



Peynir Üretiminde Pıhtı Kesim Zamanının Belirlenmesinde Kullanılan Enstrümental Yöntemler

Gizem Omak¹, Lütfiye Yılmaz-Ersan^{1*}

Uludağ Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, 16059 Bursa, Türkiye

MAKALE BİLGİSİ

Geliş 31 Mart 2016
Kabul 29 Ağustos 2016
Çevrimiçi baskı, ISSN: 2148-127X

Anahtar Kelimeler:

Peynir
Pıhtı kesim zamanı
Enstrümental yöntem
Objektif yöntem
Kalite

*Sorumlu Yazar:

E-mail: lutfiyey@uludag.edu.tr

ÖZET

Peynir üretim sürecinde pıhtı kesim zamanı, peynir altı suyu yağ kayıplarının yanısıra peynirin nemini, verimini ve kalitesini büyük ölçüde etkilemektedir. Pıhtı kesme süresinin objektif olarak belirlenmesi, hem peynirin kalitesi hem de üretilen peynir miktarı açısından son derece önemlidir. Pıhtı kesme zamanının doğru belirlenmesinin ekonomik ve pratik önemi dikkate alınarak; mekanik, titreşim, ultrasonik, termal ya da optik tekniklere dayalı çeşitli enstrümental teknikler geliştirilmiştir. Bu makalede, pıhtı kesim zamanının belirlenmesi amacıyla uygulanan gelişmiş enstrümental yöntemler hakkında bilgi verilecektir.

Turkish Journal Of Agriculture - Food Science And Technology, 4(9): 776-781, 2016

Instrumental Methods Used For The Determination Of Coagulum Cutting Time In Cheese Production

ARTICLE INFO

Article history:

Received 31 March 2016
Accepted 29 August 2016
Available online, ISSN: 2148-127X

Keywords:

Cheese
Coagulum cutting time
Instrumental method
Objective method
Quality

*Corresponding Author:

E-mail: lutfiyey@uludag.edu.tr

ABSTRACT

In cheese-manufacturing process, cutting time greatly affects moisture, yield, and quality of cheese as well as whey fat losses. The objective cutting time determination is extremely important to both the quality and the quantity of cheese being produced. Taking into account the importance of accurate cutting time determination for economic and practical aspects, numerous instrumental techniques have been developed to assess cutting time based on a wide range of mechanical, vibrational, ultrasonic, thermal or optical instrument methods. In this article, information about advanced instrumental methods applied to the analysis of cutting time will be given.

Giriş

Süt ürünleri üretiminde enstrümental cihazların kullanıldığı objektif ölçüm tekniklerinin kullanılabilirliğinin artması, ürünlerin kalite özelliklerinin iyileştirilmesine ve ürün gelişimine katkı sağlamaktadır. Süt pıhtılaşma aşamasının peynir kalitesi üzerindeki önemi dikkate alındığında ticari ölçekte peynir yapımında, pıhtı oluşumunun ve üretim sırasında meydana gelen fizikokimyasal değişikliklerin izlenmesi amacıyla objektif değerlendirme yapabilen çeşitli cihazların geliştirilmesi ve uygulanabilirliklerinin saptanması son yıllarda birçok araştırmacının konusunu oluşturmaktadır.

Peynir, sütün pıhtılaşmasından sonra pıhtıdan peynir altı suyunun ayrılması ve son olarak elde edilen pıhtıya şekil verilmesi ile elde edilen, çeşidine göre karakteristik özellik gösteren fermente süt ürünüdür. Peynir yapımında rol oynayan rennet koagülasyonu, 3 aşamadan oluşmaktadır. İlk aşama olan enzimatik hidrolizi, agregasyon ve jelleşme aşamaları takip etmektedir. Pıhtılaşma zamanı “enzim aktivitesinin ve değişen koşullar altındaki etkinliğinin” bir göstergesi olarak kabul edilmektedir. Ayrıca pıhtılaşma zamanı, pıhtı kesim zamanının belirlenmesi ve peynir altı suyunun uzaklaştırılması amacıyla referans olarak kullanılmaktadır.

