Gıda Sanayii Özel İhtisas Komisyonu Raporu", 8 (s) Ankara, (2006).
- Dimou, A. and Yanniotis, S., "3D numerical simulation of asparagus sterilization in a still can using computational fluid dynamics", *Journal of Food Engineering* 104 394–403, (2011).
- Družeta ,S., Sopta, L., Maćešić S. and Črnjarić-Žic N., "Investigation of the Importance of Spatial Resolution for Two-Dimensional Shallow-Water Model Accuracy", *Journal of Hydraulic Engineering*, 11, 917-925, (2009).
- Engez, T.ve Eriş, A., "Gıda Mühendisliğinde Kullanılan Bazı Yazılımlar" ,*Gıda Mühendisliği Dergisi*, Aralık, (2002).

- Erdogdu, F., Uyar, R. and Palazoglu, T.K., "Experimental comparison of natural convection and conduction heat transfer", *Journal of Food Process Engineering*, 33, 85-100, (2010).
- Erdogdu, F. and Tutar, M., "Velocity and temperature field characteristics of water and air during natural convection heating in cans", *Journal of Food Science*, 76, E119-E129, (2011).
- Fen, M.O. and Erkoç, Ş., "Distribution of Circles on a Circle and Correlation Between Vortex Rings of Superfluids", *Turk Journal of Physics*, 31,151-159, (2007).
- Garrote, R.L., Silva E.R., Roa R.D and 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).
- Gözügül, Ş.G., "Gıda Muhafazası", Samsun Tarım il Müd. Yay., Samsun, (2006).
- Hassan, N. and Sanghi, S., "Proper orthogonal decomposition and low-dimensional modeling of thermally driven two-dimensional flow in a horizontal rotating cylinder", *Journal of Fluid Mechanics*, 573, 265-295, (2007).
- Hoffman, K. A. and Chiang S.T., "Computational Fluid Dynamics, Volume II", 3, Engineering Education System Publications, Wichita- USA, (2000).
- Holdsworth S. D., "Thermal Processing of Packaged Foods", 10, Chapman and Hall, Blackie Academic and Professional, London,UK 1st Ed., (1997).
- Jagannath, A., Tsuchido T. and Membre J-M, "Comparison of the thermal inactivation of *Bacillus subtilis* spores in foods using the modified Weibull and Bigelow equations" *Food Microbiology*, 22, 233–239, (2005).
- Karamanoğlu, Y., Mobedi M., ve Ertöz A.Ö "Pompa tasarımının geliştirilmesinde hesaplamalı akışkanlar dinamiğinin kullanılması", *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 91, 46-55, (2006).
- Kiziltas, S., Erdogdu, F. and Palazoglu, T.K., "Simulation of heat transfer for solid-liquid food mixtures in cans and model validation under pasteurization conditions", *Journal of Food Engineering* 97, 449-456, (2010).

- Kumar, A., Bhattacharya, M. and Blaylock, J., "Numerical simulation of natural convection heating of canned thick viscous liquid food products", *Journal of Food Science*, 55, 1403-1411,(1990).
- Kumar, A. and Bhattacharya, M., "Transient temperature and velocity profiles in a canned non-Newtonian liquid food during sterilization in a still-cook retort", *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 34, 1083-1096, (1991).
- Larousse, J., "Food Canning Technology", (Editor: Brown B. E.), 383-386 (s)-Ch:11, Wiley-VCH Canada, (1997).
- Lomax H., Pulliam T.H. and Zing D W., "Fundamentals of Computational Fluid Dynamics", 3 (s) , Springer, (2001).
- Löhner R., "Applied CFD Techniques", 1 (s), J. Wiley and Sons USA, (2001).
- Marwaha K., "Food Process Engineering : Theory and Laboratory Experiments", 34 (s) , Global Media,Delhi-India, (2010).
- May, N.S., "Retort Technology", *Thermal Technologies in Food Processing*, (Editor: Richardson P.), s:1-7, CRC Press Woodhead Publishing Ltd. Boca Raton FL, USA (2000).
- Moraga, N., Torres, A., Guarda, A. and Galotto, M.J., "Non-Newtonian canned liquid food, unsteady fluid mechanics and heat transfer prediction for pasteurization and sterilization", *Journal of Food Process Engineering*, 34 (6),2000-2025, (2010).
- Morgan, M. T., Lund D. B. and Singh R. K., "Design of the aseptic processing system", *Principles of Aseptic processing and packaging*,(Editor: Nelson P. E), 4-5 (s), Purdue University Press, West Lafayette-Indiana, USA, (2010).
- Mueller, G.E., "Numerically packing spheres in cylinders", *Powder Technology*, 159, 105-110 (2005).
- Nicolai, B. M., Verboven P. and Scheerlinck N., "Modeling and Simulation of Thermal Processes, ", "Thermal Technologies in Food Processing", (Editor: Richardson P.), 91 (s), CRC Press Woodhead Publishing Ltd. Boca Raton FL, USA (2000).

