

**ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**ENTERAL BESLENME AMACIYLA HAZIRLANMIŞ LİKİT ÇÖZELTİLERİN
STERİLİZASYONU SIRASINDA MEYDANA GELEN SICAKLIK
DEĞİŞİMİNİN MATEMATİKSEL MODELLENMESİ**

Hamza Melik YAYLA

GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ANKARA
2021**

Her hakkı saklıdır

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ENTERAL BESLENME AMACIYLA HAZIRLANMIŞ LİKİT ÇÖZELTİLERİN STERİLİZASYONU SIRASINDA MEYDANA GELEN SICAKLIK DEĞİŞİMİNİN MATEMATİKSEL MODELLENMESİ

Hamza Melik YAYLA

Ankara Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ferruh ERDOĞDU

Bu çalışmada retort sistemlerde ısı işlem uygulaması ile enteral besleme amacıyla hazırlanan likit çözeltilerin sterilizasyonu sırasında meydana gelen sıcaklık değişiminin matematiksel modellenmesi COMSOL Multiphysics (V-5.3a) programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bunun için öncelikle proses sırasında ürün sıcaklık değişim verilerinin elde edilebilmesi amacıyla deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Ana ürün olarak enteral beslenme amacıyla hazırlanmış likit çözeltiler diyet fiberli ve diyet fibersiz olarak hazırlanmıştır. Bu likit çözeltilere ait yoğunluk, ısı iletim katsayısı ve özgül ısı değerleri ürün kompozisyonuna bağlı olarak sıcaklık değişiminin bir fonksiyonu olarak hesaplanmış, viskozite değişimi ise Newtonsal olmayan akışkan olarak varsayıp deneysel olarak belirlenmiştir. Daha sonra deneysel veriler ile matematiksel model sonuçlarının karşılaştırılması ile doğrulama çalışmaları yapılmıştır. Enteral beslenme çözeltileri çalışmalarına ek olarak saf su ve %0.5 konsantrasyonunda karboksi metil selüloz (CMC) çözeltileri kullanılarak da model doğrulama çalışmaları yapılmıştır. Bu modelleme çalışmalarında suyun termofiziksel özellikleri kullanılan modelleme programına ait kütüphaneden alınmış, %0.5'lik CMC çözeltilerine ait özellikler ise literatürden elde edilmiştir. Model doğrulama çalışmalarından sonra gerçekleştirilen tasarım simülasyon çalışmalarında enteral çözeltilere uygulanan proses süreleri, ürün soğuk noktasında (en yavaş ısınan bölge) elde edilen sterilizasyon değerinin 2.52 hedefinin üzerinde elde edilmesi amacıyla proses süresi belirlenmiştir. Bu kapsamda deneysel verilere temelinde ve endüstriyel proses uygulaması sıcaklık verilerine bağlı olarak iki adet simülasyon çalışması yapılmış ve proses sonunda enteral çözeltilerde meydana gelen A ve C vitamin kayıpları hesaplanmıştır. Sonuç olarak enteral beslenme amacıyla hazırlanmış likit çözeltilerin sterilizasyonu sırasında meydana gelen sıcaklık değişiminin matematiksel modellenmesi temelinde endüstriyel proses uygulamalarının gerçekleştirilebileceği bu tez çalışması kapsamında gösterilmiştir.

Ağustos 2021, 66 sayfa

Anahtar Kelimeler: Retort uygulama, C vitamini, A vitamini, sterilizasyon

ABSTRACT

Master Thesis

MATHEMATICAL MODELLING OF TEMPERATURE CHANGE THAT DURING STERILIZATION OF LIQUID ENTERAL NUTRITIONS SOLUTIONS

Hamza Melik YAYLA

Ankara University
Graduate School of Natural and Applied Science
Department of Food Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Ferruh ERDOĞDU

In this study, mathematical modeling study to describe the thermal processing of the enteral nutrition solutions was carried out using COMSOL Multiphysics (V-5.3a). For model validation studies, the experiments were completed in a pilot scale retort system where 500 mL glass jars were used to fill the pre-prepared enteral nutrition solutions. The model validation studies followed the use of distilled water, 0.5% CMC solution and the enteral solutions. The thermal and physical properties of the distilled water and the CMC solution were obtained from the library of the multiphysics program and the literature while the properties of the enteral solutions were determined using the empirical equations as a function of composition and temperature. The viscosity change of the enteral nutrition solutions were, on the other hand, experimentally determined. The model validation studies for all the cases indicated a perfect match with the model results except with the case of the diet-fiber including enteral nutrition solutions. For this latter case, a break in the emulsion was observed during the process leading to low and high viscosity phases within the solution, and this affected the experimental and model results. Following the model validation studies, industrial process scenarios were hypothesized for the sterilization of the enteral solutions (without the diet-fiber content), and the vitamin losses for vitamin-C and vitamin-A were determined indicating the potential of the retort thermal processing for the sterilization of liquid enteral nutrition solutions.

August 2021, 66 pages

Key Words: Retort system application, vitamin C, vitamin A, sterilization

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR

Hem lisans öğrenim dönemimde hem de yüksek lisans öğrenim dönemimde, gerek Dünya görüşüme olan katkısı gerek yaptığımız her çalışmada sonsuz destekleriyle beraber eğitim alanında kazanmış olduğum her başarıda payı olan sayın hocam ve danışmanım Prof. Dr. Ferruh ERDOĞDU'ya (Ankara Üniversitesi Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı),

Çalışmalarım esnasında, her türlü zorlu durumda yardımlarını asla esirgemeyen sayın çalışma arkadaşlarım Ezgi SON, Eda ÇOŞKUN, Hüseyin TOPÇAM, Ozan ALTIN, Ozan KARATAŞ'a,

Bu çalışmanın hazırlanması ve uygulanmasının her adımında her türlü katkıyı sağlayan Prof. Dr. Tülay BAKIR ve Prof. Dr. Behiç MERT'e,

Bütün deneylerim boyunca bana olan sayısız desteklerinden dolayı Onur ÖZCAN, İpek KAPLAN'a

Eğitim hayatımın her anında yanımda olmayı başaran ve desteklerini asla benden esirgemeyen değerli aile fertlerim Aysel YAYLA, Hamza YAYLA, Refik Cevdet YAYLA, Salim Cemal YAYLA'ya,

Bu çalışma esnasında manevi destekleri benden asla esirgemeyen değerli arkadaşlarım Mahir Can PANİOĞLU, Beyza Nur DEMİR'e, Erkin SÖNMEZ, Heval ŞEN, Betül GÖKSÜN'e,

Sonsuz desteğini asla benden esirgemeyen değerli biricik kız kardeşim Berfin DEMİR'e,

ve bu sayfaya sığdıramadığım bir çok isme de en içten dileklerle teşekkür ederim.

Bu çalışma TÜBİTAK 2210-D 'YURT İÇİ SANAYİYE YÖNELİK YÜKSEK LİSANS BURS' programı kapsamında desteklenmiştir.

Hamza Melik YAYLA
Ankara, Ağustos 2021

İÇİNDEKİLER

TEZ ONAY SAYFASI	
ETİK.....	i
ÖZET.....	ii
ABSTRACT	iii
ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR.....	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	6
2.1 Enteral Beslenme.....	6
2.2 Retort Sistemde Isıl İşlem.....	13
3. MATERYAL YÖNTEM	23
3.1 Materyal.....	23
3.1.1 Pilot ölçekli retort sistem	23
3.1.2 Deneysel çalışmalarda kullanılan sıvı örnekler	25
3.2 Yöntem	28
3.2.1 Isı transfer katsayısının proses süresine göre hesaplanması.....	28
3.2.2 Proses sürecinde ürün vitamin kayıplarının hesaplanması	31
3.2.3 Matematiksel modelleme çalışmalarında kullanılan denklikler.....	32
4. BULGULAR ve TARTIŞMA.....	39
4.1 Modelleme Çalışmalarında Kullanılan Termofiziksel Özellikler	39
4.1.1 Isı tranfer katsayısı	40
4.2 Ağ Bağımsızlık Çalışmaları	42
4.3 Model Doğrulama Çalışmaları	45
4.3.1 Deneysel çalışmalarda saf sayun kullanıldığı doğrulama çalışmaları.....	45
4.3.2 Deneysel çalışmalarda %0.5 konsantrasyonunda CMC çözeltisinin kullanıldığı doğrulama çalışması	45
4.3.3 Deneysel çalışmalarda enteral beslenme çözeltilerinin kullanıldığı doğrulama çalışmaları.....	50
4.3.4 İstatitksel analiz.....	57
4.4 Proses Tasarım Çalışmaları	58

4.4.1 Deneysel koşullara bağlı olarak gerçekleştirilen simülasyon alışması	58
4.4.2 Endüstriyel proses koşulları kullanılarak gerçekleştirilen simülasyon alışması.....	59
5. SONUÇLAR	61
KAYNAKLAR	63
ÖZGEÇMİŐ	66



SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

cm	Santimetre
cfu	Koloni oluşturan birim
c_p	Özgül ısı (J/kg.K)
D	d-değeri (dk.)
°F	Fahrenayt
h	Isı transferi katsayısı (W/m ² -°C)
ft	feet
K	Kelvin
k	Isıl iletkenlik katsayısı (W/m-°C)
L	Uzunluk(cm)
lb	libre
m	Kütle (kg)
g	gram
r	Yarıçap (cm)
s	Saniye
T	Sıcaklık(°C)
T_r	Radyal sıcaklık (°C)
T_i	Başlangıç sıcaklığı (°C)
$T_{sınır}$	Sınır sıcaklığı (°C)
T_{∞}	Çevre sıcaklığı (°C)
T_{ref}	Referans sıcaklık(K)
Pa	Pascal
v	Hız (m/s)
z	Z-değeri (°C)
η	Görünür viskozite (Pa.s)
ΔT	Sıcaklık farkı (°C)
°C	Derece Celcius
W	Watt
μ	Dinamik viskozite (Pa.s)
ρ	Yoğunluk (kg/m ³)

Kısaltmalar

CMC Karboksimetilselüloz

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1 Retort Sistem üzerine yapılan çalışma sonuçları	14
Şekil 2.2 Geleneksel bir retort sistem şeması.....	16
Şekil 2.3 Teorik ve deneysel dikdörtgen şeklinde olan konserve kutularının verilerinin ısınma ve soğuma eğrisi olarak doğrulanması	20
Şekil 2.4 Teorik ve deneysel silindir şeklinde olan konserve kutularının verilerinin ısınma eğrisi ve soğuma eğrisi olarak doğrulanması,.)	20
Şekil 3.1 Deneysel çalışmaların yürütüldüğü pilot ölçekli retort sistem	24
Şekil 3.2 Sıcaklık ölçüm deneylerinde kullanılan veri toplama sistemi	29
Şekil 3.3 Isı transfer katsayısının hesaplanmasında kullanılan opak alüminyum silindirin sistem bağlantısı	29
Şekil 3.4 Retort sistem içerisinde proses sırasında ürün sıcaklık değişimi amacıyla kullanılacak sıcaklık ölçüm sistemi	30
Şekil 3.5 Kısa ve uzun ısı çift noktaları; kısa ısı çiftin geometri üzerindeki noktası (a), uzun ısı çiftin geometri üzerindeki noktası (b).....	31
Şekil 3.6 2 boyutlu eksensel simetri yaklaşımında kavanoz model görüntüsü (a), kavanozun üç boyutlu görüntüsü (b) ve kavanoz içerisinde tanımlanan hava - cam ve sıvı materyal (c)	36
Şekil 3.7 Basınç noktası kısıtlama sınır koşulunun kullanımının sistem geometrisi üzerinde gösterilmesi	37
Şekil 3.8 Model çalışmalarında kullanılan ağ yapısı Kullanılan ağ yapısı	37
Şekil 4.1 Ağ bağımsızlık çalışmalarında kullanılan (a) ekstra seyrek (extra coarse), (b) seyrek (coarse), (c) yoğun (fine) ve (d) ekstra yoğun (extra fine) ağ yapıları	43
Şekil 4.2 Farklı ağ yapıları kullanılarak elde edilen sonuçların (a) retort sistemin hızlı ısınma koşullarında kısa ısı çift yardımıyla gerçekleştirilen su deneyine ait deneysel sıcaklık verileri ile karşılaştırılması ve (b) farklı ağ yapılarının kullanıldığı durumda cam kavanoz içi hacimsel sıcaklık ortalamasının karşılaştırılması	44
Şekil 4.3 Retort sistemin hızlı ısınma koşullarında kısa ısı çift yardımıyla gerçekleştirilen su deneyine ait doğrulama çalışması (1670 s).....	46
Şekil 4.4 Retort sistemin yavaş ısınma koşullarında uzun ısı çift yardımıyla gerçekleştirilen su deneyine ait doğrulama çalışması (4780 s).....	46
Şekil 4.5 Retort sistemin hızlı ısınma koşullarında elde edilen ürün (saf su) sıcaklık ve doğal konveksiyonla meydana gelen hız profili değişimi.....	47
Şekil 4.6 Retort sistemin hızlı ısınma koşullarında kısa ısı çift yardımıyla gerçekleştirilen %0.5 CMC çözeltisi deneyine ait doğrulama çalışması	48

Şekil 4.7 Kısa ısı çiftler yardımıyla %05'lik CMC ile yapılan hızlı sistemde 2640s'lik deneyi üzerine hazırlanan model çalışmasına dair belirli noktalardaki sıcaklık ve hız dağılımı	49
Şekil 4.8 Retort sistemin hızlı ısınma koşullarında kısa ısı çift yardımıyla gerçekleştirilen diyet fiber içermeyen enteral beslenme çözeltisi deneyine ait doğrulama çalışması	51
Şekil 4.9 Retort sistemin hızlı ısınma koşullarında kısa uzun çift yardımıyla gerçekleştirilen diyet fiber içermeyen enteral beslenme çözeltisi deneyine ait doğrulama çalışması	51
Şekil 4.10 Retort sistemin yavaş ısınma koşullarında uzun ısı çift yardımıyla gerçekleştirilen diyet fiber içermeyen enteral beslenme çözeltisi deneyine ait doğrulama çalışması	52
Şekil 4.11 Retort sistemin yavaş ısınma koşullarında uzun ısı çift yardımıyla gerçekleştirilen diyet fiber içermeyen enteral beslenme çözeltisi deneyine ait doğrulama çalışması	52
Şekil 4.12 Retort sistemin hızlı ısınma koşullarında kısa ısı çift yardımıyla gerçekleştirilen deneysel koşullar kullanılarak gerçekleştirilen model çalışmasından elde edilen (diyet fiber içermeyen) enteral çözelti sıcaklık ve hız profili değişimi	53
Şekil 4.13 Retort sistemin hızlı ısınma koşullarında kısa ısı çift yardımı ile gerçekleştirilen diyet fiber içeren enteral beslenme çözeltisi deneyine ait doğrulama çalışması.....	54
Şekil 4.14 Retort sistemin hızlı ısınma koşullarında uzun ısı çift yardımı ile gerçekleştirilen diyet fiber içeren enteral beslenme çözeltisi deneyine ait doğrulama çalışması.....	54
Şekil 4.15 Retort sistemin hızlı ısınma koşullarında ısı işlem uygulanan ve diyet fiber içermeyen enteral beslenme çözeltilerinde 1 aylık depolama sürecinde alınan ürün görüntüleri	55
Şekil 4.16 Retort sistemin hızlı ısınma koşullarında ısı işlem uygulanan ve diyet fiber içeren enteral beslenme çözeltilerinde 1 aylık depolama sürecinde alınan ürün görüntüleri.....	56
Şekil 4.17 Retort sistemin hızlı ısınma koşullarında yeterli sterilizasyon değeri (>2.52 dakika) elde edilmesi amacıyla gerçekleştirilen simülasyon çalışması sıcaklık verileri.....	59
Şekil 4.18 Retort sistemin endüstriyel proses koşullarında yeterli sterilizasyon değeri (>2.52 dakika) elde edilmesi amacıyla gerçekleştirilen simülasyon çalışması sıcaklık verileri.....	60

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1. 1 Yaygın halde kullanılan enteral beslenme çözeltileri	3
Çizelge 2.1 Analize alınan ürünlerdeki gram negatif bakteri miktarları.....	12
Çizelge 2.2 Yapılan denetimlerde izole edilen bakteri ve miktarları.....	12
Çizelge 2.3 Besleyiciliği korumak üzerine yapılabilecek ısı işlemlerin optimizasyonu	14
Çizelge 2.4 Farklı ürünler için retort sistem içerisindeki proses süreleri.....	21
Çizelge 2.5 Salamuraya yatırılan farklı ürün konserve için proses süreleri	22
Çizelge 3.1 İçerisinde diyet fiber bulundurmayan 500 ml enteral çözelti hazırlanması için kullanılan ingrediye ve miktarları	26
Çizelge 3.2 Diyet fiber içerikli 500 ml enteral çözelti hazırlanması için kullanılan ingrediye ve miktarları	26
Çizelge 3.3 Enteral beslenme çözeltilerinin termofiziksel özelliklerinin hesaplanmasında kullanılan empirik denklemler	27
Çizelge 3.4 Sıcaklığa bağı olarak % 0,5 CMC çözeltilisine ait termofiziksel özellikler.....	27
Çizelge 3.5 A ve E vitaminine ait değerler	32
Çizelge 4.1 Hazırlanan enteral beslenme çözeltilisinin sıcaklığa bağı olarak değişen termofiziksel özellikleri	39
Çizelge 4.2 Diyet fiber içermeyen enteral çözelti viskozite değişimimn hesaplanması için gerekli için m ve n değerlerinin sıcaklıkla değişimi	39
Çizelge 4.3 Diyet fiber içeren enteral çözelti viskozite değişimimn hesaplanması için gerekli için m ve n değerlerinin sıcaklıkla değişimi	40
Çizelge 4.4 Sıcaklığın fonksiyonu olarak diyet fiber içerikli enteral çözelti ısısal ve fiziksel özellikleri	40
Çizelge 4.5 Lumped Sistem yaklaşımı kullanılarak hızlı ısınan sisteme ait elde edilen ortam ısı transfer katsayısı değişimi	41
Çizelge 4.6 Lumped Sistem yaklaşımı kullanılarak daha yavaş ısınan sisteme ait elde edilen ortam ısı transfer katsayısı değişimi	41
Çizelge 4.7 Model – deney sonuçları karşılaştırılması kapsamında hesaplanan RMSE (denklik 4.1) değerleri	57

1. GİRİŞ

Enteral beslenme uzun süredir uygulanmakta beraber, bu yaklaşımın başlangıcı olarak eski Mısır bilinmektedir. Bu kapsamda enteral beslenme uygulaması daha sağlıklı yaşama sahip olma amacıyla yapılması yanında ishal tedavisi için kullanılmaktaydı. Enteral beslenme materyali için o dönemde kullanılan en temel malzemeler şarap, süt, peynir altı suyu proteini, buğday ve arpa sularıydı. Bu tedavi yönteminin tarihi incelendiğinde burun, kalın bağırsak, mide hedefli uygulamalarının biftek, çiğ yumurta, viski karışımı yardımıyla yapıldığını görmek gayet mümkündür (Harkness 2002). Belirtildiği üzere, enteral beslenmenin tarihi çok eski zamanlara dayanmakla beraber net bir tarih olarak 1598 verilebilir. Bu tarihte Venedik doğumlu bir doktor olan Capivacceus'un bir hastasının yemek borusuna sıvı bir çözeltiyi iletme amacıyla tüp kullanması enteral beslenmenin ilk örneği olarak literatürde gösterilmektedir. 1790 yılında ise tedavi amaçlı ilk enteral beslenme yöntemi, John Hunter (1728-1793) isimli bir cerrah tarafından balina kemiği temelli bir tüp yardımı ile gerçekleştirilmiştir. 1837 yılında ise enteral beslenmeye yöntemine ait cerrahi yaklaşım Egeberg isimli bir Norveçli cerrah tarafından denenmiştir. Beslenme ve ilaç takviyesi amacıyla köpeklerde enteral beslenmenin bir alt kolu olan gastrostomi yapıldı (Wolf 1993). 1910 yılında, bu gelişimlere en önemli katkılardan birini enteral beslenme çözeltisini, duodenum'a ulaştırmaya yarayacak nazogastrik tüp yöntemini geliştiren Einhorn yapmıştır. Gross ve Held (1915)'te yaptıkları çalışma sonucunda Einhorn'un çalışmasını bir adım öteye götürerek bu tüpü daha da uzatarak ince bağırsağın bir uç noktası olan jejunum hedefli enteral beslenmeye olanak sağlamışlardır. Enteral beslenmede yaşanan bu önemli gelişmeler sonucunda 1917 yılında Lena Cooper ve Lulu Graves'in yöneticiliğini yaptığı American Association of Dietology kurumu tarafından enteral beslenmenin temel prensipleri yayınlanmıştır. Bu ve buna benzer önemli gelişmeleri takiben ASPEN (American Society for Parenteral and Enteral Nutrition) 1976 yılında parenteral ve enteral beslenme alanındaki bilim insanlarının iletişimini kuvvetlendirmek ve cesaretlendirme misyonu altında kurulmuştur (Vassilyadi ve Panteliadou 2013). Enteral beslenme açısından en önemli değişim noktası ise 1900'lerin başlarında gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalarda, daha önceki gibi hedef bölgeye iletimi tüp yoluyla yapmak yerine, hedef bölgeye besini direk iletme amacı olan nazogastrik tüp yöntemi

kullanılmıştır (Vassilyadi vd. 2013). Enteral beslenme çözeltilerinde karşılaşılan en büyük problem, çözeltinin içerdiği mikrobiyal yük kapsamında ortaya çıkmıştır. Enteral beslenme çözeltilerinden izole edilen farklı mikroorganizmalar arasında *Enterobakterler*, *Escheria coli*, *Klebsilla*, *Salmonella* Enteritidis, *Pseudomonas aeruginosa*, *Moraxella*, *Bacillus cereus*, *Staphylococcus aureus* ve *Staphylococcus epidermis* gibi bakteriler belirlenmiştir. Bu kapsamda, bakteriyel kontaminasyon sebebiyle ciddi seviyelerde klinik problemlerle karşılaşılmasına karşın, Caswell vd. (1981) *Enterobacter cloacae* kaynaklı çok miktarda kan zehirlenmesi ile sonuçlanan klinik vaka tespiti yapmıştır. Enteral beslenme tipleri içeriğindeki farklı ingrediyelemlere ve paketleme şekillerine göre değişiklik gösterebilmektedir (Çizelge 1.1). Enteral beslenme çözeltileri steril şişeler veya katlanabilir paketler yardımıyla paketlenmekte olup, enteral beslenme çözeltilerinde karşılaşılan en büyük sorun kontaminasyondur. Fabrikasyon düzeyinde bu riski yaratabilecek sebepleri ürünün hazırlanma, dolum, paketleme veya depolama aşamalarının herhangi birinde görmek mümkündür.

Enteral besleme çözeltilerinde kontaminasyon kaynakları sırasıyla, çözeltinin içerdiği malzemeler gelmektedir. Hastane ortamında çözeltilerin hastalara uygulanması sırasında meydana gelen kontaminasyon kaynakları ise ticari ürünün sterilizasyonu sonrasında ortaya çıkan faktörler olarak belirlenmiştir. Bunlar arasında çevrede bulunan çiçekler, hastane hava ortamı ve uygulayıcı kişilerin hijyeni bulunmaktadır. Bastow vd. (1982) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada ise çözeltilere ek malzeme takviyesi durumunda da önemli bir kontaminasyon durumunun ortaya çıkabileceği gösterilmiştir. Bu kontaminasyon durumunun 21 -24 °C sıcaklıktaki hastane ortamında bulaşma sonrasında 24 saat içerisinde mevcut çözeltide 10^8 - 10^9 /mL bakteri sayısının ortaya çıkabileceği de ayrıca (Leeuw ve Vandewoude 1986) tarafından gösterilmiştir. Kullanılan enteral beslenme çözeltisinde $>10^8$ /mL bakteri bulunması durumunda kan zehirlenmesi enfeksiyonuna bağlı sendromların olduğu vakalarda gözlenmiştir. Bu kapsamda, kurumsal denetlemelerin ve ürün izlenmesinin önemli olduğu ve bu konuda kontaminasyon kaynaklarının belirlenmesi ve önlenmesi konusunda çalışmaların yapılması gerektiği net olarak ortaya çıkmıştır (Fagerman 1992).

Çizelge 1.1 Yaygın halde kullanılan enteral beslenme çözeltileri (Best 2008)

Beslenme Çeşidi	İdeal Hacim	Kullanılması önerilen durumlar	Örnek Ürünler
Standart besleme(lif içerikli ve lif içeriksizi)	500 ml, 1000 ml, 1500 ml	Besinsel destek il öneri olarak sunulduğu durumlarda, lif içerikli olanları bağırsak hareketlerini düzeltme amacıyla kullanılmaktadır.	Jevity (Abbott) Isosource Standard (Nestle Nutrition)
Yüksek enerjili besleme(lif içerikli ve lif içeriksizi)	500 ml, 1000 ml, 1500 ml	Huntington's korusu gibi besinsel ihtiyacının artış olduğu durumlarda kullanılır.	Novasource GI Forte (Nestle Nutrition)
Düşük enerjili besinsel yünden zengin besleme	1000 ml,1200 ml	Uzun süreli enteral beslenme tedavisi altında olup enerji ihtiyacı duyulmayan durumlarda kullanılır.	Nutrison 1000 Complete Multi Fibre (Abbott)
Yüksek protein içerikli besleme(lif içerikli ve lif içeriksizi)	1000ml	Protein ihtiyacı artan hastalarda kullanılır. Örnek: Basınçlı ülser	Nutrison Protein Plus (Nutricia)
Yarı-elementel besleme	500 ml, 1000 ml	İnce bağırsak sendromu çeken hastalarda kullanılır.	Perative (Abbott) ml Peptamen (Nestle Nutrition)
Elementel besleme(önceden sindirilmiş halde bulunan basit formülasyona sahip içerikli tür: proteinler amino asit, yağlar yağ asidi, karbonhidratlar glukoz halinde bulunur.)	Kullanılmadan önce sulandırılarak kullanılır.	Crohn's hastalığı, ince bağırsak sendromu vb. çeken hastalarda kullanılır.	Elemental 028 (SHS International, Liverpool) Elemental 028 Extra (SHS International)

*Bu tablodaki veriler en genel anlamda hazırlanmış olup içerikte değişiklik gösterebilir.