(Ay ve Gunasekaran, 1994; Castillo, 2006; Çebi, 2012; Sbdio ve Revelli, 2012).

Çeşitli faktörler; sütün pıhtılaşma niteliği üzerinde etkili olabilmektedir. Proteinazlar (rennet gibi), pH 4,6'ya kadar asidifikasyon, 70°C'den yüksek sıcaklıklar, %35 konsantrasyonunda etanol ilavesi ve 200 MPa'dan daha yüksek basınç uygulamaları kazein misellerinin destabilize olmasına yol açabilmektedir. Ayrıca sodyum dodesil sülfat (SDS) gibi anyonik deterjan varlığı ve üre de miselde partikül ayrılmasına sebep olabilmektedir. Yapılan bir çalışmaya göre süte %0,06 oranında ilave edilen H₂O₂, sütün peynir mayası ile pıhtılaşma süresini %20 oranında arttırmıştır (Akın, 1998; Hallén, 2008).

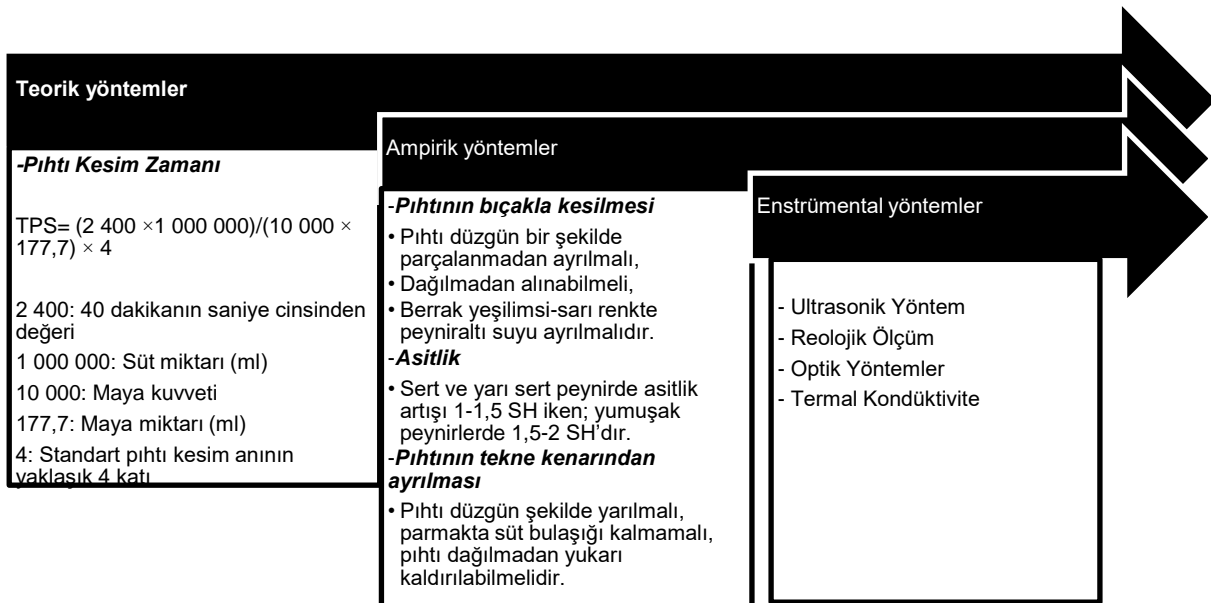
Peynir yapımında pıhtı kesim olgunluğunun belirlenmesi, peynire özgü duyuşsal-fiziksel özelliklerin oluşmasında ve randıman açısından büyük öneme sahiptir. Pıhtı oluşumu ve pıhtıdan peynir altı suyu uzaklaştırılması amacıyla uygulanan pıhtı kesim işlemi; peynirin nem, protein ve yağ içeriğini etkileyen önemli uygulamalar olduğundan kesim zamanına çok dikkat edilmesi gerekmektedir (Bakkali ve ark., 2001; Castillo, 2006; Nicolau ve ark., 2010; Akan ve Kımık, 2015). Pıhtının erken kesilmesi durumunda peynir suyuna fazla miktarda yağ ve protein geçmesi nedeni ile randıman düşmektedir. Pıhtı tanelerinin yüzeyinden fazla miktarda su çıkışı olurken iç kısımlardan peynir suyunun ayrılması zorlaşmaktadır. Pıhtıda fazla su kalması durumunda ise olgunlaşma-depolama döneminde peynirlerden su sızmakta ve yumuşama olmaktadır. Pıhtının geç kesilmesi durumunda ise pıhtı işlenmesinin güçleşmesine bağlı olarak kesimde kuvvet ihtiyacı artarak pıhtıda kopmalar gerçekleşmektedir. Pıhtıda oluşan kopmalar sonucu kayıplar artmakta ve randımanda azalma meydana gelmektedir. Bu nedenlere bağlı olarak pıhtı, en yüksek elastikiyete sahip olduğu anda kesilmelidir (Castillo ve ark., 2003; Koç ve Özer, 2005; Nicolau ve ark., 2010; Hayaloğlu ve Özer, 2011).