Norton, T. and 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, 17, 600-620,(2006).

Peleg, M., "Modelling applied to processes: the case of thermal preservation", Food Preservation Techniques, (Editor: Zeuthen, P. ve Bogh-Sorensen, L.), GBR: Woodhead Publishing, Ltd. Cambridge, 513-514 (s), (2003).

Ramachandran R., Malhotra D., Anishaparvin A. and Anandharamakrishnan C., "Computational fluid dynamics simulation studies on pasteurization of egg in stationary and rotation modes", Innovative Food Science and Emerging Technologies,12 , 38–44, (2011).

Robert Schneiders "Softwares for meshing",

<http://www.robertschneiders.de/meshgeneration//software.html> (16.10.2011)

Sandeep, K.P., Simunovic J. and Swartzel, K.R., "Developments in aseptic processing", Improving Thermal Processing Of Foods, (Editor: Richardson P.), 177 (s), CRC Press LLC Boca Raton FL,USA, (2004).

Simpson, R., Almonacid S. and Teixeira A., "Bigelow's General Method Revisited: Development of a New Calculation Technique", Journal of Food Science, 68, (4), (2003).

Sorensen, D.N. and Nielsen, P.V., "Quality control of computational fluid dynamics in indoor environments", Indoor Air, 13, 2–17, (2003).

TETRAPAK, Backgrounder: "Aseptic technology"

http://www.tetrapak.com/Document%20Bank/About_tetrapak/Aseptic_Technology_Backgrounder_final%202011.pdf (08.12.2011)

Tu, J., Yeoh G. H. and Liu C., "Computational Fluid Dynamics: a practical approach", 36 (s), Elsevier, (2008).

United States Department of Agriculture (USDA), "Fruit and vegetable consumption in the USA", Report to Congress, September (2008).

Varma, M. N. and Kannan A., "CFD studies on natural convective heating of canned food in conical and cylindrical containers", Journal of Food Eng. 77, 1204-1036, (2006).

Verboven, P., Baerdemaeker J. de, Nicolai B. M., "Using computational fluid dynamics to optimize thermal processes", Improving Thermal Processing Of Foods, (Editor: Richardson P.), 82-177 (s), CRC Press LLC Boca Raton FL,USA,(2004).

Weng, Z. Jun, "Thermal Processing of Canned Foods",Thermal Food Processing: New Technologies and Quality Issues, (Editor: Sun D. W.), 335-362 (s) Ch: 11, CRC Press Taylor & Francis Group, Boca Raton, FL,USA (2005).