Kontaminasyon riski ve steril ürün elde edilmesi bağlamında sıvı enteral beslenme çözeltilere uygulan sterilizasyon prosesi üretimin, ürün hazırlanmasından sonraki en önemli aşamasıdır. Gıda muhafazası alanında son yıllarda kaygı değer gelişim gösteren ve genellikle termal olmayan prosesler olarak bilinen şiddetli elektrik alan, yüksek miktardaki hidrostatik basınç, ultraviyole ışın ile muamele gibi uygulamalara rağmen termal sterilizasyon uygulamaları halen gıda endüstrisinde son ürünün korunması açısından en çok kullanılan yöntem olup enteral çözeltiler için de bu durum sözkonusudur. Sterilizasyon prosesinin temel olarak iki farklı uygulanma şekli vardır. İlk uygulama şekli aseptik proses olarak bilinen ürünün ambalajlanmadan önce steril hale getirilip steril koşullarda steril ambalaj malzemelerine doldurulmasıdır. İkinci uygulama şekli ise ürünün önce ambalajlanıp, hermetik olarak kapatıldıktan sonra ısı işlem uygulaması ile steril hale getirilmesidir. Bu durum proses olarak konserve uygulaması şeklinde olup konservenin ürünün sonradan sterilizasyonu konusu yıllardır çok detaylı bir şekilde araştırılmaktadır. Bu durum 200 yıldan beri gıda endüstrisi ve proseslerinin önemli bir bölümünü oluşturmaktadır. Sterilizasyon, en elverişli koruma yöntemi olarak çok geniş bir kullanım alanına sahip olup, hedeflenen ürün içerisinde bulunan mikroorganizmaların tamamını inaktive etmek amacıyla kullanılan bir uygulamadır. Sterilizasyon işleminde sporlu bakterilerin de inaktive edilmesi amacıyla yüksek sıcaklık kullanımı tercih edilmektedir (genel olarak 121 - 140°C arası). Ancak yüksek sıcaklık uygulaması sonucu üründe kalite kayıpları olabileceği gibi gerekli vitamin ve elzem amino asitlerde de kayıplar meydana gelebilmektedir. Bu bağlamda mutlak sterilizasyonun yanı sıra ticari sterilizasyon olarak da adlandırılan ve uygun sıcaklık - depolama koşullarının kombinasyonu kapsamında kullanılan yaklaşımlar da kullanılmaktadır (Teixeira 2015).

Günümüzde geleneksel sterilizasyon yöntemleri gıda endüstrisinde ağırlığını hala korumaktadır. Bu uygulama yüksek basınç altında ürün soğuk nokta - soğuk bölge sıcaklığının 100 °C'nin üzerine çıkartılarak gerekli sterilizasyon değerinin elde edilmesi amacıyla retort sistemler kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Gıda endüstrisinde termal sterilizasyon 2 başlık altında incelenebilir. İlk başlık olarak konteynir içi proses (retort sistemler) ve ikinci başlık olarak UHT (Ultra - high temperature) prosesi olarak söylenebilir. Termal sterilizasyonun en büyük avantajları

arasında çok uzun raf ömrü süresine sahip gıda ürünleri oluşturabilmesi gösterilmektedir (Li ve Farid 2016).

Bu kapsamda bu tez çalışmasında enteral beslenme amacıyla hazırlanan çözeltilerin sterilizasyon çalışması yapılacak ve proses koşullarının optimize edilebilmesi amacıyla çözeltilerin sterilizasyonu esnasındaki sıcaklık değişimi matematiksel modelleme çalışmaları ile belirlenecektir. Elde edilen ürün sıcaklık dağılımına bağlı olarak, üründe meydana gelen vitamin kayıpları için de ayrıca matematiksel model temelli kinetik analiz çalışmaları ayrıca yapılacaktır. Halen, ülkemizde enteral beslenme çözeltileri üretimi sınırlı olup, bu ürünler ithalat kalemlerimizden birisidir. Bu tez kapsamında, bu çözeltilerin hazırlanması ve sterilizasyonu için proses çalışmaları yapılacak ve sanayi ölçekli bir üretim için gerekli proses koşulları belirlenmiş olacaktır. Bu çalışmada enteral beslenme amacıyla hazırlanmış likit çözeltilerin sterilizasyonu sırasında oluşan sıcaklık değişiminin belirlenmesi ve bu sıcaklık değişiminin kullanılarak sterilizasyon değeri ile ürün vitamin içeriğinde meydana gelen değişiklikleri hesaplanması için bir matematiksel model geliştirme çalışması yapılacak ve sıcaklık değişim sonuçları deneysel veriler kullanılarak doğrulanacaktır. Bu çalışmanın sonuçları özellikle sanayi ölçekli enteral beslenme çözeltisi üretim için gerekli proses koşullarının belirlenmesi ve ölçeklendirme çalışmaları için endüstriyel temelde önemli olacaktır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

2.1 Enteral Beslenme

Enteral beslenme organizmaların strese karşı tepkisini azaltıp bununla beraber bağışıklık sistemini olumlu yönde etkileyen tıpta güncel bir tedavi şeklidir. Ek olarak bu alandaki bir diğer tedavi yöntemi olan parenteral (damar içine sıvı enjekte yöntemi) yöntemden daha ucuz olup hastaların yatış sürecini düşürüp ciddi komplikasyonlar ve enfeksiyon durumlarında daha iyi sonuç vermektedir. 30 yıl öncesinden beri özellikle malnütrisyonun hastalık oluşturuca bir bağımsız risk faktörü olarak tanımlanmasından sonra beslenme metodu kaygı değer bir gelişim sergilemiştir. Enteral beslenmenin bir tedavi yöntemi olarak seçilmesi durumunda enfeksiyon kapma ihtimalini ve bağırsak sisteminin bakterilere karşı direncini artırmak amacıyla hastaneye ilk girişten sonra tekabül eden 24-48 saat içinde bu yöntemle başlanmalıdır. Farklı toplumlardan enteral beslenme tedavi metodunun kullanıldığı değişik durumlara ilgili bilgi ve kanıt seviyeleri GRADE Working Group tarafından toplanmıştır (Çizelge 2.1). Enteral beslenme açısından diğer yapılan çalışmalara kısaca değinmek gerekirse, Gramlich vd. yaptıkları çalışmaların sonuçlarına dayanarak enteral beslenme az miktarda da olsa enfeksiyona öncülük etmekle beraber bu tip enfeksiyonların hastaların hastanede kalış sürelerini veya ölüm süreci üzerine etkisinin olmadığı belirtmişlerdir. Bunun yanında Simpson vd (2005) yaptıkları meta analiz sonuçlarının değerlendirmeleri üzerine enteral beslenme yönteminin diğer bir beslenme yöntemi olan parenteral beslenme yöntemine göre daha az ölümlerle sonuçlanması yanında diğer yöntemlere göre daha fazla enfeksiyon sorunlarına yol açtığını tespit etmiştir. Peter ve arkadaşları uyguladıkları meta-analizler sonucunda erken süreçte parenteral ve enteral beslenme yöntemlerinin ikisinde ölüm sürecine etkisi üzerine bir fark olmadığını ama bu sonuçlara rağmen enfeksiyonel ve enfeksiyonel olmayan komplikasyonlar açısından parenteral tedavi yöntemi uygulananlarda komplikasyonlar daha fazla görülmüştür (Seron-Arbeloa vd. 2013).

Özel enteral beslenmeye dair bulunan bilgiler arasında hastalık etkenliği düzeyinde azalmakla beraber histolojik anlamda kaygı değer gelişimlere yol açtığını bilinmektedir. Bunun yanı sıra kilo alımı gerektiren durumlarda gereken etkiyi sağladığı ve bunun

yanında birçok sağlık durumunda olumlu etkileri bilinmekle beraber bu çalışmada tedaviyi yeni alan çocuklar ve uzun vadede tedavi edilenler çocuklarda bile olumlu etkileri kanıtlanmıştır. Bunların yanı sıra enteral beslenmenin kişiye özel yapıldığı durumlardaki (ör; enteral beslenme sürecinde normal diyetin kesilmesi durumunda) etkilerinin optimizasyonuna dair yakın bir zaman içinde tamamlanan bir çalışmada, tedavi uygulandığı andan sonraki tekabül eden 6-8 haftalık periyot içerisinde etkileri çok net bir şekilde gözlemlenmiştir. řu an uygulanan araştırmada ise tedavi süreçleri devam eden ocuk hastaların durumlarında 4-6 haftalık süreç içerisinde hafifleme durumu gözlemlenmiş ve buna ek olarak yapılan 2-4 haftalık süreçte uygulanan tedavi kapsamında sergiledikleri davranışlar analiz edilmiş ve enteral beslenmenin optimizasyonu için 8 haftalık süreç diliminin doğru bir bilgi olduğu anlaşılmıştır (Jackson vd 2006).

Enteral beslenme, durumu acil olan hastalara uygulanan bir beslenme metodu denilmekle beraber oral yolla beslenmesi sakıncalı olan hastalara genellikle tercih edilen bir beslenme metodudur. eyrek asır öncesinde, Mandel ve Worthy yoğun bakım ve hastane genel servislerinde yaptığı birçok araştırmanın sonucu olarak enteral beslenme yönteminin hedeflenen besin desteği açısından yetersiz olduğunu açıkladı. Bu duruma sebep olan en önemli faktör olarak hipokalorik beslenmede enteral beslenme konusunda danışılabilecek kişi sayısının yetersizliğiydi ve bunda en önemli pay sahibi olarak kalori ihtiyacının karşılanmasının ikincil bir sorun olarak görölmüştür. Bununla beraber hipokalorik beslenme günümüzde hala sorun teşkil etmekte ve halen yetkililer tarafından denetlenmektedir ve bu denetleme kapsamına enteral beslenme zorunluluğu bulunan durumu ağır hastalar da dahildir (West vd. 2005).

Enteral beslenme tedavi yönteminde farklı eşitleri bulunmakla beraber bunlar:

- **Nazogastrik tüp yöntemi:** Bu yöntemde hedeflenen bölge mide olmakla beraber bu tedavi yöntemi etkileri net bir şekilde görebilmek için gereken optimum süre aralığı 4-6 haftadır.
- **Nazojejunal tüp yöntemi:** Bu yöntemde hedeflenen bölge ince bağırsağın ikinci önemli bölümü olan jejunumdur.

- **Jejunostomi tüp yöntemi:** Bu yöntemin ideal olarak tercih edildiği iki durum mide ve yemek borusu ameliyatı geçiren hastaların tedavisidir.
- **Radiolojik açıdan yerleştirilmiş gastrostomi tüp yöntemi:** Bu yöntem sıklıkla kullanılmamakla beraber bu yöntem x-ray cihazı altında ağızdan verilmemekle beraber direk mideye ameliyatla konulmaktadır.
- **Perkütan endoskopik gastronomi tüp yöntemi:** Bu yöntem yine nadir şartlar altında tercih edilmekler beraber karın bölgesinde ameliyat yardımıyla açılması ve mideye yine ameliyat yardımıyla konulmaktadır (Anonim 2020a).

Çizelge 2.1 Enteral beslenme gereksiniminin ihtiyaç duyumunun seviye tespiti (Seron-Arbeloa vd. 2013)

Enteral beslenme yönteminin tavsiye edildiği kritik hastaların durumlarının özeti	Kanıt Seviyesi
Düşük miktarda enfeksiyon seviyesi tespiti ve bunun yanında hastanede kalım süresinin uzaması	A
Oral yolla beslenmede 3 günden fazla süredir sıkıntı yaşaması ve kesinlikle alınması gereken spesifik bir besin desteği varsa	C
Parenteral beslenme yerine enteral beslenme tedavi yönteminin tercih edilmesi durumunda	B
Enteral beslenme günde 20-30 kcal/gün olarak hastalara verilmelidir.	C
Enteral beslenme hastalar üzerinde kullanılabilmesi için hemodinamik (Damar yatağındaki dolaşım hacmi normal düzeydedir. Vücutta sıvı açığı ya da sıvı fazlalığı yoktur.) açıdan stabil olunana kadar hastalar beklenmelidir.	C
Yoğun bakım hastalarında bağırsakta ses mevcudiyeti olsun yada olmasın bağırsak sisteminde gaz tespit edilmesi durumunda direkt başlanmalıdır.	B

* Kanıt seviyesinin önem sıralaması sırasıyla A, B, C'dir.

Enteral beslenme çözeltileri uzmanlar tarafından belirlenen günlük alım miktar aralığı 100-2000 mL olarak belirlenmiştir. Kullanılan solüsyonlarda yüksek seviyelerde bir kontaminasyon olma ihtimali bir insanın hayatı açısından tehlike oluşturmaktadır. Hastane içinde yapılan araştırma ile kontamine olduğu tespit edilen çözeltiler üzerinde

yapılan analizler sonucunda bu çözeltilerin $10^3/\text{mL}$ - $10^9/\text{mL}$ gram negatif *Bacillus* bakterisi içerdiği tespit edildi. Bu miktarlar hastalar üzerinde sepsis, idrar yolu enfeksiyonu ve pneumonia gibi yan etkiler göstermiştir. Birçok ülkeden yapılan çalışmalar sonucunda bulunan veriler üzerine enteral beslenme çözeltilerinin en çok kontamine olduğu aşamanın hazırlama aşaması olduğu sonucuna varıldı ve bun sebep olarakta karıştırıcı veya elle hazırlayan kişilerinin hijyen koşullarına yeterince uymadığı düşünülmektedir (Oie vd. 1993).

Roy vd. (2005)'de farklı hastanelerden topladığı enteral beslenme çözeltileri üzerinde yapılan mikrobiyolojik analizler sonucunda ilk örneklerde 26 örneğin 9'unda (%35) ($> 10^2$ CFU/mL) bu örneklerin diğer 5'inde ($> 10^4$ CFU/mL) tespit edilmiştir. Bu ilk %35'lik dilimdeki 9 çözeltilinin 8'i yapılan eklemeler sonucu kontamine olduğu tespit edilmiştir. Yine bu dilime ait olan çözeltiden 3 tanesinde birden fazla insan sağlığını tehdit edebilecek mikroorganizma tespit edilmiştir. Bu çalışmanın devamında yapılan ikinci başka bir çalışmada analiz yapılan 14 ürünün 8'inde (%57) kontaminasyon ($> 10^2$ CFU/mL) tespit edilmiştir.

Okuma vd.(2000)'de enteral beslenme çözeltilerinin kontaminasyonları üzerine yaptıkları öncü bir çalışmada analiz ettikleri örneklerin çoğunda 10^8 CFU/mL'nin üzerinde mikrobiyal yük tespit edilmiştir. İzole edilen örneklerin çoğunda organizmalar koagülaz negatif *stafilokok*, *streptokok*, gram negatif *bacillus* içermektedir. Kontaminasyon düzeyi düşürmek amacıyla bu çalışmada izlenen öncü protokol hastanede kapalı ve steril bir mutfak alanının hazırlanmasıydı. Farklı risk faktörleri tespit edilmekle beraber bunlar; çözeltilerinin hazırlandığı ortamın kirliliği, yetersiz el temizliği ve çözeltilerin kullanılacak kaplara aktarılırken ki ortamın kirliliğidir (Patchell vd. 1998).Tıp alanında birbirinden farklı yapılan çalışmalara göre kontamine olmuş enteral beslenme çözeltilerinin hastalar üzerinde sepsis veya ishale sebep olduğu görülmekle beraber bu yan etkiler en çok hastanelerin yoğun bakım servislerinde tespit edilmiştir. Enteral beslenme yönteminin kullanıldığı ve kullanılan çözeltilerin kontamine olduğu ($> 10^5$ CFU/mL) durumlarda hastalarda yan etki olarak ishal gözlemlenmiştir.

Enteral beslenme çözeltilerindeki başlıca bakteriyel kontaminasyon kaynağının hazırlama aşamasındaki tedbirsizlik olduğunu gösteren birçok çalışma yapılmış olsa da bu tedavi yönteminde kullanılan nazogastrik tüplerdeki mikoribiyal koloni sayımını in vivo şekilde inceleyen bir yöntem olmadı. Bu tedavi yönteminde kontaminasyon kapsamını belirlemek amacıyla yapılan bu çalışmada izole edilen şuşların mevcut antiyobitik duyarlılıklarında incelendi. 31 hasta için hazırlanan enteral beslenme çözeltileri hastaların üzerinde kullanılmadan toplanılıp üzerlerine yapılan çalışmalar sonucunda 7 çözeltilinin kontamine olduğu tespit edilmiştir. Bu 7 çözeltilinin hepsi hastane servisi tarafından hazırlanmıştı. Kontaminasyon tespiti yapılan 7 örnekten 4 'ünde beklenen seviyelerin çok üzerinde ($10^5 - 10^7$ CFU/mL) , bu miktarların en büyük sebebi olarak hazırlanma sürecindeki kusurlar, hazırlandıktan sonra oda sıcaklığına fazla bir süre maruz kalması vaebeslenme tüplerine aktarım sürecindeki kusurlar olarak öne sürülmüştür. Yapılan çalışmalar eşğinde yüksek miktarda kontamine olan bu örneklerden 2'sinde tespit edilen *E.clocae* ve *K. Pneymoniae* mikroorganizmaları üzerine bu örneklerin başlıca kontaminasyon kaynağının el ile bulaştığı tespit edilmiştir. Bunların yanı sıra 31 tüpten toplama 102 adet şuş izole edilmiştir (Marechal vd. 1992).

Jalali vd. (2009)'da yaptığı toz halinde bulunan enteral beslenme çözeltilerinde kontaminasyona dair Filipinlerde yapılan başka bir çalışmada ise, %75'ten %96'ya kadar kontamine olduğu tespit edilen çözeltilerde 10^1 CFU/g gibi ciddi yan etkilere sebep olabilecek kontaminasyon tespit edilmiştir (Jalali vd. 2009). Çalışmanın ikinci safhasında Sudi Arabistan'da çıkan sonuçlar da ise daha yüksek kontaminsyon seviyeleri ortaya çıkmıştır (10^4 CFU/g). Bunun yanı sıra İran'da gerçekleştirilen üçüncü aşamada ise örneklerin %70'inin koliform açısından kontamine olduğu ve bu örneklerin %87'sinin mikrobiyal yükünün 10^1 CFU/g üzerinde olduğu tespit edilmiştir. Bunun yanı sıra standard plate count yapılan çalışmaların bu örneklerin %90'ının *S. Aeureus* açısından kontamine olduğu tespit edilmiştir. Bunların yanı sıra olarak bu örneklerin hiçbirinde *Salmonella* ve ya *Listeria* şuşlarına rastlanılamamıştır.

Enteral beslenme çözeltileri protein, karbonhidrat ve yağ gibi makrobesinleri vücuda sağlamak amacıyla üretilmektedir. Bu tip çözeltilerde genellikle karbonhidrat başlıca

makro besindir ve bunun temel kaynağı olarak maltodekstrinler, mısır şurubu, hidrolize mısır nişastasıdır.. Bu tarz karışımlar hazırlanış formülleri glütensiz ve laktozsuz hazırlansa bile sükröz ve fruktoz içerme ihtimalleri vardır. Bu tarz karışımlarda protein kaynaklarında da çeşitlilik söz konusudur. Örnek olarak, bozulmamış veya hidrolize olmuş soya, kazein, peynir altı suyu protein veya kristallendirilmiş proteinler verilebilir. Peptit içeren formüle sahip çözeltiler bazı durumlarda hastalarda pankreatik hastalıklar veya ısrarcı ishalde neden olabilir. İshal ile karşılaşma riskini en düşük seviyelere indirmek amacıyla bu tip çözeltilerin diyet fiber bazlı çeşitleri de piyasada mevcuttur. Enteral beslenme amacıyla hazırlanan tüm karışımlar sterilizasyon uygulaması yapılmadığı takdirde patojenik bakteriler için ideal bir üreme ortamıdır. Buna bağlı olarak engelleme amacıyla kullanılan çözelti ve enjeksiyon setinin her 24 saatte bir değiştirilmesi gerekmektedir (Preiser ve Brito-Ashurst 2016). Amerika'nın Arkansas eyaletine bağlı yerel bir hastanenin yeni doğan ünitesinde yapılan enteral beslenme çözeltilerinin kontaminasyonu üzerine olan bir çalışmanın sonuçları çok şaşırtıcı olarak değerlendirilmiştir. 4 ay boyunca gözlemlenen hastalardan toplanan 125 tüplük enteral çözeltilerin 75'inin mikrobiyal yükü 1000 CFU/mL'nin üzerinde olmakla beraber bu çözeltiler *S.epidermidis* ve *A. Streptococcus* içermektedir. Bu bilgilere en olarak 125 örnekten sadece 7 tanesi tam anlamıyla sterildi. Bu örneklerden izole edilen bazı şuşlarda *S epidermidis*, *Enterococcus faecalis*, *Staphylococcus aureus*, *Enterobacter cloacae* ve *Klebsiella pneumonia*'ydi. Gram-negatif bakterilerin bu çözeltilerde varlığının açıklanabileceği tek mantıklı sebep ise hastane enfeksiyonlarıdır. Bu bulunan bakteriler mevcut hastalara ilgilene hemşirelerinin hijyenini birebir göz önüne sermektedir (Mehall vd. 2002). Kosta Rika'da bulunan en büyük 5 hastaneden alınan 124 enteral beslenme çözeltileri üzerinde çok geniş çaplı bir çalışma yapılmıştır. Bu toplanan örneklerin yarısı ticari firmalar tarafından üretilen çözeltiler olmakla beraber kalanı hastane içinde hazırlanan çözeltiler olup bu çözeltilerin %18 taze meyve, %27 pişirilmiş sebze, 3% süt ve %2'side et broth ile üretilmiştir. Bu çözeltilerin tedarik edildiği mekanların ortalama sıcaklığı 25-30°C'dır. Bu çözeltiler üzerinde yapılan çalışma sonucunda elde edilen gram negatif bakteri verileri Çizelge 2.2'de verilmiştir. Bu tarz çözeltiler için kabul edilebilir limit olarak 10² CFU/mL ve altı olarak literatürde belirtilmiştir. Bu bilgi ışığında analizi yapılan ürünlerin yalnızca %20'sinin kabul edilebilir seviyede olduğu söylenebilir. Bütün bunların yanında bu ürünlerden en çok

izole edilen şuşlar çizelge 2.2’de belirtilmiştir. Bütün örneklerde tespit edilen 10^3 ’ten 10^9 CFU/mL’eye kadar çıkan kontaminasyon miktarları hastalarda ishale ek olarak sepsis(bağırsak ağrısı), akciğer iltihaplanması ve idrar yolu enfeksiyonu gibi sorunlara sebep olmuştur. (Arias vd. 2003).

Çizelge 2.1 Analize alınan ürünlerdeki gram negatif bakteri miktarları (Arias vd. 2003)

Enteral Beslenme Çözeltisi	Toplam Koliform (CFU/ml)	Fekal Koliform(CFU/ml)	Pseudomonas şuşu(CFU/ml)
Ticari garantili çözelti	$2.5 \times 10^6 \pm 1.1 \times 10^7$	$2.3 \times 10^5 \pm 1.1 \times 10^7$	$1.1 \times 10^5 \pm 1.2 \times 10^5$
Taze meyve bazlı	$4.4 \times 10^5 \pm 1.5 \times 10^6$	$4.3 \times 10^5 \pm 1.4 \times 10^6$	$3.4 \times 10^5 \pm 1.4 \times 10^6$
Pişirilmiş sebze bazlı	$4.9 \times 10^6 \pm 1.6 \times 10^7$	$1.4 \times 10^6 \pm 1.0 \times 10^6$	$6.4 \times 10^6 \pm 1.9 \times 10^7$
Et broth bazlı	$2.2 \times 10^7 \pm 3.7 \times 10^7$	$2.1 \times 10^6 \pm 1.7 \times 10^6$	$3.6 \times 10^5 \pm 2.2 \times 10^4$
Süt bazlı	$1.6 \times 10^6 \pm 3.2 \times 10^6$	$1.0 \times 10^4 \pm 1.0 \times 10^2$	$1.6 \times 10^6 \pm 1.2 \times 10^6$

Çizelge 2.2 Yapılan denetimlerde izole edilen bakteri ve miktarları (Arias vd. 2003)

Bakteri	İzole edilen miktar	%
<i>Enterobacter sp.</i>	5	4.6
<i>Enterobacter cloacae</i>	29	27.0
<i>Klebsiella pneumoniae</i>	16	15.0
<i>Klebsiella oxytoca</i>	4	4.0
<i>Klebsiella oxytoca</i>	3	3.0
<i>Enterobacter agglomerans</i>	7	6.6
<i>Serratia sp.</i>	9	8.3
<i>E. coli</i>	12	11.3
<i>E. harmanni</i>	2	2.0
CDC Ent Group 41	2	2.0
<i>Kluyvera</i>	2	2.0
Tespit edilemeyen	15	14.2
Toplam	108	100

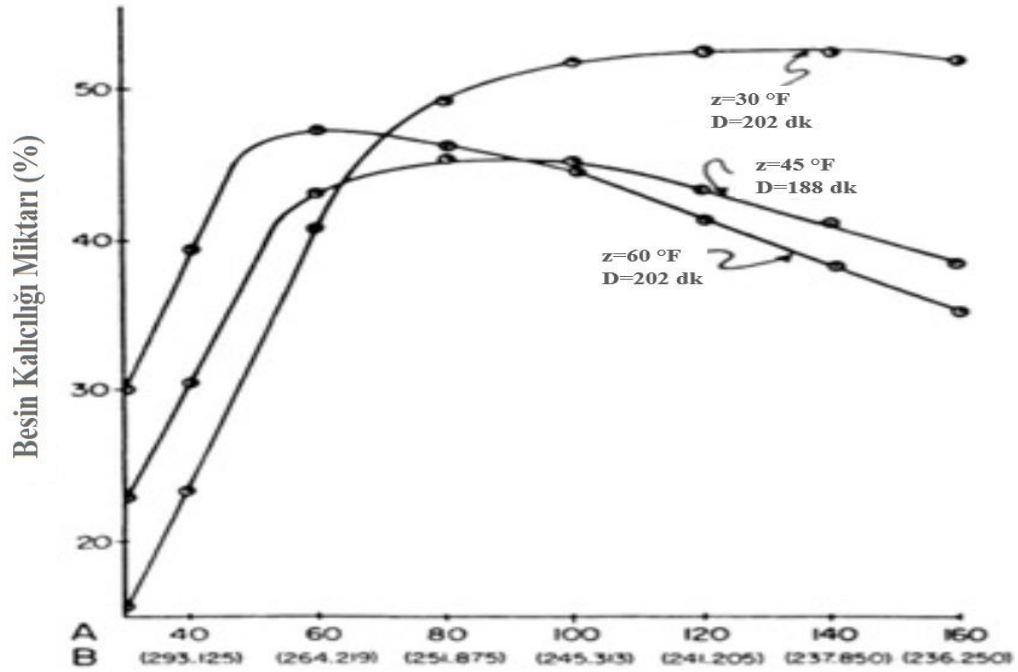
2.2 Retort Sistemde Isıl İşlem

Steril kelime anlamı olarak incelenen ortamda hiçbir canlı mikroorganizmanın varlığının olmadığı veya canlı bir organizmanın kendi sayısını çoğaltabileceği bir uygun şartların olmadığı durumdan gelir. Bunun devamı olarak sterilizasyon kelimesi gıdanın steril olması için yapılması gereken bütün yöntemlere denir. Bazı ekstrem şartlar altında farklı mikroorganizmalar veya sporlarının ısı işlemlere karşı aşırı başarılı bir şekilde direnebildiği gözlemlenmiştir. Bu koşulların mevcudiyeti altında, ısı işlem prosesi yerine gıdanın içeriği veya besleyici değeri üzerinde oynamalar yapılır. Bu bilginin ışığında, sterilizasyon kavramının tek olarak gıda üzerine uygulanabilecek ısı işlemler olarak değil de gıdayı koruma adına yapılabilecek diğer bütün teknik, paketlenme veya depolama koşulları üzerinde yapılabilecek değişimler vb. içeriklerle de bağlantılı bir kapsamdır. Bu yöntemlerin uygulanması en temel amacı ise gıda üzerinde pasif halde bulunan mikroorganizma veya sporların depolama esnasında aktif hale gelmesini engellemektir. Bunun yanında, pastörizasyon veya ticari sterilizasyon uygulamaları için besinlerin kalıcılığı üzerine yapılabilecek bir proses optimizasyonu daha avantajlıdır. Buna en büyük sebep olarak bu besinlerde bulunması muhtemel mikroorganizmaların aktivasyon enerjilerinin kıyaslanabilmesi gösterilebilir.

