

T.C.
YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**TULUMBA TATLISININ DERİN YAĞDA KIZARTILMA İŞLEMİNİN
EŞZAMANLI ISI VE KÜTLE TRANSFER PARAMETRELERİNİN
BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZIRLAYAN: Yağmur ERİM KÖSE
DANIŞMAN: Prof. Dr. İsmail Sait DOĞAN

VAN-2014

YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**TULUMBA TATLISININ DERİN YAĞDA KIZARTILMA İŞLEMİNİN
EŞZAMANLI ISI VE KÜTLE TRANSFER PARAMETRELERİNİN
BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZIRLAYAN: Yağmur ERİM KÖSE

Bu çalışma, YYÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Başkanlığı tarafından 2013-FBE-YL-055
nolu proje olarak desteklenmiştir.

VAN-2014

KABUL VE ONAY SAYFASI

Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı'nda, Prof. Dr. İsmail Sait DOĞAN danışmanlığında, Yağmur ERİM KÖSE tarafından hazırlanan '**Tulumba Tatlısının Derin Yağda Kızartılma İşleminin Eşzamanlı Isı ve Kütle Transfer Parametrelerinin Belirlenmesi**' isimli bu çalışma 'Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği' ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönergesinin ilgili hükümleri gereğince 02.07.2014 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile başarılı bulunmuş ve yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan:

İmza

Prof. Dr. İsmail Sait DOĞAN

Üye:

İmza

Prof. Dr. İsa CAVİDOĞLU

Üye:

İmza

Prof. Dr. Mehmet Maşuk KÜÇÜK

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun/...../..... tarih ve sayılı kararı ile onaylanmıştır.

İmza

.....

Enstitü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Yağmur ERİM KÖSE

ÖZET

TULUMBA TATLISININ DERİN YAĞDA KIZARTILMA İŞLEMİNİN EŞZAMANLI ISI VE KÜTLE TRANSFER PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ

ERİM KÖSE, Yağmur
Yüksek Lisans Tezi, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı
Tez Danışmanı: Prof. Dr. İsmail Sait DOĞAN
Temmuz 2014, 43 sayfa

Bu çalışmada derin yağda tulumba tatlısı hamuru kızartma işlemi eşzamanlı ısı ve kütle transferi olarak deneysel ve analitik yöntemlerle incelenmiştir. Etkin ısı ve kütle transfer parametreleri, Tulumba hamurunun ($\varnothing$ 20 mm, h: 40 mm) 150, 160, 170 ve 180 °C sıcaklıklarındaki ayçiçeği yağında kızartılmasıyla hesaplanmıştır. Difüzyonla nem transfer mekanizması % 58.48 'lik bir başlangıç nem oranı ile incelenmiş ve etkin kütle transfer katsayısının yağ sıcaklığının artmasıyla doğrusal, etkin nem difüzyon katsayısının ise üstel olarak arttığı görülmüştür. Kütle transferi için değerler sırasıyla; 3.009, 3.225, 3.445 ve 3.695 x 10⁻⁶ m/s iken, nem difüzyonu için 1.77, 2.15, 2.69 ve 3.59 x 10⁻⁷ m²/s olarak hesaplanmıştır. Ayrıca etkin nem difüzyon katsayısı ve yağ sıcaklığı arasında Arrhenius tipi bir ilişki belirlenmiş ve buradan aktivasyon enerjisi 36.58 kJ/mol bulunmuştur. Öte yandan derin yağda kızartma için yükselen yağ sıcaklığının, etkin ısı transfer katsayısı değerlerinin azalmasına neden olduğu ve maksimum değer 150 °C' de 182.41 W/m²°C, en küçük değer ise 180 °C' de 125.715 W/m²°C olduğu belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Derin yağda kızartma, Isı transfer katsayısı, Kütle transfer katsayısı, Nem difüzyon katsayısı, Kızartılmış hamur, Tulumba tatlısı.

ABSTRACT

DETERMINATION OF SIMULTANEOUS HEAT AND MASS TRANSFER PARAMETERS DURING DEEP FAT FRYING OF TULUMBA DESSERT

ERİM KÖSE, Yağmur
Master Thesis, Department of Food Engineering
Supervisor: Prof. Dr. İsmail Sait DOĞAN
July 2014, 43 pages

Deep fat frying process of tulumba dessert dough was investigated by experimental and analytical methods as a simultaneous heat and mass transfer process in this study. Effective heat and mass transfer parameters were determined during frying of Tulumba dough (Ø: 20 mm, h: 40 mm) in sunflower oil at 150, 160, 170 and 180 °C, respectively. The mechanism of moisture transfer by diffusion was studied with an initial moisture content of % 58.48. Effective mass transfer coefficient increased linearly, whereas effective moisture diffusivity increased exponentially with increasing oil temperature. The values were 1.77, 2.15, 2.69 and 3.59 x 10⁻⁷ m²/s for moisture diffusivity and 3.009, 3.225, 3.445 and 3.695 x 10⁻⁶ m/s for mass transfer coefficient respectively. An Arrhenius equation was found between the frying temperature and the effective moisture diffusivity, so activation energy value was calculated at 36.58 kJ/mol. On the other hand, higher oil temperature decreased the value of effective heat transfer coefficient during deep-fat frying. The maximum value was determined (182.41 W/m²°C) at 150 °C and the minimal value 125.715 W/m²°C at 180 °C.

Key words: Deep fat frying, Heat transfer coefficient, Mass transfer coefficient
Moisture diffusivity, Fried dough, Tulumba dessert.

ÖN SÖZ

Bu tez çalışmasının planlanmasından yürütülmesine kadar her türlü ilgi ve yardımlarını esirgemeyen tez danışmanım, değerli hocam Sayın Prof. Dr. İsmail Sait DOĞAN' a sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca çalışmalarım esnasında sağladığı katkılarla araştırmalarımaya yön veren Sayın Prof. Dr. Yunus A. Çengel' e ve hem bilimsel hem manevi desteğiyle daima yanımda olan değerli eşim, meslektaşım ve hayat arkadaşım Arş. Gör. Şenol KÖSE' ye teşekkürü bir borç bilirim.

Yüzüncü Yıl Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Başkanlığı'nın 2013-FBE-YL 055 nolu proje çerçevesinde sağladığı maddi desteğe teşekkür ederim.

Ayrıca maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen, her daim yanımda olan anneme, babama ve çok değerli kardeşlerime büyük bir özlemle şükranlarımı sunarım.

Yağmur ERİM KÖSE

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	iii
ÖN SÖZ	v
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELER LİSTESİ	ix
ŞEKİLLER LİSTESİ	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR	xiii
EKLER DİZİNİ	xv
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR BİLDİRİŞLERİ	3
2.1. Tulumba Tatlısı	3
2.2. Kızartma İşlemi	6
2.3. Isı ve Kütle Transfer Parametrelerinin Belirlenmesi	7
3. MATERYAL VE YÖNTEM	12
3.1. Materyal	12
3.2. Yöntem	12
3.2.1. Tulumba tatlısı üretimi	12
3.2.2. Kimyasal analizler	13
3.2.3. Isı transfer katsayısının belirlenmesi	13
3.2.3.1. Termofiziksel özelliklerin belirlenmesi	13
3.2.3.2. Kızartma sırasında sıcaklık-zaman verilerinin elde edilmesi	14
3.2.3.3. Matematiksel yöntem	14
3.2.4. Kütle transfer parametrelerinin belirlenmesi	18
3.2.4.1. Kızartma sırasında tulumba tatlılarında nem içeriğinin belirlenmesi	18
3.2.4.2. Matematiksel yöntem	19
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	23
4.1. Isı Transfer Katsayısı	23
4.1.1. Termofiziksel özellikler	23
4.1.2. Kızartma sırasında elde edilen sıcaklık-zaman verileri	23
4.1.3. Matematiksel sonuçlar	25
4.2. Kütle Transfer Parametreleri	28
4.2.1. Kızartma sırasında elde edilen nem içerik verileri	28
4.2.2. Matematiksel sonuçlar	30
5. SONUÇ	33
KAYNAKLAR	35
EKLER	39
ÖZGEÇMİŞ	43

ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge		Sayfa
Çizelge 3.1.	Tulumba tatlısının genel formülasyonu	13
Çizelge 4.1.	Tulumba tatlısına ait termofiziksel özellikler	23
Çizelge 4.2.	Farklı sıcaklıklarda yapılan kızartma deneyleri için elde edilen Biot sayısı ve etkin ısı transfer katsayısı değerleri	27
Çizelge 4.3.	Farklı sıcaklıklarda yapılan kızartma deneyleri için elde edilen Biot sayısı ve etkin kütle transfer katsayısı değerleri	30

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil		Sayfa
Şekil 3.1.	α kalınlıklı düzlem duvar ile r_0 yarıçaplı uzun silindirin ara kesiti	15
Şekil 4.1.	150 °C kızartma sıcaklığında elde edilen tulumba tatlısının iç sıcaklığı	24
Şekil 4.2.	160 °C kızartma sıcaklığında elde edilen tulumba tatlısının iç sıcaklığı	24
Şekil 4.3.	170 °C kızartma sıcaklığında elde edilen tulumba tatlısının iç sıcaklığı	25
Şekil 4.4.	180 °C kızartma sıcaklığında elde edilen tulumba tatlısının iç sıcaklığı	25
Şekil 4.5.	Tulumba tatlılarının farklı yağ sıcaklıklarında kızartılması sırasında elde edilen $\ln \left(\frac{T-T_\infty}{T_i-T_\infty} \right)$ - zaman grafikleri	26
Şekil 4.6.	Tulumba tatlılarının farklı yağ sıcaklıklarında kızartılması sırasında elde edilen $\ln \left(\frac{T-T_\infty}{T_i-T_\infty} \right)$ - zaman grafiklerinin doğrusal kısımları	27
Şekil 4.7.	Tulumba tatlı hamurunun farklı yağ sıcaklıklarında kızartılması sırasında elde edilen %nem içeriği - zaman verileri	28
Şekil 4.8.	Tulumba tatlı hamurlarının farklı yağ sıcaklıklarında kızartılması sırasında elde edilen $\left(\frac{C-C_\infty}{C_i-C_\infty} \right)$ - zaman grafikleri	29
Şekil 4.9.	Tulumba tatlılarının farklı yağ sıcaklıklarında kızartılması sırasında elde edilen $\ln \left(\frac{C-C_\infty}{C_i-C_\infty} \right)$ - zaman grafikleri	30
Şekil 4.10.	Difüzyon katsayısının sıcaklıkla ilişkisi	31
Şekil Ek1.1.	Tulumba tatlılarının 160 ° C yağ sıcaklığında kızartılması sırasında elde edilen $\ln \left(\frac{T-T_\infty}{T_i-T_\infty} \right)$ - zaman grafiğinin doğrusal kısmı	39
Şekil Ek2.1.	Tulumba tatlılarının 160 °C yağ sıcaklığında kızartılması sırasında elde edilen $\ln \left(\frac{C-C_\infty}{C_i-C_\infty} \right)$ - zaman grafiği	41

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

Bi	Biot sayısı
$^{\circ}C$	Santigrat derece
C	Nem deriřimi (g nem/ g kurumadde)
C_{∞}	Kızartma ortamının nem derişimi (g nem/ g kurumadde)
C_i	Başlangıç nem derişimi (g nem/ g kurumadde)
$C_{(z,t)}$	Sonsuz plaka içinde herhangi bir anda herhangi bir konumdaki nem deriřimi
$C_{(r,t)}$	Sonsuz silindir içinde herhangi bir anda herhangi bir konumdaki nem deriřimi
$C_{(0zr)}$	Sonlu silindirin merkez ekseninde nem deriřimi
$C_{(r,z,t)}$	Tulumba tatlısı geometrisinde herhangi bir anda herhangi bir konumdaki nem derişimi
c_p	Özgöl ısı (J/ kg $^{\circ}C$)
D_e	Etkin nem difüzyon katsayısı (m^2/s)
h	Isı transfer katsayısı ($W/ m^2^{\circ}C$)
h_e	Etkin ısı transfer katsayısı ($W/ m^2^{\circ}C$)
J_0	Birinci tür sıfırıncı mertebe Bessel fonksiyonu
J_1	Birinci tür birinci mertebe Bessel fonksiyonu
k	Isıl iletkenlik katsayısı
k_e	Etkin kütle transfer katsayısı (m/s)
L	Yarı kalınlık (m)
R_g	Evrensel gaz sabiti (kJ/ mol $^{\circ}C$)
R	Yarıçap (m)
r	Yarıçap yönünde pozisyon (m)
t	Zaman (s)
T	Sıcaklık ($^{\circ}C$)
T_{∞}	Kızartma yağı sıcaklığı ($^{\circ}C$)
T_i	Başlangıç sıcaklığı ($^{\circ}C$)
T_{0zr}	Sonlu silindirin merkez ekseninde sıcaklık ($^{\circ}C$)

$T_{(z,t)}$	Sonsuz plaka içinde herhangi bir anda herhangi bir konumdaki sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$)
$T_{(r,t)}$	Sonsuz silindir içinde herhangi bir anda herhangi bir konumdaki sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$)
$T_{(r,z,t)}$	Tulumba tatlısı geometrisinde herhangi bir anda herhangi bir konumdaki sıcaklık($^{\circ}\text{C}$)
Y	Boyutsuz sıcaklık
z	Yukarı yönlü pozisyon (m)
α	Isıl yayılım katsayısı (m^2/s)
∞	Ortam
β	Karakteristik kök
μ	Karakteristik kök
p	Yoğunluk
p_i	Söz konusu bileşenin bireysel yoğunluğu
x	Bileşen kütle fraksiyonu
X_{Vi}	Bileşen hacimsel fraksiyonu
o	Geometrik merkez

EKLER DİZİNİ

Ek	Sayfa
Ek 1. Isı transfer katsayısının hesaplanması	39
Ek 2. Kütle transfer parametrelerinin hesaplanması	41

1. GİRİŞ

Tulumba tatlısı, belirli oranlarda un, su, sıvı yağ bileşenlerinin pişirildikten sonra yumurta ilave edilmesi ile hazırlanan tulumba hamurunun, kızgın yağda kızartıldıktan sonra üstüne şerbet dökülmesi ile elde edilen gözenekli, gevrek, hamura oranla kabuğu kuru ve yumuşak süngerimsi iç yapıya sahip bir hamur ürünüdür.

Tulumba hamurunun tulumba tatlısına dönüşümünde, uygun hammadde ve pişirme koşulları sağlandığında doğal olarak gelişen fiziksel ve kimyasal değişimler esastır. Hamur kızgın yağ ortamıyla karşılaşır karşılaşmaz, yağdan gıdaya ısı transferi olurken, gıdadan da yağa doğru kütle transferi meydana gelir. Kızartma işlemi ilerledikçe ortaya çıkan yüksek sıcaklık ve düşük nem koşulları, tulumba tatlısının karakteristik özellikleri olan renk, tekstür ve aromanın oluşmasını sağlar.

Tulumba tatlısının kısa sürede pişmesini sağlayan kızartma işlemi; bilinen en eski pişirme yöntemlerinden biridir. Gıda maddesinin 150 – 190 °C sıcaklığındaki yenilebilir yağ içerisinde (Türkay, 2009), hızlı bir buhar distilasyonu sonucunda dehidrasyona uğradığı ve yağ ile gıda maddesi arasındaki sıcaklık farkı nedeniyle yüzeyde daha sert, iç kısımlarda ise daha nemli ve yumuşak bir yapının oluştuğu proses kızartma prosesi olarak tanımlanmaktadır (Önder, 2011). Eşzamanlı ısı ve kütle transferinin gerçekleştiği proseste iki farklı ısı transfer mekanizması söz konusudur. Kızartma yağı ve gıda materyali arasında konveksiyon yoluyla ısı transferi gerçekleşirken, gıda materyalinin içinde kondüksiyon yoluyla ısı transferi gerçekleşmektedir. Gıda yağ içerisine daldırıldıktan sonra, yüzey sıcaklığı hızla suyun kaynama sıcaklığına yükselir ve yüzeydeki serbest nem buharlaşmaya başlar (Wang, 2005). Bu sırada gıdada nişastanın jelatinizasyonu, protein denatürasyonu ve kabuk oluşumu söz konusudur (Önder, 2011).