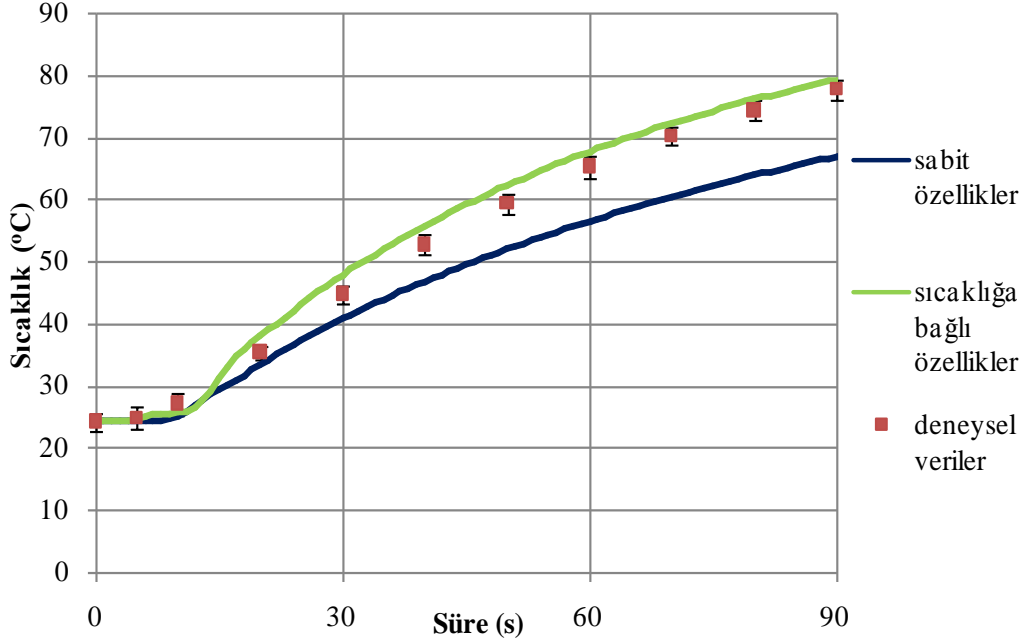
WoTug "Grid generation softwares"

http://wotug.ukc.ac.uk/parallel/nhse/rib/repositories/CEWES_Grid_Gen/catalog/
(16/10/2011).

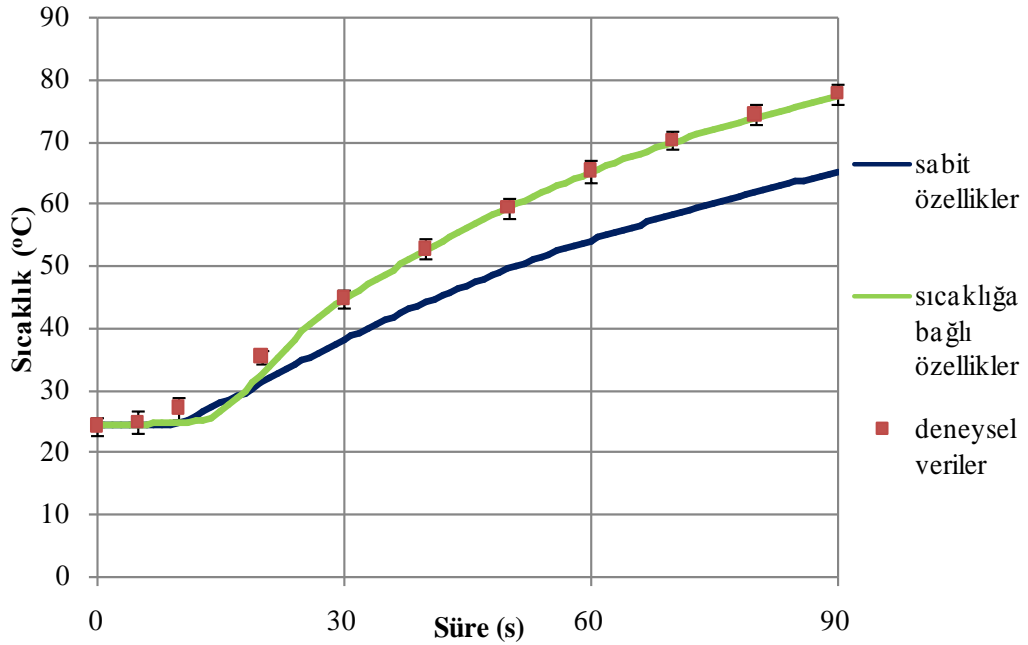
Ek 1. Farklı düğüm sayılarına göre Upwind Advection Scheme çözüm yöntemi ile elde edilen farklı zaman adımlarındaki KOH değerleri.