Texeira ve ark. (1975) yaptıkları bir çalışmada gıda ambalaj geometrisinin gıdanın besleyiciliği üzerine etkisini araştırmış ve ısı transferi için minimum alan sağlandığında besinlerin korunmasının maksimum seviyede olduğunu kanıtlamıştır. Sabit retort sistem sıcaklığı üzerine olan veriler şekil 2.1’de belirtilmiştir. Farklı retort sistem kullanım şekilleri olmasına rağmen bu çalışmada da kullanılan sabit olan retort kullanım sıcaklığı besinlerin kalıcılığı açısından en avantajlı kullanım yöntemidir. İçinde ticari sterilizasyonu da barındıran gıda besleyiciliği korumak amaçlı yapılan optimizasyon çalışmaları ile ilgili bilgiler Çizelge 2.4’de verilmiştir (Lund, 1983).

Çizelge 2.3 Besleyiciliği korumak üzerine yapılabilecek ısı işlemlerinin optimizasyonu

Proses İşlemi	Optimiasyon methodu
Şoklama	Isıl işlem kaybı dışındaki konular ele alınır (örn. Süzme kaybı, oksidatif bozulma).
Pastörizasyon	Isıl işleme karşı direnç gösterebilecek enzimler yoksa yüksek sıcaklık düşük süreli olan yöntem şekline göre yapılır.
Ticari Sterilizasyon	Konveksiyon yolu ile ısıtma ve aseptik proses: Yüksek sıcaklık kısa süreli ısı işlem uygulanır taki ısı işleme dirençli enzimlerin varlığı önem kazanana kadar

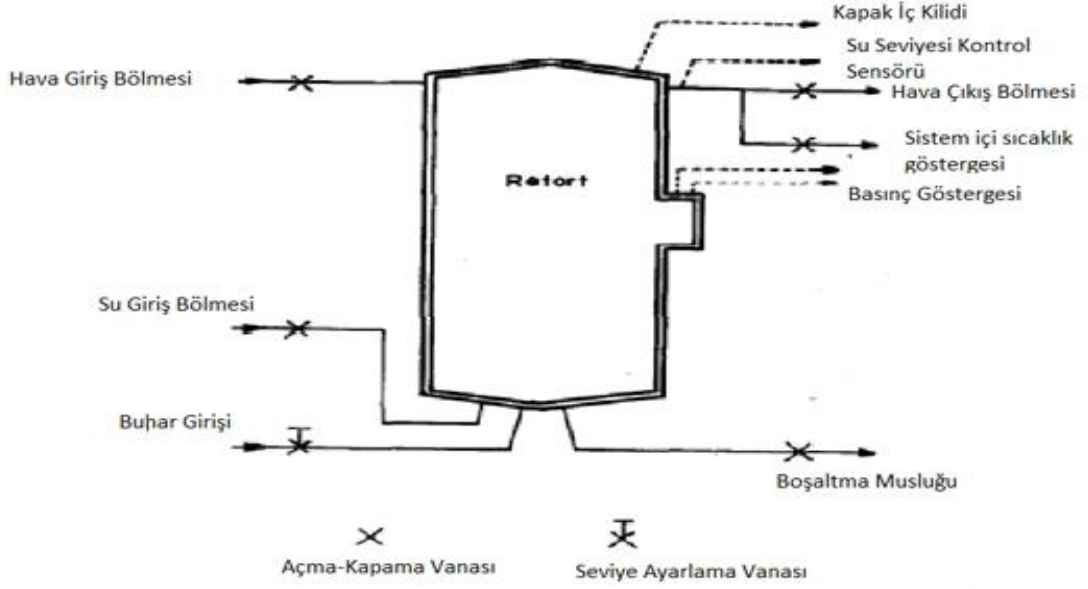


Şekil 2.1 Retort Sistem üzerine yapılan çalışma sonuçları (Yatay eksen, A: proses süresi dk; B:İlişkili retort sıcaklığı) (Lund 1983)

Sıvı formda konserve haldeki gıdaların sterilizasyonu için tercih edilen bir yöntem olarak retort sistemler gösterilebilir. Bu sistemin temel prensibi buhar yoluyla ilgili gıdayı yüksek sıcaklıklara hareket ile beraber ulaştırmaktır. Kullanım alanlarına örnek vermek gerekirse şişe, konserve veya kapalı poşetli halde bulunan sıvı gıda ürünleri gösterilebilir. Hareket ile çalışma prensibi düşük hacimdeki sıvı ürünler için bazen

uygulanması zor olabilmektedir. Kullanım alanı içini daha fazla detaya inmek gerekirse pastörize edilmiş binalar, süt, hazır çorbalar, püre haline getirilmiş konserve sebzeler ve meyve sebze suları bunlara örnek olarak verilebilir. Bu sistemde gerekli ısı enerjisi doğal konveksiyon yardımıyla gerçekleştirilmektedir (Koribili ve Aravamudan 2009).

Basit retort sistemlerin otomasyon ile kontrolüne değinmek gerekirse bu konu iki temel nokta üzerinden yürütülebilmektedir. Yapılacak olan deneylerden önce karar verilen sabit kalması gerekebilecek basınç, sıcaklık veya akış hızı gibi sabitlerdir. İkinci nokta ise izlenmesi gereken proses sırasıdır. Geleneksel olan proses kontrol yönteminde, ilk nokta daha pnomatik veya elektrikli bir şekilde idare edilmesi sağlanan otomatik kontrol sistemleri tarafından idare edilmekteydi. Bu tarz kontrol sistemleri uzun yıllar boyunca gıda endüstrisinde önemli bir nokta oldu. Bu sistemlerin temel çalışma prensibi, kontrolünün sağlanması planlanan sıcaklık, basınç vb. parametrelerin sistem içine kurulan sensör yardımıyla ölçümü sağlanıp elde edilen ölçümün bir sinyal yardımıyla takip edilip bu sinyalin kontrol vanasına iletilip açma ve kapama şeklinde parametre miktarlarının kontrolünün sağlanması üzerine dayanır. İkinci nokta ise, sistem içinde bulunan bütün kontrol döngülerine mantıklı bir sıra vererek olur. Bu iş geleneksel yöntem kullanımda zamanlayıcı veya sayaçları röle devreleri ile sisteme bağlayarak sağlanmaktadır. Bu röle devre sistemlerinin sahip olduğu en büyük avantajlardan bir kaçısı olarak, doğruluğunun kanıtlanmış olması ve dönemin gıda alanında çalışan birçok mühendisi tarafından çok rahat bir şekilde bilinirliğinin bulunmasıdır ama bunun yanında en bilinen kötü getirisi olarak da bu tarz sistemlerin esneklik payının bulunmamasıdır. Herhangi bir tesis değişikliği veya tesis içine yeni bir sistem kurulumu gerektiren anlarda, tüm sistemin kaldırılıp yeni sistem ile bağlantısı birleştirilip yeniden kurulum gerekmektedir. Bu süreç içinde yaşanacak zaman kaybı şirket verimliliği etkilemektedir. Pnömatik kontrole sahip röle kablo sistemli dizaynlar bilgisayar bazlı proses kontrol sistemlerinin çıkışıyla tarihe karışmıştır. Bu tarz sistemler, farklı veri muhafaza cihazları operatör ara yüzü veya diğer bilgisayarlara kolaylıkla bağlanabilir. Bu sebeplerden ötürü, proses sistemindeki en ufak bir değişiklikte tekrar programlanması rahatlıkla yapılabilmektedir. Şekil 2.2’de standart bir retort sistemin dizayn şeması verilmiştir.



Şekil 2.2 Geleneksel bir retort sistem şeması (Bown, 1985)

Holdsworth (1983) yılında hazırladığı bir makalede 1970-83 yılları arasında gelişen retort sistem kontrolleri üzerine araştırmaları yayınladı ve bunun yanında silindirik geometrisine bağlı kondüksiyonla ısınma denkliği yazdı bu denklik lethalite değeri ve mevcut kullanılan ürünün merkez sıcaklığı bulmaya yarıyordu. Holdsworth dönemin standart retort kontrol sistemlerin yeni olarak üretilen retort kontrol sistemlerine kıyasla proses için ürün değişiklikleri veya karşılaşılması muhtemel hatalarının tahmininde daha az başarılı olduğu fark eden bir çok bilim insanlarından biriydi. Akıllı retort sistemlerin en önemli özelliği ürünün soğuk noktası baz alınarak hazırlanan sıcaklık-zaman grafiğinin integralini alarak sterilizasyon letalite değerini hesaplayabilmesidir. Bu denklem:

$$F = \int_0^{t_h} 10^{[(T-T_{ref})/z]} dt \quad (2.1)$$

şeklinde verilebilir. Bu denklik farklı lethalite değerlerinin toplamalarının küçük zaman aralıklarındaki sıcaklık değişiminin hesaplanmasından açıklamıştır. sonra numerik integral çözümü ile hesaplanabilmektedir. Lappo ve Povey (1986) yaptıkları bir çalışmada bilgisayara bağlı 10 farklı ısı çift kullanarak buhar bazlı retort sistemin nasıl çalıştığını açıklığa kavuşturmuştur. Bu sistem yardımıyla kullanılan konservenin merkez sıcaklığı streilizasyon letalite değeri hesaplanabilmektedir. Bunun yanı sıra

Wojciechowski ve Ryniecki(1989) gerçek zamanlı akıllı retort sistemin çalışma prensibini Polanya domuz eti ve konserve bütün tavuk ürünleri üzerine açıklamıştır. Bu verilen örnekler sayesinde kontrol sistemi gerçek zaman bağlı olan retort sistemlerin daha verimli olduğu ancak tam donanımlı ambalaj kabı, kurşun kablolar ve prob gibi ekipman gereksinimi gerekli olması bir dezavantaj olarak görülebilir.

Gıda endüstrisinde tüketici sağlığı ve gıda kalitesi önemli bir şart olan ticari sterilizasyonda en önemli noktalardan biri proses işlemi için ideal sürenin belirlenmesidir. Bu konu üzerine literatürde bulunan daha önceki modelleme çalışmalarında kapsamı genel olarak kondüksiyon ile ısınma ile sınırlıydı. Bu yöntemin değişkenlik gösterdiği iki nokta ise konserve ebatı ve kullanılan materyaldir. Bu konu üzerine dair temelleri oluşturan çalışmalardan biri olan Clark (1978) silindirik şekilde kaba sahip olan materyallerin ısıl işlemine dair temel denklemleri kullanmıştır. Yapılan bu çalışma sonunda üzerinde deney yapılan bütün konserve için en yavaş ısınma gösteren kısımların boyuna olan kısımları olduğu tespit edilmiştir. Diğer bir açı olarak soğuk noktalara değinmek gerekirse, bu noktaların farklı eksenlerde değişik bölgelerde konumlandığı tespit edilmiştir. Bu noktalar tek materyale sahip konserve üzerinde yapılan deneylere göre:

- Su dolu konserve için %10-15
- Salmura içinde bulunan bezelyeler için
- Domates salçalarının %28'inde konservein merkezinde olduğu tespit edilmiştir.

Likit halde konserve içinde mevcudiyetini sürdüren gıdaların konveksiyon ile ısınmasına dair Datta ve Teixeira (1987) yaptıkları çalışmanın sonunda en yavaş ısınan noktaların %15'lik dilime sahip olan konserve için alt kısmı olduğu tespit etmiş ve bu sonucu yaptıkları su deneyleri ile teyit etmiştir. Bunların yanında, salamura ve sunun özellikleri arasında göze çarpan net bir farklılık olmamasına rağmen en yavaş ısınan kısımları arasında en ufak bir benzerlik saptanamamıştır. Bu sonuca sebep olabilecek en önemli sebep olarak salamura içinde bulunan bezelyeler gösterilmekle beraber varlığının mevcut olan konveksiyon ile gerçekleşen ısı transferini kestiği düşünülmüştür. Ek olarak, bezelyelerin konserve içinde meydana gelecek iç kondüksiyon mekanizmasında da rol sahibi olduğu söylenebilir. Kondüksiyon

kuvvetinin konveksiyondan daha düşük miktarda olduğu şartlar altında proses sonunda bezelye salamuradan daha soğuk kalacaktır. Salamura üzerine uygulanan soğutma prosesi sayesinde salamura içinde bulunan bezelyelere uygulanan aynı ısı işlem için suya kıyasla %30 daha fazla sıcaklık gerektiği tespit edilmiştir. Yine de konveksiyonun tamamıyla yok edilemediği için salamura için mevcudiyetini sürdüren bezelyelere ait soğuk noktalar tahmin edilmesi olası olan saf kondüksiyon ve konveksiyon ortasındadır (Esin ve Sumer 1991).

Konserve halinde üretimi gerçekleştirilen gıda ürünlerinde ticari sterilizasyon buhar veya sıcak su yardımıyla iç sıcaklığını sağlayan retort sistemlerde gerçekleştirilir. Bu ısı işlem en doğru şekilde yapılması için gerekli termal şartların bağlı olduğu değişik şartlardan en çok önem duyulanları:

- Kullanılan gıda ürünün özellikleri(pH, ..)
- Ürünün depolama koşulları
- Hedeflenen mikroorganizma veya sporun varlığını sürdüremeyeceği maksimum sıcaklık
- Gıdanın, bulunduğu kabın ve bulunduğu ortamın ısı özellikleri
- Başlangıç mikroorganizma yüküdür.

Sümer (1988) değişik konserve kaplarında farklılık gösteren gıda ürünleri ile yapılan bu modelleme çalışmalarında öncelikle bu ürünlerin zaman sıcaklık çizelgesi doğrulanmış ve buna ek olarak zamana bağlı olarak değişen kullanılan durağan retort sistem iç sıcaklığı da doğrulanmıştır. Elde edilen bu modelle beraber:

- Ticari sterilizasyon için gereken önemli veriler bu model yoluyla kolaylıkla bulunabilmekte
- Kondüksiyon ve konveksiyonla beraber ısınma için ayrı ayrı şekilde uygulanabilmekte
- Genellikle en büyük sorunlardan bir olan tekdüze veya tekdüze olmayan ilk sıcaklık sorununu kolaylıkla çözebilmekte
- Değişiklik gösteren konserve şekli veya ebatına uygulanabilmekte
- Farklı konserve kaplarında kap boyu olan sıcaklık profili tahmini sıcaklık profili varsayımlarından elde edilebilmekte

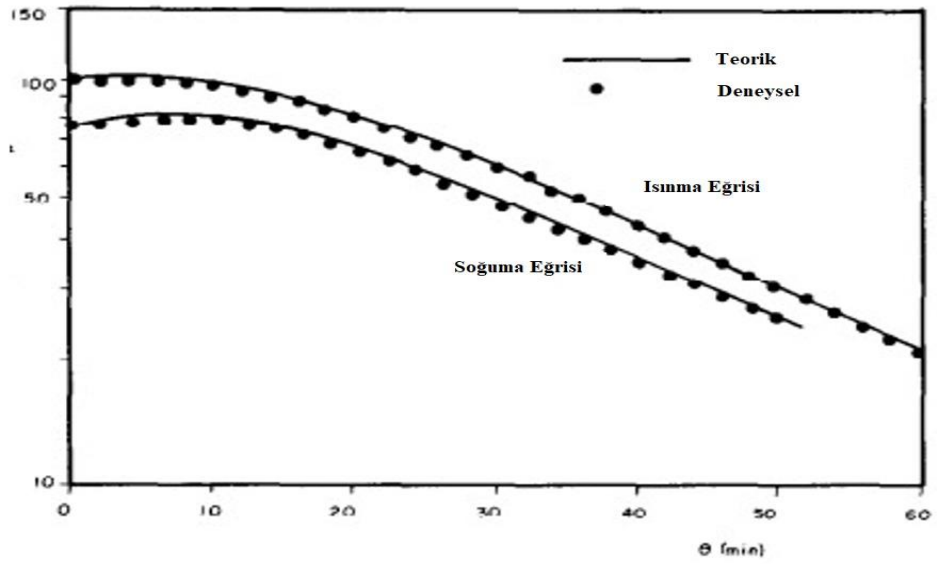
- Deneysel olarak yapımı sağlanan çalışmaların aksine bu modelin farklı konserve kaplarında ve ebatlarında hatta deneysel koşullarında uygulanabildiği sağlanabilmektedir.

Başarıyla uygulanabilen bu modelleme çalışması aşağıda belirtilen daha önceki çalışmalarda çözümlenmesi zor veya hatalı olan koşulların çözümlenmesi başarıyla sağlayabilmektedir ve bunlar:

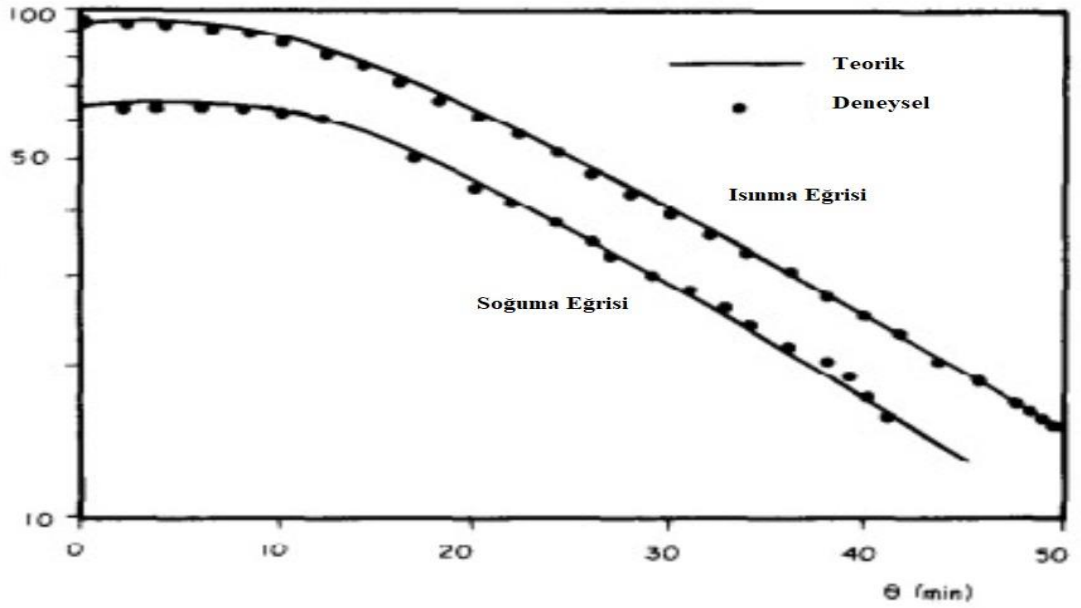
- Konserve kaplarında tekdüze olmayan ilk sıcaklık dağılımı
- Herhangi bir konserve kabı geometrisi
- Yatay veya dikey yönde hareket
- Değişik gösteren konserve kapı veya ölçüleri
- Büyük retort sistemler
- Herhangi bir gıda ürününü kondüksiyon veya konveksiyon ile ısınmasıdır.

Patates püresi konservelerinin retort sistem içindeki sıcaklık değişiminin matematiksel olarak hesaplanması üzerine yapılan bu çalışmada şekil 2.3'de gösterilen ve doğrulanması yapılan patates püresinin başlangıç sıcaklığı 27.5°C , kullanılan retort sisteminin iç sıcaklığı 121°C olmakla beraber, soğuk suyun derecesi ise 25°C 'dir. Şekil 2.4'de ise $80\text{mm} \times 94\text{mm} \times 168\text{mm}$ ölçülere sahip olan patates püresi konservelerinin merkez sıcaklığının deneysel verileri el ile denklemler çözümünün grafiğe yansıtılmış hali gösterilmiştir. Bu yapılan çalışmada, pürenin ilk sıcaklığı 20°C olmakla beraber retort sistem iç sıcaklığı 121.1°C ve soğuma suyu sıcaklığı 25°C 'dir. Hesaplama yapılırken kullanılan ürün olan patates püresinin termal diffüzyon katsayısı Hayakawa (1969)'a önerilen bir yöntem ile hesaplanmış olup $0.092\text{cm}^2/\text{dk}$ olarak hesaplanmıştır (Leonhardt 1976).

Retort sistem uygulamaları pek çok farklı ürünlerde uygulanmakla beraber optimal proses koşulları konserve boyutuna, ürüne ve ürün yanında sunulan sosa göre değişiklik gösterebilmektedir. Buna bağlı olarak durağan retort sistem için farklı örnekler Çizelge 2.5 ve 2.6'da gösterilmiştir (Featherstone 2016).



Şekil 2.3 Teorik ve deneysel dikdörtgen şeklinde olan konserve kutularının verilerinin ısınma ve soğuma eğrisi olarak doğrulanması, dikey eksen sıcaklık $^{\circ}\text{C}$, yatay eksen süre -dk) (Leonhardt 1976)



Şekil 2. 4 Teorik ve deneysel silindir şeklinde olan konserve kutularının verilerinin ısınma eğrisi ve soğuma eğrisi olarak doğrulanması, dikey eksen sıcaklık $(^{\circ}\text{C})$, yatay eksen süre(dk)) (Leonhardt 1976)

Çizelge 2.4 Farklı ürünler için retort sistem içerisindeki proses süreleri (Featherstone 2016)

Ürün	Konserve boyutu (inch)	Minimum proses başlangıç sıcaklığı		Farklı sıcaklık değerleri için proses süresi (dk)		
		°F	°C	230 °F (110°C)	235°F (113°C)	240°F (116°C)
Hardal soslu sardunya balığı	405×301×012	33	0.55	62	53	47
	405×301×014.5	70	21.1	59	50	45
Zeytinyağlı soslu sardunya balığı	607×406×108	33	0.55	77	67	60
		70	21.1	73	63	56
Zeytinyağlı soslu sardunya balığı	405×301×012	33	0.55	90	72	60
	405×301×014.5	70	21.1	87	69	57
Zeytinyağlı soslu kırmızı ve yeşil biberli sardunya balığı	607×406×108	33	0.55	110	88	75
		70	21.1	105	84	71
Krema halinde mısır	211×304	140	60	70	59	52
		160	71	67	56	49
		180	82	62	52	45
	211×400	140	60	74	63	55
		160	71	71	59	52
		180	82	66	55	48
	303×406	140	60	95	81	72
		160	71	88	76	67
		180	82	82	70	62
	307×409	140	60	105	90	81
		160	71	100	84	75
		180	82	90	77	69
	603×700	140	60	260	260	215
		160	71	240	240	200
		180	82	215	215	180

Çizelge 2.5 Salamuraya yatırılan farklı ürün konserveleeri için proses süreleri (Featherstone 2016)

Ürün	Konserve boyutu (inch)	Maksimum doluluk oranı		Minimum başlangıç sıcaklığı		Farklı sıcaklık değerleri için retort sistem içinde kalma süreleri(dk)		
		Oz.	G	°F	°C	240 °F (116°C)	245°F (118°C)	250°F (121°C)
Salamuraya yatırılmış aspargus konserveleeri	211×304	6.5	184	70	21	27	22	19
	211×400	8.2	233	120	49	25	20	17
	603×408	45.5	129	70	21	32	25	21
Salamuraya yatırılmış lahana konserveleeri	401×411	17	482	70 140	21 60	45 40	-	30 25

3. MATERYAL YÖNTEM

Bu çalışmada öncelikle aşağıda belirtilen farklı formülasyona sahip diyet fiberli ve diyet fibersiz olarak iki farklı şekilde olan enteral beslenme amacıyla hazırlanan sıvı çözeltiler, saf su ve %0.5 konsantrasyonunda CMC çözeltisi 500 mL hacimli cam kavanozlarda, twist-off kapakların kullanımı ile kapama sağlanarak, ısı işleme tabi tutulmuştur. Isıl işlem çalışmaları, pilot sistem ölçekli bir retort sistemde 115 °C sıcaklıkta gerçekleştirilmiştir. Sterilizasyon prosesi esnasında ürün içi sıcaklık değişimi ölçümü için T-tipi ısı çiftler ve veri toplama sistemi kullanılmıştır.

