

SÜT ve REKONSTITÜE SÜTÜN OHMİK ISITILMASININ İNCELENMESİ: REOLOJİK ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİSİNİN BELİRLENMESİ

Filiz İçier¹, Hayriye Bozkurt^{*2}

¹Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Bornova, İzmir

²Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü, Bornova, İzmir

Geliş tarihi / Received: 29.07.2010

Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 03.03.2010

Kabul tarihi / Accepted: 17.03.2010

Özet

Bu çalışmada, eşdeğer yağ ve kuru madde içeriğine sahip tam yağlı süt ve rekonstitüe süt örneklerinin ohmik ısıtılmasının reolojik özellikleri üzerine etkisi incelenmiştir. Örnekler 30 V/cm voltaj gradyanında 20 °C'den 80 °C'e kadar ohmik olarak ısıtılmışlardır. Kontrol amaçlı olarak eşdeğer ısı geçmişi sahip su banyosunda ısıtma işlemi de gerçekleştirilmiştir. Her iki ısıtma yöntemi sırasında, kıvam özelliklerinin değişimi eş merkezli silindirik tip viskozite kullanılarak belirlenmiştir. Uygulanan ısıtma yönteminin ve örnek çeşidinin viskozite değerlerindeki değişim üzerine etkisinin istatistiksel olarak önemli düzeyde olduğu saptanmıştır. Viskozitenin, rekonstitüe süt örnekleri için ohmik ısıtma, süt örnekleri için ise geleneksel ısıtma sırasındaki sıcaklık artışına daha hassas olduğu belirlenmiştir. Bu çalışmada elde edilen veriler kurulacak pilot ve endüstriyel çaptaki sürekli ohmik ısıtma sistemlerinin tasarımında, özellikle pompalama gereksinimi ve ohmik ısıtma ünitesi içinde akış profillerinin değişimi açısından dikkate alınmalıdır. Ohmik ısıtıcı içinde oluşacak hız profillerindeki kararlılığın sağlanabilmesi homojen ısıtma için kaçınılmazdır.

Anahtar kelimeler: Ohmik, ısıtma, reoloji, süt, süt tozu

THE INVESTIGATION ON OHMIC HEATING OF MILK AND RECONSTITUTED MILK: EFFECTS ON RHEOLOGICAL BEHAVIOUR

Abstract

In this study, the effect of ohmic heating on rheological behaviour of milk and milk powder reconstitutes was investigated. Samples were heated from 20°C to 80 °C at 30 V/cm voltage gradient by ohmic heating. Samples were also heated at water bath for the purpose of control heating. The change of rheological properties during both heating methods were determined by using concentric-cylinder type viscometer. The heating method and the type of the sample were statistically significant on the change of viscosity. It was found that the viscosity was more sensible to temperature change for milk powder solution samples during ohmic heating or for milk during control heating. The data obtained must be taken into account in the design of pilot and industrial scale continuous ohmic heating systems, especially in the estimation of pumping requirement and the change of velocity profiles within ohmic heating unit. The steady velocity profiles within the system are essential for homogeneous heating.

Keywords: Ohmic, heating, rheology, milk, reconstituted milk

*Yazışmalardan sorumlu yazar / Corresponding author ;

✉ hayriye.bozkurt@gmail.com ☎ (+90) 232 3880110 / 3049 ☎ (+90) 232 3427592

GİRİŞ

Süt tüm dünyada oldukça geniş tüketici kitlesine sahip olan bir üründür. Sütün işlenmesi sırasında uygulanan pastörizasyon işlemi, sütteki etkin patojenik mikroorganizmaları ve enzimleri etkisiz hale getirerek, ürünün raf ömrünü uzatan günümüzde bilinen en etkili tekniktir. Bununla birlikte patojenik bakterilerin inaktivasyonunda uygulanan uzun işlem süresi ürünün aroma ve besinsel özelliklerinde bir takım olumsuzluklara yol açabilmektedir. Günümüzde araştırmacılar, ısıl işlemin sebep olduğu/olabileceği olası tüm olumsuzlukları önlemek ve bununla birlikte güvenli ürün eldesine olanak sağlayabilecek alternatif işleme yöntemlerine odaklanmışlardır (1).