Düğüm sayıları	Zaman adımları (s)					
	0.1		0.01		0.0001	
	Sabit özellikler	Değişken özellikler	Sabit özellikler	Değişken özellikler	Sabit özellikler	Değişken özellikler
940	7.158	2.318	7.141	2.347	10.805	2.348
1866	9.192	1.557	9.157	1.269	9.156	2.549
6436	12.117	6.060	12.055	5.973	12.430	5.964
16458	13.944	8.263	11.387	8.023	10.931	8.575
29882	11.722	7.860	11.707	7.624	12.250	7.3526

EK 2- Su Modeli ile Yapılan İki Boyutlu Benzetimlerde Sıcaklığa Bağlı Termofiziksel Özellikler Kullanılması ile Elde Edilen Benzetim Sonuçları ile Deneysel Sıcaklık Ölçümlerinin Karşılaştırılması

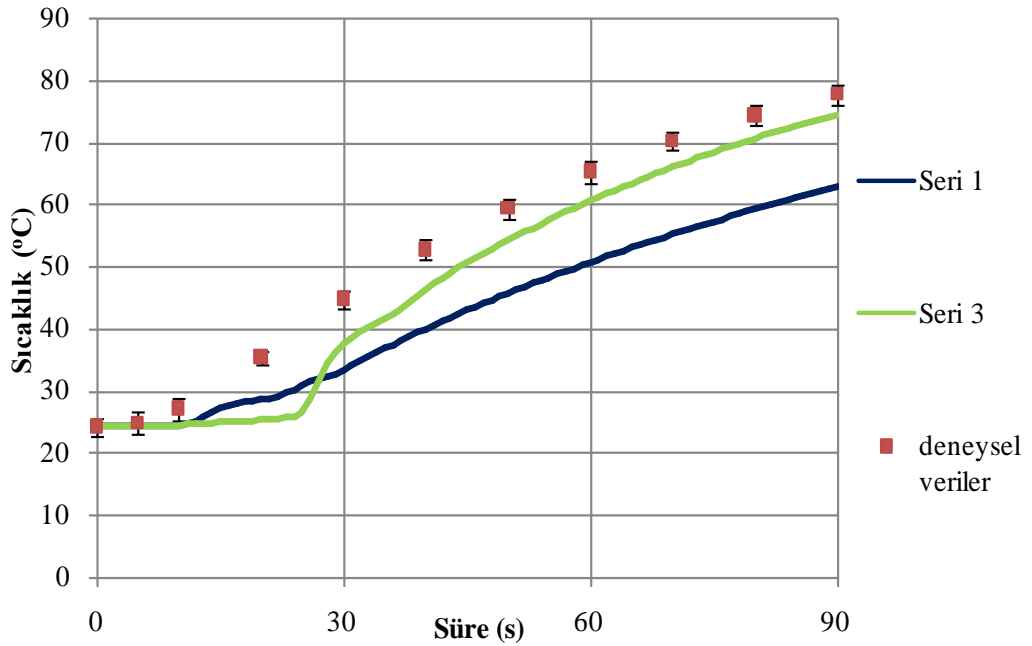


EK 2 Şekil 1 (a)