Daha sonra kullanılan kavanoz geometrisi temelinde ürün içi sıcaklık değişimlerinin belirlenmesi amacıyla matematiksel model çalışmaları gerçekleştirilmiş; proses tasarımı amacıyla geliştirilen ve deneysel verilerle doğrulanan modeller kullanılarak ürün içi sıcaklık dağılımına bağlı olarak proses sırasında meydana gelen vitamin kayıpları hesaplanmıştır. Sterilizasyon – ısı işlem aşamasının devamında gelen süreçte sterilize edilen örnekler oda sıcaklığında depolanmış ve emülsiyon kırılması - faz ayrılması gibi görsel özellikler takip edilerek ürünün emülsiyon özelliklerini koruyabilme durumu gözlemlenmiştir.

3.1 Materyal

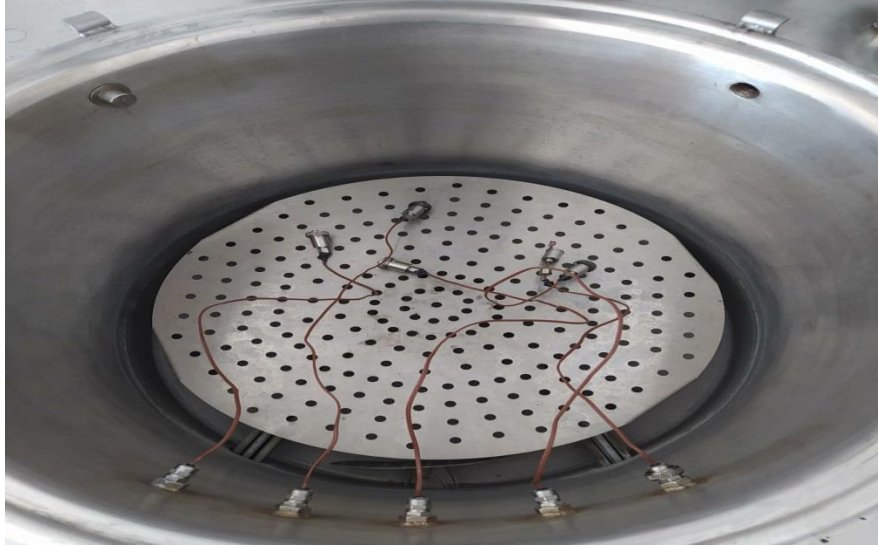
3.1.1 Pilot ölçekli retort sistem

Yapılması planlanan model çalışmalarının deneysel veriler kullanılarak doğrulanması amacıyla, deneysel çalışmalar pilot ölçekli bir retort sistemde gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.1.a). Bu sistem 45 cm yükseklik ve 59.2 cm çapa sahip bir kaviteye (Şekil 3.1.b) ve ürün ve sistem içi sıcaklık değişimlerinin yapılabilmesi amacıyla 5 adet ısı çift girişine sahiptir. Deneyler esnasında retort sistemde kavitenin en alt kısmında olan ve aynı hizada bulunan iki rezistansın bütün hacminin su altında kalması sağlanacak şekilde kavite içinde saf su kullanılmıştır. Suyun kaynatılması sonucu elde edilen buhar basıncı altında sistem maksimum 2 bar toplam basınç altında çalışabilmektedir. Gerçekleştirilen

deneyselde de elde edilen basınca bağı olarak maksimum 115 – 120 °C aralığında ortam sıcaklığı kullanılmıştır.



(a)



(b)

Şekil 3.1 Deneysel çalışmaların yürütüldüğü pilot ölçekli retort sistem (a. Retort sistem önden görünüş, b. Retort sistem kavite görünüşü)

3.1.2 Deneysel çalışmalarda kullanılan sıvı örnekler

Isıl işlem ve sterilizasyon amacı ile kullanılan retort sistemde gerçekleştirilen deneysel çalışmalarda, ana materyal olan enteral beslenme amacıyla hazırlanmış likit çözeltinin yanı sıra yüksek viskoziteye sahip Newtonsal olmayan % 0.5 konsantrasyona sahip karboksimetilselüloz (CMC) çözeltisi ve saf su kullanılmıştır. Bu örneklerden elde edilen sıcaklık değişim verileri geliştirilen modellerin doğrulaması çalışmalarında kullanılmıştır.

% 0.5 konsantrasyona sahip CMC çözeltisinin hazırlanması aşamasında CMC ve saf su miktarları ağırlık oranı (w/w) olarak hesaplanmış, bir karıştırıcı yardımıyla oda sıcaklığında CMC saf su içinde çözündürülmüştür. Elde edilen çözelti, içerisinde kalan mevcut gaz kabarcıklarının uzaklaştırılması sebebiyle hazırlama aşamasından sonra, oda sıcaklığında 48 saat dinlendirilmiştir. Çözündürülme işlemi sırasında ürün sıcaklığının kaygı değer bir şekilde artış göstermediği de teyit edilmiştir.

Deneysel çalışmalarda kullanılan enteral beslenme çözeltisinin diyet fiber içeriğine sahip olmayan halinde 7 farklı birleşen (protein, yağ, karbonhidrat, su, mineral karışımlar, vitamin ve iz mineral karışımları ile L-karnitin-aurin-kalin karışımı) içerecek şekilde laboratuvar ortamında hazırlanmıştır (Çizelge 3.1). Bunun yanında diyet fiber içeriğine sahip olan enteral çözeltiler ise önceden belirtilen 7 bileşen içeriğine ek olarak guar gum eklenilerek hazırlanmıştır (Çizelge 3.2). Kullanılan bu solüsyonların hazırlanma aşamasından bahsetmek gerekirse hazırlık prosesi; protein ve karbonhidratların suyla karıştırılması, elde edilen karışımın 4000 rpmde 20 dakika boyunca karıştırılması, vitamin ve minerallerin eklenmesi, yeni karışımın yeniden 4000 rpm dönüş hızında 5 dakika boyunca karıştırılması, yağ içeriğinin eklenmesi (ultra turax yardımıyla hazırlanan), yeni karışımın 4000 rpm hızda 15 dakika boyunca karıştırılması, 1000 barda 2 kere mikroakışkanlaştırma, 15 dakika boyunca 121.1°C'de 15 dakika sterilizasyon işlemi olarak sıralanabilir (Atıl 2021).

Modelleme çalışmaları esnasında, kullanılan enteral beslenme amacıyla hazırlanmış olan likit çözeltilere ait ürün ısıl - fiziksel özellikleri (ısıl iletkenlik katsayısı, özgül ısı

kapasitesi ve yoğunluk) literatürde bulunan (Brian ve Bryan, 2001) empirik denklemler yardımıyla ve ürün kompozisyonu ve sıcaklığa olarak bağlı olan hesaplanmıştır. Bu kullanılan denklemler Çizelge 3.3’de verilmiştir.

Çizelge 3.1 İçerisinde diyet fiber bulundurmeyen 500 ml enteral çözelti hazırlanması için kullanılan ingrediye ve miktarları

İngrediyen	Miktar (g)
Protein (peynir altı suyu, kazein, soya, bezelye protein)	20
Yağ	17
Karbonhidrat (Maltodekstrin)	67.8
Su	424
Mineral karışımı	2.5
Vitamin ve iz mineral	0.5
Kalin, L- karnitin ve Taurin karışımı	1

Çizelge 3.2 Diyet fiber içerikli 500 ml enteral çözelti hazırlanması için kullanılan ingrediye ve miktarları

İngrediyen	Miktar(g)
Protein (peynir altı suyu, kazein, soya, bezelye protein)	20
Yağ	17
Karbonhidrat (Maltodekstrin)	67.8
Su	424
Mineral karışımı	2.5
Vitamin ve iz mineral	0.5
Kalin, L- karnitin ve Taurin karışımı	1
Guar gum	0.2

Çizelge 3.3 Enteral beslenme çözeltilerinin termofiziksel özelliklerinin hesaplanmasında kullanılan empirik denklemler (Brian ve Bryan, 2001)

Termal Özellik	Gıda İçeriği	Gerekli Empirik Denklemler
Isıl iletkenlik (W/(m×K))	Protein Yağ Karbonhidrat Diyet fiber Kül	$k=1.7881 \times 10^{-1} + 1.1958 \times 10^{-3}T - 2.7178 \times 10^{-6}T^2$ $k=1.8071 \times 10^{-1} - 2.7604 \times 10^{-3}T - 1.7749 \times 10^{-7}T^2$ $k=2.0141 \times 10^{-1} + 1.3874 \times 10^{-3}T - 4.3312 \times 10^{-6}T^2$ $k=1.8331 \times 10^{-1} + 1.2497 \times 10^{-3}T - 3.1683 \times 10^{-6}T^2$ $k=3.2962 \times 10^{-1} + 1.4011 \times 10^{-3}T - 2.9069 \times 10^{-6}T^2$
Isıl yayılım (m^2/s)	Protein Yağ Karbonhidrat Diyet fiber Kül	$a=6.8714 \times 10^{-8} + 4.7578 \times 10^{-10}T - 1.4646 \times 10^{-12}T^2$ $a=9.8777 \times 10^{-8} - 1.2569 \times 10^{-10}T - 3.8286 \times 10^{-14}T^2$ $a=8.0842 \times 10^{-8} + 5.3052 \times 10^{-10}T - 2.3218 \times 10^{-12}T^2$ $a=7.3976 \times 10^{-8} + 5.1902 \times 10^{-10}T - 2.2202 \times 10^{-12}T^2$ $a=1.2461 \times 10^{-7} + 3.7321 \times 10^{-10}T - 1.2244 \times 10^{-12}T^2$
Yoğunluk (kg/m^3)	Protein Yağ Karbonhidrat Diyet fiber Kül	$p=1.3299 \times 10^3 - 5.1840 \times 10^{-1}T$ $p=9.2559 \times 10^3 - 4.1757 \times 10^{-1}T$ $p=1.5991 \times 10^3 - 3.1046 \times 10^{-1}T$ $p=1.3115 \times 10^3 - 3.6589 \times 10^{-1}T$ $p=2.4238 \times 10^3 - 2.8063 \times 10^{-1}T$
Isı kapasitesi J/(kg.K)	Protein Yağ Karbonhidrat Diyet fiber Kül	$c_p=2.0082 \times 10^3 + 1.2089T - 1.3129 \times 10^{-3}T^2$ $c_p=1.9842 \times 10^3 + 1.4733T - 4.8008 \times 10^{-3}T^2$ $c_p=1.5488 \times 10^3 + 1.9625T - 5.9399 \times 10^{-3}T^2$ $c_p=1.8459 \times 10^3 + 1.8306T - 4.6509 \times 10^{-3}T^2$ $c_p=1.0926 \times 10^3 + 1.8896T - 3.6817 \times 10^{-3}T^2$

Çizelge 3.4 Sıcaklığa bağlı olarak % 0,5 CMC çözeltilisine ait termofiziksel özellikler (Tuna ve Palazoğlu 2017)

Sıcaklık (°C)	k (W/m.K)	ρ (kg/m^3)	c_p (J/kg.K)	μ (Pa.s)	m (kg/m.s)	n
20	0,602	997,6	4170,3	0,5	0,639	0,791
35	0,623	994,5	4174,8	0,308	0,409	0,844
50	0,641	989,8	4181,9	0,192	0,246	0,86
65	0,656	983,4	4191,4	0,115	0,148	0,865
80	0,668	975,2	4203,3	0,077	0,096	0,906
90	0,674	968,9	4212,7	0,038	0,062	0,974

İki farklı enteral çözelti için viskozite değerleri ise laboratuvar ortamında Malvern Kinexus Pro reometre (Malvern Instruments Ltd, Worcestershire, UK) sisteminde paralel plakalar kullanılarak ölçülmüştür. Kullanılan plakaların çapları 40 mm olmakla beraber, plakalar arası boşluk 1 mm olarak ayarlanmıştır. Ölçümler esnasında sıcaklık kontrolü, aşağı plakanın altına yerleştirilen 0.01 °C'ye yakınsak olarak peltier sıcaklık kontrol cihazıyla yapılmıştır. Kayma kontrollü ölçümler, logaritmik olarak kayma hareketinin 0.1 den 10 s⁻¹'e kadar olan artışına göre hesaplanmıştır. Bu ölçümlerden elde edilen değerlerden Newtonsal olmayan sıvılar için kullanılan 'Power Law' kuralı kullanılarak kayma hızının viskoziteye göre değişiminden gerekli olan parametreler (m ve n değerleri) hesaplanmıştır:

$$\mu = m \left(\dot{\gamma} \right)^{n-1} \quad (3.1)$$

Bu denklikte μ viskoziteyi (Pa-s) ve $\dot{\gamma}$ kesme hızı (s⁻¹)'ni göstermektedir. Sıcaklığa bağlı olarak belirlenen m ve n değerleri matematiksel model çalışmalarında, viskozite değişiminin kesme hızı ve sıcaklığın fonksiyonu olarak belirlenmesinde, kullanılmıştır. Bunların yanı sıra kullanılan %0.5'lik CMC çözeltisine ait ısıl iletkenlik katsayısı, özgül ısı kapasitesi ve yoğunluğu (Çizelge 3.4) aynı şekilde sıcaklığın bir fonksiyonu olacak şekilde, Tuna ve Palazoğlu (2017) çalışmasından elde edilmiştir. Kullanılan %0.5'lik CMC çözeltisinin Newtonumsu olmayan şekilde davranış gösterdiği için viskozite değeri sıcaklık ve kayma hızının bir fonksiyonu şeklinde model çalışmalarına entegre edilmiştir.

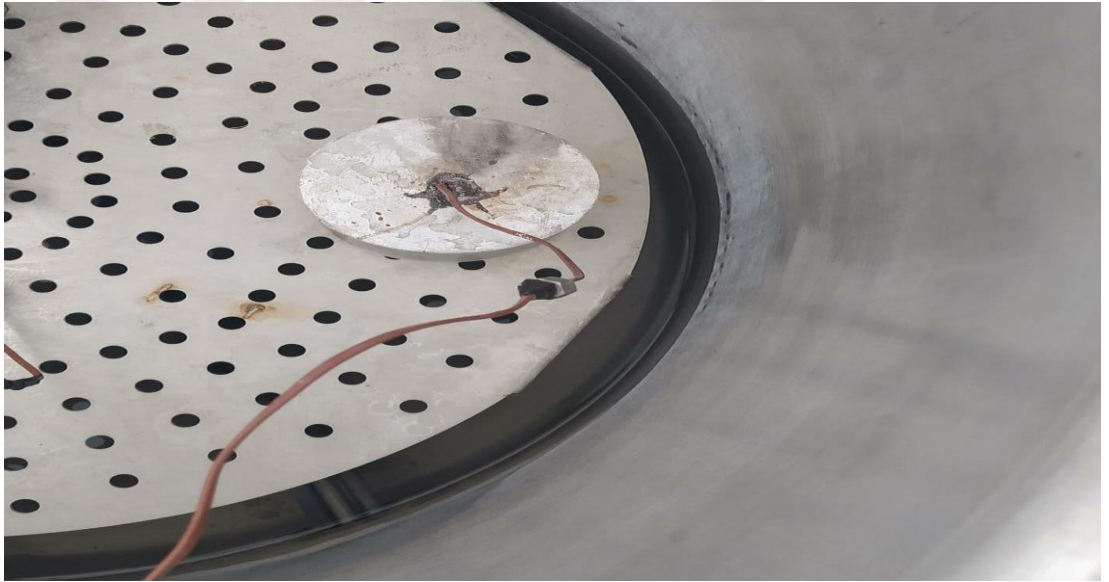
3.2 Yöntem

3.2.1 Isı transfer katsayısının proses süresine göre hesaplanması

Matematiksel model çalışmalarında konveksiyon sınır koşulunun uygulanabilmesi amacıyla ısı transfer katsayısının belirlenmesi için lumped sistem metodu kullanılmıştır. Yapılan ön denemelerde, Şekil 3.2'de gösterilen silindir şeklinde opak bir alüminyum silindir bir proseste kavanozlar yerine, lumped sistem oluşturmak amacıyla, kullanılmış ve bu yöntemle eşitlik 3.2 yardımıyla ısı transfer katsayısı proses sürecinde belirlenmiştir.



Şekil 3.2 Sıcaklık ölçüm deneylerinde kullanılan veri toplama sistemi



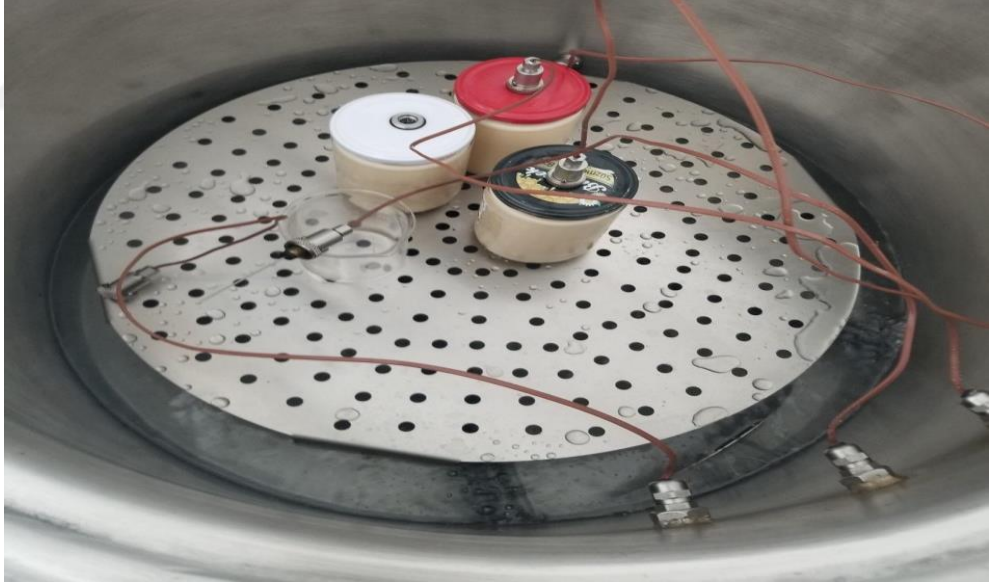
Şekil 3.3 Isı transfer katsayısının hesaplanmasında kullanılan opak alüminyum silindirin sistem bağlantısı

$$\frac{T(t)-T_{\infty}}{T_i-T_{\infty}} = \exp\left(-\frac{h.A}{m.c_p} \cdot t\right) \quad (3.2)$$

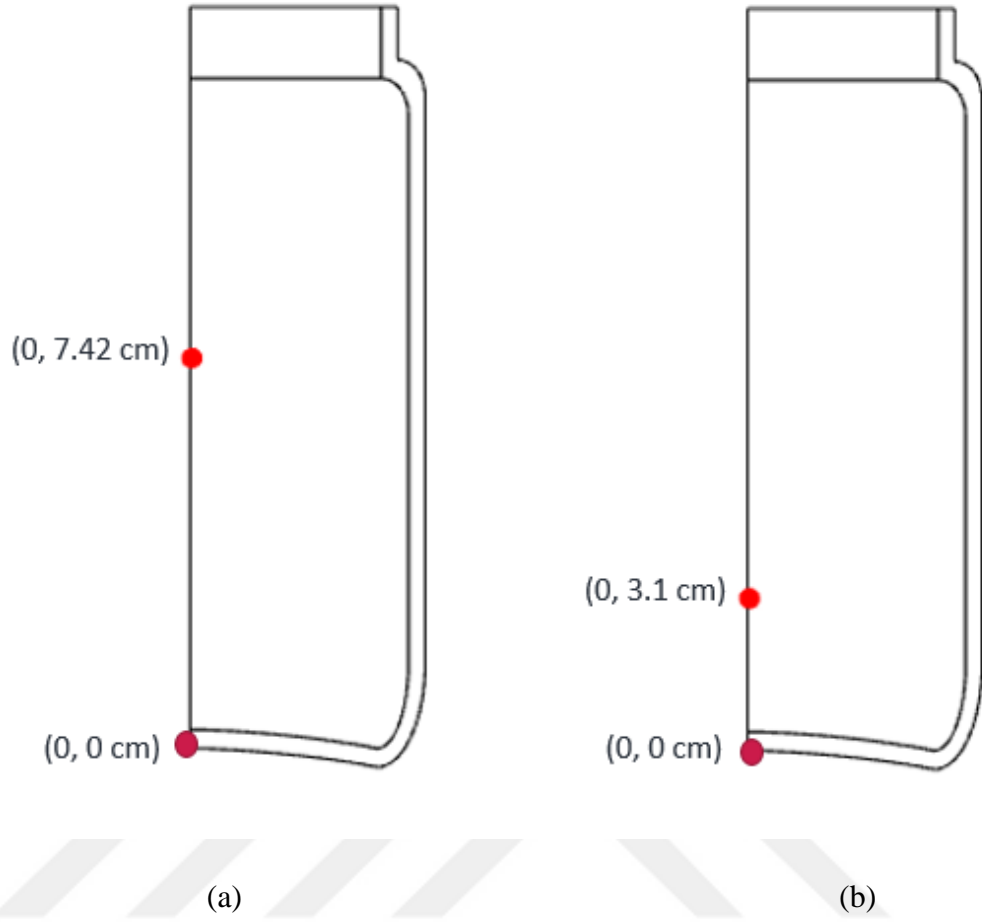
Bu denklem içerisinde t süreyi (s), A kullanılan opak alüminyum silindirin toplam yüzey alanını (m^2), T_i silindir başlangıç sıcaklığını (K), T_{ort} ortam sıcaklığını (K), T_t

ürün sıcaklık değişimini (K), c_p alüminyum silindir ısı kapasitesini (J/kg.K), m ise kullanılan opak alüminyum silindirin kütlesini (g) göstermektedir.

Ortam ısı transfer katsayısının belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilen sıcaklık ölçüm çalışmalarında kullanılan veri toplama sistemi Cole-Parmer 18200-75 ve T-tipi ısı çiftler (Şekil 3.2) matematiksel model doğrulama amacıyla yapılacak çalışmalarda da kullanılmıştır. Retort sistem içerisinde, twist-off yöntemi ile sızdırmaz bir şekilde kapaması sağlanan ürün içeren kavanozlar ve proses sırasında ürün sıcaklık değişimi amacıyla kullanılacak sıcaklık ölçüm sisteminin detaylı bağlantısı ise Şekil 3.3'de gösterilmiştir. Benzer şekilde, enteral beslenme çözeltileri için sıcaklık değişiminin belirlenmesi amacıyla kullanılan deneysel sistem de Şekil 3.5'de gösterilmiştir. Sıvı çözeltilere uygulanan ısı işlem sırasında sıcaklık ölçümü cam kavanoz içerisinde iki ayrı noktadan (kısa ve uzun ısı çiftler kullanılarak) yapılmış olup bu noktaların yerleri de Şekil 3.6'da gösterilmiştir.



Şekil 3.4 Retort sistem içerisinde proses sırasında ürün sıcaklık değişimi amacıyla kullanılacak sıcaklık ölçüm sistemi



Şekil 3.5 Kısa ve uzun ısıl çift noktaları; kısa ısıl çiftin geometri üzerindeki noktası (a), uzun ısıl çiftin geometri üzerindeki noktası (b)

3.2.2 Proses sürecinde ürün vitamin kayıplarının hesaplanması

Ürün sıcaklık değişimine bağlı olarak enteral beslenme çözeltilerindeki vitamin kayıplarının belirlenmesi amacıyla ise, eşitlik 3.3 ürün sıcaklık değişimi ve vitamin kinetik parametreleri ile birlikte kullanılmıştır.

$$\frac{C}{C_i} = \frac{1}{V} \int_0^v \left[10^{\frac{-1}{D_{ref}} \int_0^t \frac{T(v,t) - T_{ref}}{z} dt} \right] dv \quad (3.3)$$

Bu denklikte C/C_i değeri ilgili vitaminin proses sonunda üründe kalma oranını göstermektedir. Vitamin C için, D ve z-değerleri olarak Vieira vd. (2000)'den vitamin A için ise Penicaud vd. (2010)'dan alınmıştır (Çizelge 3.5).

Çizelge 3.5 A ve E vitaminine ait değerler (Penicaud vd. 2010; Vieira vd. 2000)

	D değeri (min)	Z değeri (°C)	T _{ref} (°C)
C vitamini	1228	45	91
A vitamini	1300	20	100

3.2.2 Matematiksel modelleme çalışmalarında kullanılan denklikler

Modelleme çalışmaları deneysel verilerle paralel bir şekilde hazırlanmış ve bu modellerin doğruluğu deney verileriyle karşılaştırılmıştır. Daha sonra doğrulanmış model çalışmaları üzerine daha önce belirtilen denklik 3.2 yardımıyla vitamin A ve vitamin C kayıp yüzdeleri hesaplanmıştır. Model geliştirme çalışmaları için COMSOL Multiphysics 5.3a programı kullanılarak çoklu faz (sıvı - gaz), laminar akış (ürün içi likit çözeltide doğal konveksiyon netkisiyle meydana gelen akışkan hareketi) temelinde kullanılmıştır. Can kavanoz yüzeyinde uygulanan konveksiyon sınır koşulu için gerekli olan ısı transfer katsayısı değişimi ise bölüm 3.2.1'de açıklandığı şekilde belirlenmiştir. Proses sırasında ürün sıcaklık değişiminin belirlenmesi kapsamında ürün içi sıcaklık değişiminin, doğal konveksiyon ısınma mekanizması kapsamında, belirlenmesi için aşağıda belirtilen denklikler kullanılmıştır.