Eşzamanlı olarak gerçekleşen bu transfer mekanizmaları kızartma işlemini anlaşılması zor temel işlemlerden biri haline getirmektedir. Ancak, ısı ve kütle transfer parametrelerinin birlikte incelenerek, gerçek prosesi yansıtan bir yaklaşımla bu taşınım olaylarına ait parametrelerin belirlenmesine gereksinim duyulmaktadır (Yıldız, 2005). Literatürde hamurların kızartılması sırasında ısı ve kütle transfer parametrelerinin belirlenmesine yönelik sınırlı sayıda çalışma mevcuttur. Çalışmaların büyük çoğunluğu, dünyada kızartma ürünü olarak en fazla tüketilen patates üzerine yapılmıştır. Ancak

hem ülkemizde, hem dünyada kızartılarak tüketilen hamur ürünleri de azımsanmayacak kadar çoktur. Hamurların kızartılmasında mevcut parametre değerlerinin belirlenmesi, proses tasarımı ve modellenmesi açısından oldukça önemlidir. Bu aşamada; deneme-yenilme yöntemine gidilerek proses tasarımı için optimum şartlar belirlenebilir. Ancak; kızartma işlemi yüksek enerji gereksinimine ihtiyaç duyan bir prosestir. Endüstriyel boyutta üretimin amacı; zaman, enerji ve işgücü kayıplarını en aza indirerek, yüksek kapasiteli üretim sırasında hatalı ürün riskine girmeden kaliteli üretim yapmaktır. Bu da; sistemin uygulamaya vereceği cevabın önceden öngörülebilmesine bağlıdır. Bu aşamada bilgisayar destekli işlem modellemesi bilim dalı devreye girer. Modelleme, bir fiziksel işlemin matematiksel olarak tanımlanması ve kurulan denkliklerin bilgisayarda sayısal olarak çözümlenmesi ilkesine dayanır (Sakin, 2005). Modelin başarısı ise, proses parametrelerinin doğru olarak ortaya konulabilmesine bağlıdır.

Bu çalışmada; derin yağda tulumba tatlısı kızartma işleminin matematiksel açıdan bir eşzamanlı ısı ve kütle transferi işlemi olarak incelenmesi amaçlanmıştır. Bunun için işlem laboratuvar koşullarında deneysel olarak incelenmiş; parametre olarak tulumba tatlısının etkin ısı transfer, etkin kütle transfer ve etkin nem difüzyon katsayıları 150, 160, 170 ve 180 °C' deki yağ sıcaklığında analitik olarak belirlenmiştir.

2. LİTERATÜR BİLDİRİŞLERİ

2.1. Tulumba Tatlısı

Türk yemek kültüründe hamur işi yiyeceklerin ayrı bir yeri vardır. Türklerin hamur işi yemekleri sevmesi, tatlı kültürünü etkilemiş ve gerek tatlıların formülasyonuna, gerekse yapım tekniklerine dayanarak çok çeşitli hamur işi tatlılar türetilmiştir (Özen, 2006).

Pişirilerek yapılan hamurlardan hazırlanan tatlıların temel ilkesi su, yağ, şeker ve tuzun bir tencerede kaynatıldıktan sonra un katılıp karıştırılarak bir hamur haline getirilmesidir. Bu hamur, kabartıcı kullanılmadan sadece su buharının etkisiyle kabarır ve daha sonra biçimlendirilerek bol ve kızgın yağda kızartılır, son olarak şeker şurubunun içine atılır. Ilık ya da daha çok soğuk olarak tüketilir. Bu tatlılar içinde sadece tulumba tatlısı hamuru, ucunda tırtıllı bir duy bulunan özel bir aletten (tulumba kalıbından) ya da torbadan sıkılarak biçimlendirilir. Diğerlerine ise elle şekil verilir (Anonim, 2011).

Tadının yanı sıra görünüşü ile de tüketiciyi cezbeden tulumba tatlısının temel bileşenleri; un, su, yağ, yumurta ve şekerdir (Doğan ve Yurt, 2002). Tatlıdaki en önemli bileşen un olup, genellikle tatlının yapımında buğday unu tercih edilir. Buğday unu; temizlenmiş ve tavllanmış buğdayın farklı oranda kepek içerecek şekilde öğütülmesi ile elde edilen yarı işlenmiş bir gıdadır. Kullanılan un, hamurun kolay açılması, yırtılmaması, kurumaması, ürüne parlak renk vermesi, yüksek oranda yağ ve şerbeti emebilme özelliğinin olması, tulumbaya gevreklik kazandırması, uygun şartlarda tulumbanın tazeliğini uzun süre koruyabilmesi açısından oldukça önemli bir konuma sahiptir (Akyıldız, 2010).

Yüksek randımanlı unlarda unun protein, kül, maltoz ve düşme sayısı değerleri artarken; sedimentasyon, yaş gluten ve zedelenmiş nişasta miktarı azalmaktadır. Ayrıca yüksek randımanlı unlarda gereğinden fazla kepek ve embriyo parçası bulunduğundan, düşük randımanlı unlardan yapılan hamurlara göre fiziksel özellikleri daha kötü olan hamur elde edilir (Elgün ve Ertugay, 2002). Tatlıdaki parlaklık da doğrudan un randımanıyla alakalıdır. Randıman ile son ürünün parlaklığı arasındaki ilişkiyi ortaya

koyan bir çalışmada, randımanın artmasına bağlı olarak ürün parlaklığının giderek azaldığı ve ürünlerdeki sarı renkte artış olduğu belirtilmiştir (Kruger ve Motsuo, 1996).

Unlu mamullerin kalitesi üzerine etkili olan bir diğer parametre ise buğdayın yaklaşık %70'ini teşkil eden nişastadır (Bulut, 2013). Nişasta sahip olduğu jelleşme ve film oluşturma özelliği sayesinde kızartma işlemi sırasında ürüne giren yağ miktarının azaltılmasını sağlar. Kızartma sırasında nişastanın şişmesi ile amiloz fraksiyonu ayrılır ve yağın içeriye penetrasyonuna engel olur ve nemi tutarak film oluşturur. Jelatinizasyon ve oluşan bu film, gevrekliğin ve arzu edilen tekstürün sağlanmasında önemli rol oynar (Doğan ve Yurt, 2002). Bu amaçla kızartma işlemi yapılacak ürünlerde yüksek amiloz içerikli nişasta kullanımı tercih edilir (Bulut, 2013). Undaki zedelenmemiş nişasta taneciklerinin yanı sıra zedelenmiş nişasta miktarı da önemli bir kalite kriteridir. Mayalı unlu mamullerin üretiminde uygun seviyedeki zedelenmiş nişasta taneleri su absorpsiyonunu belirlemede büyük rol oynar. Miktarın artmasıyla hamurun gaz tutma yeteneği azalır.

Tulumba tatlısı yapımında undan sonra en önemli bileşen sudur. Hamur ve şerbetin formülasyonunda önemli bir yere sahiptir (Akyıldız, 2010). Su; hamurda diğer bileşenlerin karışımını sağlar, hamura arzu edilen viskoelastik yapıyı kazandırır ve son ürün kalitesi üzerine etkilidir. Hamurda çözünür proteinler gibi hidrofilik bileşenleri çözer ve suda çözünmeyen proteinlerin hidrasyonunu sağlayarak gluten ağının oluşumunu teşvik eder. Genel olarak hamur işlerinde kullanılan suların; orta sertlikte (50-100 ppm), renksiz, kokusuz, tatsız ve içme suyu niteliğinde olması gerekmektedir (Elgün ve Ertugay, 2002). Suyun hamur içerisinde fazla kullanılması hamurun gevşek olmasına, şerbette fazla kullanılması ise şeker-su dengesinin kurulamayıp şerbetin şekerlenmesine yol açar (Akyıldız, 2010).

Hamur karışımında un partikülleri yağ tabakaları ile iyice sarıldığı takdirde gluten tam olarak hidrasyona uğramaz ve ilave edilen su sadece kuru maddeleri birleştirir ve böyle hamurlardan elde edilen pişmiş ürünler yumuşak olur. Yağ, tulumba tatlısı üretiminde hamurun hem formülasyonunda yer alır, hem de hamura ısı transfer ortamı sağlar. Kızartma sırasında genellikle sıvı bitkisel yağlar tercih edilir. Ancak pişmiş hamurda, en az ezilme kuvveti veya direnci gösteren ürün elde etmeye yarayan yağlar da amaca uygundur (Erkut, 1990). Bu nedenle hidrojenize bitkisel yağlar da kızartma için kullanılabilir.

Tulumba tatlısı üretiminde yağ emilimini etkileyen pek çok faktör bulunmaktadır. Doğan ve Yurt (2002), tarafından yapılan bir çalışmada farklı oranlarda kullanılan katkı maddelerinin, tulumba çapının ve kızartma yağı sıcaklığının yağ emilimine etkisi araştırılmıştır. Bu çalışmaya göre; tulumbanın kızartma sıcaklığını 5°C arttırmaya bağlı olarak yağ emilimi miktarında azalma olduğu görülürken, kullanılan soya unu ve selüloz gaminin tulumba özelliklerine önemli derecede etkisi görülmemiştir. Yumurta miktarının artırılması ile yağ emilimi artarken, tulumba çapının azalmasıyla da aynı etki görülmüştür.

Son ürüne arzu edilen sarı rengi veren, besinsel, fiziksel ve duyuşsal özellikleri geliştiren bileşen ise yumurtadır. Yumurta yapısında sıcaklıkla koagüle olan albumin içerir ve üründe bağlayıcı rol üstlenir. Yumurta sarısı da lesitin içerdiğinden emülsifiye edici olarak stabiliteyi artırır. Ayrıca indirgen şekerler arzu edilen rengin oluşmasına yardımcı olur. Aşırı derecede yumurtanın veya yumurta akının kullanılması ise arzu edilmeyen sertliğe ve elastikiyete neden olur (Doğan ve Yurt, 2002).

Tulumba tatlısının şerbet kıvamının en önemli ölçüsü şekerdir. Şeker, şerbet içerisinde suyun iki katı oranında bulunmalıdır. Üründe meydana gelebilecek şekerlenme problemi, içerisindeki şekerin miktarı ve şerbetin derecesine bağlıdır (Akyıldız, 2010).

Literatürde tulumba tatlısı ile ilgili yapılan çalışmalar incelendiğinde, genellikle tatlının ürün özelliklerini iyileştirmek, daha fazla tüketici zevkine uygun ve daha sağlıklı ürün elde etmek amaçlanmıştır (Doğan ve Yurt, 2002; Özen, 2006; Bulut, 2013). Özen (2006), tarafından yapılan bir çalışmada, farklı un tipi ve katkı kullanımının tulumba tatlısının kalitesi üzerine etkileri araştırılmış, en uygun kızartma sıcaklığı 170 °C, en uygun un tipi ise Tip 550 olarak belirlenmiştir. Hamura katılan kabartıcıların son ürünün duyuşsal kalitesini olumsuz yönde etkilediği, ilave edilen tatlandırıcıların ürünün şerbetli ve şerbetsiz verimini diğer katkı gruplarına göre daha fazla arttırdığı, süt tozunun ürünün yumuşaklık değerini arttırdığı ve glutenin son ürünün protein değerini diğer tahıl kökenli katkılara göre daha fazla yükselttiği rapor edilmiştir.

İçerdiği gluten proteini nedeniyle tulumba tatlısı çölyak hastaları tarafından tüketilememektedir. Çölyak hastaları için buğday unu yerine mısır unu, pirinç unu ve karabuğday unu kullanılarak farklı formülasyonlarla tulumba tatlıları hazırlanmıştır.

Kontrol tulumba tatlısı ve glutensiz tulumba tatlıları için yapılan duyuusal analizde tüm parametreler için en yüksek puanı sırasıyla karabuğday, mısır, pirinç ve kontrol tulumba tatlısı almıştır (Bulut, 2013).

2.2. Kızartma İşlemi

Dünyada hızlı nüfus artışı, ekonomik koşulların güçleşmesi, aşırı kentleşme ve aynı zamanda vakitten kazanmak gibi nedenler ucuz ve çabuk hazırlanan yiyeceklerin tüketiminde ciddi artışa yol açmıştır (Karaca ve ark., 1984). Bunun sonucunda başta kızartılmış gıdalar olmak üzere hazır gıdaların üretim miktarları ve çeşitleri artmaktadır (Önder, 2011).

Kızartma; gıdaların tat ve tüketilebilirlik kalitesini geliştirmek amacı ile uygulanan bir temel işlem olarak tanımlanır. Bu temel işlem dört farklı aşamaya ayrılarak incelenmiştir; (1) ilk ısıtma aşaması, (2) yüzeyde kaynama aşaması, (3) azalan hız aşaması, (4) kabarcık bitim noktası aşamasıdır. İlk ısıtma aşaması; gıda materyalinin sıcak yağa daldırıldığı ve sıcaklığın suyun kaynama sıcaklığına yükselmeye başladığı aşamadır. Yüzeyde henüz kütle transferi yoktur. Bu aşama kısadır ve yağın sıcaklığına bağlı olarak 20-80 s kadar sürer. Yüzey sıcaklığı suyun kaynama sıcaklığına ulaşır ulaşmaz, ikinci aşama olan yüzeyde kaynama aşaması başlar. Bu aşamada; yüzeydeki serbest su aniden buharlaşır, kabuk oluşmaya ve büyümeye başlar. Azalan hız aşamasında zamanla oluşan kabuk etkisiyle suyun buharlaşmasında ve kabarcık oluşumunda azalma gözlenir. Bir süre sonra da kabarcık oluşumunun durduğu kabarcık bitim noktası aşaması başlar (Wang, 2005).

Isı transferindeki farklılıklar esas alındığında; kızartma yöntemlerini temaslı kızartma ve derin kızartma olmak üzere iki grup halinde incelemek mümkündür. Temaslı (sıg) kızartma yönteminde, birim hacme düşen yüzey alanı büyük olan kızartma sistemlerinden yararlanılmaktadır. Ayrıca temaslı kızartma yönteminde ısıtma yüzeyinden gıda yüzeyine olması gereken ısı transferi, ince bir yağ tabakası aracılığıyla sağlansa da, ortamdaki ısı transferinin hemen tümü kondüksiyon yolu ile oluşmaktadır. Ayrıca bu tip kızartmada kullanılan yağ tabakasının kalınlığı, kızartılacak materyal yüzeyinin ısıtıcı yüzeyle yapabildiği temas oranına bağlı olarak değişir. Bu oranın

etkisini, işlem sonunda gıda maddesinin yüzeyindeki düzensiz esmerleşmelerden bir dereceye kadar saptamak mümkündür (Kayahan, 2002).

Derin yağda kızartma yönteminde ise, ısı transferi yağ içinde konveksiyon ve gıda maddesinde kondüksiyon yolu ile oluşmaktadır. Bu yöntemde kızartılan gıda yüzeyi, yağ tarafından tümüyle sarıldığı için, ısı transferi her noktada eşittir ve kızartma işlemi tekdüze olarak gerçekleşmektedir. Derin kızartma tekniğinin her çeşit ve formdaki gıdaya uygulanabilme özelliği söz konusudur (Kayahan, 2002).