Adını Ohm kanunundan alarak literatürde “ohmik ısıtma” olarak anılan ısıtma yöntemi, minimal ısı uygulamaları içerisinde önemli yer tutan ve son yıllarda üzerinde yapılan çalışmaların arttığı elektriksel bir yöntemdir (2). Elektriksel dirençlik özelliği gösteren bir gıda maddesinden elektriksel akımın geçirilmesine dayanan ısıtma yöntemidir. Gıda maddesine uygulanan bu elektriksel güç, üründe hacimsel ve homojen bir ısı dağılımına yol açar. Enerji verimliliği oldukça yüksektir. Sistem iyi tasarlandığında ve izolasyon yapıldığında verilen elektrik enerjisinin % 90-100 oranındaki kısmı gıda maddesi içinde ısı oluşumuna neden olmaktadır. Ohmik ısıtma teknolojisinin geliştirilmesi ve etkisi konusunda tüm dünyada araştırmalar devam etmekte olup, ABD, İtalya, İngiltere ve Japonya gibi ülkelerde ise son yıllarda ohmik ısıtma teknolojisinin sıvı gıdalar için endüstriyel uygulamalarına geçilmiştir (3). Ancak ülkemizde ohmik ısıtma işlemleriyle ilgili pilot ya da endüstriyel ölçekli herhangi bir uygulamaya henüz rastlanmamaktadır. Endüstriyel ölçekte sürekli bir sistem tasarımında ürün akış özelliklerinin sıcaklığa bağlı değişimini belirlemek kaçınılmazdır (4). Avrupa Topluluğu ilgili yönetmelikleri içerisinde (Regulation (EC) No 258/97) gıda ya da gıda bileşenlerinin kompozisyonu ve yapısında besin değeri, metabolizması ya da istenmeyen bileşiklerin oluşumu konusunda önemli değişimlere neden olan ve halen yaygın olarak kullanımı sınırlı olan işleme yöntemleri ile üretilen gıdalar “Novel” gıda ve gıda bileşenleri olarak tarif edilmekte ve bu konuda çalışmaların yapılması önerilmekte ve öncelikli sırada yer almaktadır (5). Özellikle son yıllarda sıvı ve katı birçok gıda maddesinin ohmik ısıtılmasının modellenmesi, ısıtma sırasında kalite özelliklerinin değişimi ve elektrik-

sel özelliklerinin değişimi konusunda çalışmalar artmıştır (6-12). Ohmik ısıtmanın sıvı gıdalara uygulanabilir olduğu, oldukça hızlı ve homojen ısıtma sağlaması nedeniyle alternatif pastörizasyon yöntemi olarak kullanılabilmesi tespit edilmiştir. Besin öğeleri ve kalite özelliklerine etkileri konusunda çalışmalar hala devam etmektedir. Ancak ohmik ısıtma sırasında kıvam özelliklerindeki değişim konusunda sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır (4, 6, 7, 11,12).

Reoloji, materyallerin akış özelliklerinin yanı sıra yapısal özelliklerini karakterize etmede kullanılmaktadır. Yapısal özellikleri kavramak, materyalin nem ve sıcaklık değişikliklerinde, depolama sırasında ve işleme esnasındaki davranışlarını belirlemede yardımcı olmaktadır (13). Sütün kurutulması ile elde edilen süt tozlarının, gıdalara farklı amaçlarla katılması için su ile çözündürülmesi sonucunda, elde edilen rekonstitüe sütün kıvam özelliklerinin aynı kompozisyona sahip sütün farklı olacağı belirtilmektedir (14). Kurutma yöntemi süt tozlarının çözünme ve kazandıkları kıvam özellikleri üzerine etkili bir faktördür. Kurutma işlemi ile sütün uzaklaşan su, ürünün disperse partikül fraksiyonunun artmasına ve dolayısı ile kazein miselleri arasındaki mesafenin azalmasına neden olur. Kazein miselleri arasında azalan bu mesafe kazein misellerinin birbiri ile etkileşimini arttırarak ürün akış özelliklerinin değişimine yol açmaktadır. Süt tozu işlemede bu durumun dikkate alınmaması akış hızında azalmaya, yüksek basınç farklılıklarının oluşmasına ve boru içinde akış düzensizliğine yol açmaktadır (13). Akışkan ürün olarak süt veya rekonstitüe süt örneklerinin pompalanabilir sürekli ohmik sistemlerinde ısıtılması sırasında akış davranışlarının farklı olması ve ısıtma karakterlerine etki etmesi beklenmektedir. Sistemin optimizasyonu için, ohmik ısıtma ünitesi içinde gıdanın elektriksel iletkenliğinin ve reolojik özelliklerinin sıcaklıkla değişimi kritik faktörlerdir. Özellikle pompalanabilir gıda maddelerinin sürekli ohmik ısıtma sistemlerinde taşınması ve eş zamanlı ısıtılması sırasında kıvam özelliklerinin sıcaklıkla değişiminin belirlenmesi, sistemdeki akış tipinin değişimi ve boru içinde kesit alanındaki hız profiline belirlenmesi açısından önem taşımaktadır. Sürekli ohmik ısıtma ünitelerinde homojen sıcaklık profili homojen ısıtmanın sağlanması açısından kaçınılmazdır. Literatürde süt ve süt ürünlerinin reolojik özelliklerini tanımlayan birçok çalışma bulunmasına karşın (15-23) ohmik ısıtma sırasında farklı

akıcı gıda maddelerinin reolojik özelliklerinin değişimi üzerine sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır (4, 6, 7, 11, 12). Isısal etkinin yanı sıra elektriksel etkinin ürün yapısında değişime sebep olup olmadığı bilinmemektedir ve bu konudaki çalışmalar halen devam etmektedir (4).