Peynir üreticileri yıllardır, pıhtı kesim olgunluğunun belirlenmesinde teorik ve daha çok deneyime bağlı olan

ampirik yöntemleri kullanmaktadırlar. Pıhtı, bir bıçakla düzgün bir şekilde kesildiğinde veya parmakla baskı uygulandığında eğer pıhtı düzgün bir şekilde parçalanmadan ayrılıyorsa ve dağılmadan alınabiliyorsa, berrak yeşilimsi-sarı renkte peynir altı suyu ayrılıyorsa pıhtının kesime hazır hale geldiği sonucuna varılmaktadır. Ancak bu teknikler hem deneyi yapan kişiye hem de süt türü ve peynir çeşidine göre farklı sonuçlara neden olduğundan pıhtı kesim zamanını otomatik olarak ölçmeye yönelik enstrümental yöntemler de kullanılmaktadır (Şekil 1). Yapılan çalışmalar; jel oluşumunun izlenmesi, pıhtı sıklığının belirlenmesi ve yüksek kaliteli peynirler üretilmesi için enstrümental yöntemler ile objektif ölçümlerin yapılmasının önemini belirtmektedir (Üçüncü, 2004; Koç ve Özer, 2005; Woodcock ve ark., 2008; Nicolau ve ark., 2010; Hayaloğlu ve Özer, 2011; Hennessy, 2011).

Enstrümental Yöntemler

Süt endüstrisinde artan talebe bağlı olarak tüm ana bileşen ve kalite parametrelerini belirleyebilecek, bilgisayar ortamında takip edilebilecek gıda işleme prosesine ihtiyaç duyulmaktadır. Uzun yıllardır süt koagülasyonunun bilgisayar ortamında izlenmesi, koagülasyon ve/veya pıhtı kesme sürelerinin belirlenmesine yönelik farklı enstrümental teknikler birçok araştırmacının konusu olmuştur (Tablo 1). Süt koagülasyonu ve/veya pıhtı kesimi için en uygun sertliği belirlemek amacıyla birçok cihaz geliştirilmiştir. Bu cihazların bazıları ölçüm sırasında jel yapısında strese ve bozulmaya sebep olabilmektedir. Bu nedenle pıhtı kesim zamanını belirlemeye yönelik, i) ultrasonik özelliklerin belirlenmesi, ii) reolojik özelliklerin belirlenmesi, iii) optik sensörler ile yakın kızılötesi radyasyon iletimi, iv) sıcak tel probu ile ısı kaynaklı konveksiyon değişikliklerinin ölçülmesi, pıhtı yapısını bozmayan teknolojiler olarak kullanılmaktadır (Castillo ve ark., 2000; Bakkali ve ark., 2001; Castillo ve ark., 2003; Woodcock ve ark., 2008).