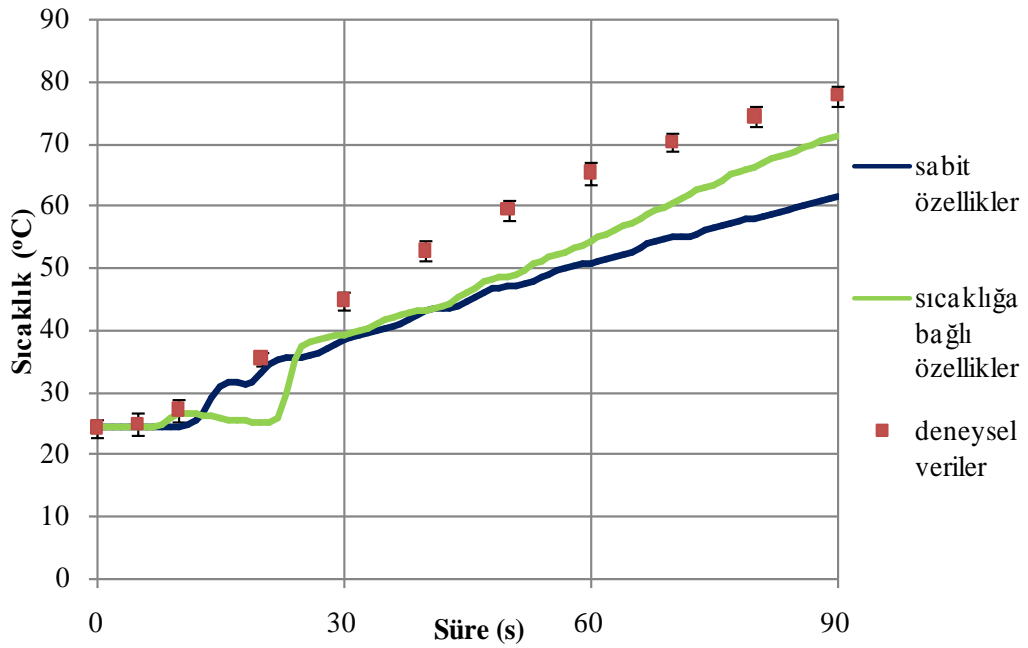


EK 2 Şekil 1 (b)

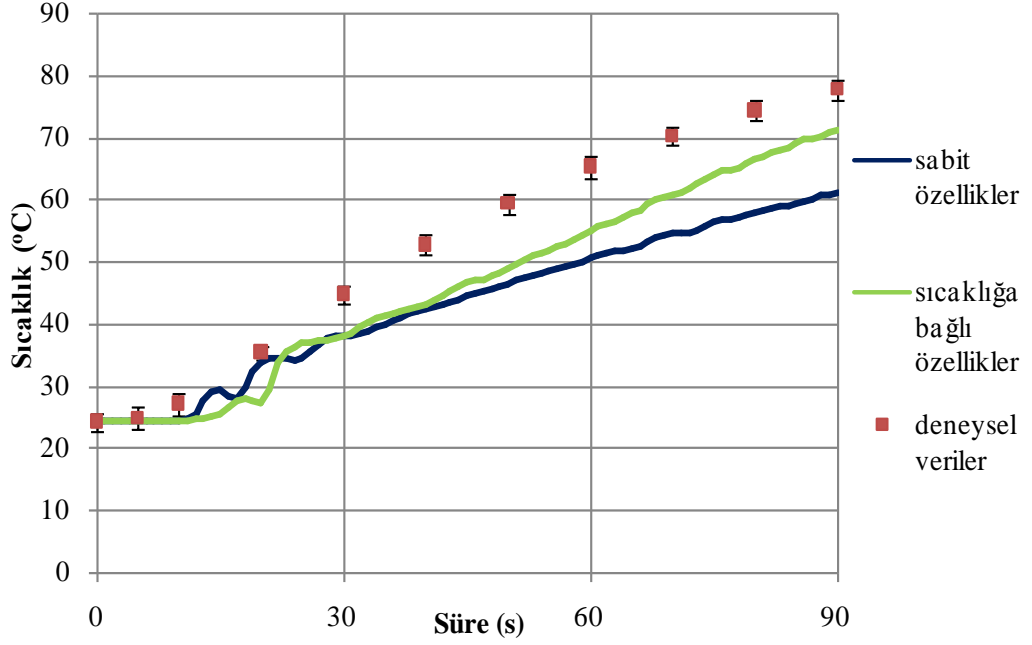
EK 2 Şekil 1 devamı...



EK 2 Şekil 1 (c)



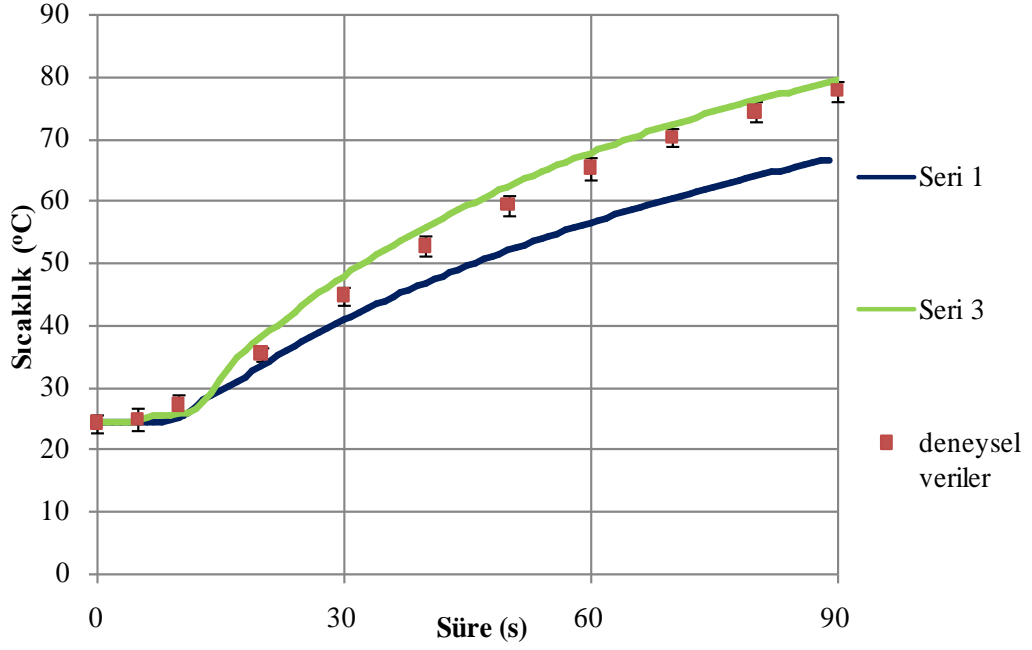
EK 2 Şekil 1(d)