Bu çalışmanın amacı, ülke ekonomisinde önemli bir yer tutan süt ve süt ürünleri işlemede alternatif bir işleme yöntemi olan "ohmik ısıtma"nın uygulanabilirliğini incelemek, çalışılan ürün çeşidinin ve uygulanan ısıtma yönteminin reolojik özellikler üzerine etkisini belirlemektir. Elde edilen verilerin ülkemizde kurulacak pilot ve endüstriyel çapta ohmik ısıtma sistemlerinin tasarımında alt yapı oluşturması amaçlanmıştır.

MATERYAL VE YÖNTEM

Materyal

Bu çalışmada, kullanılan yağlı süt ve yağlı süt tozu örnekleri Pınar Süt A.Ş. tarafından temin edilmiştir. Yağlı süt tozu örnekleri, toz partiküllerin tamamen çözünmesi amacıyla, katı partikül kalmayana ve bulanıklık gözlemlenmeye kadar (5 dakika) çalkalamalı inkübatörde (20 °C) çalkalanmıştır. Çalkalamadan dolayı oluşan köpüğün giderilmesi amacıyla 2 saat buzdolabı koşullarında (+4 °C) dinlendirilmiştir. Su ile rekonstitüe edilerek kuru madde içeriği yağlı süte eşdeğer (12% w/v) hale getirilmiştir. Yağlı süt ve yağlı süt tozu çözeltisi örnekleri analiz öncesine kadar +4 °C'de saklanarak muhafaza edilmiştir.

Uygulanan ısıtma yöntemleri

Her iki ısıtma işleminde de eşdeğer ısı geçmiş uygulanmıştır.

Ohmik ısıtma (OI) ; Süt ve rekonstitüe süt tozu örneklerinin ohmik ısıtılması laboratuvar ölçekli ohmik ısıtma ünitesinin kullanımı ile gerçekleştirilmiştir. Sistem izole trafo, varyak, mikroişlemci, test hücresi ve bilgisayar bağlantısından oluşmaktadır. Sistem hakkında detaylı bilgi İcier ve Bozkurt (2009)'da verilmiştir (4). Uygulanmak istenen voltaj gradyanı değeri (30 V/cm), sabit elektrot arası açıklığında (0.05 m) varyak yardımıyla ayarlanmış olup örnekler 20 °C başlangıç sıcaklığından hedeflenen sıcaklık değerlerine (30, 40, 50, 60, 70 veya 80 °C) ulaşınca kadar ısıtılmıştır. Tüm ısıtma işlemi 50

Hz'de gerçekleştirilmiştir. Ohmik ısıtma denemeleri tek faktörlü, 6 kademeli ve 3 tekerrürlü "Yüzey merkezli" Genel Faktöriyel Dizayn deneme deseni kullanılmıştır. Toplam 18 ohmik ısıtma denemesi gerçekleştirilmiş olup sabit voltaj gradyanında sıcaklığın viskozite üzerine etkisi istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. İşlem süresince 1 saniye birim zaman aralığında örnekten geçen voltaj ve akım değerleri, örneğin farklı noktalarındaki sıcaklık değerleri mikroişlemci ve multimetreye bağlı RS-232 bağlantıları ile bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Sistemde izole trafo olmasına rağmen herhangi bir elektrik kaçağına karşı ölçümlerin alınacağı ortamın zemininde elektrik izolasyonu sağlanmıştır.

Kontrol ısıtma (KI) ; Ohmik ısıtma denemelerinde kullanılan örnekler cam haznedan yapılmış örnek kaplarının (iç yarıçapı: 0.025 m ve yüksekliği 0.06 m) içerisinde su banyosuna yerleştirilmiştir. Isıtma işlemi süresince su banyosunun (Selecte "Precision", Barcelona, Spain) sıcaklığı 95 °C'de ($\pm 0.1^\circ\text{C}$) sabit tutulmuştur. Ohmik ısıtma denemeleri ile karşılaştırma yapabilmek amacıyla eş değer hacimde örnek kullanılmış olup, her iki ısıtma uygulamasında da eşdeğer ısı geçmiş (eşit süre ve sıcaklık artışı) uygulanarak örnekler 20 °C'den istenilen sıcaklığa (30-80 °C) ulaşması sağlanmıştır.

Analiz yöntemleri

Kimyasal Analizler: Örneklerin pH değeri 25 °C'de Hanna (8314, ABD) marka pH metre ile ölçülmüştür. Toplam kuru madde içeriği süt örneklerinde TS-1018'e göre (24), süttozu örneklerinde TS-1329'a göre (25), yağ miktarı tayini (26)'ye göre, protein içeriği ise (27)'e göre saptanmıştır. Kül tayini ise gravimetrik yöntemle süt örnekleri için 560 °C'de yakma işleminin verildiği metodu içeren (28)'e göre yapılmıştır. Örneklerin kimyasal analizleri 9 paralelli gerçekleştirilmiştir.