Süreklilik denkliği:

$$\frac{1}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial r} (r \cdot \rho_f \cdot v_r) + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial \theta} (\rho_f \cdot v_\theta) + \frac{\partial}{\partial z} (\rho_f \cdot v_z) = 0 \quad (3.4)$$

Enerji denkliği:

$$\frac{\partial T}{\partial t} + v_r \cdot \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{v_\theta}{r} \cdot \frac{\partial T}{\partial \theta} + v_z \cdot \frac{\partial T}{\partial z} = \frac{k_f}{\rho_f \cdot c_{p_f}} \left[\frac{1}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial r} \left(r \cdot \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \cdot \frac{\partial^2 T}{\partial \theta^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right] \quad (3.5)$$

Radyal yönde momentum denkliği:

$$\rho_f \cdot \left(\frac{\partial v_r}{\partial t} + v_r \cdot \frac{\partial v_r}{\partial r} + \frac{v_\theta}{r} \cdot \frac{\partial v_r}{\partial \theta} - \frac{v_\theta^2}{r} + v_z \cdot \frac{\partial v_r}{\partial z} \right) = -\frac{\partial P}{\partial r} + \mu \cdot \left[\frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{1}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial r} (r \cdot v_r) \right) + \frac{1}{r^2} \cdot \frac{\partial^2 v_r}{\partial \theta^2} - \frac{2}{r^2} \cdot \frac{\partial v_\theta}{\partial \theta} + \frac{\partial^2 v_r}{\partial z^2} \right] \quad (3.6)$$

Açısal yönde momentum denkliği:

$$\rho_f \cdot \left(\frac{\partial v_\theta}{\partial t} + v_r \cdot \frac{\partial v_\theta}{\partial r} + \frac{v_\theta}{r} \cdot \frac{\partial v_\theta}{\partial \theta} + \frac{v_r \cdot v_\theta}{r} + v_z \cdot \frac{\partial v_\theta}{\partial z} \right) = -\frac{1}{r} \cdot \frac{\partial P}{\partial r} + \mu \cdot \left[\frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{1}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial r} (r \cdot v_\theta) \right) + \frac{1}{r^2} \cdot \frac{\partial^2 v_\theta}{\partial \theta^2} + \frac{2}{r^2} \cdot \frac{\partial v_r}{\partial \theta} + \frac{\partial^2 v_\theta}{\partial z^2} \right] \quad (3.7)$$

Dikey yönde momentum denkliği:

$$\rho_f \cdot \left(\frac{\partial v_z}{\partial t} + v_r \cdot \frac{\partial v_z}{\partial r} + \frac{v_\theta}{r} \cdot \frac{\partial v_z}{\partial \theta} + v_z \cdot \frac{\partial v_z}{\partial z} \right) = -\frac{\partial P}{\partial z} + \mu \cdot \left[\frac{1}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial r} \left(r \cdot \frac{\partial v_z}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \cdot \frac{\partial^2 v_z}{\partial \theta^2} + \frac{\partial^2 v_z}{\partial z^2} \right] + \rho_f \cdot g \quad (3.8)$$

Model geliştirme çalışmaları, aşağıda da açıklandığı üzere, iki boyutlu (2-D) eksensel simetri yaklaşımıyla gerçekleştirildiği için açısal yönde olan değişimler ihmal edilmiştir. Bu denklemlerde, T sıcaklığı, t proses zamanını, P basıncı, g yerçekimi ivmesini μ dinamik viskoziteyi, k_f sıvının ısı iletim katsayısını, ρ_f yoğunluğunu, c_{pf} ısı kapasitesini, v_r , v_θ ve v_z : r , θ ve z yönlerindeki akışkan hızını göstermektedir. Bu kapsamda literatürde gerçekleşen ilk çalışmada, Datta ve Teixeira (1988) içi su dolu bir konserve kutusunda proses boyunca sıcaklık ve hız profilini belirleyerek sayısal model çalışmasını gerçekleştirmişlerdir. Daha sonra Kumar ve ark. (1990) otoklava dikey olarak yerleştirilmiş ve yan duvarlarından ısıtılmış metal kutu içindeki viskoz sıvı gıdaların ısı transferi simülasyonunu yapmışlardır. Çoklu faz (sıvı ürün ve hava boşluğu) temelinde detaylı çalışmalar (Erdoğan ve Tutar, 2011 ve Tutar ve Erdoğan, 2012) tarafından gerçekleştirilmiştir. Ürün içerisinde ısı transferinin etkisiyle ortaya çıkan doğal konveksiyona bağlı sıcaklık ve hız profillerinin çözülmesi için gerekli olan yoğunluk değişiminin model çözümüne dahil edilmesi amacıyla Boussinesq yaklaşımı kullanılmış ve bu bağlamda sıvı ve gaz bölümler için yoğunluk değişimi sıcaklığın bir fonksiyonu olarak tanımlanmıştır. Hem sıvı hem de gaz fazlar için akış tipi laminar akış

olarak uygulanmıştır.

Yukarıda verilen denklemlerin çözümü hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) konusuna giren kompleks bir problemdir. HAD gıda endüstrisinde pek çok prosesin simülasyonunda yaygın olarak kullanılan sonlu hacim yöntemi temeline dayanan matematiksel bir yöntemdir (Norton and Sun 2006). HAD kısaca akışkanlar dinamiğini ve bu hareket sırasında meydana gelen ısı, kütle ve momentum transferi süreçlerini simüle edebilmek için ortaya konulan matematiksel modellerin hesaplamalı çözüm tekniklerini sistematik olarak sağlayan bir uygulama olarak da tanımlanabilir. Bu kapsamda da aşağıda da da açıklandığı şekilde, sıcaklık dağılımının belirlenmesi amacıyla Comsol çoklu fizik programı kullanılmıştır.

Modelleme çalışmalarında retort içinde kullanılan ev tipi kavanoz ölçüleri baz alınarak, 2 boyutlu eksensel geometri yaklaşımında model çalışmaları yapılmıştır. Kullanılan kavanoz geometrisinde iç yarıçap 3.47 cm, dış yarıçapı 3.5 cm, kavanoz kalınlığı ise 0.3 cm olarak ölçülmüş ve bunun yanında kavanoz ambalaj içerisinde bulunan ürün için kullanılan yükseklik 11.81 cm ve hava boşluğu için verilen yükseklik ise 1.3 cm olarak ölçüm notlarına eklenmiştir. Elde edilen ölçümler materyal noktaları görsel açıdan şekil 3.7’de detaylı bir şekilde verilmiştir. Kavanoz yüzeylerinde konvektif ısı transfer koşulu kullanılmış (denklik 3.9), ürün başlangıç sıcaklığı sabit tekdüze olarak tanımlanmış ve momentum transferi denklemlerinin çözümü için katı – sıvı ara yüzeylerinde kaymama kolulu uygulanmıştır.

$$-k \left. \frac{\partial T}{\partial n} \right|_{\sigma} = h(T|_{\sigma} - T_{\infty}) \quad (3.9)$$

Bu denklemde h ısı transfer katsayısı temsil etmekte (SI birim sistemi: $W/m^2.K$), k ısı iletim katsayısını ($W/m.K$) ve T_{ext} ise retort içi zamana bağlı değişim gösteren sıcaklığı(SI birim sistemi: K) temsil etmektedir. Sıvı ürün – hava ara yüzeyi ise sıvı – gaz çift fazı yaklaşımı kullanılarak model çalışmaları dahil edilmiştir. Kullanılan retort sistem içindeki ısı dağılımı homojen olarak kabul edilerek çizilen geometrilerin dış katmanına ısı akışı komutuyla gerekli ısı miktarı tanımlanmıştır.

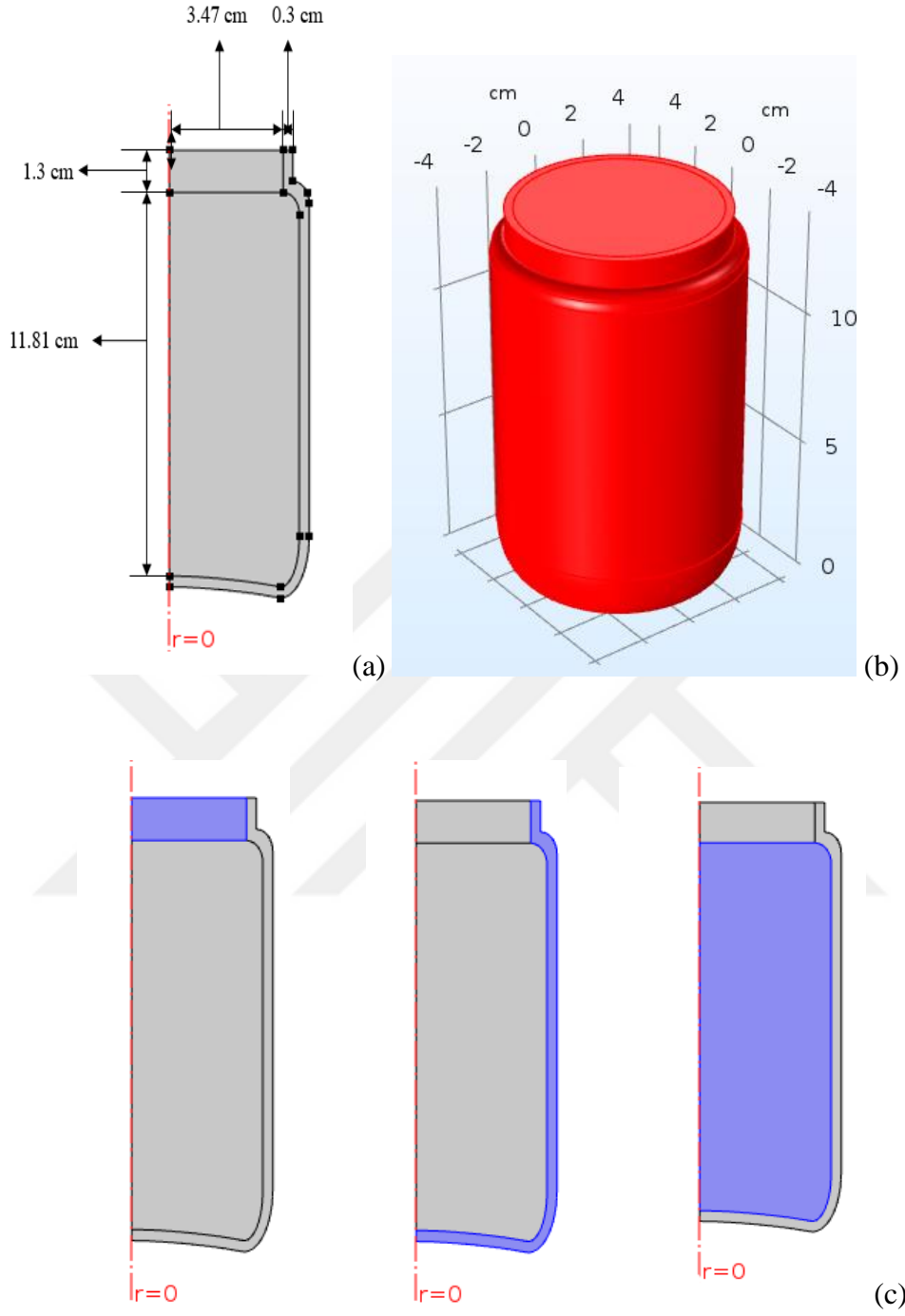
3.2.3 2 Boyutlu eksensel simetri yaklaşımı kullanılarak gerçekleştirilen matematiksel model çalışmaları

2 boyutlu eksensel simetrik geometri kullanımı kapsamında çalışma aşamaları aşağıdaki şekilde gerçekleştirilmiştir:

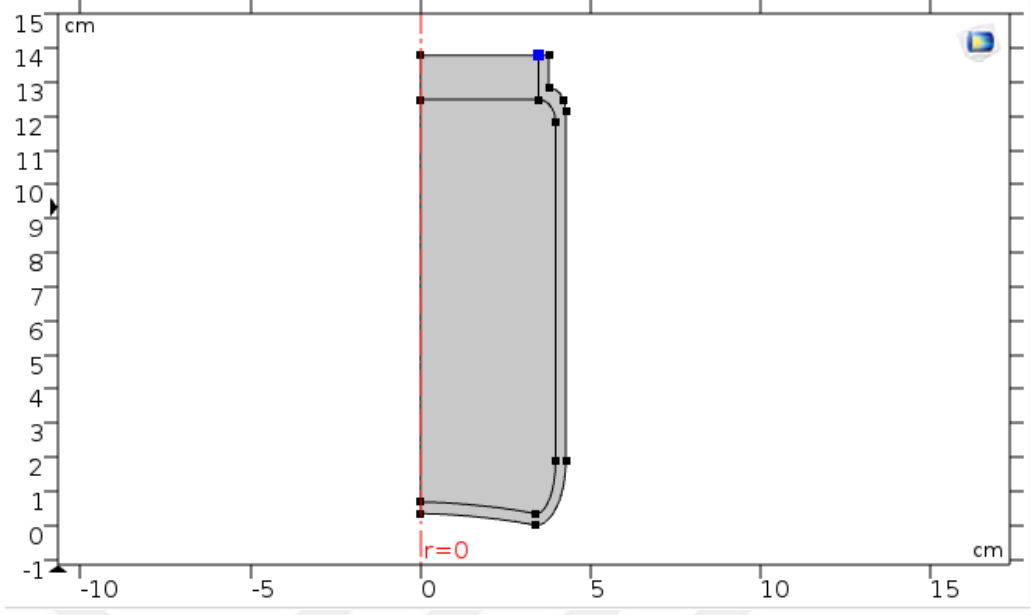
- Laboratuvar ortamında yapılan deneylerde kullanılan örneklere ait ısı-fiziksel özelliklerin değişimi sıcaklığa bağlı olarak tanımlanmıştır.
- Model çalışmalarına göre değişen %0.5 CMC çözeltisi, su, enteral beslenme amacıyla hazırlanmış likit çözelti sıvı olarak tanımlamakla birlikte konserve hava boşluğunda bulunan hava da sistem çözümlemesinde en doğru şekilde modellenmesi amacı güdülerek akışkan olarak tanımlanmıştır. 2 boyutlu eksensel simetri kapsamında hazırlanan geometri ve bu geometri içerisinde tanımlanan akışkanlar (sıvı ürün ve hava) ile katı – cam bölümü Şekil 3.7’de gösterilmiştir.
- Kavanoz içerisinde oluşan doğal konveksiyona bağlı akış profilinin çözülmesi amacıyla katı yüzeylerde kaymama sınır koşulu kullanılmasına ek olarak “pressure constraint” sınır koşulu da model çalışmasına eklenmiştir. Şekil 3.8 basınç noktası kısıtlama sınır koşulunun kullanımını sistem geometrisi üzerinde göstermektedir. Bu noktada basınç değeri “0” olarak tanımlanmıştır.
- Sıvı – gaz ara yüzeyinde sıvı ve gaz katman aralığının izole bir yüzey olarak tanımlanmasını ve kompleks ağ yapısı yardımıyla çözümlenmesine yarıyan ‘Faz bölgesi’ ara yüzü kullanılmıştır. Bu arayüz alan bazlı çözümlenmeye dayanmakla beraber Eşitlik 3.9’de belirtilen Navier-Stokes denkleminin bağlı hız vektörünün adveksiyonuyla çözümlenmiştir.

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} + \nabla \phi \cdot u = F \quad (3.9)$$

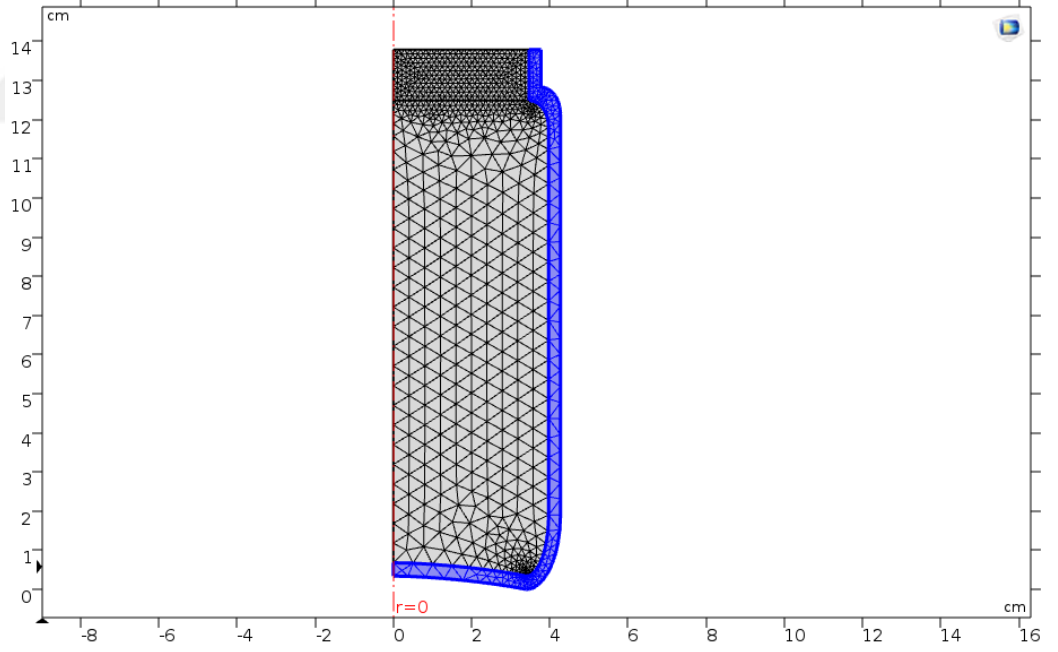
Bu denklemde ϕ ‘phase field’ fonksiyonunu temsil etmekle beraber, F sistem içinde bulunan serbest enerjiyi düşük seviyelere çekmeye yarıyan terimi temsil etmektedir. ‘Phase Field’ yöntemiyle çözümlenme yapılırken ϕ değeri -1 ile 1 arasında değişkenlik göstermekle beraber serbest sıvı yüzeyi olarak tanımlanan izole yüzey $\phi = 0$ olarak temsil edilmektedir. Bununla beraber sistem içi oluşması gereken doğal konveksiyonun oluşabilmesi amacıyla bu kısımda sistem üzerinde yerçekimi kuvveti de tanımlanmıştır.



Şekil 3.6 2 boyutlu eksensel simetri yaklaşımında kavanoz model görüntüsü (a), kavanozun üç boyutlu görüntüsü (b) ve kavanoz içerisinde tanımlanan hava - cam ve sıvı materyal (c)



Şekil 3.7 Basınç noktası kısıtlama sınır koşulunun kullanımının sistem geometrisi üzerinde gösterilmesi



Şekil 3.8 Model çalışmalarında kullanılan ağ yapısı Kullanılan ağ yapısı

- Sonlu elemana dayalı çözüm üstüne oluşturulan modelleme çalışmalarında doğru sonuçlara erişim açısından ağ yapısının oluşturulması önem arz etmektedir. Akış içeren modellemelerde, bunlara ek olarak sistem içerisinde konveksiyona bağlı akış profilinin olduğu durumlarda doğru ağ yapısının oluşturulması ayrıca önem taşımaktadır. Bu bağlamda yoğun ağ yapısının kullanımı yanısıra tanımlanan sıvı - gaz ara yüzeyinde 'Boundary Layer' ağ yapısı kullanılarak deneysel veriler bağlamında ağ yapısı doğrulama çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.9 farklı model çalışmalarında kullanılan ağ yapısını 2-D eksensel simetrik geometri üzerinde göstermektedir.



4. BULGULAR ve TARTIŞMA

4.1 Modelleme Çalışmalarında Kullanılan Termofiziksel Özellikler

Materyal ve yöntem bölümünde açıklandığı kapsmda deneysel çalışmalarda kullanılan enteral beslenme çözeltileri için ısı iletkenlik, yoğunluk ve ısı kapasitesi değerlerinin sıcaklıkla değişimi Çizelge 4.1’de deneysel olarak elde edilen viskozite parametreleri de yine sıcaklığın fonksiyonu olarak Şekil 4.2 ve 4.3’de verilmiştir. Diyet fiber içeren ve içermeyen enteral çözeltiler için viskozite değişimleri ayrı olarak belirlenirken, kullanılan diyet fiber miktarının termofiziksel özelliklerin değişimine önemli bir etkisi olmamıştır (Çizelge 4.4).

Çizelge 4.1 Hazırlaman enteral beslenme çözeltisinin sıcaklığa bağlı olarak değişen termofiziksel özellikleri

Sıcaklık (°C)	Isıl iletkenlik katsayısı – k (W/m-K)	Yoğunluk – ρ (kg/m ³)	Özgük ısı kapasitesi – c_p (J/kg-K)
20	0.52	1084.8	3640
40	0.55	1079.8	3680
53	0.56.	1075.3	3730
80	0.59	1062.6	3870
100	0.60	1050.4	4020

Çizelge 4.2 Diyet fiber içermeyen enteral çözelti viskozite değişiminin hesaplanması için gerekli için m ve n değerlerinin sıcaklıkla değişimi

Sıcaklık (°C)	m (kg/m.s)	n
10	0.011842	0.5917
30	0.009197	0.647
60	0.007784	0.6136
85	0.006371	0.5712

Çizelge 4.3 Diyet fiber içeren enteral çözelti viskozite değişiminin hesaplanması için gerekli için m ve n değerlerinin sıcaklıkla değişimi

Sıcaklık (°C)	m (kg/m.s)	n
10	0.6883	0.5282
30	0.3630	0.7838
60	0.1782	0.5835
85	0.1198	0.4953

Çizelge 4.4 Sıcaklığın fonksiyonu olarak diyet fiber içerikli enteral çözelti ısıl ve fiziksel özellikleri

Sıcaklık (°C)	Isıl iletkenlik katsayısı – k (W/m-K)	Yoğunluk – ρ (kg/m ³)	Özgük ısı kapasitesi – c_p (J/kg-K)
20	0.52	1085.4	3640
40	0.55	1080.4	3680
53	0.56.	1075.8	3730
80	0.59	1063.2	3870
100	0.60	1051.0	4020

4.1.1 Isı tranfer katsayısı

Isı transfer katsayısının belirlenmesinde lumped sistemi yaklaşımı kullanılmış ve ısı transfer katsayısı değerleri sistem içi sıcaklık değişimlerine bağlı olarak iki ayrı durum için sıcaklığın fonksiyonu olarak hesaplanmıştır. Retort içi sıcaklık değişimleri, kullanılan dirençlerin proses koşullarına göre hızlı ve yavaş ısınma durumları olarak tanımlanmıştır. Bu iki durum için ısı transfer katsayısı değişimi Çizelge 4.5 ve 4.6’da verilmiştir. Hızlı ısınma olarak tanımlanan koşullarda maksimum ısı transfer katsayısı değerine prosesin 715. saniyesinde ulaşılırken, aynı değere yavaş ısınma koşullarında 1500. saniyede ulaşılmaktadır. Bu durum retort sistem içerisinde elde edilen sıcaklık

değişimi ile ilgili olup retort sistem içi sıcaklık değişimi model doğrulama çalışmalarında gösterilmiştir.