Tulumba tatlısı üretiminde derin kızartma tekniği uygulanmakta ve hamur yağ tarafından tamamen sarılarak, eşzamanlı ısı-kütle transferi gerçekleşmektedir. Kızartma işleminde ürünün ısınmasında etkili olan ısı transfer mekanizmaları konveksiyon ve kondüksiyondur (Hallstrom ve ark., 1988). Isının yağdan gıda materyaline konveksiyon ve gıda içerisinde de kondüksiyon yoluyla taşınması sonucu, gıdanın sıcaklığında artma gözlenir. Gıda maddesi yağ içerisine daldırıldıktan sonra, yüzey sıcaklığı hızla suyun kaynama sıcaklığına yükselir ve yüzeydeki serbest nem buharlaşmaya başlar. Hamurun kızartılması sırasında oluşan su buharı hamurun yüzeyinden kızgın yağın içerisine buhar kabarcıkları olarak geçer. Suyun buharlaşmasına bağlı olarak, kızartılan yüzey kurur ve yüzey boyunca kabuk tabakası oluşur (Yıldız, 2005).

Kızartma işlemi ilerledikçe oluşan kabuğun kalınlığı giderek artar ve enzimatik olmayan esmerleşmeye maruz kalır. Ürüne arzu edilen altın sarısı rengi veren bu esmerleşme reaksiyonu, ürünün duyu özelliklerini olumlu yönde etkiler (Blumenthal, 1996). Aynı zamanda tulumbayı çevreleyen kabuk, su buharının kaçışını engeller. Bu da tulumbanın iç kısmında su buharı oluşumuna bağlı olarak basıncın artmasına sebep olur. Hamurun iç kısmındaki su buharı, oluşturduğu basıncın etkisiyle, tulumbanın yüzeyinde bazı noktalarda delikler oluşturarak uzaklaşır. Hamurun iç kısmı nem içerdiğinden, ürün içerisinde sıcaklık uzunca bir süre suyun kaynama sıcaklığına yakın bir değerde sabit kalır (Şumnu ve Şahin, 2009).

2.3. Isı ve Kütle Transfer Parametrelerinin Belirlenmesi

Isı transfer katsayısı; prosesin dikkatli bir şekilde değerlendirilmesi ve kullanılması gereken ekipman ve proses tasarımı önemli rol oynar (Alvis ve ark., 2009). Ayrıca ısı transferinin matematiksel olarak modellenmesi ve simülasyonu ısı

transfer katsayısının bilinmesi ile mümkündür (Buzdaki ve Seruga, 2005a). Genellikle bu değer deneysel veya analitik olarak elde edilse de (Alvis ve ark., 2009), son zamanlarda yapılan çalışmalar nümerik analize dayalı olarak gerçekleşir.

Derin yağda kızartma sırasında, hamurun bileşimindeki suyun tulumba tatlısı yapısı içindeki hareket hızını, dolayısıyla hamurun tatlıya dönüşümünde ürünün nem profilini belirleyen faktör, kütle (nem) difüzyonudur (Sakin, 2005). Nem transferini karakterize eden bu değer biliniyor, kütle transfer katsayısını da belirleyecek ve kurulacak olan modelde kullanım kolaylığı sağlayacaktır.

Literatürde ısı ve kütle transfer katsayısını belirlemeye yönelik yapılan çalışmalarda, genellikle her iki transfer parametresi ayrı ayrı ele alınmış ve birbirinden bağımsız gibi değerlendirilmiştir. Isı transfer katsayısı hesaplamalarında; incelenen gıda maddesinin mevcut geometrisi yerine daha basit geometriler kullanılmış veya alüminyum, bakır gibi ısı iletkenlik katsayısı yüksek cisimlerin içindeki sıcaklık farklarının önemsiz olduğu gerçeğinden yola çıkarak, gıda maddesi yerine bu cisimler kullanılmıştır. Bu çalışmaların geneli patates kızartması üzerine olsa da, sınırlı sayıda hamur ürünlerinin kızartılmasını da kapsamaktadır.

Costa ve ark. (1999a) tarafından yapılan patatesin kızartılma süresince kaybettiği su oranının ısı transfer katsayısı ile olan ilişkisini belirlemeye yönelik bir çalışmada, indirekt metot (lumped kapasitans yöntemi) kullanılarak patatesle aynı boyutlara sahip çelik bir parça kullanılmıştır. Isı transfer katsayısının kızartma süresi boyunca sıcaklık artışına ve su kaybına bağlı olarak arttığı görülmüş ve bu değerlerin 594 - 750 W/m²K arasında değiştiği belirtilmiştir.

Şahin ve ark. (1999a), sonsuz plaka geometrisinde kabul ettikleri patates dilimlerini kullanarak 150 - 190 °C’ de kızartmışlar ve alt-üst yüzey için ısı transfer katsayıları belirlemişlerdir. Alt yüzeye ait olan katsayıların üst yüzeyden daha fazla olduğunu rapor etmişlerdir. Bir diğer çalışmalarında ise alüminyum yünü ve patates püresi kullanarak tek boyutlu bir model hazırlamış ve bu modeli 150 - 190 °C’ de kızartmışlardır. Yapılan çalışmada yağ sıcaklığı arttıkça nem içeriği ve ısı iletkenliğinin azaldığı, ancak ısı transfer katsayısının 90 - 200 W/m²K arasında değiştiği belirtilmiştir (Şahin ve ark., 1999b).

Farkas ve Snigh (1996), ürünü kabuk ve iç kısım olarak ikiye ayırmış ve bu iki kısım için ayrı ayrı kısmi diferansiyel denklemler elde etmişlerdir. Model olarak patates

kızartmasını seçmişler, ancak patatesi gerçek geometriyi yansıtmayan bir yaklaşımla sonsuz levha olarak kabul etmişlerdir.

Dinçer ve Yıldız (1995), silindirik şekilli sosislerin 180 °C’ de kızartılması sırasında bir ısı ve kütle transfer modeli belirlemiş, kızartma katsayısı olarak tanımladıkları yeni bir parametre bulmuşlardır. Kızartma ve soğuma prosesleri arasında bir benzeşim yaparak, geçici rejim koşulları altında çalışmışlardır. Böylece ısı ve kütle transfer parametreleri silindir şekilli ürünler için tahmin etmiş ve deneysel verilerle yüksek uyumluluk bulmuşlardır.

Kızartma prosesi için ısı ve kütle transfer katsayıları ile beraber mevcut termofiziksel özelliklerin belirlenmesi adına yapılan bir çalışmada, sonsuz plaka şekilli domuz etleri hazırlanmış ve ayçiçek yağında sırasıyla 90, 100 ve 110 °C’ de kızartılmıştır. Hem ısı transfer katsayısı (188 - 226 W/m²°C) hem de kütle transfer katsayısı (1.5 - 30.2×10⁻⁹ m²/s) yağ sıcaklığının artmasına paralel olarak artış göstermiştir. Pratik olarak proses boyunca ısıl yayılım katsayısı sabit kalsa da, özgül ısı ve ısıl iletkenlik katsayısı, etlerdeki nem kaybının artmasına bağlı olarak azalmıştır. Yoğunluk, kabuk kalınlığı ve ürün rengi de kızartma süresinden ve kızartma ortamından etkilenmiştir (Sosa-Morales ve ark., 2006).

Ngadi ve İkediala (2005), farklı boyutlarda tavuk budu şeklinde alüminyum parçacık kullanarak lumped sistem yöntemi ile ortalama ısı transfer katsayısı değerlerini belirlemişlerdir. Artan kızartma sıcaklığına paralel olarak ısı transfer katsayısı artarken (67-103 W/m²K), tavuk butlarının boyutlarındaki artışla ısı transfer katsayısı azalmıştır.

Baik ve Mittal (2002), tofu kızartılması sırasında ısı transfer katsayısının belirlenmesine ilişkin yaptıkları çalışmada, alt ve üst yüzey için farklı değerler elde etmiş ve üst yüzeyde daha yüksek değerlere (722 - 827 W/m²K) ulaşmışlardır. Üst yüzey renginin alt yüzeyden daha koyu olmasını ve üst yüzeyde nem içeriğinin daha az olmasını, bu farklılıkla doğrulamışlardır.

Rice ve Gamble (1989), tarafından patateslerin kızartılması sırasında nem kaybını modellemeye yönelik yapılan bir çalışmada kızartma prosesindeki kütle kaybının kurumanın bir sonucu olarak meydana geldiğini ve görünür nem geçirgenlik değerinin Fick’in ikinci yasasını kullanarak elde ettiklerini belirtmişlerdir. Aynı zamanda Costa ve ark. (1999b) tarafından yapılan bir çalışmada da Fick’ in 2. yasası kullanılarak nem difüzyon katsayısı hesaplanmıştır.

Yıldız (2005), tarafından parmak patateslerin kızartılması sırasında ısı ve kütle transfer parametreleri birlikte incelenmiş, gerçekçi bir yaklaşımla parmak patates geometrisi kullanılmıştır. Patates farklı yağ sıcaklıklarında kızartılmış ve artan sıcaklık değerlerine rağmen, etkin ısı transfer katsayısında azalma görülmüştür (286, 227, 181 W/m²°C). Etkin nem difüzyon katsayısının yağ sıcaklığının artması ile üstel olarak arttığı (9.2, 11.0, 18.2 m²/s), kütle transfer katsayısının ise doğrusal bir artış gösterdiği (1.12, 1.58, 2.07 m/s) rapor edilmiştir.

Farklı hamur formülasyonları ile kaplanmış karides nugget kızartma sırasında kütle transferini belirlemeye yönelik bir çalışmada kütle transferinin sıcaklık ve zamana bağlı değişimi araştırılmıştır. Birinci dereceden kinetik model kullanılarak etkin nem difüzyon katsayısının sıcaklık artışına paralel olarak arttığı, yağ emiliminin ise azaldığı görülmüştür. Aynı zamanda Arrhenius grafiği elde edilerek aktivasyon enerjisi hesaplanmıştır (Mohebbat ve ark., 2005).

Snigh ve Heldman (1993), kızartma sırasında ürüne aktarılan tüm enerjinin suyun buharlaşmasında kullanıldığı varsayımını yapmış, kızartma sırasında nem kaybını modellemiştir. Kullandığı eşitliğin elde ettikleri deneysel verileri desteklemekle beraber, kabuk oluşumunu ve yatışkın olmayan durumdaki sıcaklık-nem profillerini doğrulamadığını gözlemlemişlerdir.

Literatürlerde hamur ürünlerinin kızartılması ile ilgili yapılan çalışmalar ise oldukça az olup donutlarda ve krostula (Hırvat tatlısı) hamurlarında mevcut parametreler belirlenmeye çalışılmıştır. 180, 190 ve 200 °C’ de kızartılan donutlarda yağ sıcaklığı ve kızartma süresine bağlı olarak transfer özelliklerinin değişimi incelenmiş, analitik ve deneysel veriler karşılaştırılmış, ısı transfer katsayısındaki artışa nazaran kütle transfer katsayısında azalma saptanmıştır. Bu çalışmada kütle transferi için donut içi boş bir silindir olarak ele alınmıştır (Veles ve Sosa-Morales, 2003).

Krostula hamurlarında ise eşzamanlı bir ısı ve kütle transfer mekanizmasını yansıtan çalışmadan ziyade, ısı transferi ve kütle transferi ayrı ayrı ele alınmıştır. Isı transferi çalışmasında; hamurlar sırasıyla 160, 170, 180 ve 190 °C’de kızartılmış ve yatışkın durum koşulları altında çalışılmıştır. Hubbard ve Farkas (2000) tarafından önerilen formül kullanılarak ısı transfer katsayısı belirlenmiş ve yağ sıcaklığına bağlı artış görülmüştür. Isıl iletkenlik katsayısında ise sıcaklık 40 - 70 °C olarak belirlenmiş, sıcaklığın artışına bağlı olarak beklenmeyen bir azalma gözlenmiştir. Bu azalış krostula

hamurlarının ısıyı iletme kabiliyetinin fizikokimyasal değişimlerden etkilendiğini ve bu değişimlerin özellikle 50, 56 ve 62 °C’ lerde meydana gelmesinden kaynaklandığını belirtmişlerdir (Buzdaki ve Seruga, 2005a). Krostula hamurlarının nem kaybı ve yağ emilimi üzerine yapılan bir diğer araştırmada ise hamurlar sırasıyla 160, 170, 180 ve 190 °C’ de kızartılmış ve zamanın bir fonksiyonu olarak nem kaybı ele alınmıştır. Suyun buharlaşması iki periyod halinde incelenmiş, ilk 60 s boyunca yoğun bir nem kaybı görülürken, ikinci 60 s lik periyotta nem kaybı sabit bir değeri göstermiştir. Yağ emilimine bağlı olarak elde edilen etkin yağ geçiş değeri ise 190 °C’ de maksimum değere ulaşmıştır (Buzdaki ve Seruga, 2005b).

Daha önce yapılan çalışmalarda, derin yağda kızartma prosesine ait ısı ve kütle transfer parametrelerinin belirlenmesi için farklı metotlar ve matematiksel yöntemler geliştirilmiştir. Ancak gerçek proses koşullarını yansıtmayan, mevcut gıda maddesinin geometrisi yerine çok daha basit geometriler kullanan, lumped sistem yaklaşımıyla gıda maddesine hiç yer vermeyen ve hatta ısı transferi hesaplamalarında kütle transferinin gerçekleşmediğini varsayan çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmalarda olduğu gibi basit bir modelle çözümlenebilecek birçok önemli gerçek problem vardır. Fakat bir çözümlenmeden elde edilen sonuçlar, problem basitleştirilirken yapılan kabuller ölçüsünde hassastır (Çengel, 2010). Bir veya daha fazla sorgulanabilir kabul elenerek daha gerçekçi bir çözüm ortaya konup, hassasiyet artırılabilir. Ancak birçok çalışmada olduğu gibi Lumped sistem yöntemiyle ısı transfer katsayısının belirlenmesinde ise; kullanılan metal modeller ile gıdadaki suyun buharlaşması ve kabarcıkların oluşmasının etkisi belirlenemediğinden, yapılan deneyler gerçek prosesi temsil edememektedir (Yıldız, 2005).

Bu çalışmada, proses daha gerçekçi bir yaklaşımla ele alınmış ve tulumba tatlısı geometrisi kullanılmıştır. Kızartma sırasında kaydedilen sıcaklık ve kütle değişimlerinden yola çıkarak zamana karşı boyutsuz sıcaklık ve derişim oranları belirlenmiştir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

Deneyisel çalışmalarda kullanılan tulumba tatlısı üretimi için özel amaçlı un (Gür Un, Gür Un Sanayi ve Ltd. Şti., Amasya), sıvı ayçiçek yağı (Ülker Bizim Mutfak, Besler Gıda ve Kimya San. ve Tic. A.Ş.), içme suyu (Palandöken Desni, Erzurum) ve piyasadan temin edilen taze yumurta kullanılmıştır. Kızartma ünitesi olarak 200 °C' ye kadar ısıtma yapabilen 5 L hacimli elektrikli fritöz (Angelo Po, Model Grandi Cucine SPA, İtalya) kullanılmıştır.

3.2. Yöntem

3.2.1. Tulumba tatlısı üretimi

Yüzüncü Yıl Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümü Laboratuvarlarında üretilen tulumba tatlıları Çizelge 3.1'de verilen formülasyona göre hazırlanmıştır (Doğan ve Yurt, 2002). Su kaynamaya başladıktan sonra, kısık ateşte ilk 90 s içinde un suya sürekli karıştırarak ilave edilir. Tabana yapışmasını önlemek için sıvı yağ eklenir. Orta ateşte sürekli karıştırılarak, toplam 7.5 *dak* süre pişirilerek ateşten indirilir. Tatlının arzu edilen gevreklik ve tekstürde olması için pişirme sırasında nişastanın tam jelatinize olması sağlanır. Pişirilen hamur (70 - 75°C) açılarak 45 - 50 °C' ye kadar soğutulur ve bu sıcaklıkta yumurta ilave edilir. Kitchen Aid Mikser (Model KSM45, USA) ile 3 *dak* yoğurarak, ilave edilen yumurta hamura yedirilir. Hamur sıcaklığı 30 °C'ye düştüğünde hamur kalıba doldurulur ve kızgın yağ içerisine 20 mm çapındaki kalıptan 40 mm büyüklüğünde parçalar halinde kesilerek bırakılır. Üretilen tüm tatlıların kızartılması esnasında, sıcaklık kontrolünün sağlanması için fritözün doluluk oranının deneme boyunca aynı olmasına dikkat edilir (Doğan ve Yurt, 2002).