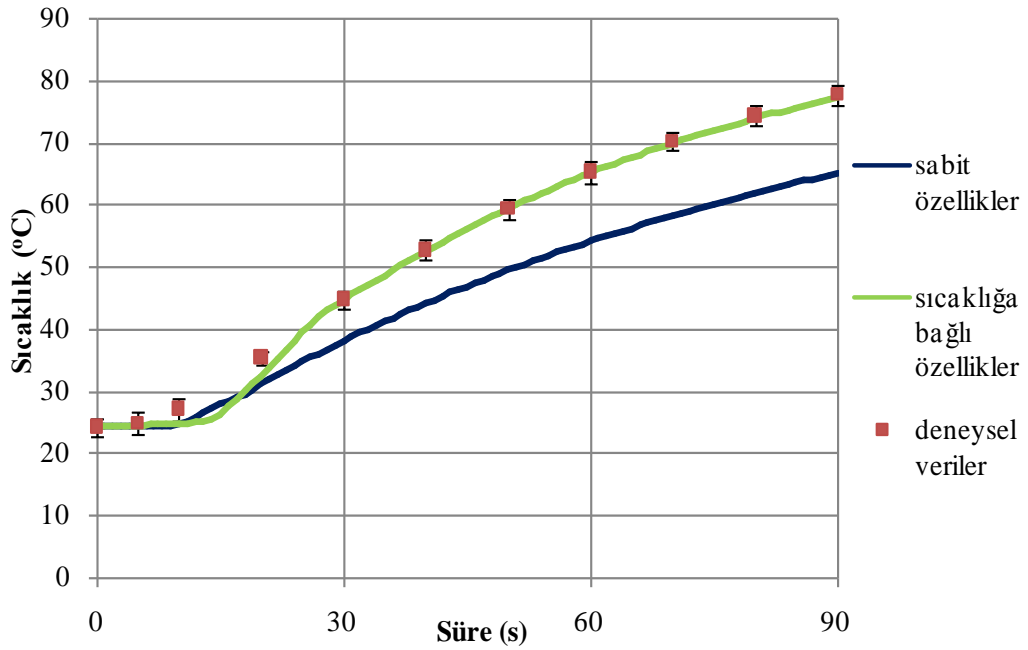
EK 2 Şekil (e)

Şekil 1. Suyun modellendiği iki boyutlu benzetimlerde termofiziksel parametrelerin sıcaklığa bağlı kullanılması ile elde edilen benzetim sonuçları ile deneysel sıcaklık ölçümlerinin 0.1 saniye zaman aralığı değeri için farklı sayısal ağ değerlerinde karşılaştırılması; (a)940 (b)1866 (c)6486 (d) 16458 (e)29882

EK 2 Şekil 1 devamı...