Reolojik Ölçüm: Reolojik ölçümler Brookfield viskozimetresi (Model LVDV-II Pro, Brookfield Engineering Laboratories, U.S.A) kullanılarak yapılmıştır. Ölçümler sırasında test hücresi içinde tekdüze bir kayma gerilimi-kayma hızı alanı oluşturabilmek adına Brookfield Viskozite Ölçerin "Küçük Ölçüm Adaptör"ü kullanılmıştır. Bu ölçüm aparatı ölçüm sırasında muhtemel ölü akış bölgelerinin ve/veya kararlı olmayan akış profillerinin oluşumunun minimize edilmesini sağlayarak bazı ölçüm hatalarının oluşmasını önlenmeye yardımcı olduğu hassas

bir reolojik karakterizasyon için uygun olduğu belirtilmektedir (4,29).

Ölçüm sırasında sıcaklık su banyosuyla (Selecta, Precisidig, Spain) ± 0.1 °C sabit tutulmuştur. %10-100 tork güven aralığını sağlamak için 31 nolu ölçüm ucu (spindle) kullanılmış olup, 0-200 rpm aralığında dönüş hızları uygulanmıştır. Reolojik ölçümler sırasında her dönüş hızı için kayma gerilimi, kayma hızı, viskozite ve % tork değerleri kaydedilmiştir. Ürün akış özelliklerinin belirlenmesinde elde edilen verilerin %10-100 güven aralığında olması amaçlandığından 60-200 rpm aralığındaki ölçümler dikkate alınarak hesaplama yapılmıştır. Elde edilen reolojik veriler, viskozitenin saptanması amacıyla kullanılmıştır (Eşitlik 1) (30). Newton modele uyan akışkanlarda, kayma gerilimi uygulanan kayma hızından bağımsız ve sabittir (Eşitlik 1);

Burada μ ürün viskozitesini (a. s), τ kayma gerilimi (Pa) ve $\dot{\gamma}$ kayma hızını (s^{-1}) göstermektedir.

$$\tau = \mu \dot{\gamma} \quad (1)$$

Viskozitenin sıcaklıkla değişimini ifade eden ilişki Arrhenius tipi denklemle (Eşitlik 2) araştırılmış olup referans sıcaklık olarak (T_0), 20 °C alınmıştır (30);

Her bir sıcaklık değeri için 3 paralelli ölçüm alın-

$$\mu = \mu_0 e^{-\frac{E_a}{R} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right)} \quad (2)$$

mıştır.

İstatistiksel Değerlendirme: Bu çalışmada kullanılan modelin deneysel verilerle uyumluluğu istatistik paket programı (31) kullanılarak doğrusal olmayan regresyon analizi ile belirlenmiş ve temel uyum değeri olarak yüksek regresyon katsayısı (R^2), düşük SE, düşük RMSE ve düşük χ^2 (ki kare) değerleri uyumluluğun göstergesi olarak kabul edilmiştir. Her bir sıcaklık değeri için χ^2 ve RMSE değerleri, aşağıda verilen 3 ve 4 No'lu eşitliklere göre ilgili kayma hızına denk gelen deneysel ve beklenen kayma gerilimi (KG) değerleri kullanılarak hesaplanmıştır:

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (KG_{deneyel,i} - KG_{beklenen,i})^2}{N - n} \quad (3)$$

$$RMSE = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^n (KG_{deneyel,i} - KG_{beklenen,i})^2 \right]^{1/2} \quad (4)$$

Burada $KG_{deneyel,i}$ değeri i. deneysel gözlemlerde ölçülen değer, $KG_{beklenen,i}$ değeri modeldeki i. gözlemlerde beklenen değer, N gözlem sayısı ve n kullanılan modeldeki katsayı sayısıdır. Ayrıca ısıtma yöntemi ve sıcaklık değişkenlerinin her birinin reolojik özellikler üzerine etkisi tek değişkenli varyans analizi ile saptanmıştır. İstatistiksel analizler 95% güven seviyesi hedef alınarak gerçekleştirilmiştir.

SONUÇ VE TARTIŞMA

Proses süresince ilgili gıda örneğinin akış özelliklerinin (viskozite, kıvam katsayısı, akış davranış indeksi, akma gerilimi vb.) işlem parametrelerine göre değişiminin doğru tanımlanması etkin bir sistem tasarımı için kaçınılmazdır. Genel olarak süt ürünlerinin akış özelliği temel olarak toplam kuru maddeye bağlı iken bunun yanında sıcaklık, bekleme süresi, ön işlem ve ürün kompozisyonu da ürün akış özelliklerini belirleyen diğer önemli parametrelerdir (13). Reolojik ölçüm öncesi ürün kompozisyonunu belirlemek amacıyla gerçekleştirilen ürün kimyasal bileşimi Çizelge 1'de verilmiştir. Uygulanan ısıl işlemin ürün akış özelliklerinde sebep olduğu olası değişimi karakterize etmek amacıyla eşdeğer kuru madde ve kompozisyona sahip örnekler kullanılmış olup, her bir örnek grubu eş ısıl geçmiş hedef alınarak ısıl işleme tabi tutulmuştur.