Şekil 1 Pıhtı kesim zamanının belirlenmesinde kullanılan yöntemler

Çizelge 1 Peynir üretiminde pıhtı kesim zamanının belirlenmesinde kullanılan enstrumental ölçüm tekniklerinin tarihsel gelişim süreci*

Tarih	Referans	Kullanılan Ölçüm Teknikleri
1932		Çeşitli viskozimetreler ile viskozimetrik ölçümler
1952	Berridge	Dönen tüpler kullanılarak yapılan gözlemler
1952		Elektron mikroskobu kullanımı
1958	Scott Blair ve Burnett	U tüpleri ve kılcal tüp kullanımı
1975	Tsouli ve ark.	Pıhtı oluşum sırasında elektrik iletkenliği ölçme
1976	Vanderheiden	Sensör yardımı ile hidrolik salınım ölçümü
1981	Hardy y Fanni	Hunterlab kolorimetresi ile pıhtı oluşumundan önce ışığın sapması
1982	Garnot ve ark.	“Pıhtı sıklığı ölçüm cihazı (Curd Firmness Tester-CFT)” ile kazeinlerin pıhtı kesim zamanı üzerine etkisi
1990	Horne ve Davidson	Difüzyon spektroskopisi ile pıhtılaştıran sütte moleküler hareketliliğin azalmasının gözlemi
1999	Herbert ve ark.	Floresan spektroskopisi ile pıhtılaşma sırasında triptofan tarafından yayılan floresan yayılımının gözlemlenmesi
2001	Nassar ve ark.	Düşük frekanslı ultrases yöntemi
2006	Taifi ve ark.	Yapıyı bozmayan ultrasonik yöntem ile süt jel sıklığının okunması
Günümüzde		NIR (yakın kızılötesi) spektrofotometresi, pıhtı kesim zamanının otomatik olarak belirlenmesi

*Kaynak: (Sbodio ve Revelli, 2012).

Ultrasonik Yöntem

Ultrasonik ses dalgaları, mekanik özellikte olan ve insanların işittiği 20 kHz'in üzerindeki frekanslara sahip bir enerji biçimidir. Gıda endüstrisinde ultrasonik ölçümler için genellikle 100 kHz ile 20 MHz arası ses dalgaları kullanılmaktadır. Ultrasonik ölçüm tekniklerinde prensip, akustik enerjinin kısa sürede tüm ürüne transfer edilerek, gıda işleme süresinin kısalması ve düşük enerji tüketiminin sağlanmasıdır. Gıdanın fiziksel, kimyasal özelliklerine zarar vermeden ölçümlere olanak vermesi, bilgisayar ortamına aktarılabilmesi ve düşük maliyeti ile bu yöntem cazip bir alternatif yöntem haline gelmiştir. Sıcaklık, elastikiyet ve yoğunluk gibi ortam özelliklerine çok duyarlı olduğundan, tek bir ultrasonik özelliğin belirlenmesi kontrollü bir prosedürdür ve hassas kalibrasyon gerektirmektedir (Engin 2009; Budelli ve ark., 2012).

Ultrasonik ölçüm tekniklerinde ultrasonik dalgaların süt içerisinden geçmesi sırasında, süt içerisinde meydana gelen değişimler ölçülebilmektedir. Ultrasonik ses dalgaları, pıhtılaşma sırasında büyüyen kazein miselleri tarafından soğurulmakta ve ultrasonik ses dalgalarında zayıflamaya neden olmaktadır. Oluşturulan ses dalgalarının materyal içerisinden geçiş hızının ölçümü ve pıhtı oluşumuna bağlı olarak gerçekleşen ultrasonik zayıflama katsayısının görüntülenmesi; süt veya pıhtı viskozitesindeki değişimin gözlenmesine olanak sağlamaktadır (Bakkali ve ark., 2001; Koç ve Özer, 2005).