Çizelge 3.1. Tulumba tatlısının genel formülasyonu (Doğan ve Yurt, 2002)

Bileşen	Un Esasına Göre
Un	100
Su	150
Sıvı Yağ	10
Yumurta Akı	40
Yumurta Sarısı	17

3.2.2. Kimyasal analizler

Nem tayini AACC (44-15.02) metoduna göre 135 °C’ de kurutma dolabında gerçekleştirilmiştir (AACC, 1999).

Kül miktar tayini AACC (08-01.01) metoduna göre numune beyazımsı kül halini alıncaya kadar 550 °C’ de kül fırınında gerçekleştirilmiştir (AACC, 1999).

Toplam azot içerikleri AACC (46-12.01) metodu kullanılarak Kjeldahl yöntemiyle belirlenmiştir. Belirlenen değerler 5.70 faktörü ile çarpılarak numunelerin protein miktarları belirlenmiştir (AACC, 1999).

Yağ tayini soxhelet ekstraksiyonu metodu kullanılarak AACC(30-25.01) ‘e göre yapılmıştır (AACC, 1999).

3.2.3. Isı transfer katsayısının belirlenmesi

3.2.3.1. Termofiziksel özelliklerin belirlenmesi

Isı transfer katsayısının belirlenebilmesi için, hesaplamalarda kıyartma süresi boyunca sabit kaldığı kabul edilen tulumba tatlısına ait termofiziksel özelliklerin belirlenmesi gerekir. Bu özellikler sırasıyla, tulumba hamurunun yoğunluğu (ρ), özgül ısısı (c_p) ve ısı iletim katsayısı (k) aşağıdaki eşitlikler kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\rho = \frac{1}{\sum \frac{x_i}{\rho_i}} = \frac{1}{\frac{x_C}{1600} + \frac{x_P}{1320} + \frac{x_F}{920} + \frac{x_A}{2420} + \frac{x_W}{1000}} \quad (3.1)$$

$$C = 1.6x_C + 2.0x_P + 2.0x_F + 1.1x_A + 4.2x_W \quad (3.2)$$

$$k = \sum k_i \times X_{vi} \quad (3.3)$$

Eş. “3.1”, “3.2” ve “3.3”de; x_i ; söz konusu bileşenin tulumba tatlısındaki kütle fraksiyonunu; p_i ; söz konusu bileşenin bireysel yoğunluğunu; x , bileşenin kütle fraksiyonunu; p , tulumbanın bileşke yoğunluğunu; X_{vi} , söz konusu bileşenin tulumbadaki hacimsel fraksiyonunu; k_i , tulumbayı oluşturan başlıca unsurların saf haldeki ısı iletkenlik katsayılarını ve C, P, F, A, W alt indisleri ise sırasıyla, karbohidrat, protein, yağ, kül ve suyu göstermektedir (Bingöl ve Devres, 2010; Cemeroğlu, 2010).

3.2.3.2. Kızartma sırasında sıcaklık-zaman verilerinin elde edilmesi

Kızartma sırasında tatlı içerisindeki sıcaklık dağılımının gözlemlenebilmesi için, hazırlanan tulumba hamurun her iki ucundan geometrik merkeze yakın olacak şekilde 1mm çaplı k tipi termo-sensörler yerleştirilmiştir. Fritöz içerisindeki yağın kızartma süresi boyunca sıcaklığının izlenmesi amacı ile fritözün içerisine de bir termo-sensör yerleştirilmiştir. Kızartma yağının ve kızartılan hamurun içindeki iki noktanın sıcaklıkları 1 s aralıklarla bir sıcaklık ölçer-veri toplar cihazı (Sper Scientific 80024 4 channel datalogging thermometer) ile bilgisayara aktararak kaydedilmiştir. Kızartma işlemi sırasıyla 150, 160, 170 ve 180 °C sıcaklığındaki ayçiçek yağında, her sıcaklık değeri için üç tekerrürlü olacak şekilde gerçekleştirilmiştir (Buzdaki ve Seruga, 2005a).

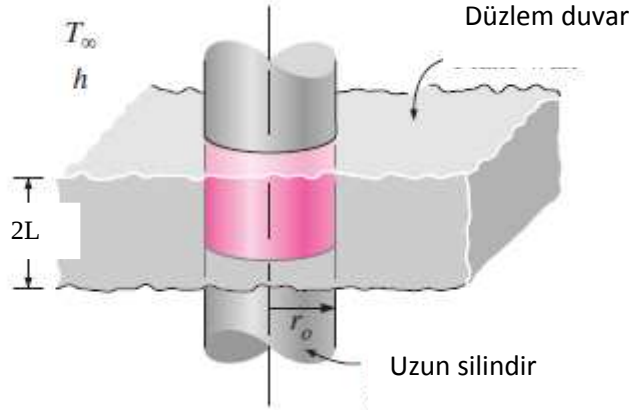
3.2.3.3. Matematiksel yöntem

Bu yöntemde derin yağda kızartma prosesi için çeşitli varsayımlar yapılarak tulumba tatlısına ait ısı transfer katsayısı belirlenmiştir. Bu varsayımlar sırasıyla;

- 1) Tulumba tatlısına ait belirlenen termofiziksel özellikler kızartma süresi boyunca sabit kabul edilmiştir (Bkz. Bölüm 3.2.3.1).
- 2) Kızartma sırasında meydana gelen kimyasal değişimler için kullanılan enerji ihmal edilmiştir.

- 3) Kızartma sırasında yağın alınması sonucu aktarılan enerji ihmal edilmiştir.
- 4) Kızartma süresi boyunca tulumba tatlısının boyutlarının değişmediği kabul edilmiştir.
- 5) Başlangıç sıcaklığı tatlının her yerinde aynı kabul edilmiştir.
- 6) Kabuk kısmının ısı transferine olan direnci ihmal edilmiştir (Yıldız, 2005).

Elde edilen sıcaklık-zaman verileri kullanılarak, yukarıdaki varsayımlar eşliğinde tulumba tatlısına ait ısı transfer katsayısı hesaplanmıştır. Bu hesaplamada öncelikle tulumba tatlısına ait geometriyi en iyi şekilde temsil edecek olan şeklin belirlenmesi gerekmektedir. Üniform başlangıç sıcaklığı T_i , yüksekliği $2L$ ve yarıçapı r_0 olan kısa bir silindir bu ihtiyacı karşılar niteliktedir. Tek boyutlu geometrilerde çözüm, sonsuz seri eşitliğin başlangıç ve sınır koşulları dahilinde çözümüne dayansa da; çok boyutlu geometrilerde çözüm, ara kesitleri çok boyutlu cisim olan tek boyutlu geometrilerin çözümlerinin çarpımıdır (Çengel, 2010). Bu durumda Newman yöntemine göre; yarıçapı r_0 ve yüksekliği $2L$ olan kısa bir silindir (Şekil 3.1), $2L$ kalınlıklı düzlem duvar ile r_0 yarıçaplı uzun silindirin ara kesitidir (Kakaç ve Arıncı, 2004).



Şekil 3.1. $2L$ kalınlıklı düzlem duvar ile r_0 yarıçaplı uzun silindirin ara kesiti.
(Çengel, 2010, değiştirilerek alınmıştır).

Sonsuz plaka içerisinde, sabit fiziksel özelliklerde, Fourier denklemi z yönünde tek yönlü ısı iletimi için Eş. “3.4” şeklinde yazılır (Incropera ve DeWitt, 1996).

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha \left(\frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right), 0 \leq z \leq L \quad (3.4)$$

Bu eşitlik verilen başlangıç koşulları ve sınır koşulları kullanılarak çözüldüğünde Eş.“3.8” de verilen sonsuz seri eşitlik elde edilir.

$$T(z, 0) = T_i \quad (3.5)$$

$$\frac{\partial T}{\partial z} = 0 \quad z = 0 \quad (3.6)$$

$$-k \cdot \frac{\partial T}{\partial z} = h_e (T - T_\infty) \quad z = L \quad (3.7)$$

$$Y_z = \frac{T_{(z,t)} - T_\infty}{T_i - T_\infty} = \sum_{i=1}^{\infty} \frac{2 \sin \mu_i}{\mu_i + \sin \mu_i \cos \mu_i} \exp(-\mu_i^2 \frac{\alpha t}{L^2}) \cos(\mu_i \frac{z}{L}) \quad (3.8)$$

Sonsuz silindir geometrisinde ise Θ yönündeki ısı iletimi ihmal edilirse; Fourier denklemi, sabit fiziksel özellikler ile sadece yarıçap doğrultusunda ısı iletimini içerecek şekilde yazılır (Incropera ve DeWitt, 1996).

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha \cdot \left[\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial T}{\partial r} \right] \quad (3.9)$$

Diferansiyel denklik, Eş. “3.10” ,”3.11” ve “3.12” de verilen başlangıç koşulu ve sınır koşulları kullanılarak çözüldüğünde Eş. “3.13” de verilen sonsuz seri eşitlik elde edilir.

$$T(r, 0) = T_i \quad (3.10)$$

$$\frac{\partial T}{\partial r} = 0 \quad r = 0 \quad (3.11)$$

$$-k \frac{\partial T}{\partial r} = h_s (T - T_\infty) \quad r = R \quad (3.12)$$

$$Y_r = \frac{T(r,t) - T_\infty}{T_i - T_\infty} = \sum_{i=1}^{\infty} \frac{2\beta_i}{(Bi_r^2 + \beta_i^2)} \frac{1}{(J_0(\beta_i))^2} J_1(\beta_i) J_0(\beta_i n_r) \exp(-\beta_i^2 \frac{at}{R^2}) \quad (3.13)$$

Elde edilen sonsuz seri eşitliklerde, Fourier sayısı 0.1' den büyük olduğu takdirde birinci terimin kullanılması yeterli olmaktadır (Crank, 1975). Sonlu geometriye sahip tulumba tatlısında sonsuz eşitliklerin kullanılabilmesi için Newman yöntemine göre Eş. “3.8” ve “3.13” birbiriyle çarpılır (Newman, 1936). Elde edilen Eş. “3.14” geometrik merkezde boyutsuz sıcaklığı temsil edecek şekilde yazıldığında Eş. “3.15” e ulaşılır.

$Y_{rz} = Y_z \times Y_r$ ise;

$$\left(\frac{T(r,z,t) - T_\infty}{T_i - T_\infty} \right)_{\text{sonlu silindir}} = \left(\frac{T(r,t) - T_\infty}{T_i - T_\infty} \right)_{\text{sonsuz silindir}} \left(\frac{T(z,t) - T_\infty}{T_i - T_\infty} \right)_{\text{sonsuz levha}} \quad (3.14)$$

$$Bi_r = \frac{j_1(\beta_i)}{J_0(\beta_i)} \beta_i \text{ olduğu göz önüne alınarak,}$$

$$Y_{0zr} = \frac{T_{0zr} - T_\infty}{T_i - T_\infty} = \frac{2Bi_r}{(Bi_r^2 + \beta_i^2) J_0(\beta_i)} \exp\left(-\beta_i^2 \frac{at}{R^2}\right) \frac{2 \sin \mu_1}{(\mu_1 + \sin \mu_1 \cos \mu_1)} \exp\left(-\mu_1^2 \frac{at}{L^2}\right) \quad (3.15)$$

Bu eşitliğin her iki tarafının doğal logaritması alındığında;

$$\ln(T_{0zr} - T_{\infty}) = \ln \left(\frac{4 \sin \mu_1 \cdot Bi_r (T_i - T_{\infty})}{(\mu_1 + \sin \mu_1 \cos \mu_1)(Bi_r^2 \beta_1^2) \cdot J_0(\beta_1)} \right) - \left(\frac{\mu_1^2}{L^2} + \frac{\beta_1^2}{R^2} \right) \cdot \alpha \cdot t \quad (3.16)$$

elde edilir. Bu denklik kullanılarak $\ln \left(\frac{T_{0zr} - T_{\infty}}{T_i - T_{\infty}} \right)$ 'nin zamana karşı grafiğinden eğimin;

$$- \left(\frac{\mu_1^2}{L^2} + \frac{\beta_1^2}{R^2} \right) \cdot \alpha \quad (3.17)$$

eşit olduğu görülmektedir (Dickerson, 1965). Dolayısıyla grafiğin doğrusal kısmının eğiminden ve farklı Biot sayılarında karakteristik kök değerlerini veren literatürden yararlanarak μ_1 ve β_1 değerleri bulunur (Carslaw ve Jeager, 1959; Çengel, 2003). Elde edilen Bi_r ve Bi_z değerlerini kullanarak;

$$Bi_r = \frac{h_e \cdot R}{k} \quad (3.18)$$

$$Bi_z = \frac{h_e \cdot L}{k} \quad (3.19)$$

etkin ısı transfer katsayısına (h_e) ulaşılır.

3.2.4. Kütle transfer parametrelerinin belirlenmesi

3.2.4.1. Kızartma sırasında tulumba tatlılarında nem içeriğinin belirlenmesi

Kızartma süresi boyunca tulumba tatlısının nem içeriğindeki değişimin belirlenmesi için, hazırlanan tulumba tatlısı örneklerinde nem tayini kurutma dolabında sabit tartıma gelinceye kadar tutularak yapılmıştır. Bu analiz AACC (44-15.02) metoduna göre 135 °C' de gerçekleştirilmiştir (AACC, 1999).

Tulumba hamurunun başlangıç nem içeriği belirlendikten sonra, her defasında birer tane şekil verilmiş tatlı hamuru kızgın yağda daldırılmak sureti ile 180 s ye kadar denenen tüm sıcaklıklarda her 10 s de bir, daha sonra her 60 s de bir olmak üzere 150, 160, 170 ve 180 °C sırasıyla, 900, 720, 600 ve 400 s kızartılmıştır. Farklı sürelerde kızartılan tatlılar, yağdan çıkartıldıktan sonra yüzeylerindeki yağ kağıt havlu ile alınmış, ağırlıkları belirlenmiş ve nem tayini için 135 °C’ de sabit tartıma gelinceye kadar bekletilmiştir. Her sıcaklık profili için deneme 3 tekerrürlü olarak gerçekleştirilmiştir. Elde edilen nem içeriği değerleri, difüzyon katsayısı ve kütle transfer katsayısı hesaplanmasında kullanılmıştır (Yıldız, 2005).

3.2.4.2. Matematiksel yöntem

Bu yöntemde derin yağda kızartma prosesi için çeşitli varsayımlar yapılarak, tulumba tatlısına ait nem difüzyon katsayısı ve kütle transfer katsayısı değerleri saptanmıştır. Bu varsayımlar sırasıyla;

- 1) Kızartma süresi boyunca tulumba tatlısının boyutlarının değişmediği kabul edilmiştir.
- 2) Kızartma sırasındaki ağırlık değişiminin yalnızca nem kaybından kaynaklandığı kabul edilmiştir
- 3) Kızartma sırasında nem difüzyon katsayısının değişmediği kabul edilmiştir
- 4) Başlangıç nem değerinin tatlının her yerinde aynı olduğu kabul edilmiştir (Yıldız, 2005).

Deneysel olarak tulumba tatlılarında zamana karşı elde edilen nem içeriği değerlerinden etkin nem difüzyon katsayısı değerinin belirlenmesi için, sonsuz plaka içerisinde herhangi bir zamanda, herhangi bir konumda derişim değişimini veren Fick’ in 2. eşitliğinden yola çıkılır.