Yağlı süt ve yağlı rekonstitüe sütün ısıl işlem süresince 20 °C ile 80 °C arasındaki sıcaklıklarda elde edilen kayma gerilimi kayma hızı değerleri Şekil 1-2'de sunulmuştur. Eşdeğer kimyasal kompozisyona sahip örneklerin, her iki ısıtma yönteminde de, artan sıcaklık değeri ile birlikte kayma gerilimi değerlerinde bir düşüş gözlenmektedir. Süt ürünlerinin akış özellikleri kuru maddeye bağlı olarak değişim göstermektedir. Sütün yapısında bulunan protein ve yağ moleküllerinin etkileşimi ürün reolojik özelliklerini belirleyen en temel etken olarak sıralanabilir (32).

Süt örnekleri genel olarak Newton tipi akışkan olarak gruplandırılmasına karşın artan sıcaklıkla birlikte farklı ısıl işlemlere maruz kalmış ve konsantrasyonu değişmiş (konsantre süt vb.) bazı süt ürünlerinin üssel yasaya uyan akışkan özelliği gösterdiği de görülebilmektedir (13). Özellikle kurutma işlemi uygulanan sütte kurutma sırasında uygulanan artan sıcaklıkla birlikte kazein misellerinin kalsiyum ile etkileşiminin azalabileceği ve kazein misellerinin yapısının bozularak hacminde artış gözlenebileceği, bu durumun ürün rekonstitüe edildiğinde

Çizelge 1. Süt ve rekonstitüe süt örneklerine ait kimyasal analiz sonuçları

Örnek	Toplam kuru madde (%)	Yağ (%)	Protein (%)	Kül (%)	pH
Yağlı rekonstitüe süt (12 g/100 ml)	11.65±0.03	3.19±0.21	3.37±0.23	0.73±0.08	6.48±0.03
Tam yağlı süt	11.69±0.04	3.34±0.18	3.61±0.26	0.79±0.04	6.72±0.04

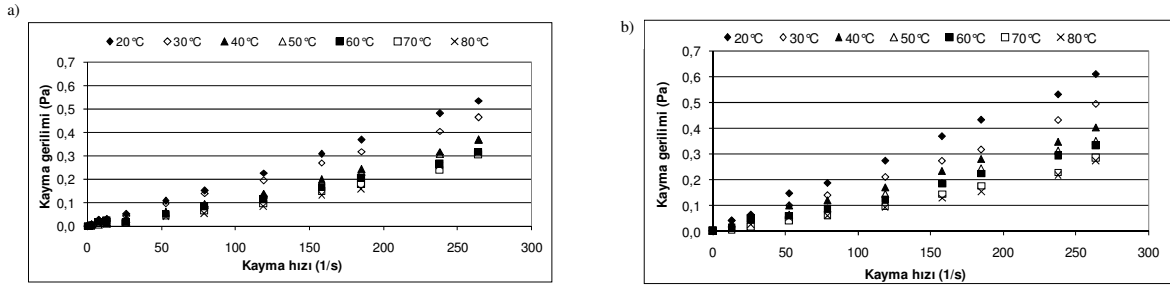
viskozitesinde süte oranla artışa sebep olabileceği hipotezi ortaya atılmış bulunmaktadır (13). Literatürde ohmik işlenmiş süt ve rekonstitüe sütün ohmik ısıtılmasına dair bir çalışmaya rastlanmamış olması nedeniyle ohmik işlenmiş ürünün akış özelliklerinin doğru tanımlanması sürekli ohmik sistemlerin tasarımı açısından önem taşımaktadır. Ohmik ısıtmanın süt ve rekonstitüe sütün kıvam özelliklerine geleneksel ısıtma yöntemlerine göre farklı etkide bulunma olasılığı bulunması nedeniyle, bu çalışmada eş ısı geçmişi sahip ohmik ve kontrol ısıtılmış örneklerin viskozite değerlerinin karşılaştırılması hedeflenmiştir. Başarılı bir sistem

tasarımında ilgili akışkanın akış özelliklerinin doğru tanımlanması oldukça önemlidir. Bu çalışmada modelden elde edilen tahmin değerleri ile deneysel verilerin uyumluluğunda yüksek regresyon katsayısı ve düşük standart hata değerlerinin yanı sıra kalıntı hata ve ki kare değerlerinin de düşük olması tercih edilmiştir. Genel olarak regresyon katsayılarının yüksek, ki kare ve kalıntı hata değerlerinin ise oldukça düşük olması nedeniyle, model uyumluluğunun oldukça iyi olduğu istatistiksel olarak tespit edilmiştir (Çizelge 2).