Çizelge 4.5 Lumped Sistem yaklaşımı kullanılarak hızlı ısınan sisteme ait elde edilen ortam ısı transfer katsayısı değişimi

Proses süresi (s)	Isı transfer katsayısı - h (W/m ² -K)
0 – 100	10.0
100-200	13.4
200-300	16.7
300-325	26.7
325-375	36.7
375-450	66.8
450-500	90.2
500-525	116.9
525-550	136.9
550-575	220.4
575-625	263.9
625-700	297.7
700-715	1546.0
715-	2489.0

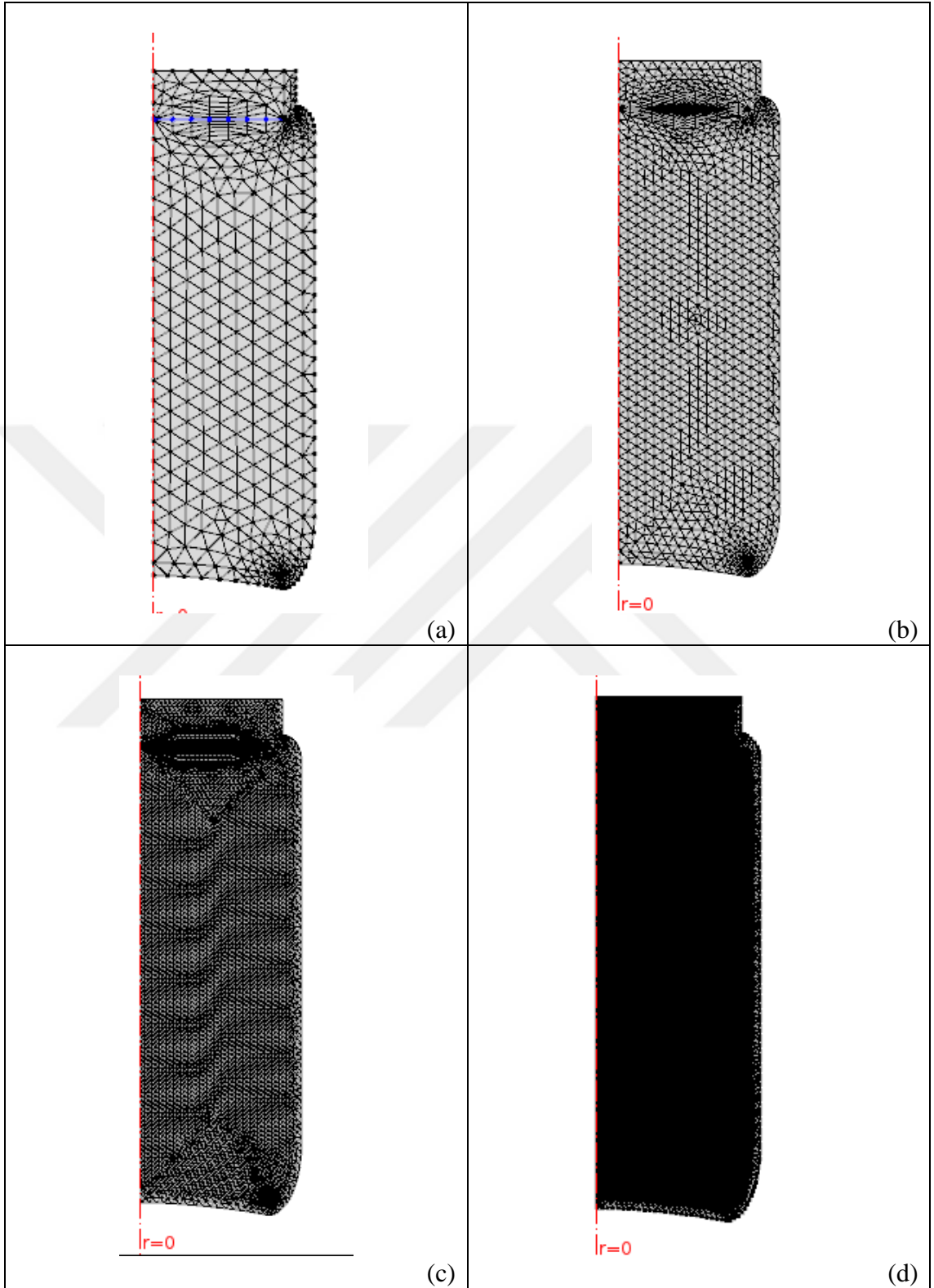
Çizelge 4.6 Lumped Sistem yaklaşımı kullanılarak daha yavaş ısınan sisteme ait elde edilen ortam ısı transfer katsayısı değişimi

Proses süresi (s)	Isı transfer katsayısı - h (W/m ² -K)
0	20
300	200
600	270
900	400
1100	1458
1500	2450

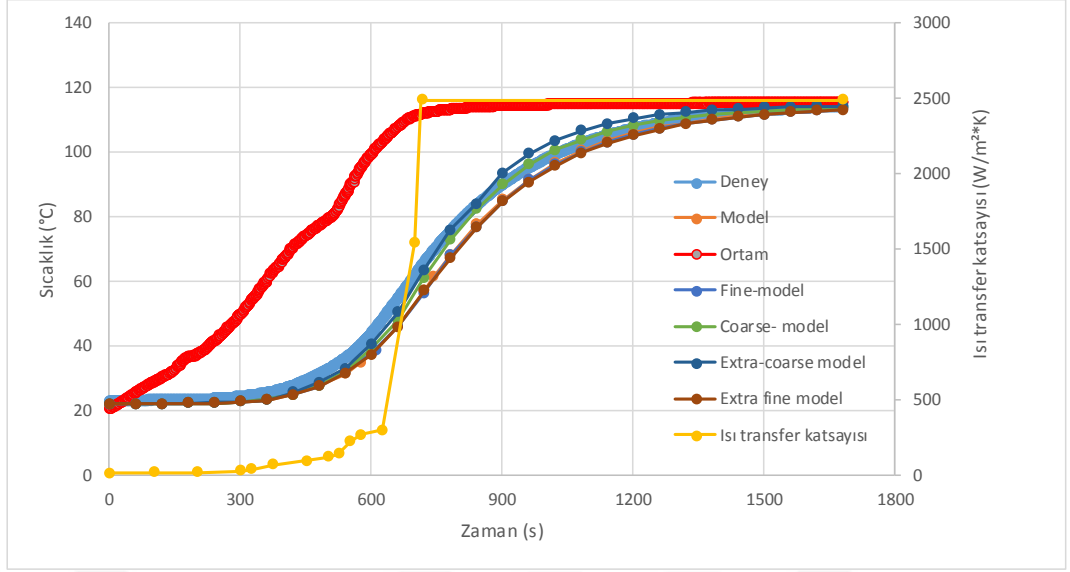
4.2 Ağ Bağımsızlık Çalışmaları

Ağ bağımsızlık çalışmalarında retort sistemin hızlı ısınma koşullarında kısa ısı çift yardımıyla gerçekleştirilen su deneyine ait veriler kullanılarak, farklı ağ yapılarından elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Farklı ağ yapıları kapsamında 4 farklı ağ yapısı kullanılmıştır. Bu ağ yapıları sırasıyla ekstra seyrek (extra coarse), seyrek (coarse), yoğun (fine) ve ekstra yoğun (extra fine) olarak sıralanmış olup, bu bağlamda kullanılan toplam hücre sayıları sırasıyla 878, 2258, 10739 ve 46372'dir. Bu ağ yapıları Şekil 4.1'de gösterilmiş olup, bu ağ yapıları kullanılarak elde edilen sonuçların karşılaştırılması da Şekil 4.2'de verilmiştir. Şekil 4.2a-b'de gözlendiği gibi farklı ağ yapılarından göreceli olarak olumlu sonuçlar elde edilmiştir. Şekil 4.2a, farklı ağ yapısı kullanımının noktasal (deneysel veri) sıcaklık değişimine göre karşılaştırmasını gösterirken, Şekil 4.2b kavanoz içi sıcaklık ortalaması karşılaştırılması göstermektedir. Şekil 4.2b'de net olarak görüldüğü gibi ağ yapısı yoğunluğu arttıkça sıcaklık değişimlerinde bir yakınsama meydana gelmekte ve yoğun ile ekstra yoğun ağ yapısı arasındaki fark önemsiz hale gelmektedir. Yoğun ve ekstra ağ yapısı kullanımı arasında önemli bir fark gözlenmeyip, hatta seyrek ağ yapısı kullanımı ile de olumlu sonuçlar elde edilmiş olsa da ürün içi, doğal konveksiyona bağlı, akış profilinin daha doğru olarak belirlenebilmesi amacıyla yoğun ağ yapısı model doğrulama çalışmalarında kullanılmıştır.

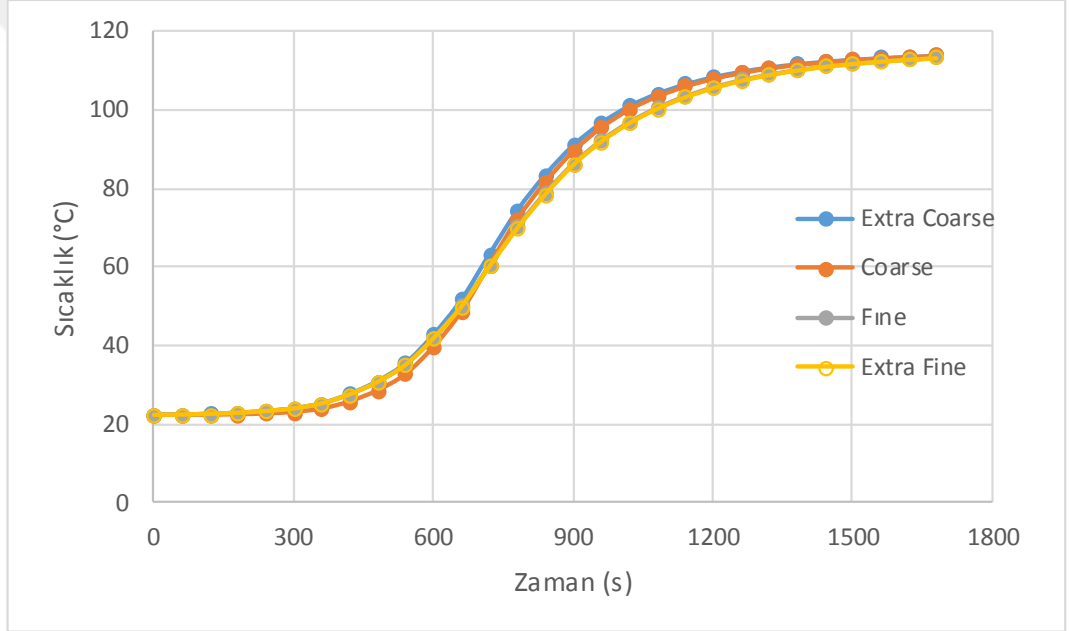
Yoğun ağ yapısı, kullanılan zaman artışı (dt) ve kullanılan çözücüler ve bu parametrelerin ilişkisinin, doğal konveksiyonun, etkin olduğu şartlarda ürün sıcaklık ve akış profiline etkisi Boz vd. (2014) tarafından detaylı olarak açıklanmıştır. Bu çalışmada yoğun ağ yapısı kullanımlarında, çözümlerde yakınsaklığın elde edilmesi ve doğru sonuçların elde edilebilmesi için düşüş zaman artışlarının kullanımı önemli bir nokta olarak belirtilmektedir. Bu tez çalışmasında da yoğun ağ yapısı (hücre sayısı 10739) olarak $dt \leq 0.5$ s olarak kullanılmıştır. Ağ yapısı bağımsızlık çalışmalarının önemi, kullanılan ağ yapısı yoğunluğu ve kullanılan zaman aralığı artışının önemi Erdoğan ve Tutar (2011) ve Tutar ve Erdoğan (2012)'nin gerçekleştirdiği çift faz (sıvı ve gaz) etkisinin belirlendiği ve doğal ve zorlamalı konveksiyon mekanizmasının etkin olduğu çalışmalarda da detaylı olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.1 Ağ bağımsızlık çalışmalarında kullanılan (a) ekstra seyrek (extra coarse), (b) seyrek (coarse), (c) yoğun (fine) ve (d) ekstra yoğun (extra fine) ağ yapıları



(a)



(b)

Şekil 4.2 Farklı ağ yapıları kullanılarak elde edilen sonuçların (a) retort sistemin hızlı ısınma koşullarında kısa ısıl çift yardımıyla gerçekleştirilen su deneyine ait deneysel sıcaklık verileri ile karşılaştırılması ve (b) farklı ağ yapılarının kullanıldığı durumda cam kavanoz içi hacimsel sıcaklık ortalamasının karşılaştırılması

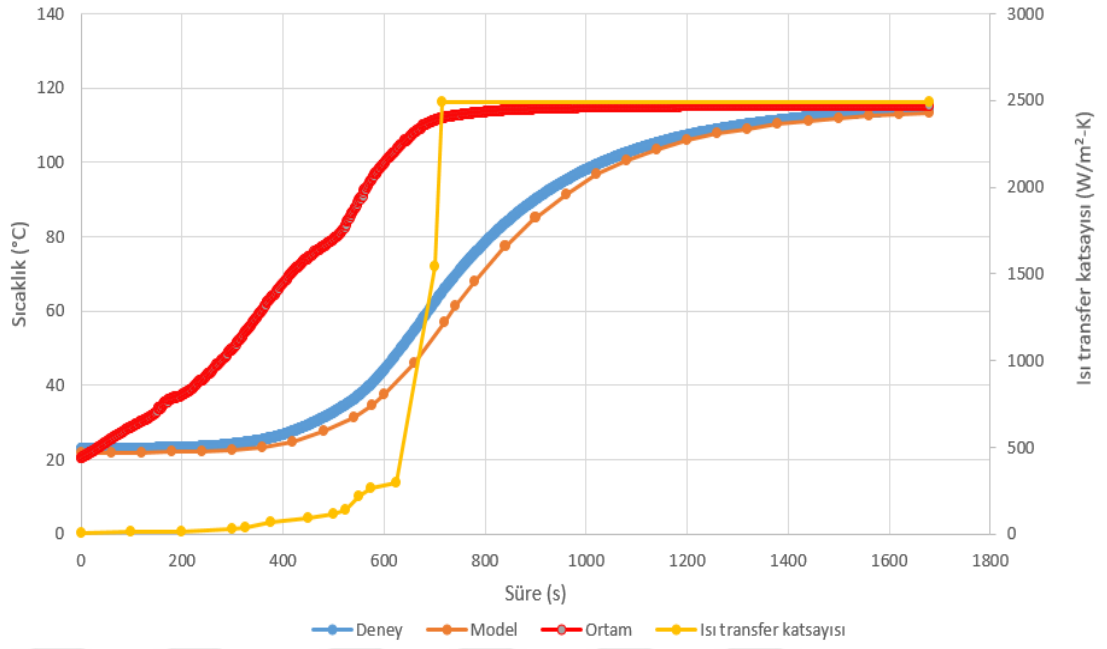
4.3 Model Doğrulama Çalışmaları

4.3.1 Deneysel çalışmalarda saf sayun kullanıldığı doğrulama çalışmaları

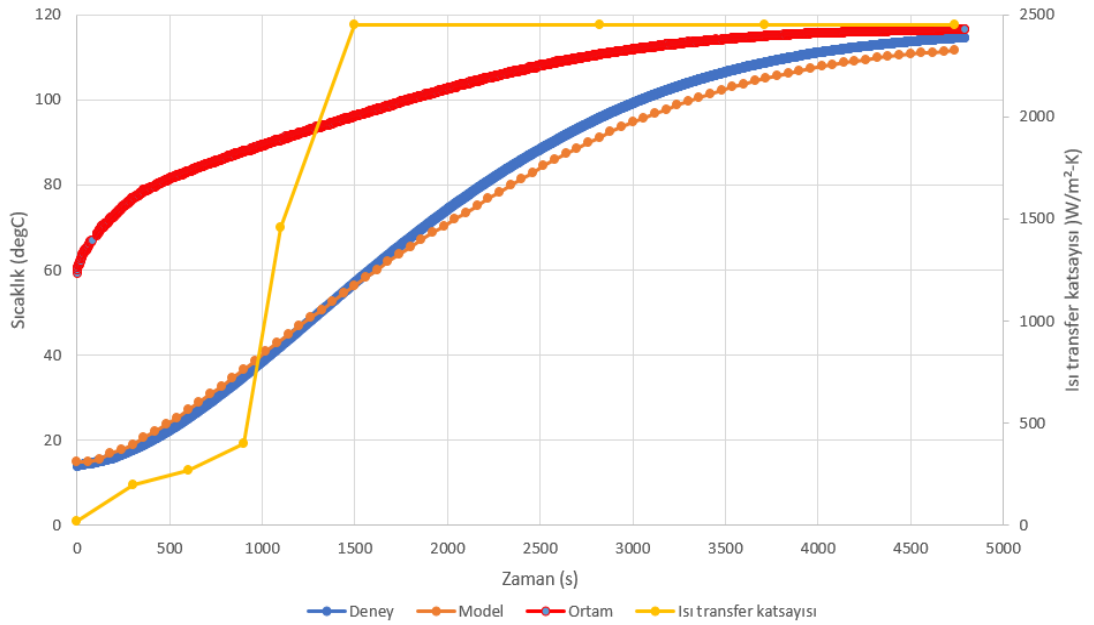
Cam kavanozlar içerisinde saf su kullanılarak gerçekleştirilen deneysel çalışmalar temelinde retort sistemin hızlı ısınma koşullarında kısa ısıl çift (Şekil 3.6) kullanılarak elde edilen ürün sıcaklık değişiminin model sonuçları ile karşılaştırılması Şekil 4.3’de gösterilmiştir. Uzun ısıl çift kullanılarak yavaş ısınma koşullarında elde edilen deneysel veriler ile model sonuçlarının karşılaştırılması ise Şekil 4.4’de verilmiştir. Bu iki şekilde de model ve deney sonuçlarının bir uyum gösterdiği, saf su kullanılarak gerçekleştirilen deneysel çalışmalar kapsamında, belirlenmiştir. Şekil 4.3’de belirtilen proses koşulları kapsamında ürün içerisinde elde edilen sıcaklık değişimi ve doğal konveksiyona bağlı olarak meydana gelen akış hız profili değişimi ise Şekil 4.5’de verilmiştir.

4.3.2 Deneysel çalışmalarda %0.5 konsantrasyonunda CMC çözeltilisinin kullanıldığı doğrulama çalışması

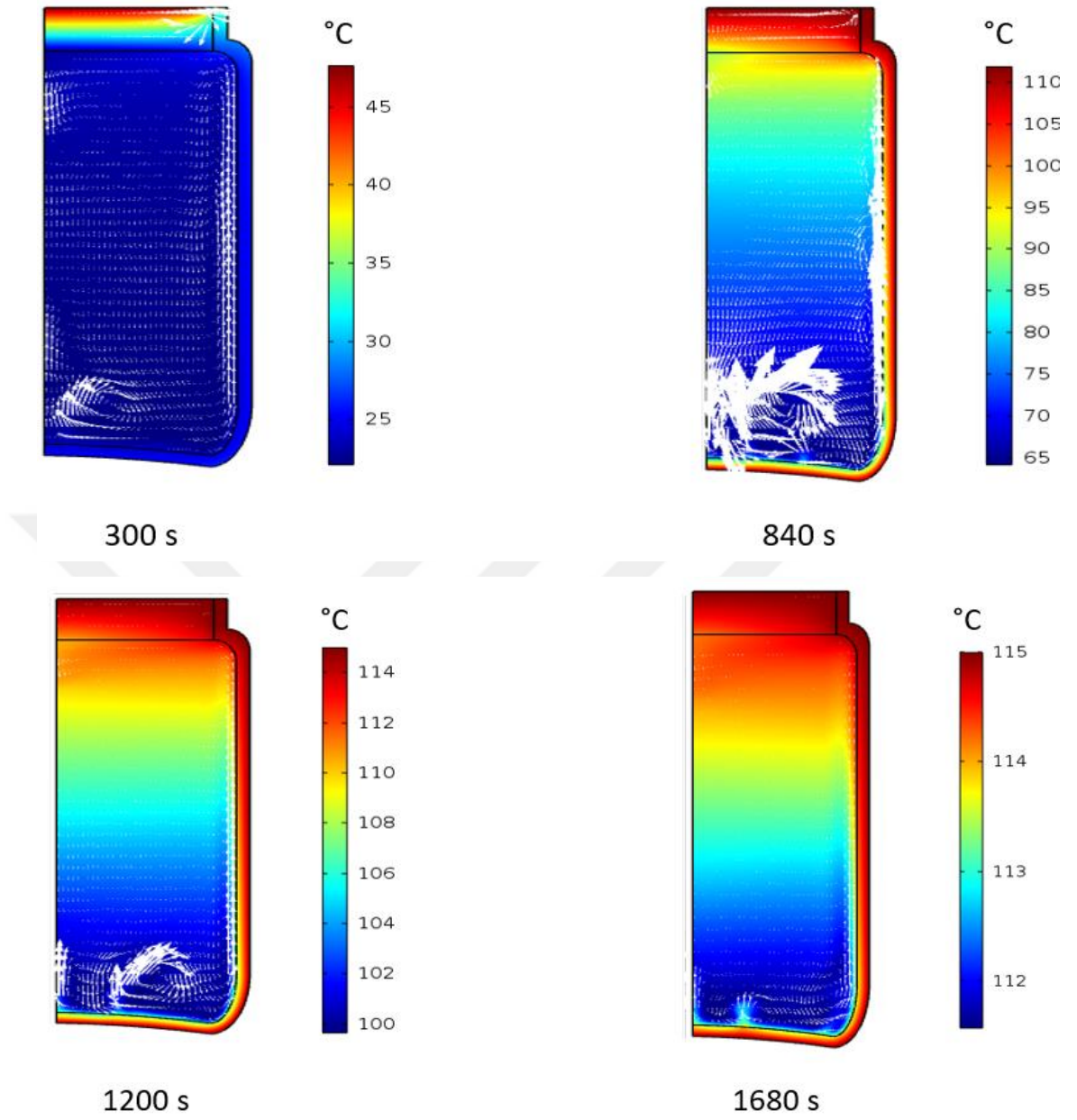
Bu kapsamda, düşük viskoziteli Newtonumsu akış özelliklerinde gerçekleşen saf su deneylerine ek olarak, bir adet doğrulama çalışması yapılmıştır. Retort sistemin hızlı ısınma koşullarında kısa ısıl çift yardımıyla elde edilen deney sonuçları ile matematiksel model sonuçlarının karşılaştırılması Şekil 4.6’da gösterilmektedir. Model ve deney sonuçlarının bir uyum gösterdiği bu çalışmadan elde edilen ürün sıcaklık ve hız profilinde meydana gelen değişimler ise Şekil 4.7’de gösterilmektedir.



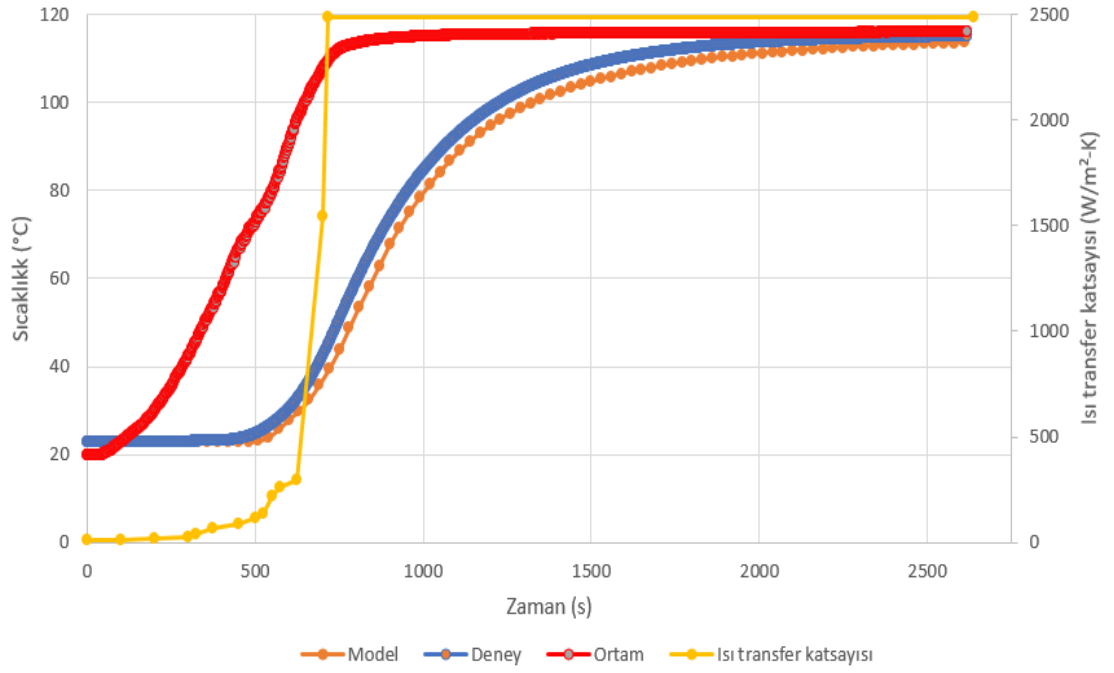
Şekil 4.3 Retort sistemin hızlı ısınma koşullarında kısa ısıl çift yardımıyla gerçekleştirilen su deneyine ait doğrulama çalışması (1670 s)



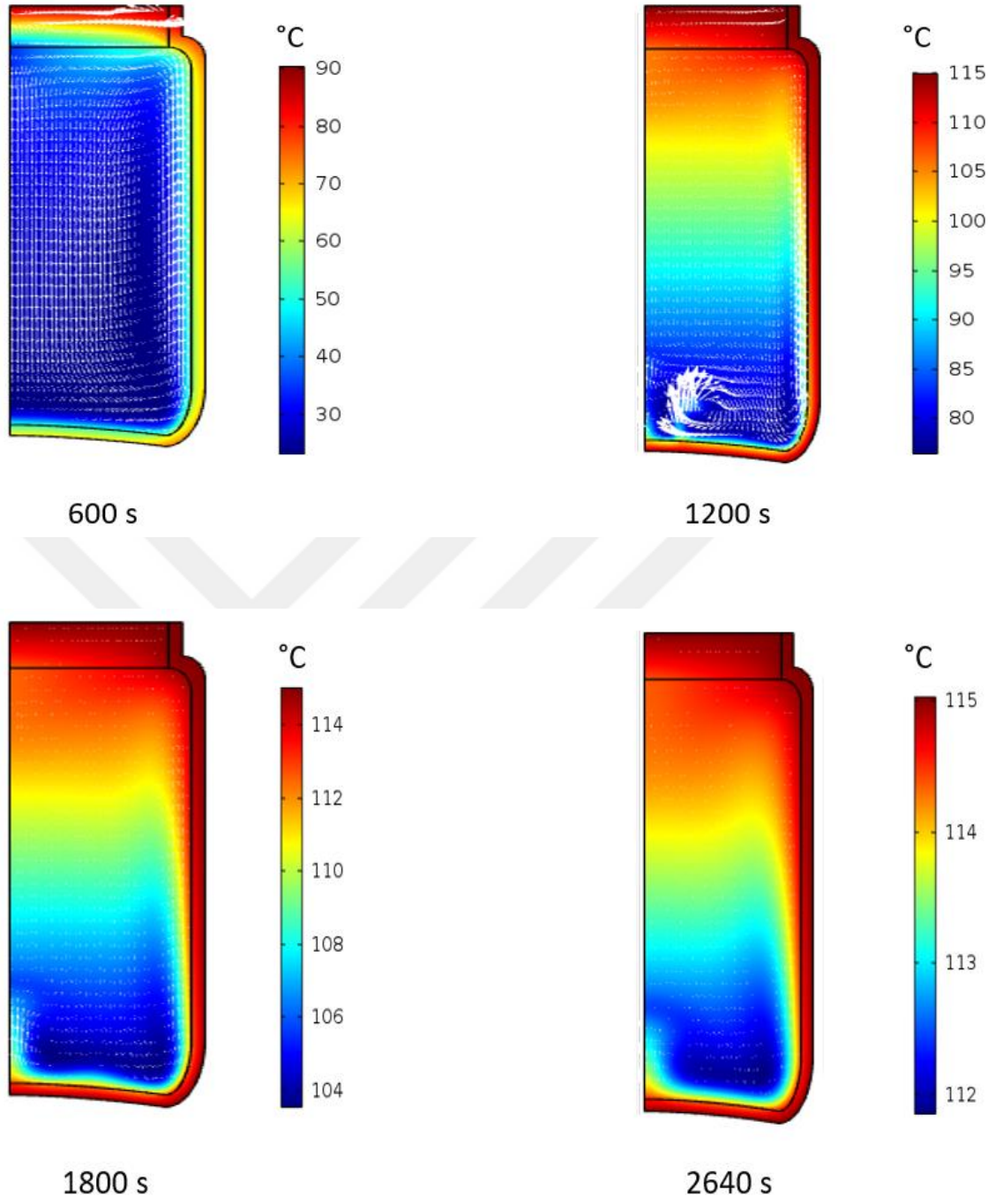
Şekil 4.4 Retort sistemin yavaş ısınma koşullarında uzun ısıl çift yardımıyla gerçekleştirilen su deneyine ait doğrulama çalışması (4780 s)