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D_e \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} \quad 0 \leq z \leq L \quad (3.20)$$

Diferansiyel denklik, Eş. “3.21”, ”3.22” ve “3.23” te verilen başlangıç koşulu ve sınır koşulları kullanılarak çözüldüğünde Eş. “3.24” de verilen sonsuz seri eşitlik elde edilir (Crank, 1975).

$$C(z, 0) = C_i \quad (3.21)$$

$$\frac{\partial C}{\partial z} = 0 \quad z = 0 \quad (3.22)$$

$$-D_e \frac{\partial C}{\partial z} = k_e(C - C_\infty) \quad z = L \quad (3.23)$$

$$C_z = \frac{C(z,t) - C_\infty}{C_i - C_\infty} = \sum_{i=1}^{\infty} \left(\frac{2 \sin \mu_i}{\mu_i + \sin \mu_i \cos \mu_i} \right) \exp \left(-\mu_i^2 \cdot \frac{D_e \cdot t}{L^2} \right) \cos \left(\mu_i \frac{z}{L} \right) \quad (3.24)$$

Sonsuz silindir geometrisinde yarıçap doğrultusunda tek yönlü nem transferi için Fick'in 2. kanunu şu şekilde yazılır.

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D_e \left[\frac{\partial^2 C}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial C}{\partial r} \right] \quad (3.25)$$

Bu eşitlik verilen başlangıç koşulları ve sınır koşulları kullanılarak çözüldüğünde Eş. "3.29" da verilen sonsuz seri eşitlik elde edilir (Carslaw ve Jeager, 1959).

$$C(r, 0) = C_i \quad (3.26)$$

$$\frac{\partial C}{\partial r} = 0 \quad r = 0 \quad (3.27)$$

$$-D_e \cdot \frac{\partial C}{\partial r} = k_e (C - C_\infty) \quad r = R \quad (3.28)$$

$$C_r = \frac{C(r,t) - C_\infty}{C_i - C_\infty} = \sum_{i=1}^{\infty} \left(\frac{2\beta_i}{Bi_r^2 + \beta_i^2} \right) \frac{1}{(J_0(\beta_i))^2} J_1(\beta_i) J_0\left(\beta_i \frac{r}{R}\right) \exp\left(-\beta_i^2 \frac{D_e t}{R^2}\right) \quad (3.29)$$

Elde edilen bu sonsuz seri eşitliklerin sonlu geometriye sahip tulumba tatlısında uygulanabilmesi için verilen Newman yöntemi uygulanarak (Bkz. Bölüm 3.2.3.3) (Newman, 1936) Eş “3.30” daki geometrik merkezde boyutsuz nem eşitliğine ulaşılır. Elde edilen sonsuz seri eşitliklerde, Fourier sayısı 0.1’ den büyük olduğu takdirde birinci terimin kullanılması yeterli olmaktadır (Crank, 1975).

$$Bi_r = \frac{J_1(\beta_i)}{J_0(\beta_i)} \beta_i \quad \text{olduğu göz önüne alınarak;}$$

$$C_{0zr} = \frac{C_{0zr} - C_\infty}{C_i - C_\infty} = \sum_{i=1}^{\infty} \left(\frac{2 \sin \mu_i}{\mu_i + \sin \mu_i \cos \mu_i} \right) \left(\frac{2 Bi_r}{(Bi_r^2 + \beta_i^2) \cdot J_0(\beta_i)} \right) \exp\left(-\left(\frac{\beta_i^2}{R^2} + \frac{\mu_i^2}{L^2}\right) D_e \cdot t\right) \quad (3.30)$$

Eş. “3.30” un her iki tarafının doğal logaritması alınarak Eş. “31” elde edilir.

$$\ln(C_{0zr} - C_\infty) = \ln\left(\frac{4 \sin \mu_1 \cdot Bi_r (C_i - C_\infty)}{(\mu_1 + \sin \mu_1 \cos \mu_1) (Bi_r^2 \beta_1^2) \cdot J_0(\beta_1)}\right) - \left(\frac{\mu_1^2}{L^2} + \frac{\beta_1^2}{R^2}\right) \cdot D_e \cdot t \quad (3.31)$$

Bu denklik kullanılarak $\ln\left(\frac{C_{0zr} - C_\infty}{C_i - C_\infty}\right)$ nin zamana karşı grafiği çizildiğinde eğimin (m);

$$-\left(\frac{\mu_1^2}{L^2} + \frac{\beta_1^2}{R^2}\right) \cdot D_e \quad (3.32)$$

eşit olduğu görülmektedir. Ayrıca grafiğin y eksenini kestiği noktanın da

$$\ln\left(\frac{4 \sin \mu_1 \cdot Bi_r (C_i - C_\infty)}{(\mu_1 + \sin \mu_1 \cos \mu_1)(Bi_r^2 \beta_1^2) \cdot J_0(\beta_1)}\right) \quad (3.33)$$

eşit olduğu görülmektedir. Farklı Biot sayıları için literatürde mevcut (Carslaw ve Jeager, 1959; Çengel, 2003) değerler kullanılarak etkin nem difüzyon katsayısına D_e ulaşılır. Kütle transfer katsayısı ise Biot sayısı ve D_e kullanılarak hesaplanır. İlgili Biot sayıları ise “Eş. 3.34” ve “Eş. 3.35” ile elde edilir.

$$Bi_r = \frac{k_e \cdot R}{D_e} \quad (3.34)$$

$$Bi_z = \frac{k_e \cdot L}{D_e} \quad (3.35)$$

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Isı Transfer Katsayısı

4.1.1. Termofiziksel özellikler

Isı transfer katsayısının belirlenmesi için gerekli olan tulumba tatlısı hamuruna ait termofiziksel özellikler öngörülen metoda göre belirlenmiş (Bkz. Bölüm 3.2.3.1) ve Çizelge 4.1’ de verilmiştir. Bu özelliklerin kızartma süresi boyunca sabit kaldığı kabul edilmiştir.

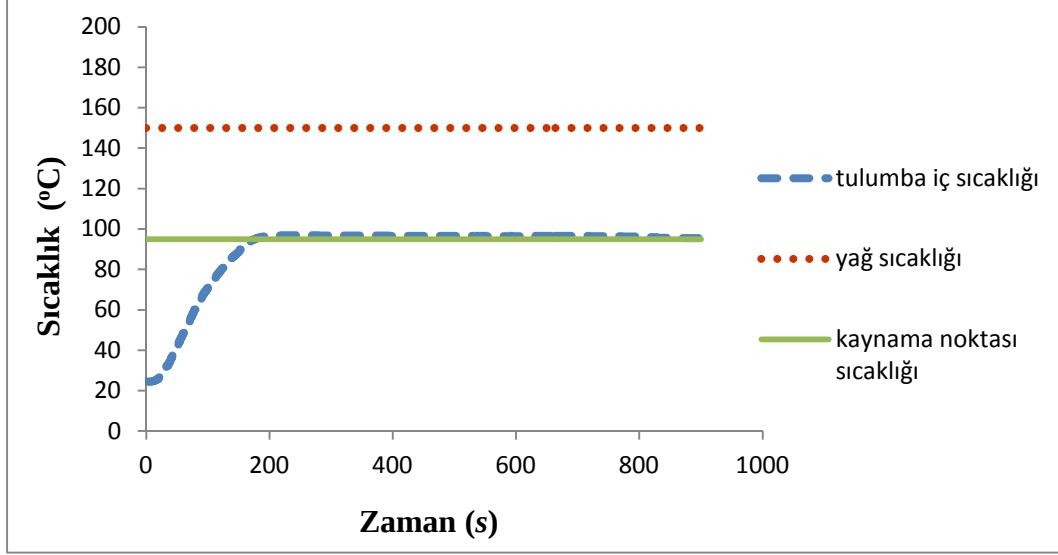
Çizelge 4.1. Tulumba tatlısına ait termofiziksel özellikler

Termofiziksel özellik	Değer
Isıl iletkenlik katsayısı, k	0.493 W/m°C
Özgül ısı, cp	3.0946 kJ/kg°C
Yoğunluk, p	1155.668 kg/m ³

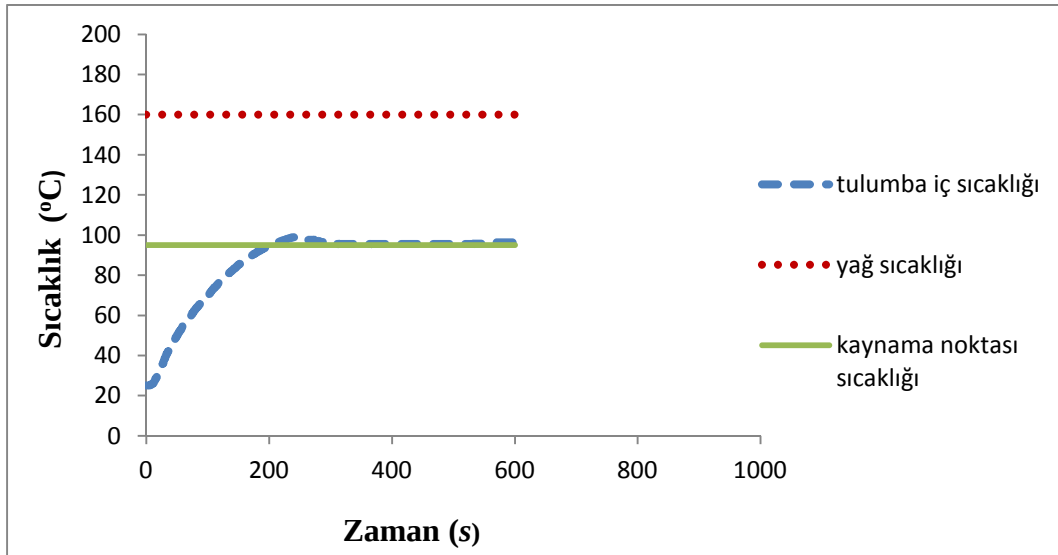
4.1.2. Kızartma sırasında elde edilen sıcaklık-zaman verileri

Kızartma süresi boyunca tatlı hamuru içindeki sıcaklık dağılımı belirtilen yönteme göre elde edilmiştir (Bkz. Bölüm 3.2.3.2). Belirlenen değerler kullanılarak oluşturulan sıcaklık-zaman grafikleri incelendiğinde (Şekil 4.1 - 4.4), tatlı hamurunun iç sıcaklığının zamanla arttığı ve uzunca bir süre yaklaşık 95 - 96 °C değerlerinde sabit kaldığı görülmektedir. Van ilinde rakımın yüksek olduğu (1727 m, basınç yaklaşık 800 mb) ve suyun kaynama sıcaklığının 95 – 95.5 °C civarında olduğu göz önüne alındığında, iç kısımdaki sıcaklığın normal kaynama sıcaklığında olduğu söylenebilir. Ancak, grafikler 95 °C’ de sabitlenmeden önce kızartmanın 200 - 300. s leri arasında az da olsa bu değerin üstünde seyretmektedir. Kızartma prosesi göz önüne alındığında sıcaklıktaki bu kısa süreli artış şu şekilde açıklanabilir; tulumba tatlısı hamuru kızgın yağla karşılaşır karşılaşmaz, yağdan hamura olan ısı transferi sonucu hamurun yapısındaki mevcut su buharlaşarak iç kısımda su buharına dönüşür. Kızartma sıcaklığının artmasına bağlı olarak oluşan bu su buharının kalın dış kabuk yüzünden

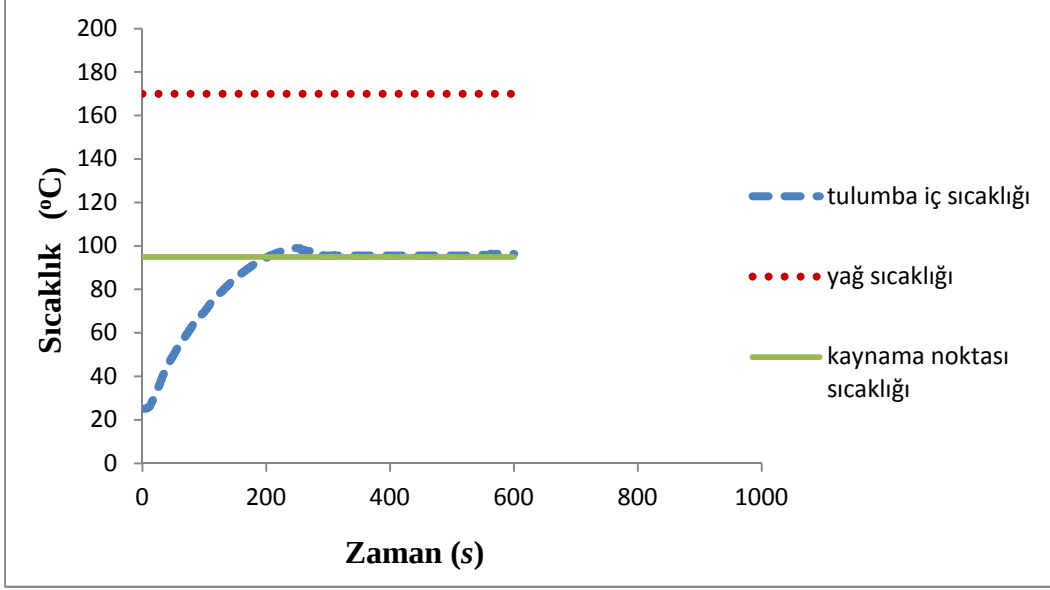
uzunca bir süre tatlıyı terk edememesi, kapalı hacim içinde hem iç basıncın hem de sıcaklığın artmasını teşvik eder. Oluşan yüksek basıncın etkisiyle, tatlı hamurunun yüzeyinde delikler oluşturarak uzaklaşan su buharı, iç basıncın azalmasını ve dolayısıyla sıcaklığın azalarak ürün içinde uzunca bir süre sabit kalmasını sağlar. Grafikler üzerinden elde edilen yorum bu proses yaklaşımını karşılar niteliktedir.



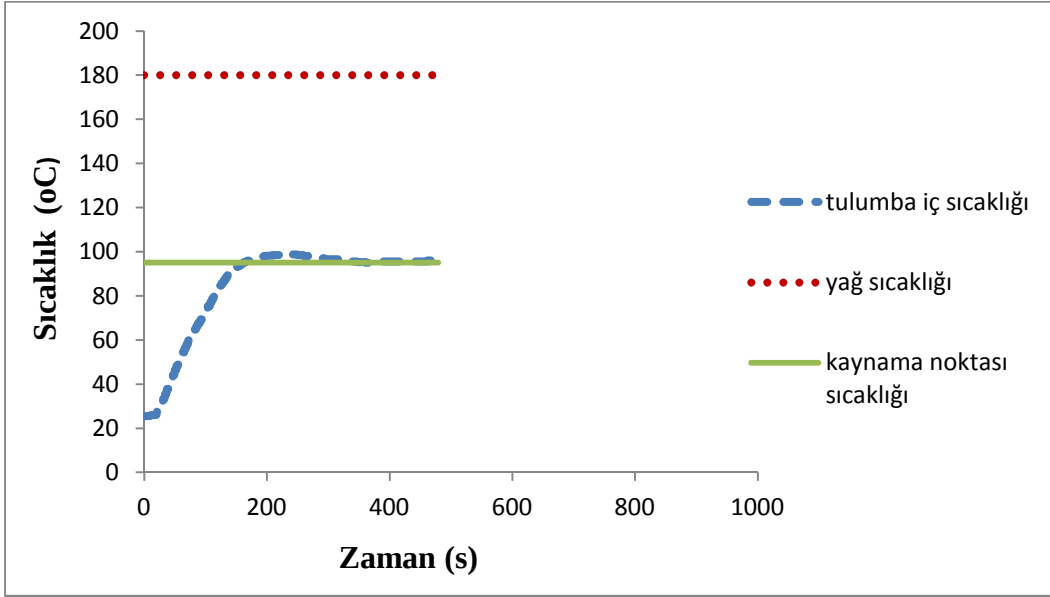
Şekil 4.1. 150 °C kızartma sıcaklığında elde edilen tulumba tatlısının iç sıcaklığı.