Ay ve Gunasekaran (1994) tarafından süt koagülasyon zamanının belirlenmesi amacıyla ultrasonik zayıflama katsayısının ölçüldüğü çalışmada, yağsız sütozu kullanılarak hazırlanan süt 37°C'ye ısıtılmış ve 15 mL (454 kg süt için) oranında CaCl₂ katılmıştır. 90 mL rennet ilavesi sonrası pıhtılaşma sırasında büyüyen kazein misellerinin ultrasonik ses dalgalarını soğurmasına bağlı olarak ultrasonik zayıflama katsayısının 12. dakikada 27 (Np/m)'den yaklaşık 15 (Np/m)'ye azaldığı ve bu değere bağlı olarak en uygun pıhtı kesim zamanının denge haline ulaştığı 45. dakika olduğu saptanmıştır.

Koç ve Özer (2005), 1250 mL A sınıfı tam yağlı pastörize edilmiş süte 32°C'de 300 mL starter kültür, 3.5 litre %40 konsantrasyonda CaCl₂ ve 200 mL maya ilavesi ile ürettikleri peynirin oluşumu sırasında pıhtıya bağlı olarak ultrasonik zayıflama katsayısını ölçmüşler ve ilk pıhtının oluşmaya başladığı 10. dakikada ultrasonik katsayının yaklaşık 34 (Np/m)'den 6 (Np/m)'ye azaldığını saptamışlardır. Standart pıhtı kesim zamanının, ilk pıhtının görüldüğü anın yaklaşık 4 katı olarak hesap edilmesine bağlı olarak pıhtı kesimi için uygun zamanın 40. dakika olduğunu belirlemişlerdir.

Reolojik Ölçüm

Reoloji; materyallerin akış özelliklerinin yanı sıra dış kuvvetlerin etkisi altındaki yapıda meydana gelen her türlü deformasyonu belirlemede kullanılmaktadır. Peynirin reolojik karakterizasyonu; peynir bileşimini, işleme tekniklerini ve depolama sırasındaki davranışlarını belirlemenin yanı sıra yapısal özelliklerini kavramada da öneme sahiptir. Peynirlerin bileşimindeki farkın; reolojik davranışları belirleyen en önemli faktör olduğu düşünülmektedir. Hem elastik hem de viskoz yapıyı aynı bünyede taşıyan peynir, vizkoelastik bir yapıya sahiptir. Peynirin bu viskoelastik yapısı, tat ve tüketici tercihlerinde önemli olabilmektedir (Kahyaoglu, 2002; Lucey, 2002; İçier ve Bozkurt, 2010; Hayaloğlu ve Özer, 2011).

Pıhtının kesimi için en uygun zamanın belirlenmesi, çeşitli fiziksel parametrelerle ilişkili olan reolojik özelliklere bağlı olarak belirlenebilmektedir. Günümüzde sütin jelleşme kinetiğinde kullanılan optik olmayan metodların temeli, serbest salınım reometresine dayanmaktadır. Serbest salınım reometrelerinde tek grafikte hem elastikiyet hem de viskozite ölçülebilmektedir. Prensip olarak, burgu kablo sistemi kullanılarak örnek içinde salınım hareketi ile titreşimler yapacak şekilde çalışmaktadır. Örneğin viskoelastik ve elastik özelliği, frekans değişikliği ve örneğin genlik sönümlemesine bağlı olarak ölçülmektedir (Gunasekaran ve Ay, 1996; Phadungath, 2005; Hennessy, 2011).