Bazı süt ürünlerinde artan kayma hızı ile birlikte

Çizelge 2. Ohmik ve kontrol ısıtma sırasında süt ve rekonstitüe sütün viskozite değerlerindeki değişim

Örnek	Isıtma yöntemi	Sıcaklık (°C)	μ (mPa.s)	R ²	SE	RMSE	χ^2
Süt	Ohmik ısıtma	20	1.9	0.999	0.027	1.85E-02	4.13E-04
		30	1.6	0.999	0.018	2.26E-02	6.11E-04
		40	1.2	0.992	0.024	2.62E-02	8.24E-04
		50	1.2	0.990	0.028	2.32E-02	6.44E-04
		60	1.0	0.989	0.032	2.50E-02	7.49E-04
		70	0.9	0.977	0.027	2.87E-02	9.90E-04
		80	0.9	0.941	0.019	3.85E-02	1.78E-03
	Kontrol ısıtma	20	1.9	0.998	0.016	1.85E-02	4.13E-04
		30	1.7	0.995	0.017	2.23E-02	5.98E-04
		40	1.4	0.994	0.019	1.88E-02	4.26E-04
		50	1.2	0.994	0.018	2.03E-02	4.97E-04
		60	1.1	0.992	0.023	2.33E-02	6.52E-04
		70	0.9	0.981	0.014	2.14E-02	5.48E-04
		80	0.8	0.978	0.017	2.86E-02	9.81E-04
Rekonstitüe Süt	Ohmik ısıtma	20	2.5	0.997	0.019	1.92E-02	4.42E-04
		30	2.1	0.999	0.019	1.52E-02	2.76E-04
		40	1.8	0.999	0.022	1.23E-02	1.83E-04
		50	1.5	0.997	0.020	1.76E-02	3.70E-04
		60	1.4	0.994	0.026	2.23E-02	5.96E-04
		70	1.3	0.982	0.031	3.28E-02	1.29E-03
		80	1.2	0.969	0.021	3.82E-02	1.75E-03
	Kontrol ısıtma	20	2.5	0.997	0.021	2.83E-02	9.58E-04
		30	2.0	0.994	0.020	2.04E-01	5.00E-02
		40	1.7	0.999	0.016	1.08E-02	1.40E-04
		50	1.4	0.998	0.021	2.64E-02	8.35E-04
		60	1.2	0.992	0.016	2.49E-02	7.42E-04
		70	1.0	0.990	0.025	1.92E-02	4.41E-04
		80	0.9	0.961	0.023	3.05E-02	1.12E-03



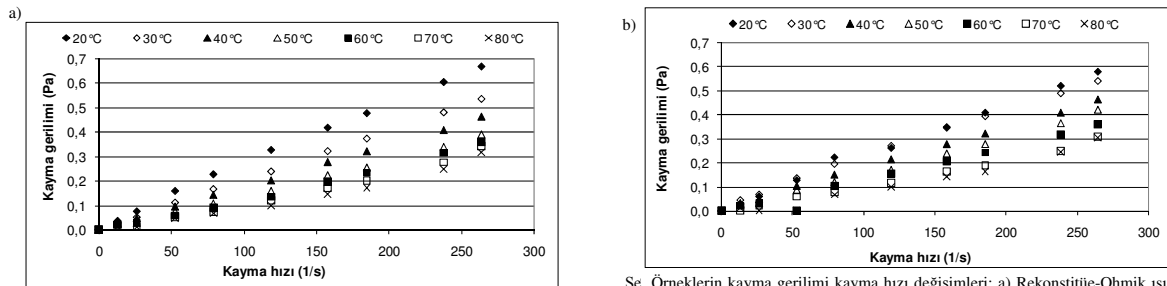
Şekil 1. Örneklerin kayma gerilimi kayma hızı değişimleri: a) Süt-Ohmik Isıtma - b) Süt-Kontrol Isıtma

ürünün viskozite değerinde bir artış olması söz konusudur. Özellikle konsantre süt gibi ürünlerde gözlenen bu durumun ısıl işlemin kazein miselleri ile kalsiyum arasındaki etkileşimin bir sonucu olduğu düşünülmektedir (13, 32). Bu durum, sütün veya süt ürününün sürekli ohmik ısıtıcı kolondan akışı sırasında kıvamının sıcaklıktan ve kolon içindeki akış hızı farklılıklarından da etkilenebileceğini ve sistem içinde momentum farklılıklarından oluşan sıcak ve soğuk bölgelerin oluşma ihtimalini göstermektedir. Bu nedenle sürekli ohmik ısıtma sistemlerinin tasarımı ve kurulumu aşamasında, ohmik ısıtmanın kıvam değişimi üzerine etkisi ile ilgili verilere gereksinim duyulmaktadır. Bu çalışmada, model bir ohmik ısıtıcıda sabit voltaj gradyanında, sütün kıvamının sıcaklıkla değişimi konusunda veri elde edilmeye çalışılmıştır.

Süt ve rekonsititüe süt örneklerinin viskozite değerlerinin artan sıcaklıkla birlikte azaldığı bulunmuştur ($P < 0.05$). Yağlı süt ve yağlı süte eşdeğer kimyasal kompozisyondaki yağlı süt tozu çözeltilerinin viskozite değerlerinin farklı olduğu saptanmıştır. Bu durum, yağlı süt tozu üretiminde kurutma sırasında uygulanan ısıl işlemin ürün yapısında değişime sebep olduğu ve toz ürünün tekrar sulandırıldığında farklı etki gösterdiği düşünülmektedir. Ürün gruplarının eşdeğer kuru madde ve eş kompozisyona sahip olmasına karşın akış özelliklerinde gözlenen bu değişimin süt tozu eldesinde ürüne

uygulanan ısıl işlemin kazein miselleri üzerine etkisinden kaynaklandığı düşünülmektedir (13). Benzer şekilde (14) taze peynir altı suyu ile tozdan edilen peynir altı suyu çözeltilerinin akış değerlerinde gözlenen farklılığını ısıl işlemin ürün yapısında sebep olduğu yapısal değişim ile ilişkilendirmiştir.