Şekil 4.2. 160 °C kızartma sıcaklığında elde edilen tulumba tatlısının iç sıcaklığı.



Şekil 4.3. 170 °C kızartma sıcaklığında elde edilen tulumba tatlısının iç sıcaklığı.

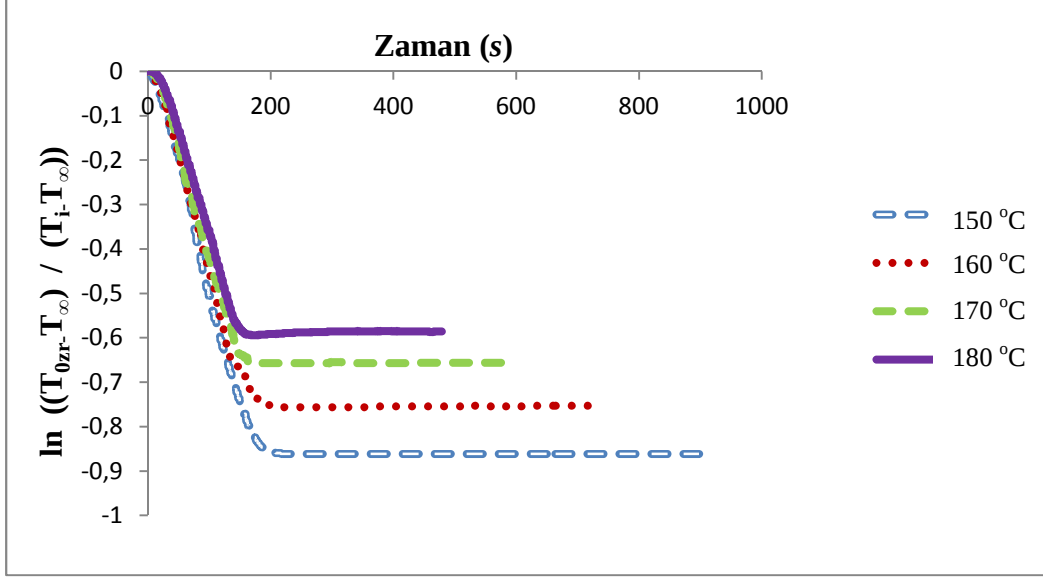


Şekil 4.4. 180 °C kızartma sıcaklığında elde edilen tulumba tatlısının iç sıcaklığı.

4.1.3. Matematiksel sonuçlar

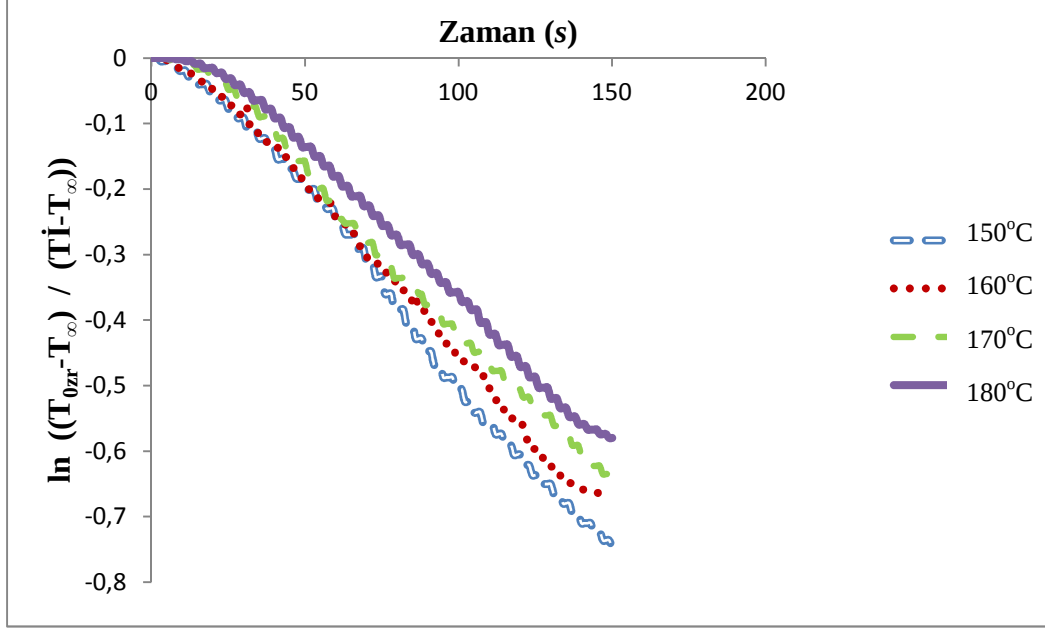
Çalışmada kullanılan dört farklı kızartma sıcaklığı için (150, 160, 170 ve 180 °C) elde edilen sıcaklık-zaman verileri kullanılarak hesaplanan; $\ln\left(\frac{T-T_{\infty}}{T_i-T_{\infty}}\right)$ değerleri, zamana karşı grafiğe aktarıldığında Şekil 4.5' deki grafikler elde edilmiştir. Kızartma başlangıcında yaklaşık ilk 20 s doğrusal olmayan bir bölge görülmektedir. Daha sonra

grafikler doğrusal hal almakta ve yaklaşık 150 s sonra sabitlenmektedir. Grafikler sabitlenmeden önce eğimlerinin azalmaya başladığı bölge; tulumbanın merkezi ile yüzeyi arasındaki sıcaklık farkının giderek azaldığını temsil etmektedir.



Şekil 4.5. Tulumba tatlılarının farklı yağ sıcaklıklarında kızartılması sırasında elde edilen $\ln \left(\frac{T_{0zr}-T_{\infty}}{T_i-T_{\infty}} \right)$ - zaman grafikleri.

Şekil 4.5' de elde edilen grafiklerin doğrusal kısımları çizildiğinde (Şekil 4.6); kızartma sıcaklığının artmasıyla beraber doğruların eğimlerinin azaldığı bölge daha net görülmektedir. Daha önce belirtildiği gibi bu grafiklerin doğrusal kısımlarının eğimi; tulumba içerisindeki sıcaklık değişiminin yüzeye akışkan sıcaklığı arasındaki sıcaklık farkına göre değerini belirlemek için kullanılan Biot sayısı ve etkin ısı transfer katsayısının hesaplanmasında kullanılmıştır (Bkz. Bölüm 3.2.3.3). Örnek bir uygulama Ek 1'de verilmektedir.



Şekil 4.6. Tulumba tatlılarının farklı yağ sıcaklıklarında kızartılması sırasında elde edilen $\ln \left(\frac{T_{0zr} - T_{\infty}}{T_i - T_{\infty}} \right)$ - zaman grafiklerinin doğrusal kısımları.

Elde edilen Biot sayıları ve etkin ısı transfer katsayısı değerleri tüm kızartma sıcaklıkları için Çizelge 4.2’ de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Farklı sıcaklıklarda yapılan kızartma deneyleri için elde edilen Biot sayısı ve etkin ısı transfer katsayısı değerleri

Yağ Sıcaklığı (°C)	Biot Sayısı		Etkin ısı transfer katsayısı (W/m ² °C)
150	Bi _z =7.40	Bi _r =3.70	182.410
160	Bi _z =6.80	Bi _r =3.40	167.620
170	Bi _z =5.72	Bi _r =2.86	140.998
180	Bi _z =5.10	Bi _r =2.55	125.715

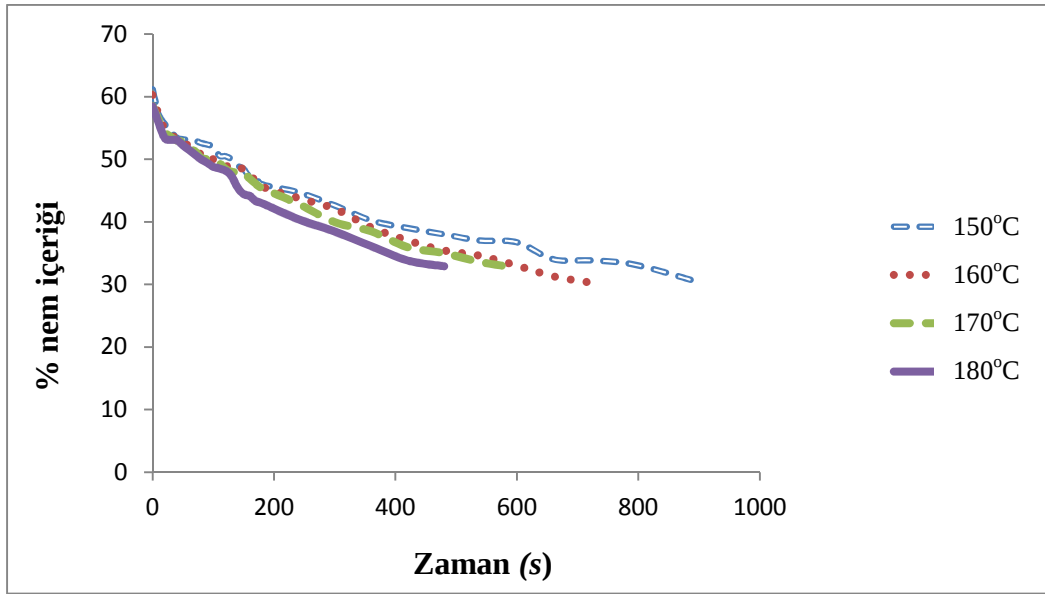
Çizelge 4.2’ de görüldüğü gibi yağ sıcaklığının artması ile beraber hem Biot sayısında hem de etkin ısı transfer katsayısında azalma gözlenmektedir. Patateslerin kızartılmasında ısı transfer parametrelerinin belirlenmesine yönelik bir çalışmada da benzer bir durum gözlenmiştir (Yıldız, 2005). Ancak elde edilen bu sonuç ısı transfer

katsayısının yağ sıcaklığının artması ile beraber artış gösterdiğini bulan çalışmalar ile çelişmektedir (Buzdaki ve Seruga, 2005a; Costa ve ark., 1999a; Sahin ve ark., 1999b). Bunun muhtemel nedeni ise bu çalışmalarda ısı transfer katsayısı ile kütle transfer katsayısının ayrı ayrı ele alınarak incelenmesidir.

4.2. Kütle Transfer Parametreleri

4.2.1. Kızartma sırasında elde edilen nem içerik verileri

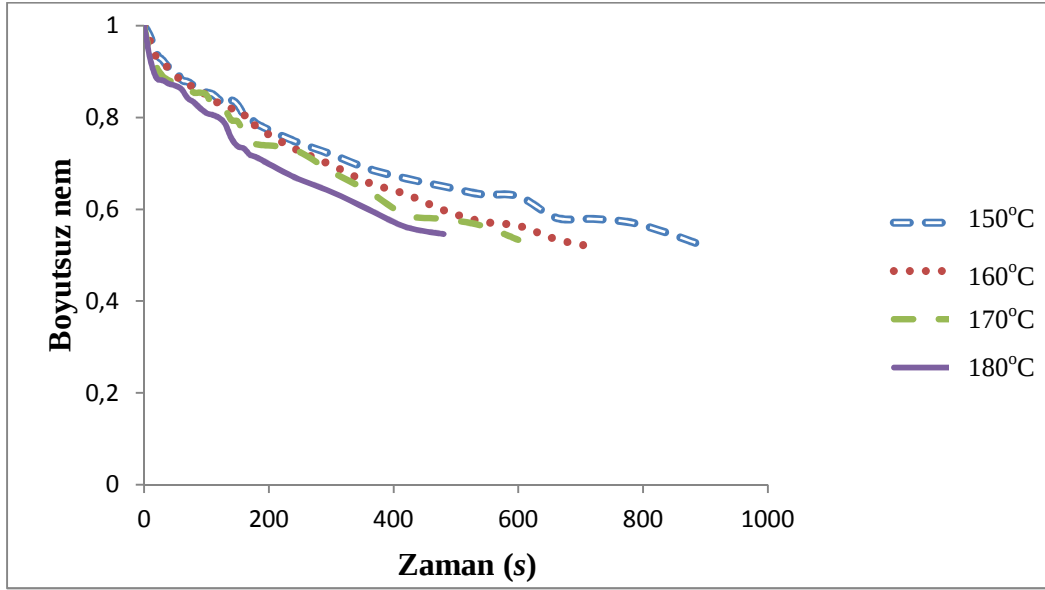
Kızartma süresi boyunca tatlı hamurunun nem içeriğindeki değişim verilen yönteme göre elde edilmiştir (Bkz. Bölüm 3.2.4.1). Tüm kızartma sıcaklıklarında % nem içeriği zamanın fonksiyonu olarak ifade edilmiştir (Şekil 4.7).



Şekil 4.7. Tulumba tatlı hamurunun farklı yağ sıcaklıklarında kızartılması sırasında elde edilen %nem içeriği – zaman verileri.

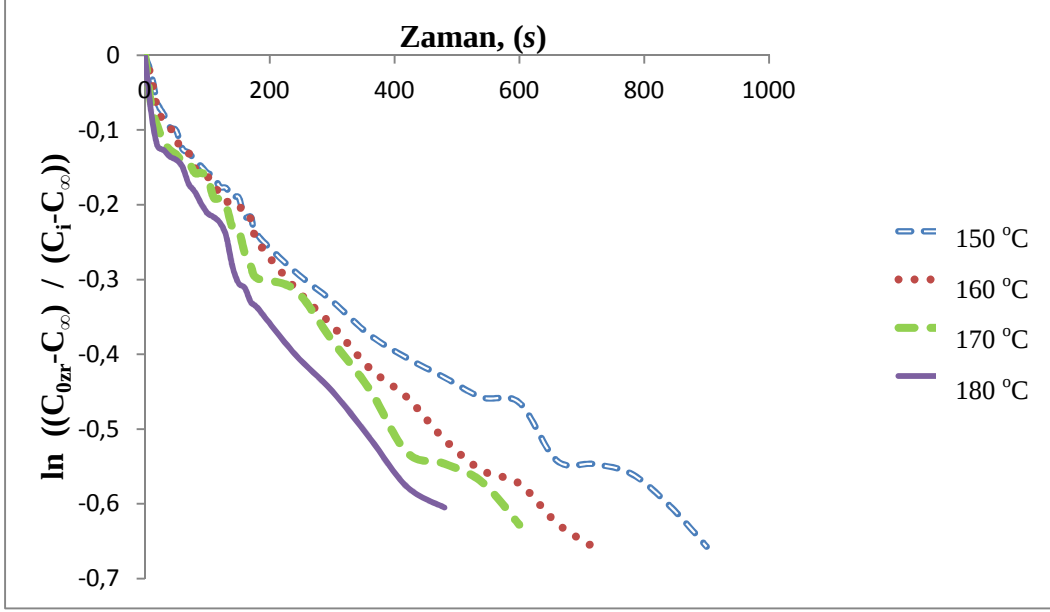
Uygulanan dört farklı yağ sıcaklığı için elde edilen bu değerler, birbirlerinden bağımsız olarak değerlendirildiklerinde, tatlı hamurlarının % nem içeriklerinin kızartmanın başlangıcında hızlı bir şekilde azaldığı görülmektedir. Ancak kızartma süresi uzadıkça, tatlı hamurunun % nem içeriğindeki azalma hızının giderek yavaşladığı fark edilmektedir. Bu azalış kızartma prosesinin yüzeyde kaynama ve azalan hız

aşamalarından dolayı beklenen bir sonuçtur. Yüzeyde kaynama aşamasında tulumba hamuru içinde bulunan su, hamur yüzeyine difüzyonla ulaşır. Suyun hamur içinden yüzeye difüze olma hızı, suyun yüzeyden kızgın yağ içine difüze olma hızının altına düşer. Yüzeyde su kaybı daha çabuk olur ve ani buharlaşmalar söz konusu olduğundan başlangıçta hızlı kayıp gözlenmiştir. Ancak ani buharlaşmalar tulumba hamurunun dış yüzeyinde bir kabuk oluşmasını tetikler ve oluşan kabuğun etkisiyle zamanla suyun buharlaşmasında ve yağ içinde kabarcık oluşumunda azalmalar meydana gelir. Azalan hız aşaması olarak bilinen bu evre grafikler üzerinden görülmektedir. Şekil 4.8’ de ise farklı kızartma sıcaklıklarında boyutsuz nem içeriğinin $\left(\frac{C-C_{\infty}}{C_i-C_{\infty}}\right)$ zamana bağlı değişimi yer almaktadır. Şekildeki grafikte görüldüğü gibi aynı zaman dilimi içerisinde, farklı kızartma sıcaklıklarındaki nem içeriği, sıcaklığın artmasıyla beraber azalmaktadır. Yani sıcaklık arttıkça tulumba tatlılarındaki nem kaybı hızı da artmaktadır.