Reolojik ölçüm tekniğinde, K-kazeinin hidrolizi, kalsiyuma duyarlı para-kazein misellerinin CaCl_2 yardımı ile kümeleşmesi ve sonrasındaki jel oluşumunu izlemek için dinamik reolojik parametreler zamana karşı ölçülmektedir. pH'da meydana gelen artış pıhtı sıklığının oluşmasında büyük öneme sahiptir. Peynirde uygulanan deformasyonun oldukça düşük olması sebebiyle numunenin yapısına kalıcı hasar verilmediği kabul edilmektedir. Ölçüm sonuçlarında G' dinamik elastik modülüsü ifade ederken; G'' dinamik viskoz modülüsü ifade etmektedir. Peynirde genel olarak, bileşimindeki protein miktarı elastik modülüse etki ederken; su ve yağ miktarı ise viskoz modülüse etki etmektedir. Diğer bir parametre ise bu değerlerin birbirine oranından (G''/G') elde edilen tanjant deldadır ve ideal katı için $\tan \delta=0$ 'dır (O'Callaghan ve ark., 1999; Esteves ve ark., 2002; Lucey, 2002; Phadungath, 2005; Castillo, 2006; Hayaloğlu ve Özer, 2011; Lyndgaard ve ark., 2012; Zhao ve ark., 2014). Süte pıhtılaştırıcı enzim ilavesini takiben dinamik modülüsün ölçülebilir eşik değere ulaşması için belli bir sürenin geçmesi gerekmektedir. Ardından modülüs değerlerindeki hızlı yükseliş bir süre sonra yavaşlamakta ve sonrasında yatay bir seyir izlemektedir. Bu düzlüğe ulaşana kadar geçen süre üç boyutlu protein ağının gelişim evresidir. $G'=G''$ ($\tan \delta=1$) noktasına karşılık gelen zaman jelleşme süresi olarak kabul edilmektedir (Lucey, 2002; Hayaloğlu ve Özer, 2011).

Süt pıhtısının reolojik özelliklerinin incelendiği çalışmalarda G' ve G'' modülüslerinin fraksiyonları zamana karşı ölçülmüş ve G' ile gösterilen elastik modülüsün artışının, ilk jelleşme aşamasını gösterdiği ve pıhtı oluşumu tamamlandıktan sonra dinamik modülüsün artma hızının azalarak eğim yapma eğiliminde olduğu belirlenmiştir (Esteves ve ark., 2002).

Phadungath (2005) tarafından süt jelinin mekanizması ve özellikleri üzerine yapılan bir çalışmada, sütün önce zayıf bir jel yapısı gösterdiği ($G' < 50$ Pa) ve pH'nın 4,8-5,0 civarında olduğu; pH 4,6 civarında gerçekleşen jelleşme noktasından sonra G' değerindeki artış hızının azalarak dengeye ulaştığı belirlenmiştir.

Optik Yöntemler

Yakın kızıl ötesi (NIR) spektroskopisi, çeşitli gıda ürünlerinde bileşenlerin belirlenmesinin yanısıra doku ve duyu özelliklerinin belirlenmesi amacıyla da kullanılabilir. Peynir endüstrisinde yakın kızıl ötesi (NIR) ve orta kızıl ötesi (MIR) spektroskopisi ile sütte nem, yağ, protein ve laktoz tayini, sinerisis özellikleri, reolojik parametreler ve orjinallığe uygunluk saptanabilmektedir. Bunun yanında son yıllarda peynir koagülasyonunun izlenmesi ve pıhtı kesim zamanının belirlenmesi amacı ile de kullanılmaya başlanmıştır. Bu optik parametreler kullanılarak, pıhtılaştırma ve kesme sürelerini belirlemede kullanılan reoloji ve görünüş tahmin edilebilmektedir (Laporte ve ark., 1998; Castillo ve ark., 2000; Correa ve ark., 2011; Hennessy 2011; Lyndgaard ve ark., 2012).

NIR optik teknikleri; koagülasyonun, oluşan pıhtı zarar görmeden online izlenmesini sağlamakta ve 750-2500 nm görünür ışık ile kızılötesi ışık arasındaki dalga boyu bölgesinde tanımlanmaktadır (Karoui ve De Baerdemaeker, 2007; Woodcock ve ark., 2008; Hennessy, 2011). Eğer süt homojenize edilemezse, jel oluşumu

sırasında sütün içinde bulunan yağ globülleri oluşan protein ağı içerisinde sıkışıp kalırlar. Bu nedenle yağ globüllerinin boyutu sütün pıhtılaştırma özelliklerinin belirlenmesinde önemli bir durumdur (Hennessy, 2011).