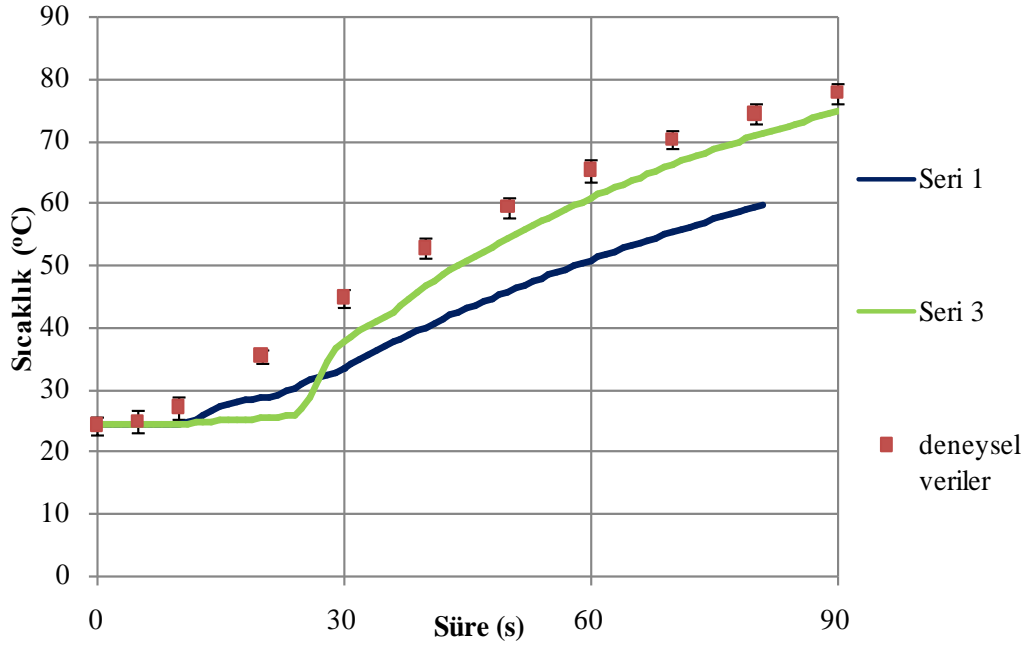


EK 2 Şekil 2 (a)

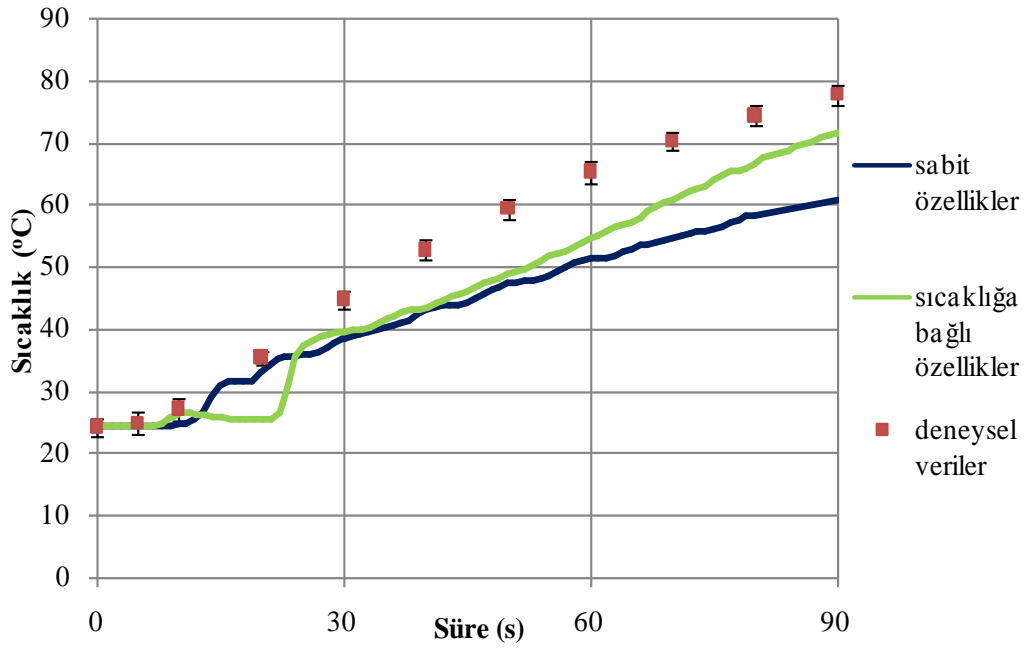


EK 2 Şekil 2 (b)

EK 2 Şekil 2 devamı...