Şekil 4.8. Tulumba tatlı hamurlarının farklı yağ sıcaklıklarında kızartılması sırasında elde edilen $\left(\frac{C-C_{\infty}}{C_i-C_{\infty}}\right)$ - zaman grafikleri.

Şekil 4.8. deki boyutsuz nem oranı yarı logaritmik skalada zamana karşı grafiğe geçirildiğinde Şekil 4.9 elde edilir.



Şekil 4.9. Tulumba tatlılarının farklı yağ sıcaklıklarında kızartılması sırasında elde edilen $\ln \left(\frac{C_{0zr} - C_{\infty}}{C_i - C_{\infty}} \right)$ - zaman grafikleri.

4.2.2. Matematiksel Sonuçlar

Materyal ve Yöntem bölümünde belirtildiği gibi, Şekil 4.9’ daki grafiklerin doğrusal kısımlarının eğimi ve y eksenini kestiği nokta değeri Biot sayısı, etkin nem difüzyon katsayısı ve etkin kütle transfer katsayısının hesaplanmasında kullanılmıştır (Bkz. Bölüm 3.2.4.2). Hesaplamalar ani nem kaybından sonra azalan hız bölgesine ait veriler kullanılarak yapılmıştır. Bulunan değerler Çizelge 4.3’ de sunulmaktadır. Örnek bir uygulama ise Ek 2’de verilmektedir.

Çizelge 4.3 Farklı sıcaklıklarda yapılan kızartma deneyleri için elde edilen Biot sayısı etkin nem difüzyon katsayısı ve etkin kütle transfer katsayısı değerleri

Yağ sıcaklığı (°C)	Biot sayısı	Etkin nem difüzyon katsayısı (m ² /s)	Etkin kütle transfer katsayısı (m/s)
150	Bi _r = 0.17 Bi _z =0.34	1.77 x 10 ⁻⁷	3.009 x 10 ⁻⁶
160	Bi _r = 0.15 Bi _z =0.30	2.15 x 10 ⁻⁷	3.225 x 10 ⁻⁶
170	Bi _r = 0.12 Bi _z =0.24	2.69 x 10 ⁻⁷	3.445 x 10 ⁻⁶
180	Bi _r = 0.10 Bi _z =0.20	3.59 x 10 ⁻⁷	3.695 x 10 ⁻⁶

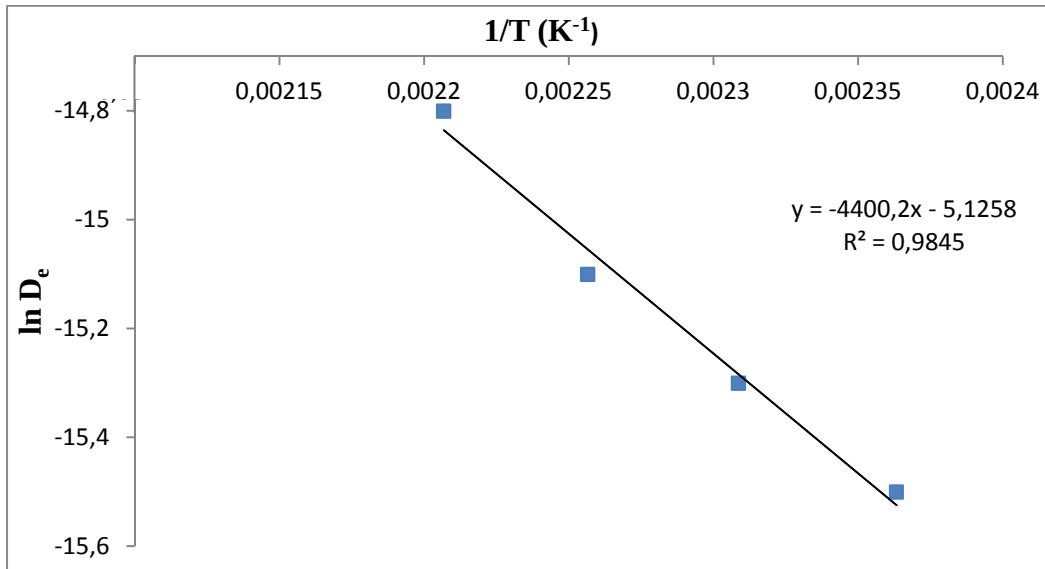
Çizelgeden etkin nem difüzyon katsayısının yağ sıcaklığının artması ile beraber üstel olarak arttığı, etkin kütle transfer katsayısının ise doğrusal olarak arttığı görülmektedir. Bulunan değerler, daha önce yapılan benzer çalışmalar ile uyum içindedir (Dinçer ve Yıldız, 1995; Buzdaki ve Seruga, 2005b; Yıldız, 2005).

Çizelge 4.2 ve 4.3 karşılaştırıldığında tezin amacını ortaya koyan eşzamanlı transfer mekanizması daha iyi anlaşılmaktadır. Çünkü yüksek yağ sıcaklığında yapılan kızartma işleminde enerjinin daha büyük bir kısmı suyu buharlaştırmak için harcanmaktadır. Tulumba hamurunun kızartılması için gerekli olan enerjinin önemli bir kısmının buharlaşma için kullanılıyor olması, tulumba hamuru içindeki sıcaklık artışını sınırlamaktadır. Tulumba hamurunun ısınma sürecine buharlaşma olayının etki etmesi eşzamanlı ısı ve kütle transferi için beklenen bir sonuçtur. Dolayısıyla; etkin ısı transfer katsayısında azalma gözlenirken, etkin kütle transfer katsayısında artış meydana gelmektedir.

Sıcaklığın etkin nem difüzyon katsayısına etkisi Arrhenius tipi eşitlikle tanımlanmaktadır.

$$D_e = D_0 \exp \left(-\frac{E_a}{Rt} \right) \quad (4.1)$$

Çizelge 4.2' deki etkin nem difüzyon katsayısı değerlerinin doğal logaritması, $1/T$ değerlerine karşılık grafiğe geçirildiğinde Şekil 4.10 elde edilir.



Şekil 4.10. Difüzyon katsayısının sıcaklıkla ilişkisi.

Bu grafiğin eğimi;

$$m = \left(-\frac{E_a}{R}\right)' \text{ ye eşittir.}$$

Buna göre; bilinmeyen değerler yerine konduğunda, ($m = -4400.2$ ve R gaz sabiti = $8.3145 \times 10^{-3} \text{ kJ/ mol } ^\circ\text{C}$) aktivasyon enerjisi $E_a = 36.58 \text{ kJ/ mol}$ elde edilir. Krostula hamurlarının kızartılmasında belirlenen aktivasyon enerjisi 30 kJ/ mol olup (Buzdaki ve Seruga, 2005b), tulumba hamuru için bulunan değerden biraz daha düşüktür. Aradaki bu fark etkin nem difüzyon katsayısının krostula hamuru için daha düşük olmasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca patateslerin kurutulması sırasında aktivasyon enerjisini belirlemeye yönelik yapılan bir çalışmada (McMinn ve Magee, 1996), bu değer $25.2\text{-}36.2 \text{ kJ/mol}$ olarak bulunmuştur. Kurutma ve kızartma işlemlerinde hemen hemen benzer aktivasyon enerjisi değerlerinin elde edilmesi, sıcaklığın her iki işlemde de nem difüzyonuna etkisinin benzer olduğunu göstermektedir (Yıldız, 2005).

5. SONUÇ

Derin yağda tulumba tatlısı kızartma prosesi eşzamanlı ısı ve kütle transferi olarak ele alınmış ve bu işleme ait parametreler deneysel ve analitik olarak incelenmiştir. Laboratuarda gerçekleştirilen deneysel analiz ile tulumba hamuru kızartılmasında etkin olan ısı ve nem transfer mekanizmaları belirlenmiş, proses tasarımı ve işlem optimizasyonu için kullanılabilecek parametreler analitik olarak ifade edilmiştir.

Bu alanda daha önce yapılan çalışmalar detaylı olarak analiz edildiğinde, araştırmacıların ürün olarak genellikle patates kızartmasını seçtikleri veya seçilen ürünün gerçek geometrisini yansıtmayan yaklaşımlarla ilgili eşitliklerin türetildiği görülmektedir.

Bu çalışmada ise tez projesinin amacı doğrultusunda, işlem sırasında gerçekleşen ısı ve kütle transfer mekanizmaları, ısı akısı miktarını sıcaklık farkı gradyanıyla ilişkilendiren Fourier ve yayılım hızını derişim gradyanıyla ilişkilendiren Fick denklemleri, uygun sınır koşulları halinde tulumba tatlısı geometrisi için (sonlu silindir) yazılmıştır. Deneysel veriler termo-sensörlerin konumunun bilinmesine gerek duyulmaksızın sıcaklık-zaman ve nem-zaman verileri olarak elde edilmiştir. Ürün olarak tulumba tatlısının seçilme nedeni ise; hem literatürde daha önce böyle bir ürüne veya benzerine yer verilmemiş olması, hem de bu çalışmada kullanılan Newman yöntemiyle sonlu silindir geometrisi çalışılmamış olmasıdır.

Çalışmada ısı transfer katsayısının kızartma yağının sıcaklığının artmasına bağlı olarak azaldığı, nem difüzyon katsayısı ve etkin kütle transfer katsayısının ise arttığı görülmektedir. Etkin nem difüzyon katsayısının sıcaklıkla artışı Arrhenius tipi bir bağıntıyla açıklanmış ve ilgili eşitliklerden aktivasyon enerjisi bulunarak, kızartma prosesinin sıcaklığa olan duyarlılığı belirlenmiştir. Bu çalışmada kullanılan yöntemin avantajı, kızartma sırasında meydana gelen kütle transferinin etkisini de hesaba katarak, gerçek prosesi yansıtan ısı transfer katsayısı değerlerinin elde edilmiş olmasıdır.

Derin yağda tulumba tatlısı kızartılmasında ısı ve kütle transfer parametrelerinin belirlenmesi konusundaki bu çalışma, transfer özelliklerinin hassaslığının artırılmasıyla birlikte farklı materyal ve ürünlere, farklı kızartma sıcaklıklarına ve endüstriyel alandaki uygulamalara uyarlanabilir. Aynı zamanda bulunan transfer parametreleri, aynı boyut ve geometriye sahip ürünlerin kızartılmasında da kullanılabilir. Böylece işlemi temsil eden bir optimizasyon modeli kurularak, işlem sırasında ürün ve kızartma ortamı arasındaki etkileşimi ve üründe meydana gelen değişimleri sayısal olarak tanımlayabilme olanağı sağlanabilir. Sonuçta daha kaliteli ve güvenli ürün eldesi için işlem tasarımı ve optimizasyonu yapılabilir. Bunun için bu çalışma bu konuda yapılacak ileriki çalışmalara ışık tutacaktır.

KAYNAKLAR

- Akyıldız, E., 2010. Geleneksel Türk tatlısı baklava. *The 1st International Symposium on Traditional Foods From Adriatic to Caucasus*. 15-17 April, Tekirdağ Turkey. 106-108.
- Alvis, A., Velez, C., Mendoza, M.R., Villamiel, M., Villada, H., 2009. Heat transfer coefficient during deep fat frying. *Food Control*, **20** (4): 321-325.
- Anonim, 2011. Hamur Tatlıları.[http:// meb.gov.tr/modulerprogramlar/kursprogramlari](http://meb.gov.tr/modulerprogramlar/kursprogramlari)
Yiyecek-İçecek Hizmetleri, T.C Milli Eğitim Bakanlığı, Ankara. Erişim tarihi: 07.01.2014
- Anonim, 1999. AACC *Approved Methods*. 11th edition. American Association of Cereal Chemistry, St. Paul MN, USA. 220.
- Baik, O. D., Mittal, G. S., 2002. Heat transfer coefficients during deep-fat frying of tofu disc. *American Society of Agricultural and Biological Engineering*, **45** (5): 1493-1499.
- Bingöl, D., Devres, Y.O., 2010. Üzümlerim mikrodalga kurutma eğrilerinin ve sıcaklık değişiminin matematiksel modellenmesi. *İstanbul Teknik Üniversitesi Dergisi/d Mühendislik* **9** (4): 63-71.
- Blumenthal, M.M., 1996. Frying Technology. *Bailey's Industrial Oil, Fat Products*. Wiley-Interscience, New York. 429-483.
- Budžaki, S., Seruga, B., 2005a. Determination of thermal conductivity and convective heat transfer coefficient during deep fat frying of “Kroštula” dough. *European Food Research Technology*, **221**: 351-356.
- Budžaki, S., Seruga, B., 2005b. Moisture loss and oil uptake during deep fat frying of “Kroštula” dough. *European Food Research Technology*, **220**: 90-95.
- Bulut, B., 2013. *Glutensiz Tulumba Tatlısı Üzerine Bir Araştırma* (yüksek lisans tezi, basılmamış). Iğdır Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Iğdır.
- Carslaw., H.S., Jeager, J.C., 1959. *Conduction of Heat in Solids*. Second edition. Oxford Univesrty Pres, New Jersey. 404.
- Cemeroğlu, B., 2010. *Gıda Mühendisliğinde Temel İşlemler*. Gıda Teknolojisi Derneği Yayınları No:29, Ankara. 586.

- Costa, R. M., Oliveira, F. A. R., Delaney, O., Gekas, V., 1999a. Analysis of the heat transfer coefficient during potato frying. *Journal of Food Engineering*, **39** (3): 293-299.
- Costa, R. M., Oliveira, F. A. R., 1999b. Modelling the kinetics of water loss during potato frying with a compartmental dynamic model. *Journal of Food Engineering*, **41** (3): 177-185
- Crank, J., 1975. *The Mathematics of Diffusion*. Second edition. Oxford University Pres, London. 374.
- Çengel., Y.A., 2010. *Isı ve Kütle Transferi Pratik Bir Yaklaşım*. 3. baskı. Güven Kitabevi, Ankara, 879.
- Çengel, Y.A., 2003. *Heat Transfer: A practical approach*. Second edition. McGraw-Hill Companies, Inc., New York, 932.
- Dickerson, R.W., 1965. An apparatus for the measurement of thermal diffusivity of Foods. *Food Technology*, **19**: 198-204.
- Dinçer, İ., Yıldız, M., 1995. Modelling of thermal and moisture diffusions in cylindrically shaped sausages during frying. *Journal of Food Engineering*, **28** (1): 35-43.
- Doğan, İ.S., Yurt, B., 2002. Tulumba tatlısının üretiminde yağ emilimini etkileyen faktörlerin belirlenmesi. *Gıda* **27** (1):65-71.
- Elgün, A., Ertugay Z., 2002. *Tahıl İşleme Teknolojisi*. Dördüncü baskı. Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Ofset Tesisi No:718, Erzurum. 411.
- Erkut, A., 1990. Margarin, tereyağı ve zeytinyağının hamur işlerinde etkisi. *Gıda Dergisi*, **15** (4): 229-233.
- Farkas B.E., Singh R.P., Rumsey T.R., 1996. Modeling heat and mass transfer in immersion frying-1 model development. *Journal of Food Engineering*, **29** (2):211-226.
- Göçmen, D., 1993. Un ve katkı maddelerinin ekmek kalite ve bayatlamasına etkileri. *Gıda* **18** (5): 325-353.
- Hallstrom, B., Skjoldebrand, C., Tragardh, C., 1988. *Heat Transfer and Food Products*. First edition. Elsevier Applied Science, New York. 263.