Her iki örnek için, viskozite değeri üzerine sıcaklığın ve yöntemlerin etkisini kıyaslamak amacıyla aktivasyon enerjileri tespit edilmiştir. Yüksek aktivasyon enerjisi ürünün sıcaklık değişimlerine karşı hassaslığını göstermektedir (7). Yağlı süt için ohmik veya kontrol ısıtma sırasında viskozitenin sıcaklıkla değişimini karakterize eden aktivasyon enerjileri sırasıyla 14.76 ± 0.11 kJ/mol ve 15.13 ± 0.25 kJ/mol iken, yağlı rekonsititüe süt için ise sırasıyla 15.66 ± 0.33 kJ/mol ve 13.64 ± 0.19 kJ/mol olarak saptanmıştır. Uygulanan ısıtma yönteminin aktivasyon enerjileri üzerine etkisinin istatistiksel olarak önemli olduğu bulunmuştur ($P < 0.05$). Ohmik ısıtma ile ısıtılan rekonsititüe süt örneklerinin reolojik özelliklerinin sıcaklık değişimine daha hassas olduğu ancak süt örneklerinde ise kontrol ısıtmanın aynı sıcaklık artışı için daha fazla değişime neden olduğu belirlenmiştir. Literatürde sıvı gıdaların reolojik özellikleri üzerine ısıl etkinin yanı sıra elektriksel etkilerin de olabileceği ve bu etkinin örneklerin kompozisyonuna ve yapısına göre değişiklik gösterebileceği saptanmıştır (6, 12). Örnekler üzerine ısıtma yöntemlerinin etkisinin farklı olma-



Şekil 2. Örneklerin kayma gerilimi kayma hızı değişimleri: a) Rekonsititüe-Ohmik Isıtma - b) Rekonsititüe-Kontrol Isıtma

sının nedeninin açıklanabilmesi amacıyla, ohmik ısıtma sırasında örneklerin ısıtma moleküler yapılarındaki değişikliklerin tespit edildiği çalışmalar halen devam etmektedir.