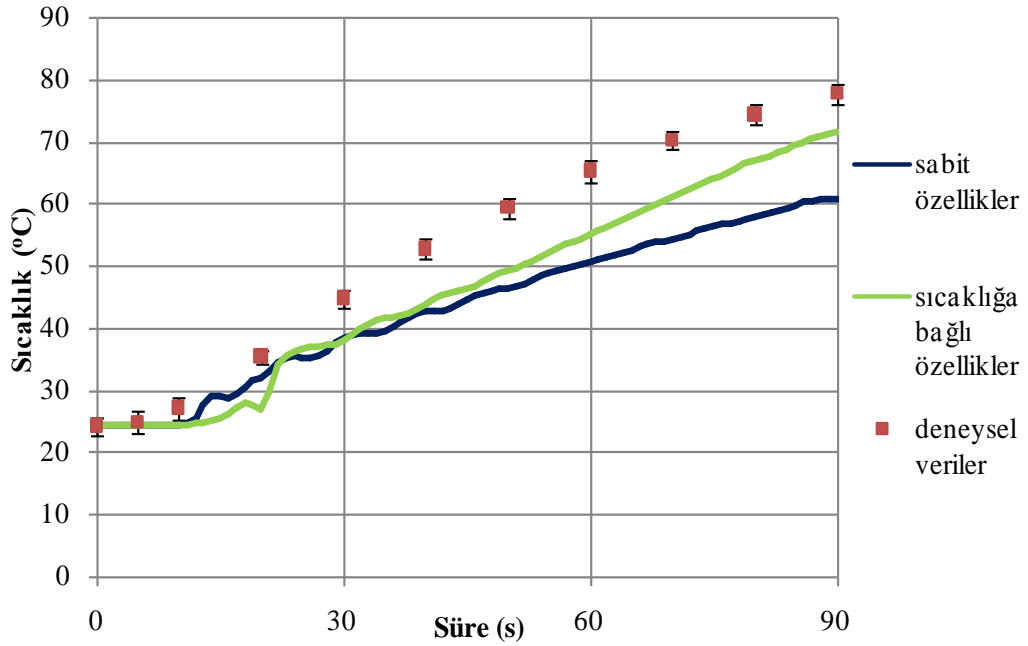


EK 2 Şekil 2 (c)



EK 2 Şekil 2 (d)

EK 2 Şekil 2 devamı...



EK 2 Şekil 2 (e)

Şekil 2. Suyun modellendiği iki boyutlu benzetimlerde termofiziksel parametrelerin sıcaklığa bağlı kullanılması ile elde edilen benzetim sonuçları ile deneysel sıcaklık ölçümlerinin 0.0001 saniye zaman aralığı değeri için farklı sayısal ağ değerlerinde karşılaştırılması; (a)940 (b)1866 (c)6486 (d) 16458 (e)29882

ÖZGEÇMİŞ VE ESERLER LİSTESİ

Adı Soyadı: Ziyet BOZ

Doğum Tarihi: 24/01/1987

Öğrenim Durumu:

Derece	Bölüm/Program	Üniversite	Yıl
Lise	Dumlupınar Y.D.A. Lise		2001-2005
Lisans	Gıda Mühendisliği Bölümü	Mersin Üniversitesi	2005-2009
Yüksek Lisans	Gıda Mühendisliği A.B.D.	Mersin Üniversitesi	2009-.....

(Varsa) Görevler:

Görev Unvanı	Görev Yeri	Yıl
Araştırma Görevlisi	Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Müh. A.B.D.	2009-.....

ESERLER (Bildiriler)

1. Boz Z*,Uyar R.,Erdoğan F.,'CFD simulations in food processing with digital tools'- (Sözlü bildiri), 2nd International ISEKI Food Congress 21 Ağustos-2 Eylül 2011 Milano /İTALYA
2. Boz Z*,Erdoğan F."Simulation of Transient Natural Convection in Canned Convection Heated Foods using Computational Fluid Dynamics (CFD) Approach" (Sözlü bildiri) NAFI (Novel Approaches in Food Industry International Food Congress) 26-29 Mayıs 2011 Çeşme/ İZMİR
3. Boz Z., Erdoğan F.*"Two dimensional modeling of heat and momentum transfer in thermal processing of liquid containing horizontal cans" (Poster bildiri),ICEF 2011-Atina/Yunanistan