Şekil 4.5 Retort sistemin hızlı ısınma koşullarında elde edilen ürün (saf su) sıcaklık ve doğal konveksiyonla meydana gelen hız profili değişimi



Şekil 4.6 Retort sistemin hızlı ısınma koşullarında kısa ısıl çift yardımıyla gerçekleştirilen %0.5 CMC çözeltisi deneyine ait doğrulama çalışması



Şekil 4.7 Kısa ısıtıcı çiftler yardımıyla %05'lik CMC ile yapılan hızlı sistemde 2640s'lik deneyi üzerine hazırlanan model çalışmasına dair belirli noktalardaki sıcaklık ve hız dağılımı

4.3.3 Deneysel çalışmalarda enteral beslenme çözeltilerinin kullanıldığı doğrulama çalışmaları

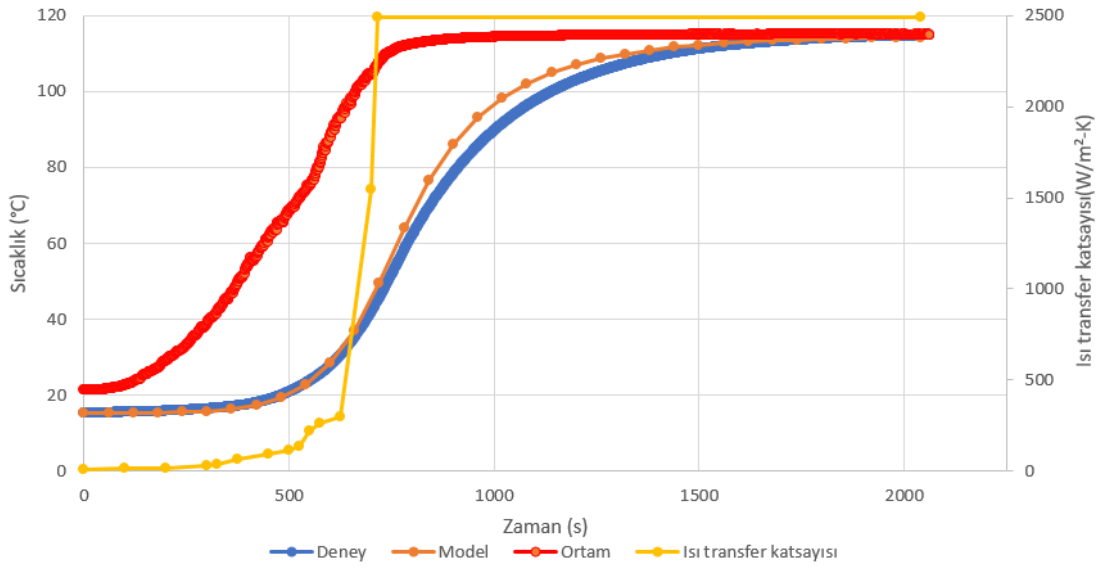
4.3.3.1 Diyet fiber içermeyen enteral beslenme çözeltilerinin kullanıldığı doğrulama çalışmaları

Diyet fiber içermeyen hazırlan enteral beslenme çözeltisi ile kısa ve uzun ısı çiftleri yardımıyla retort sistemin hızlı ve yavaş ısınma koşullarında gerçekleştirilen deneylerden elde edilen sonuçlar ile model sonuçlarının karşılaştırılması Şekil 4.8 – 4.11’de verilmiştir. Bu şekillerden de gözlendiği gibi farklı koşullarda elde edilen deneysel sonuçları ile model sonuçları uyum göstermektedir. Retort sistemin hızlı ısınma koşullarında kısa ısı çifti yardımıyla gerçekleştirilen deneysel koşullar kullanılarak gerçekleştirilen model çalışmasından elde edilen ürün sıcaklık ve hız profili değişimi ise Şekil 4.12’de verilmiştir.

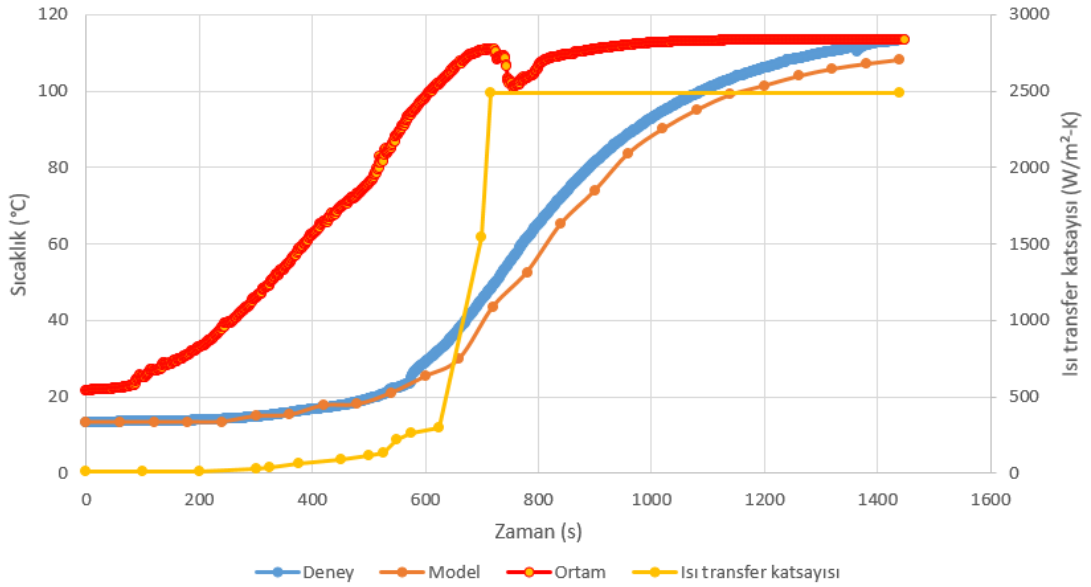
4.3.3.2 Diyet fiber içerikli enteral beslenme çözeltisi deneyleri

Diyet fiber içerikli daha hızlı ısınan sistemde gerçekleştirilen enteral beslenme çözeltilerine ait yapılan 2 deney sonucu ile model karşılaştırılması sonuçları Şekil 4.13 ve 4.14’de verilmiştir. Bu şekillerde gözlendiği gibi model sonuçları ile deneysel veriler arasında önemli bir uyumsuzluk bulunmaktadır. Bu durum diyet fiber içeren enteral çözelti örneklerine ısı işlem uygulanırken meydana gelen emülsiyon kırılması ve çözeltinin hazırlanması sırasında kullanılan emülgatör eksikliği ile açıklanmıştır.

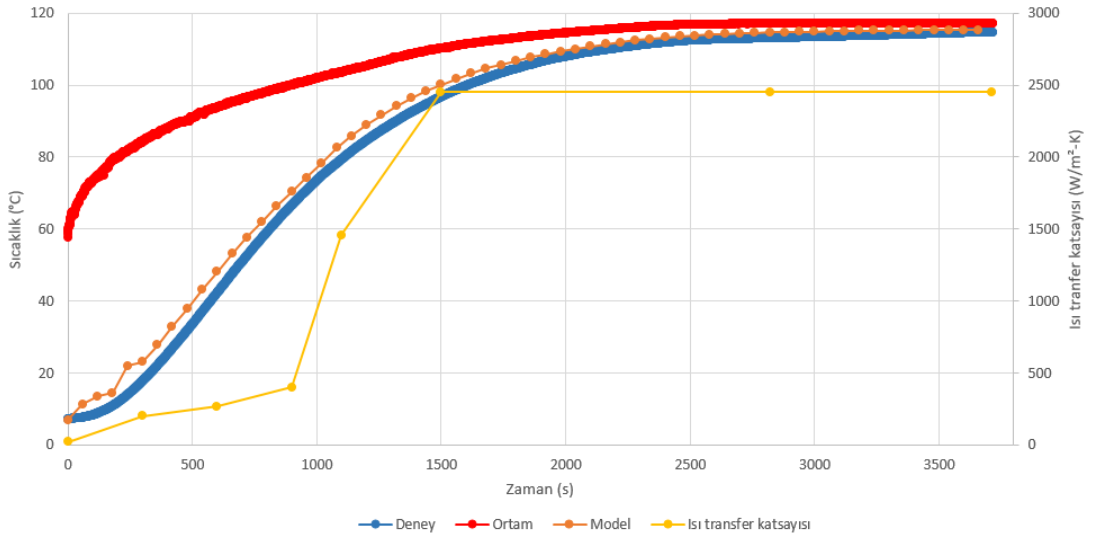
Isıl işlem uygulanan diyet fiber içerikli ve içeriksiz enteral beslenme çözeltilerinde, proses sonrası değişikliklerin gözlemlenebilmesi amacıyla proses edilen ürünler ışık görmeyen bir odada saklanmış daha sonra geçen sürede ürün yapısal özelliklerinde meydana gelen değişimler gözlenmiştir (Şekil 4.15 ve 4.16). Diyet fiber içeren çözeltilerde ısı işlem sırasında meydana gelen emülsiyon kırılması devam ederek net bir faz ayrılması sorunu yaşanırken diyet fiber içermeyen ürünlerde bu problem 1 aylık süreçte gözlenmemiştir.



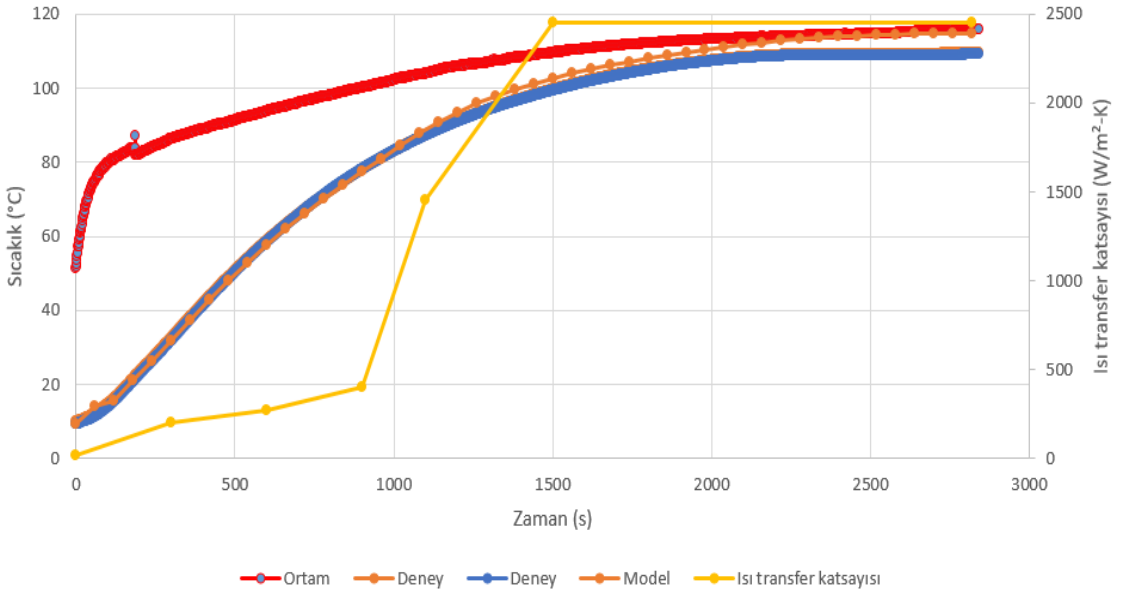
Şekil 4.8 Retort sistemin hızlı ısınma koşullarında kısa ısı çift yardımıyla gerçekleştirilen diyet fiber içermeyen enteral beslenme çözeltisi deneyine ait doğrulama çalışması



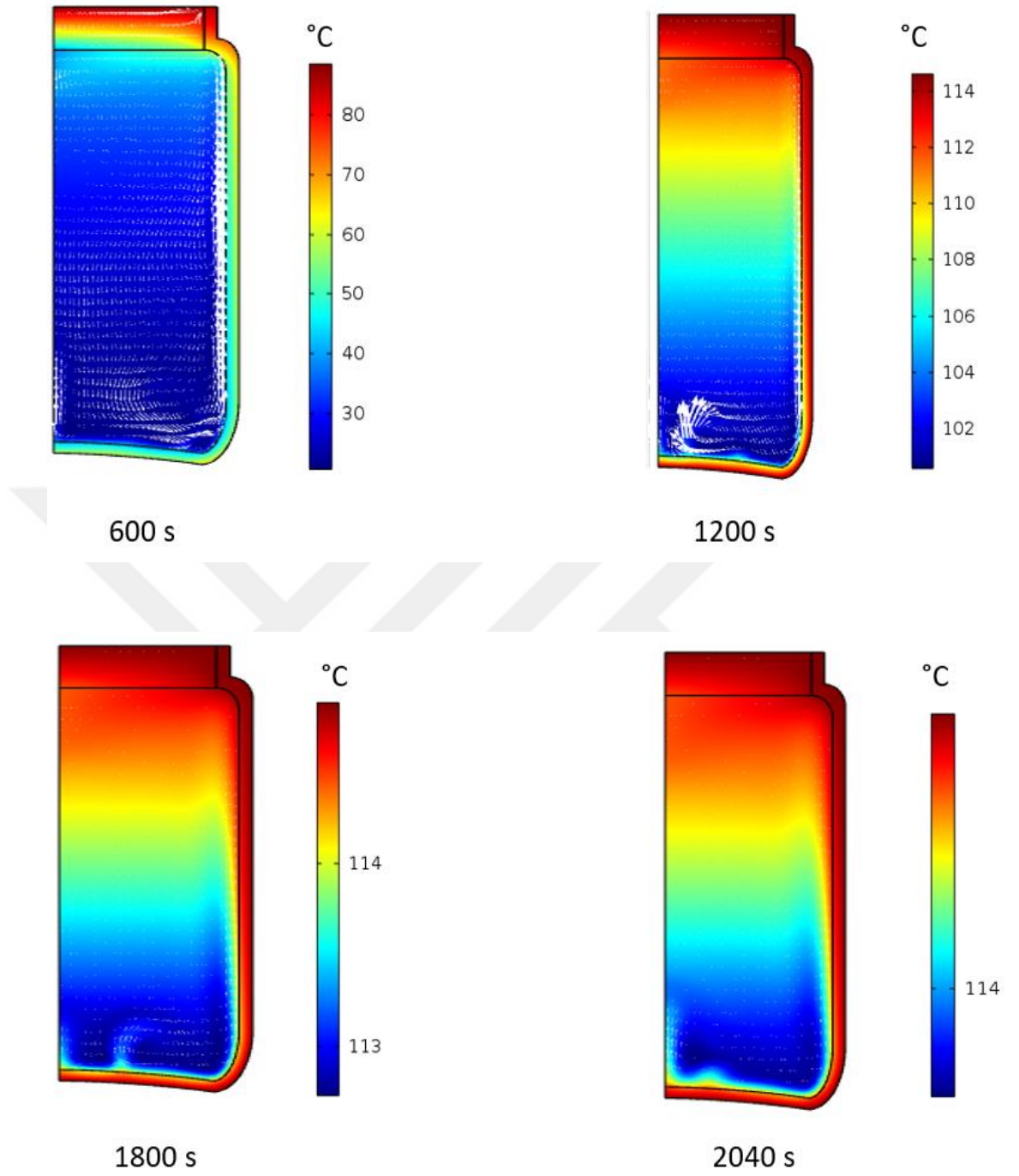
Şekil 4.9 Retort sistemin hızlı ısınma koşullarında kısa uzun çift yardımıyla gerçekleştirilen diyet fiber içermeyen enteral beslenme çözeltisi deneyine ait doğrulama çalışması



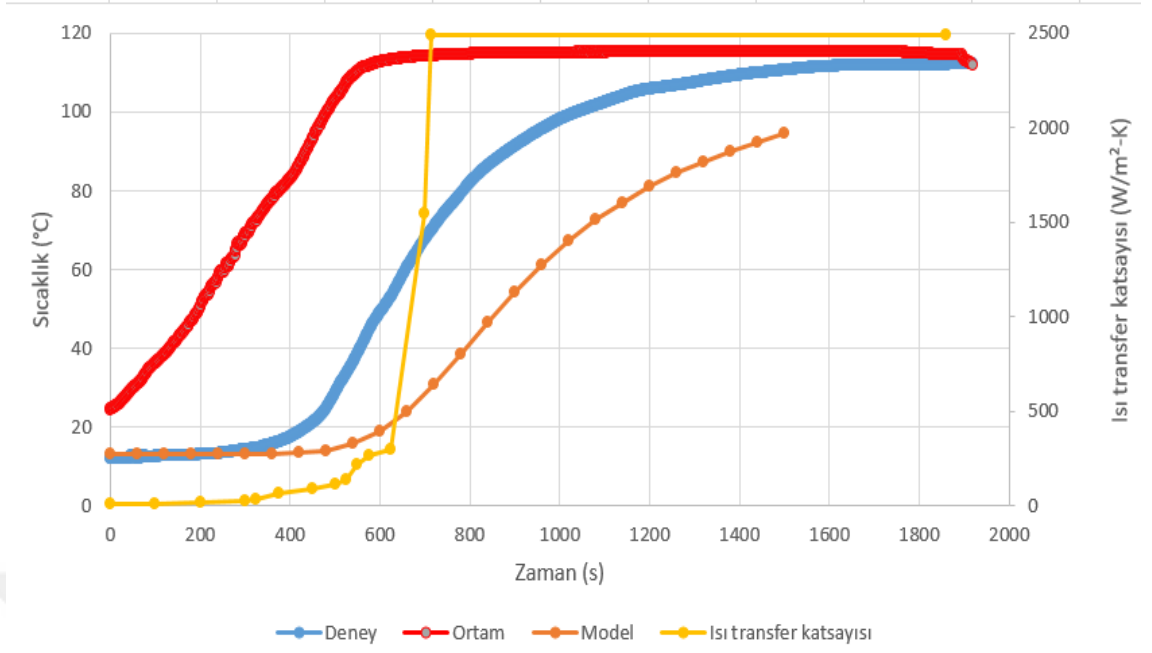
Şekil 4.10 Retort sistemin yavaş ısınma koşullarında uzun ısı çift yardımıyla gerçekleştirilen diyet fiber içermeyen enteral beslenme çözeltisi deneyine ait doğrulama çalışması



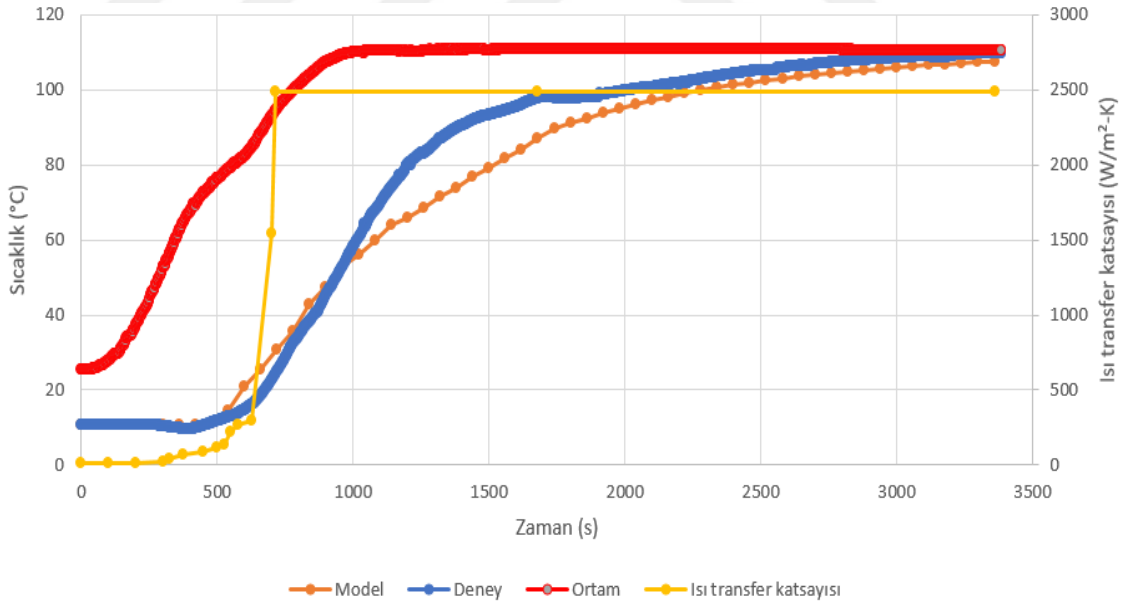
Şekil 4.11 Retort sistemin yavaş ısınma koşullarında uzun ısı çift yardımıyla gerçekleştirilen diyet fiber içermeyen enteral beslenme çözeltisi deneyine ait doğrulama çalışması



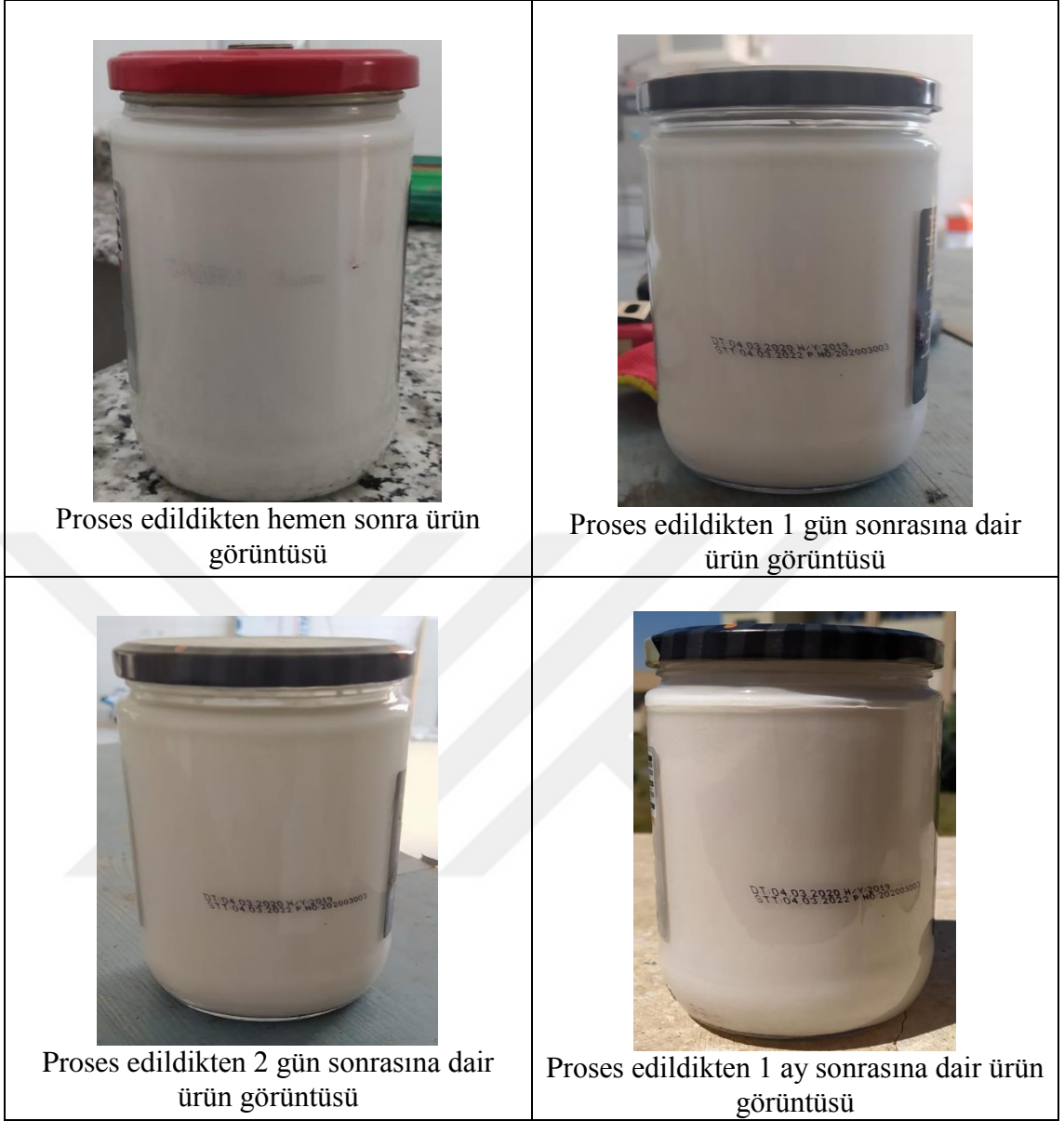
Şekil 4.12 Retort sistemin hızlı ısınma koşullarında kısa ısıl çift yardımıyla gerçekleştirilen deneysel koşullar kullanılarak gerçekleştirilen model çalışmasından elde edilen (diyet fiber içermeyen) enteral çözelti sıcaklık ve hız profili değişimi