- Hubbard, L. J., Farkas, B. E., 1999. A method for determining the convective heat transfer coefficient during immersion frying. *Journal of Food Process Engineering*, **22**: 201-214.
- Hubbard, L.J., Farkas, B.E., 2000. Influence of oil temperature on convective heat transfer during immersion frying. *Journal of Food Processing and Preservation*, **24** (2): 143-162.
- Incropera, F.P., Dewitt, D.P., 1996. *Introduction to Heat Transfer*. Third edition. Johnwiley Sons, Inc.,USA. 801.
- Kakaç, S., Arınç F., 2004. *Örneklerle Mühendislik Isı Transferinin Esasları*. Pelikan Yayıncılık, Ankara.393.
- Karaca, A.R., Güre, A., Gül, V., 1984. Yanık yağların farelerde ve sıçanlarda karsinojenik etkileri. *Doğa Bilimleri Dergisi*, **8** (1): 44-53.
- Kayahan, M., 2002. *Modifiye Yağlar ve Üretim Teknolojileri*. ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş. Yayınları, Ankara. 263.
- Kruger, E.J., Motsuo, R.B., 1996. *Pasta and Noodle Technology*. American Association of Cereal Chemists, Inc. St. Paul, Minnesota, USA. 356.
- McMinn, W.A.M. ve Magee, T.R.A., 1996. Air drying kinetics of potato cylinders. *Drying Technology*, **14** (9): 2025-2040.
- Mohebbat, N., Mohebbi, F.T.Y, Mohammad H.H.K., 2005. *Kinetic Modeling of Mass Transfer During Deep Fat Frying of Shrimp Nuggets Coated With Different Batter Formulation*. Department of Food Science and Technology- Ferdowsi University of Mashhad-Iran.
- Newman, A.H., 1936. Heating and cooling rectangular and cylindrical solids. *Industrial and Engineering Chemistry*, **28** (5): 545-548.
- Ngadi, M., Ikediala, J. N., 2005. Natural heat transfer coefficients of chicken drum shaped bodies. *International Journal of Food Engineering*, **1** (3): 19-24.
- Önder, Ö., 2011. *Derin Yağda Kızartma İşleminde Adsorbant Kullanımının Kızartmalık Yağların Kullanım Süreleri Üzerine Etkisi* (yüksek lisans tezi, basılmamış). Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.

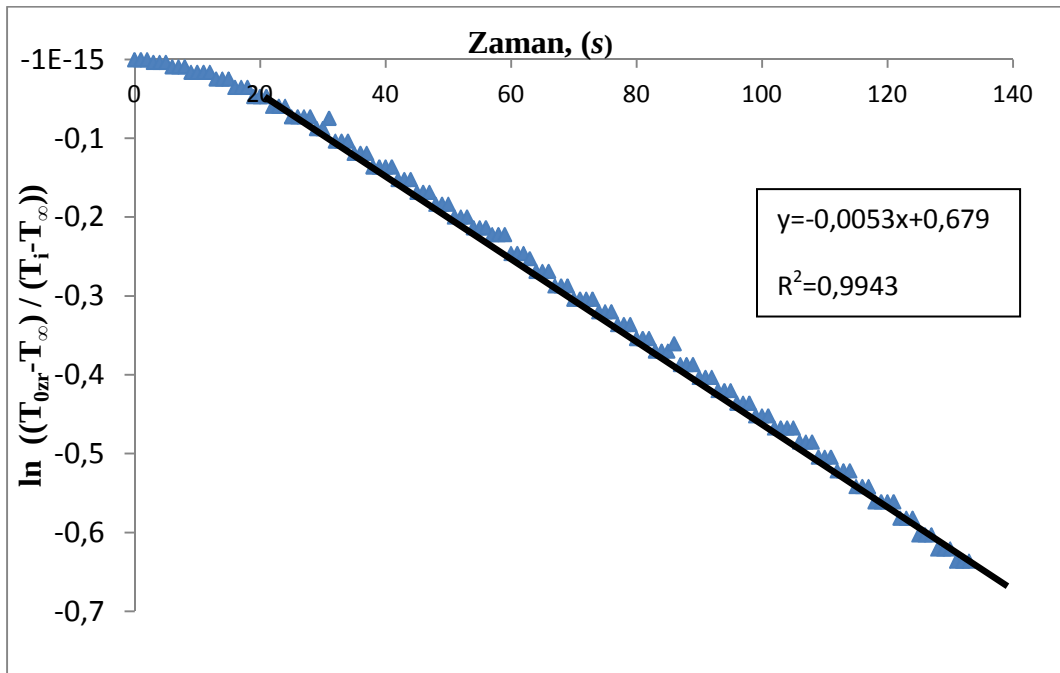
- Özen, F.B., 2006. *Tulumba Tatlısının Üretim Metodu ile Farklı Un Tipi ve Katkı Kullanımının Son Ürün Kalitesine Etkisi Üzerine Bir Araştırma* (yüksek lisans tezi, basılmamış). Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Rice, P., Gamble, M.H., 1989. Modelling moisture loss during potato slice frying. *International Journal of Food Science and Technology*, 24 (2): 183-187.
- Sahin, S., Sastry, S. K., Bayindirli, L., 1999a. Heat transfer during frying of potato slices. *Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie*, 32 (1): 19-24.
- Sahin, S., Sastry, S. K. ve Bayindirli, L., 1999b. The determination of convective heat transfer coefficient during frying. *Journal of Food Engineering*, 39 (3): 307-311.
- Sakin, M., 2005. *Fırında Kek Pişirme İşleminin Eşzamanlı Isı ve Kütle Transferi Olarak Modellenmesi* (doktora tezi, basılmamış). Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir
- Singh, R. P., Heldman, D. R., 1993. *Introduction to Food Engineering*. Academic Press, Inc., San Diego. 499.
- Sosa-Morales, M.E., Orzuna-Espiritu. R., Velez-Ruiz, J.F., 2006. Mass, thermal and quality aspects of deep fat frying of pork meat. *Journal of Food Engineering* 77 (3): 731-738.
- Şumnu, S., Şahin, S., 2009. *Advances in Deep Fat Frying of Foods*. Contemporary Food Engineering Series, Taylor-Francis Group, USA. 321.
- Türkay, S., 2009. Kızartma yağları ve gıda güvenliği açısından değerlendirilmeleri. **1. Gıda Güvenliği Kongresi**. 4 Aralık 2009, İstanbul.
- Velez-Ruiz, J.F., Sosa-Morales, M.E., 2003. Heat and Mass Transfer during the Frying Process of Donuts, Chap. 28. *Transport Phenomena in Food Processing*. Food Preservation Technology Series, CRC Pres LLC, USA. 568.
- Wang, Y., 2005. *Heat and Mass Transfer in Deep Fat Frying of Breaded Chicken Nuggets* (M.Sc.). Department of Bioresource Engineering Macdonald Campus of Mc Gill University, Canada.
- Yıldız, A., 2005. *Patateslerin Kızartılması Sırasında Isı ve Kütle Transfer Parametrelerinin Belirlenmesi* (yüksek lisans tezi, basılmamış). Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mersin.

EKLER

Ek 1: Isı transfer katsayısının hesaplanması

Örnek Hesaplama

Bölüm 3.2.3.3' de belirtildiği gibi tulumba tatlılarının kızartılması esnasında elde edilen sıcaklık-zaman verilerinden yola çıkarak hesaplanan etkin ısı transfer katsayısına ait örnek bir hesaplama aşağıda verilmektedir (160 °C için).



Şekil Ek 1.1. Tulumba tatlılarının 160 ° C yağ sıcaklığında kızartılması sırasında elde edilen $\ln \left(\frac{T_{0zr} - T_{\infty}}{T_i - T_{\infty}} \right)$ - zaman grafiğinin doğrusal kısmı.

Şekil Ek 1.1' deki grafikte görüldüğü gibi $y=mx+b$ denkleminin eğimi;

$$m = - \left(\frac{\mu_1^2}{L^2} + \frac{\beta_1^2}{R^2} \right) \cdot \alpha = - 0.0053 \text{ olduğu görülmektedir.}$$

Yukarıdaki eşitlikte L, R ve α değerleri yerine konduğunda;

$$L = 0.02 \text{ m}$$

$$R = 0.01 \text{ m}$$

$$\alpha = 1.378 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$-0.0053 = - \left(\frac{\mu_1^2}{0.02^2} + \frac{\beta_1^2}{0.01^2} \right) \cdot 1.378 \cdot 10^{-7} \text{ elde edilir.}$$

Bu eşitlikteki μ_1 ve β_1 değerleri literatürden yararlanılarak bulunmuştur.

$$\mu_1 = 1.37120$$

$$\beta_1 = 1.83646$$

bu değerlere karşılık elde edilen Biot sayıları ;

$$Bi_z = 6.8$$

$$Bi_r = 3.4 \text{ olarak bulunur.}$$

Boyutsuz Biot sayısı ve ısıl iletkenlik katsayısı ($k=0.493 \text{ W/m}^\circ \text{C}$) bilindiğine göre etkin ısı transfer katsayısı (h_e) hesaplanabilir.

$$Bi_r = \frac{h_e \cdot R}{k} = \frac{h_e \cdot 0.01}{0.493}$$

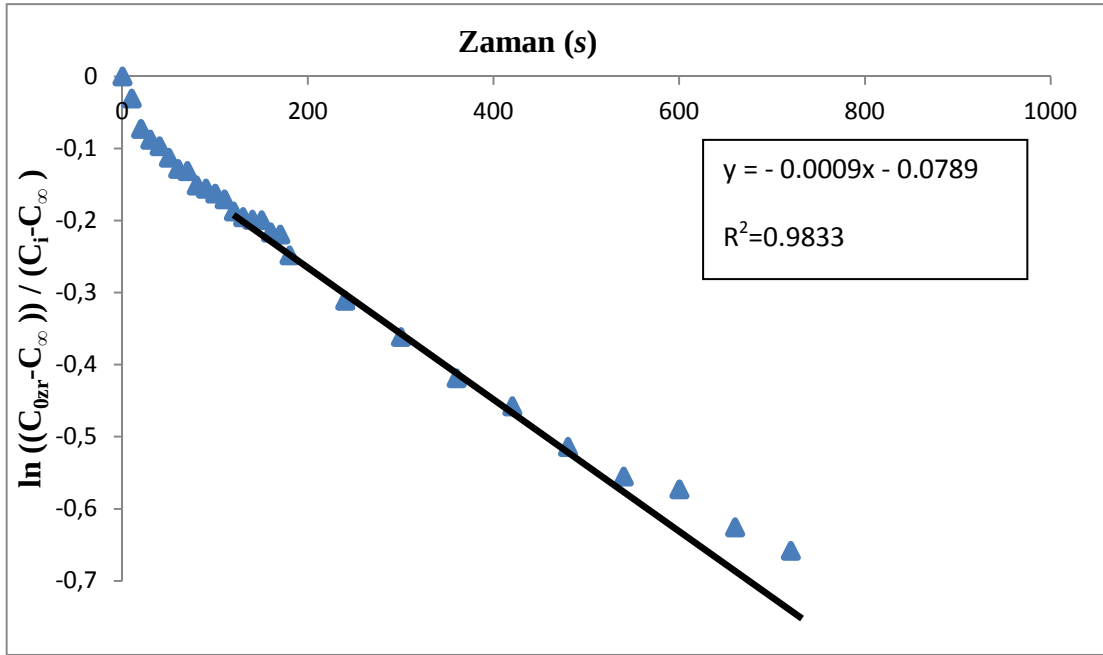
$$Bi_z = \frac{h_e \cdot L}{k} = \frac{h_e \cdot 0.02}{0.493}$$

$$h_e = 167.62 \text{ W/ m}^2\text{C olarak elde edilir.}$$

Ek 2: Kütle transfer parametrelerinin belirlenmesi

Örnek Hesaplama

Bölüm 3.2.4.2.' de belirtildiği gibi tulumba tatlılarının kızartılması esnasında elde edilen nem-zaman verilerinden yola çıkarak hesaplanan etkin nem difüzyon katsayısı ve etkin kütle transfer katsayısına ait örnek bir hesaplama aşağıda verilmektedir (160 °C için).



Şekil Ek 2.1. Tulumba tatlılarının 160 °C yağ sıcaklığında kızartılması sırasında elde edilen $\ln \left(\frac{C_{0zr} - C_{\infty}}{C_i - C_{\infty}} \right)$ - zaman grafiği.

Şekil Ek 2.1.' deki grafikte görüldüğü gibi $y=mx+b$ denkleminin eğimi;

$$m = - \left(\frac{\mu_1^2}{L^2} + \frac{\beta_1^2}{R^2} \right) \cdot D_e \text{ ' dir.}$$

Denklemin y eksenini kestiği nokta ise;

$$y_0 = \ln \left(\frac{4 \sin \mu_1 \cdot Bi_r (C_i - C_\infty)}{(\mu_1 + \sin \mu_1 \cos \mu_1)(Bi_r^2 \beta_1^2) \cdot J_0(\beta_1)} \right) \text{ olduğu görülmektedir.}$$

Literatürde $\left(\frac{4 \sin \mu_1 \cdot Bi_r (C_i - C_\infty)}{(\mu_1 + \sin \mu_1 \cos \mu_1)(Bi_r^2 \beta_1^2) \cdot J_0(\beta_1)} \right)$ değeri farklı Biot sayılarına karşılık olarak verilmektedir. Buna göre;

$$Bi_r = 0.15$$

$$Bi_z = 0.30 \text{ elde edilir.}$$

Elde edilen Biot sayılarına denk gelen kök değerler ise;

$$\mu_1 = 0.5218$$

$$\beta_1 = 0.52935$$

Bilinen tüm değerler $-\left(\frac{\mu_1^2}{L^2} + \frac{\beta_1^2}{R^2}\right) \cdot D_e$ eşitliğinde yerine konduğunda;

$$L = 0.02 \text{ m}$$

$$R = 0.01 \text{ m}$$

$$D_e = 2.15 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s} \text{ elde edilir.}$$

Boyutsuz Biot sayısı ve etkin nem difüzyon katsayısı bilindiğine göre etkin kütle transfer katsayısı (k_e) hesaplanabilir.

$$Bi_r = \frac{k_e \cdot R}{D_e}$$

$$Bi_z = \frac{k_e \cdot L}{D_e}$$

$$k_e = 3.225 \times 10^{-6} \text{ m/s} \text{ elde edilir.}$$

ÖZ GEÇMİŞ

Yağmur ERİM KÖSE, 1987 yılında İstanbul’da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini İstanbul’ da tamamladı. 2006 yılında İstanbul Aydın Üniversitesi Gıda Teknolojisi Bölümü’ ne yerleşti ve 2008 yılında buradan birincilikle mezun oldu. Aynı yıl Yüzüncü Yıl Üniversitesi Mühendislik - Mimarlık Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü’ ne dikey geçiş hakkı kazandı. Buradan 2011 yılında ikincilikle mezun olarak, Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı Süt Teknolojisi Bilim Dalında Yüksek Lisans öğrenimine başladı. 2012 yılında bu üniversitede Gıda Bilimi-Teknolojisi Bilim Dalında Araştırma Görevlisi olarak göreve atandı ve halen göreve devam etmektedir.