Sonuç olarak, ohmik ısıtmanın verimli bir ısıtma yöntemi olarak ülkemiz beslenme diyetinde önemli bir yer tutan süt ve süt ürünlerinin işlenmesinde alternatif bir yöntem olarak uygulanmaya başlamasının günümüzde tüm dünyada önemli bir tehdit haline gelen “enerji” ve “ürün kalite-besinsel özelliklerinde iyileşme” konusunda çözüm sunabileceği düşünülmektedir. Ohmik ısıtmanın farklı süt ürünlerinde reolojik özellikler üzerine farklı etkilere neden olabileceği belirlenmiştir. Bu çalışmadan elde edilen verilerin, pilot veya endüstriyel çapta ohmik ısıtma sistemlerin tasarımında veri sağlayabileceği düşünülmekte olup, gelecek yıllarda yapılacak çalışmaların ohmik ısıtmanın süt ürünlerinin mikrobiyolojik, duyuusal ve besinsel kalite özellikleri üzerine etkileri konusunda odaklanması faydalı olacaktır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma “Ohmik ısıtma işleminin bazı gıdaların akış özellikleri üzerine etkisinin incelenmesi” başlıklı TUBİTAK 106O221 numaralı proje kapsamında maddi olarak desteklenmiş olup, Pamukkale Süt ve Süt Ürünleri Sempozyumunda (21-23 Mayıs 2009 Denizli) sözlü bildiri olarak sunulmuş özeti kongre kitapçığında basılmıştır. Denemelerde kullanılan süt ve süt tozu örneklerinin teminini sağlayan Pınar Süt A.Ş.’ye ve makalenin değerlendirilmesinde değerli katkıları için editör ve hakemlere teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- Bermúdez-Aguirre D, Corradini MG, Mawson R, Barbosa-Cánovas CV. 2009. Modeling the inactivation of *Listeria innocua* in raw whole milk treated under thermosonication. *Innov. Food Sci Emerg Tech*, 10:172-178.
- Icier F, Engin M, Bozkurt H. 2009. Et Ürünlerinin İşlenmesinde Ohmik Çözündürme ve Ohmik Pişirmenin Uygulanabilirliğinin İncelenmesi. Proje No: TUBİTAK TÖVAG 107O898, 171 s.
- Sastry SK, and Barach JT. 2000. Ohmic and inductive heating. *J Food Sci Supplement*, 65(4):42-46.
- Icier F, Bozkurt H. 2009. Ohmic heating of liquid whole egg: rheological behaviour and fluid dynamics, 2009, *Food Bioprocess Technol*, DOI 10.1007/s11947-009-0229 baskıda.
- Anon 1997. Regulation (EC) No 258/97 of the European Parliament and of the Council of 27 January 1997 concerning novel food ingredients.
- Icier F, Tavman S. 2006. Ohmic heating behaviour and rheological properties of ice cream mixes. *Int J Food Prop*, 9: 679-689.
- Bozkurt H, Icier F. 2009a. The Rheological Characteristics Of Quince Nectar During Ohmic Heating, *Int J Food Prop*, 12:844-859.
- Bozkurt H, Icier F. 2010. Electrical Conductivity Changes of Minced Beef-Fat Blends during Ohmic Cooking *J Food Eng*, 96(1): 86-92.
- Bozkurt H, Icier F. 2009b. Ohmic cooking of ground beef: Effects on Quality, *J Food Eng*, 96(4):481-490.
- Marra F, Zell M, Lyng JG, Morgan DJ, Cronin DA. 2009. Analysis of heat transfer during ohmic processing of a solid food. *J Food Eng*, 91(1): 56-63
- Yildiz H, Bozkurt H, Icier F. 2009. Ohmic And Conventional Heating Of Pomegranate Juice: Effects on Rheology, Colour and Total Phenolics. *Food Sci Technol Int*, 15(5), 503-512.
- Icier F. 2009. Influence of ohmic heating on rheological and electrical properties of reconstituted whey solutions, *Food Bioprocess Technol*, 87, 308-316...
- Bienvenue A, Jime'nez-Flores R. Singh H. 2003. Rheological properties of concentrated skim milk: importance of soluble minerals in the changes in viscosity during storage *J Dairy Sci*, 86:3813-3821
- Morison KR, Mackey FM. 2001. Viscosity of lactos and whey protein solutions, *Int J Food Prop*, 4(3):441-454.
- Prentice JH. 1992 *Dairy Rheology. A Concise Guide*. VCH, New York.
- Beaulieu M, Turgeon SL, Doublier JL. 2001. Rheology, texture and microstructure of whey proteins/low methoxyl pectins mixed gels with added calcium. *Int Dairy J*, 11(11): 961-967.
- Xiao L, Eleya MMO, Gunasekaran G. 2003. Rheology and swelling behavior of whey protein-based hydrogels, In *Proceedings of 3rd International Symposium on Food Rheology and Structure ISFRS Zurich*, pp. 169-173.
- Mleko S, Janas P, Wang T, Lucey JA. 2003. Rheological properties of reduced lactose whey dispersions. *Int J Dairy Technol*, 56(3): 157-161.
- Singh H. 1994. Cross-linking of milk proteins on heating concentrated milk at 120°C. *Int Dairy J*. 4(6): 477-489.
- Sodini I, Mattas J, Tong PS. 2006. Influence of pH and heat treatment of whey on the functional properties of whey protein concentrates in yoghurt. *Int Dairy J*, 16: 1464-1469.
- Lorenzen PC. 2007. Effects of varying time/temperature-conditions of preheating and enzymatic cross-linking on techno-functional properties of reconstituted dairy ingredients. *Food Res Int*, 40: 700-708.

22. Tunick MH, Onwulata CI. 2007. Rheology of extruded whey protein isolate. (American Chemical Society Book of Abstracts, AGFD171).
23. Ayadi MA, Benezech T, Chopard F, Berthou M. 2008. Thermal performance of a flat ohmic cell under non-fouling and whey protein fouling conditions. *Lebensm-Wiss u.-Technol*, 41: 1073-1081.
24. Anon 1994. TS-1018, İnek sütü-çiğ. Türk Standartları Enstitüsü, Nisan 1994, Bakanlıklar, Ankara.
25. Anon 1995. TS-1329, Süt tozu. Türk Standartları Enstitüsü, Nisan 1995, Bakanlıklar, Ankara.
26. Anon 1997. FIL-IDF International Standard, Milk and Milk Products-Determination of Fat Content, 152A, International Dairy Federation, Belgium.
27. AOAC, 1990. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists, Vol 2, Food Composition; Additives, Natural Contaminants, 15th Ed., K. Helrich, Ed. U.S.A.: A.O.A.C, Inc.
28. AOAC 1995. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists, Vol.2, Food Composition; Additives, Natural Contaminants, 16th Ed, K. Helrich, Ed. U.S.A.: A.O.A.C, Inc.
29. Anon 2005. More Solutions to Sticky Problems, User Manual, Brookfield Engineering Labs., Inc. Middleboro.
30. Rao MA, Anantheswaran RC. 1982. Rheology of fluid in food processing. *Food Technol*, 36:116–126.
31. Anon 2004. SPSS, Statistical Package, 2004. SPSS for Windows, Ver. 13.0, Chicago, SPSS Inc.
32. Velez-Ruiz JF, Barbosa-Canovas GV. 1998. Rheological properties of concentrated milk as a function of concentration, temperature and storage time. *J Food Eng*, 35:177-190.