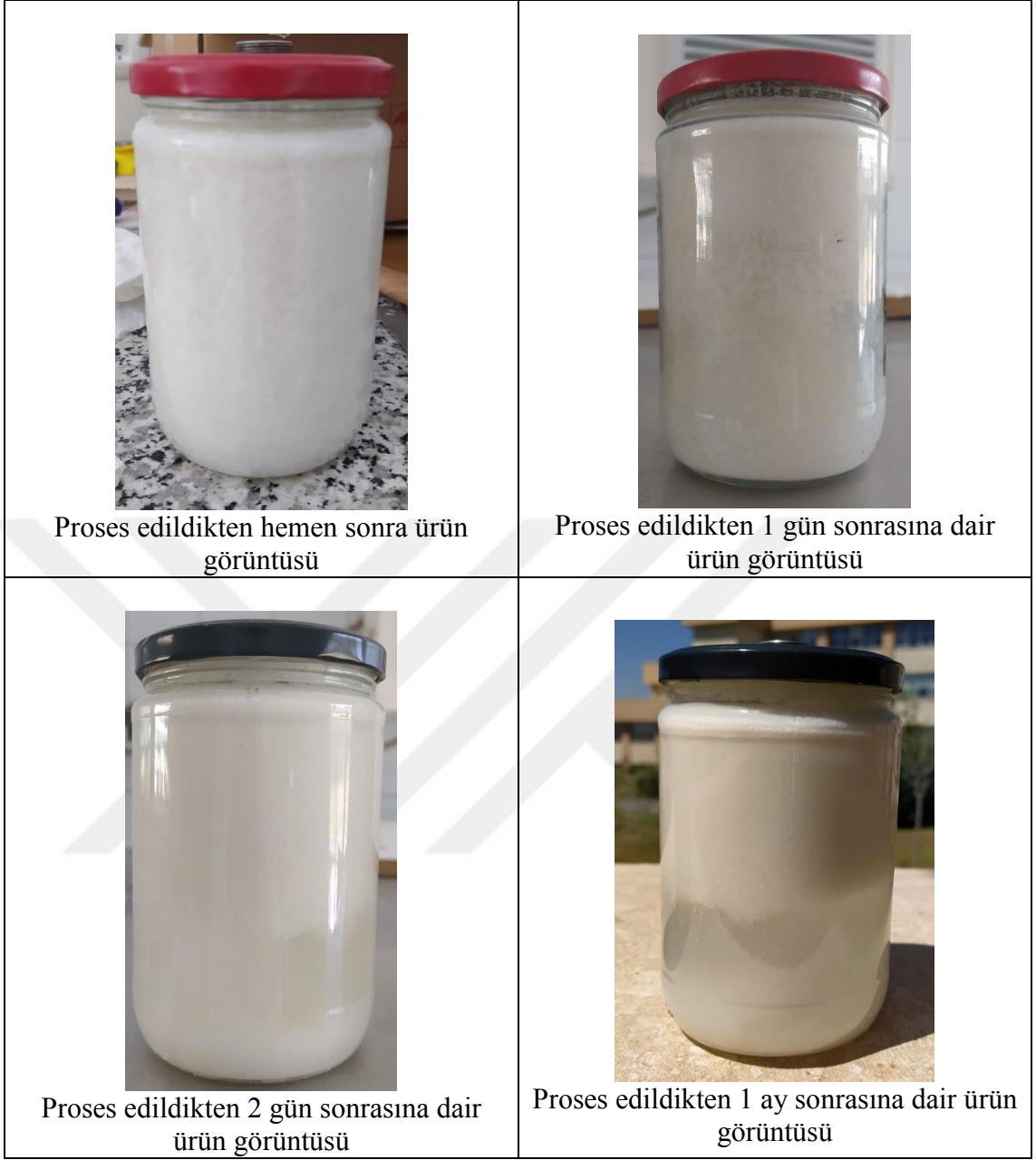
Şekil 4.13 Retort sistemin hızlı ısınma koşullarında kısa ısıl çift yardımı ile gerçekleştirilen diyet fiber içeren enteral beslenme çözeltisi deneyine ait doğrulama çalışması



Şekil 4.14 Retort sistemin hızlı ısınma koşullarında uzun ısıl çift yardımı ile gerçekleştirilen diyet fiber içeren enteral beslenme çözeltisi deneyine ait doğrulama çalışması



Şekil 4.15 Retort sistemin hızlı ısınma koşullarında ısı işleme uygulanan ve diyet fiber içermeyen enteral beslenme çözeltilerinde 1 aylık depolama sürecinde alınan ürün görüntüleri



Şekil 4.16 Retort sistemin hızlı ısınma koşullarında ısıl işlem uygulanan ve diyet fiber içeren enteral beslenme çözeltilerinde 1 aylık depolama sürecinde alınan ürün görüntüleri

4.3.4 İstatitksel analiz

Model – deney sonuçları karşılaştırılması kapsamında RMSE (denklik 4.1) değerleri hesaplanarak model sonuçları ile deneysel sonuçların uyumu istatistiksel olarak belirlenmiştir. Bu bağlamda, farklı deneysel doğrulama çalışmaları için elde edilen RMSE değerleri Çizelge 4.7’de verilmiştir. Çizelge 4.7’de de gözlendiği gibi RMSE değerlerinin düşük olması model – deney sonuçları uyumunu göstermektedir.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (T_{model} - T_{deney})^2} \quad (4.1)$$

Çizelge 4.7 Model – deney sonuçları karşılaştırılması kapsamında hesaplanan RMSE (denklik 4.1) değerleri

Deneysel doğrulama çalışması (Şekil no)	RMSE değeri
Şekil 4.3 (saf su)	3.83
Şekil 4.4 (saf su)	3.07
Şekil 4.5 (%0.5 CMC)	1.86
Şekil 4.8 (enteral solüsyon)	3.32
Şekil 4.9 (enteral solüsyon)	2.46
Şekil 4.10 (enteral solüsyon)	3.44
Şekil 4.11 (enteral soüsyon)	3.24
Şekil 4.13 (enteral solüsyon)	24.20
Şekil 4.14 (enteral solüsyon)	6.57

Çizelge 4.7’de görüldüğü üzere doğrulama çalışmasında başarı sağlanan modellere ait RMSE değerleri düşük iken (<5), model-deney doğrulama çalışmalarında başarı sağlanamayan diyet fiber içerikli enteral solüsyonlara ait model-deney sonuçlarına ait (Şekil 4.13 ve 4.14) RMSE değerleri yüksek bulunmuştur. Şekil 4.14 kapsamında elde

edilen RMSE değeri, bir önceki duruma göre göreceli olarak daha uygun olsa da, Şekil 4.13'de de gözlendiği üzere model sonuçları ile deneysel veri arasındaki uyumsuzluk net olarak görülmektedir.

4.4 Proses Tasarım Çalışmaları

Proses tasarım çalışmaları kapsamında iki ayrı simülasyon çalışması gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalarda enteral beslenme çözeltilerine uygulanan proses süreleri, ürün soğuk noktasında (en yavaş ısınan bölge) elde edilen sterilizasyon değerinin 2.52 hedefinin üzerinde elde edilmesi amacıyla proses süresi belirlenmiştir.

Bu çalışmalarda deneysel veriler ve endüstriyel proses uygulaması sıcaklık verilerine bağlı olarak iki adet simülasyon çalışması yapılmış ve proses sonunda enteral beslenme çözeltilerinde meydana gelen A ve C vitamin kayıpları hesaplanmıştır.

4.4.1 Deneysel koşullara bağlı olarak gerçekleştirilen simülasyon çalışması

Bu başlık altında daha önce doğrulama çalışmalarının başarıyla gerçekleştirildiği (diyet fiber içermeyen) enteral beslenme çözeltisi deney sonuçları ile doğrulanan model sonuçlarına göre, ürün soğuk noktasında elde edilen sterilizasyon değerinin 2.52 dakika değerinin altında olduğu görülmüştür.

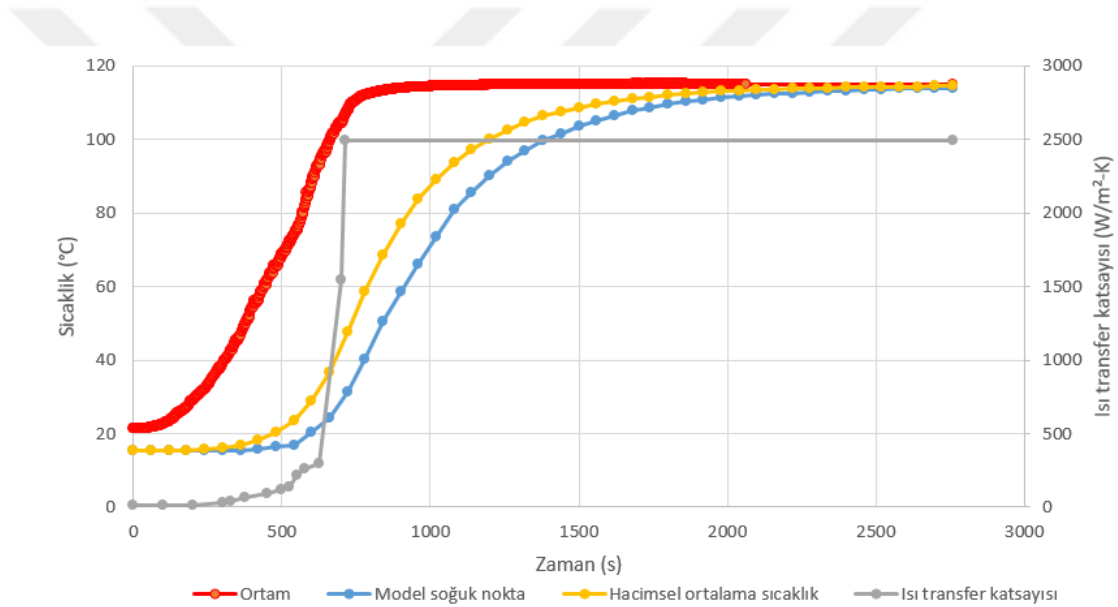
Düşük asitli, yani pH değeri 4.6'dan yüksek olan gıdalarda gelişimi en tehlikeli olan mikroorganizma *C.botulinum*'dur. Konserve gıdalarda bu mikroorganizmanın ısıl işlem yoluyla inhibe edilmesine dair ilk deney Esty ve Meyer (1922)'de yapmış olup bu çalışma sonuçlarına göre, *C.botulinum* inaktivasyonu amacıyla 12 log evre azalma için ($D_{121.1}^{\circ C}=0.21$ dk) derece sıcaklıkta 2.52 dakika ($=12 \times 0.21$) gerekli olduğu belirlenmiştir.

Bunun üzerine Retort sistemin hızlı ısınma koşullarında gerçekleştirilen model çalışmasına göre proses süresi uzatılmıştır. Deneysel verilerde elde edilen ortam sıcaklık değişimi ve ısı transfer katsayısının kullanıldığı bu simülasyon çalışmasında

(proses süresinin uzatıldığı andan itibaren son kullanılan sıcaklık ve ısı transfer katsayısı değeri kullanılmıştır) 2760 s proses sonunda sterilizasyon değeri 2.70 dakika olarak elde edilmiştir.

Simüle edilen bu prosese göre elde edilen sıcaklık değişimi (ürün hacimsel ortalama ve soğuk nokta sıcaklık değişimi) Şekil 4.17’de verilmiş olup, bu süreç sonucunda sonunda:

- C vitamini kaybı %7.54 ve
- A vitamini kaybı ise %8.7 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.17 Retort sistemin hızlı ısınma koşullarında yeterli sterilizasyon değeri (>2.52 dakika) elde edilmesi amacıyla gerçekleştirilen simülasyon çalışması sıcaklık verileri

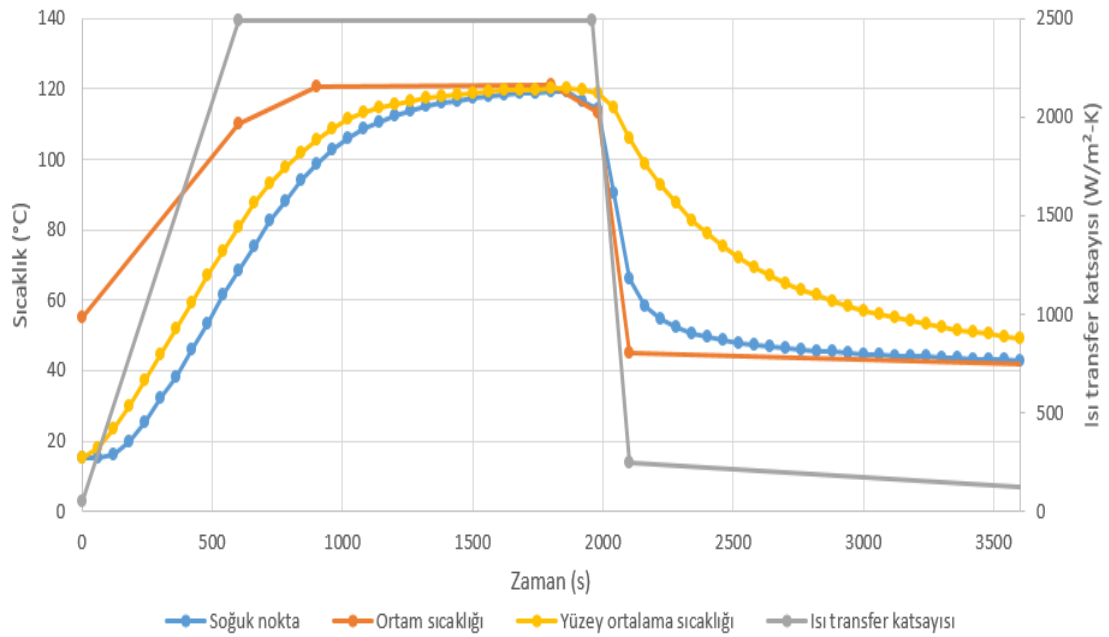
4.4.2 Endüstriyel proses koşulları kullanılarak gerçekleştirilen simülasyon çalışması

İkinci tasarım çalışmasında, endüstriyel proses koşullarında, diyet fiber içermeyen enteral beslenme çözeltisi için, ısıtma ve soğutma döngülerinin kullanıldığı durumda ürün sıcaklık değişimi ve sterilizasyon değeri belirlenmiştir. Şekil 4.18 bu koşullarda

kullanılan ortam sıcaklık ve ısı transfer katsayısı değişimi ile elde edilen ürün sıcaklık değişimini (hacimsel ortalama ve soğuk nokta sıcaklık değişimi) göstermektedir. Bu proses koşullarında:

- C vitamini kaybı %10.1
- A vitamini kaybı ise %9.0 olarak belirlenmiştir.

Endüstriyel proses koşullarında hesaplanan sterilizasyon değeri ise $5.03+0.88$ olarak belirlenmiştir. 0.88 değeri prosesin soğutma dōngüsünde elde edilen sterilizasyon değeridir.



şekil 4.18 Retort sistemin endüstriyel proses koşullarında yeterli sterilizasyon değeri (>2.52 dakika) elde edilmesi amacıyla geręekleřtirilen simülasyon çalışması sıcaklık verileri

5. SONUÇLAR

Bu tez çalışması kapsamında retort sistem kullanılarak gerçekleştirilen ısı işlem uygulaması ile enteral beslenme çözeltileri için bir sterilizasyon proses uygulaması gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda, ısı işlem uygulaması sırasında elde edilen deneysel sıcaklık ölçümleri, geliştirilen matematiksel modellerin doğrulaması amacıyla kullanılmıştır. Doğrulama çalışmalarında düşük viskoziteye sahip Newtonumsu akışkan örneğinden (saf su) başlayarak yüksek viskoziteli Newtonumsu olmayan (%0.5 konsantrasyonunda CMC çözeltisi ve diyet lif içeren ve içermeyen enteral beslenme çözeltisi örnekleri) sıvılar kullanılmıştır.

Deneysel çalışmalarda 500 mL cam kavanozlar içerisine alınan sıvı örneklerde, her deneyde bir ölçüm olmak üzere, iki farklı noktadan sıcaklık ölçümü gerçekleştirilmiştir. Ürün içi sıcaklık değişiminin belirlenmesi amacıyla geliştirilen modellerin doğrulama çalışmalarında saf su, %0.5 CMC çözeltisi ve diyet lif içermeyen enteral beslenme çözeltilerinin kullanıldığı durumlarda deney ve model sonuçları arasında bir uyum elde edilmiştir. Ancak diyet lif içeren enteral beslenme çözeltilerinin kullanıldığı durumlarda, ısı işlem uygulaması sırasında ürünün emülsiyon yapısında bir kırılma ve buna bağlı olarak faz ayrılması olduğu gözlenmiştir. Bu durum ürün içerisinde daha düşük ve daha yüksek viskozite değerine sahip bölgelerin oluşmasına yol açmış ve sonuç olarak matematiksel model sonuçları ile deneysel veriler arasında önemli bir fark ortaya çıkmıştır. Bu durum, bu ürünlerin hazırlanmasında yetersiz emülgatör kullanımı ile ilişkilendirilmiştir. Isıl işlem çalışmalarından sonraki 1 aylık süreçte oda sıcaklığında ve karanlıkta depolanan, ısı işlem uygulaması yapılmış, enteral beslenme çözeltisi örneklerinde emülsiyon kırılması durumu devam etmiştir. Diyet lif içermeyen enteral beslenme çözeltisi örneklerinde ise ısı işlem sırasında gözlenen stabil emülsiyon durumu depolama sürecinde de devam etmiştir.

Çalışmanın son aşamasında doğrulanan modellerin kullanımıyla proses simülasyon çalışmaları gerçekleştirilmiş ve enteral beslenme çözeltilerinde, sterilizasyon prosesi sonunda, gerçekleşen vitamin kayıpları belirlenmiştir. Bu çalışmada ürünlerin soğuk noktasında elde edilen sıcaklık değişimine göre sterilizasyon değerleri belirlenmiş ve

2.52 dakikanın (bu değer düşük asitli – pH>4.6 olan gıra ürünlerinde hedeflenen sterilizasyon değeri olup, bu temelde geręekleşen bir ısı işlem uygulamasında ürünlerdeki *C.botulinum* spor sayısında 12 log evrelik bir azalma sağlanmaktadır) üzerinde elde edilen değer temelinde vitamin kayıpları (C- ve A- vitamini için literatür kinetik verileri kullanılarak) hesaplanmıştır. Bu bağlamda C- ve A- vitamin kayıplarının sterilizasyon sonrasında %10'un altında olduğu belirlenmiştir. Sonuç olarak enteral beslenme çözeltileri için retort ısı işlem uygulamasının endüstriyel bir proses temelinde kullanılabileceği bütün tez çalışması temelinde açıklanmıştır.



KAYNAKLAR

- Anonymous 2020, Web sitesi: www.cancerresearchuk.org Erişim Tarihi:29.12.2020
- Arias, M.L., Monge, R. ve Chavez C. 2003. Microbial contamination of enteral feeding solutions used in Costa Rican Hospitals. *Archivos Latinoamericanos de Nutricion*, 53(3)
- Atıl, G.U. 2021. Developing enteral feeding formulations with different protein sources, rheological characterization and microstructural analysis of these formulations, 47
- Bastow, M.D., Greaves, P. ve Allison, S.P. 1982. Human nutrition. *Applied Nutrition*, 36(3), 213
- Best C., 2008, Enteral tube feeding and infection control: how safe is our practice?, *British Journal of Nursing* , Vol 17., No.16, pg.1038-1041
- Bown, G. 1985. Microcomputer controlled batch sterilization in food industry, *Chemistry and Industry*, 359-365
- Boz, Z., Erdogdu, F. ve Tutar, M. 2014. Effects of mesh refinement, time step size and numerical scheme on the computational modelling of temperature evolution during natural-convection heating, *Journal of Food Engineering*, 123, 8-16
- Brian, A.F. ve Bryan R.B. 2001. Evaluation of thermophysical property models for foods, *HVAC&R Research*, 7, 312
- Brito-Ashurst, J. ve Preiser J. 2016. Diarrhea in critically ill patients: the role of enteral feeding, *Journal of Parenteral and Enteral Nutrition*, 40(7), 913-923
- Clark, J.P. 1978. Mathematical modelling in sterilization processes, *Food Technology (USA)* , 32(3), 73-75
- Datta, A.K. ve Teixeira, A.A. 1988. Numerically predicted transient temperature and velocity profiles during natural convection heating of canned liquid foods. *Journal of Food Science*, 53, 191-195.
- Day, A., Whitten, K. E.,Lemberg, D. A., Clarkson, C., Vitug Sales, M., Jackson, R. ve Bohane, T. D. 2006. Exclusive enteral feeding as primary therapy for Crohn's disease in Australian children and adolescent: A feasible and effective approach, *J Gastroenterol Hepatol*, 21(10), 24-25
- Erdogdu, F. ve Tutar, M. 2011. Velocity and temperature field characteristics of water and air during natural convection heating in cans, *Journal of Food Science*
- Esin, A. ve Sumer, A. 1991. Effect of can arrangement on temperature distribution in still retort sterilization, *Journal of Food Engineering*, 15(4),241-259
- Fagerman K.E., 1992, Limiting bacterial contamination of enteral nutrient solutions:6-year history with reduction of contamination at two institutions, *Journal of Korean Biological Nursing Science*, 13(3), 204-210
- Featherstone, S. 2016, *A Complete Course in Canning and Related Food Product*, A volume in Woodhead Publishing Series in Food Science, 14(3), 84-86

- Gross, M. ve Held, I. 1915. Duodenal alimentation, *Journal of American Medical Association*, 65(2), 520-523
- Harkness, L. 2002. The history of enteral nutrition therapy: from raw eggs and nasal tubes to purified amino acids and early postoperative jejunal delivery. *Journal of the American Dietetic Association*, 102, 399-404.
- Holdsworth, S.D. 1983. Developments in the control of sterilising retorts. *Process Biochemistry*, 18, 24-28.
- Jalali, M., Sabzghabae, A. M., Badri, S. S., Soltani, H.A, Maracy, M.R. 2009. Bacterial contamination of hospital-prepared enteral tube feeding formulas in Isfahan, *Journal of Research in Medical Sciences*, 14(3), 149-156
- Kemer, F., 1979, *The Nalco water handbook*, McGraw-Hill, 48(2), 842-860
- Kumar, A., Bhattacharya, M. ve Blaylock, J. 1990. Numerical simulation of natural convection heating of canned thick viscous liquid food products. *Journal of Food Science*, 55, 1403-1411
- Lappo, B. P. ve Povey, M.J.W. 1986. Microprocessor control system for thermal sterilisation operations, *Journal of Food Engineering*, 5, 31-53
- Leonhardt, G.F. 1976. Estimation of the central temperature of thermally conductive food in cylindrical and rectangular cans during heat processing, *Journal of Food Science*, 41(4), 685-690
- Li X., Farid M. 2016. A review on recent development in non-conventional food sterilization technologies, *Journal of Food*
- Lund, D. 1983. Effects of heat processing on nutrients, *Nutritional Evaluation of Food Processing*, 58(8), 319-354
- Lund, M.B. ve Peck, M.W. 2013. *Guide to foodborne pathogens*, Chapter 6, 2, 91-111
- Marechal, F., Nasca, S. ve Bussy, V. 1992. Microbial contamination of enteral feeding tubes occurring during nutritional treatment, *American Society for Parenteral and Enteral Nutrition*, 16(6), 148-152
- Marshall, A.P. ve West, S.H. 2006. Enteral feeding in the critically ill: Are nursing practices contributing to hypocaloric feeding?, *Intensive and Critical Care Nursing*, 22(2) 95-105
- Mehall, J.R., Kite, C.A., Saltzman, D.A, Wallett, T., Jackson, R.J. ve Smith, S.D. 2002. Prospective study of the incidence and complications of bacterial contamination of feeding in neonates, *Journal of Pediatric Surgery*, Vol. 37, 1177-1182
- Meyer, D.H. ve Donnelly, C.W. 1992. Effect of incubation temperature on repair of heat-injured *Listeria* in milk, *Journal of Food Protection*, 55(8)579-582
- Norton, T. ve Sun, D-W. 2006. Computational fluid dynamics (CFD)- an effective and efficient design and analysis tool for the food industry: a review, *Trends in Food Science & Technology*. 77, 600-620.

- Oie, S., Kamiya, A., Hironaga, K. ve Koshiro A. 1993. Microbial Contamination of Enteral Feeding Solution and its Prevention, *American Journal of Infection Control*, 21(1), 202-205
- Okuma, T., Nakamura M., Totake H. ve Fukunaga Y. 2000. Microbial Contamination of Enteral Feeding Formulas and Diarrhea, *Nutrition* 2000,16, 719–722,
- Patchell, C.J., Anderton A., Holden C., MacDonald, A., George R.H., Booth J.W., 1998, Reducing bacterial Contamination of enteral feeds, *Archives of Disease in Childhood*, 78(2), 166-168
- Penicaud, C., Achir, N., Dhuique-mayer, C., Dornier, M., Bohoun, P., 2010, Degradation of B-carotene during fruit and vegetable processing or storage: reaction mechanisms and kinetic aspects: a review, *Fruits- Journal*, 66(4), 417-440
- Roy, S., Rigal, M., Doit C., Fontan, J. E., Machinot, S., Bingen, E., Cezard, J.P., Brion, F. ve Hankard, R. 2005. Bacterial Contamination of Enteral Nutrition in paediatric hospital, *Journal of Hospital Infection*, 59(1), 311-316
- Seron-Arbeloa, C., Zanora-Elson, M., Labarta-Monzon, L. ve Mallor- Bonet, T. 2013. Enteral Nutrition in Critical Care, *Journal of Clinical Care*, 5(1), 1-11
- Sümer, A. 1988. Mathematical model to predict the effects of can arrangement geometry on temperature distribution during the retort sterilization
- Teixeira, A.A. 2015. Thermal food preservation techniques (pasteurization, sterilization, canning and blanching). In: *conventional and advanced food processing Technologies*. Chapter 6, 115-128
- Teixeira, A. A. ve Tucker, G.S. 1997. On-line retort control in thermal sterilization of canned foods, *Food Control*, 8(1), 13-20
- Tutar, M. ve Erdogan, F. 2012. Numerical simulation for heat transfer and velocity field characteristics of two-phase flow systems in axially rotating cans, *Journal of Food Engineering*, 111, 366-385
- Vassilyadi, F. ve Panteliadou, A. 2013. Hallmarks in the history of enteral and parenteral nutrition: from antiquity to the 20th century, *Nutrition in Clinical Practice*, 28(2), 209-217
- Vieira, M. ve Teixeira, A., Silva. 2000. Mathematical modelling of the thermal degradation kinetics of vitamin C in cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*) nectar, *Journal of food engineering*, 43(1), 1-7
- Wojciechowski, J. ve Ryniecki, A. 1989. Computer control of sterilization of canned meat products, *Fleischwirtschaft*, 69(2) , 268-70