Klandar ve ark. (2007) tarafından, yağsız sütozu kullanılarak elde edilen sütün pıhtılaştırma süresi, NIR spektrofotometresi ile 800-2500 nm arasında ölçülmüştür. 860 nm'ye denk gelen ilk pik artışının görüldüğü 22. dakika, ilk pıhtının görüldüğü zaman olarak belirlenmiştir. Correa ve ark. (2011) tarafından, süt pıhtılaştırma sürecinin NIR spektrofotometresi ile ölçümü üzerine yapılan bir çalışmada; süte rennet ilavesinden sonra dalga boyundaki değişimler incelenmiştir. Elde edilen grafiklerdeki pik artışına bağlı olarak; 1400 nm ile 1500 nm arasındaki dalga boylarına denk gelen yaklaşık 90. dakika en uygun kesme zamanı olarak belirlenmiştir. En uygun kesme zamanına bağlı olarak peynirde randıman artışı sağlandığı görülmüştür.

Nicolau ve ark. (2010)'nın peynir üretiminde pıhtı kesim zamanının ışık geri saçılım prensibine göre belirlenmesi bir çalışmada, sonuçların protein konsantrasyonuna göre değiştiği ve koagülasyon sırasında ışık geri saçılımının koyun sütünde %22 oranında, inek sütünde %30-50 oranında ve keçi sütünde %15-20 oranında arttığı belirlenmiştir. Optik ölçüm değişkenleri, pıhtılaştırma parametreleri olan görünüş ve reoloji ile yakından ilişkilidir.

Bazı bileşiklerin üzerine gelen belirli dalga boyundaki ışınları soğurup aynı veya daha uzun dalga boyunda yaymaları "floresans olayı" olarak tanımlanmaktadır (Lucey, 2002). Hassas ve hızlı olan bir diğer optik cihaz olan floresans spektrofotometresi ile proteinlerin aromatik amino asitlerin floresans özellikleri, sütün ısıtılması ya da pıhtılaştırma aşamasında meydana gelen proteinlerin yapısal değişiklikleri ve fizikokimyasal özellikleri incelenebilmektedir (Herbert ve ark., 2000).

Termal Kondüktivite

"Sıcak tel" adı verilen ısıtılmış platin tel kullanılarak, teldeki sıcaklık değişiminin elektriksel olarak ölçümü ile pıhtı oluşumu sırasındaki viskozitede meydana gelen değişiklik arasındaki ilişki yorumlanarak, jel yapısının oluşum zamanı belirlenebilmektedir. Jel yapısı oluştuğunda, ısı aktarım katsayısı azalmaktadır ve prob sıcaklığında meydana gelen artış elektriksel olarak ölçülerek pıhtı kesim zamanı belirlenmektedir. Ürün yapısını bozmayan bir sistemdir (O'Callaghan ve Donnell, 2001; Sbdio ve Revelli, 2012).

Sbdio ve ark. (2002) tarafından sütün pıhtılaştırmasını etkileyen faktörler arasındaki ilişkiyi değerlendirmek amacıyla sıcak tel yöntemi kullanılmıştır. Bu ölçümler için rennet konsantrasyonu (X_1), pH (X_2), sıcaklık (X_3), en yüksek gerilim (Y_1), en yüksek gerilim zamanı (Y_2) ve pıhtılaştırma zamanı (Y_3) parametreleri değerlendirilmiştir. Pıhtı kesimi için sağlanan optimum koşullar $X_1 = 0,0278$ R.U./mL süt, $X_2 = 6,60$ pH, $X_3 = 35^\circ\text{C}$, $Y_1 = 2854 \pm 171$ mV, $Y_2 = 14,08 \pm 3,04$ dakika, $Y_3 = 7,16 \pm 1,12$ dakika olarak bulunmuştur.

Laporte ve ark. (1998) tarafından yapılan bir çalışmada, pastörize edilmiş inek sütü 32°C 'ye soğutulup 1,9 mL kg^{-1} oranında CaCl_2 ve 1,159 mL kg^{-1} oranında starter kültür ilave edilmiştir. Pıhtılaştırıcı enzim ilavesini takiben termal probun sütün içerisine yerleştirilmiştir. İlk

aşamada probtan sütün içerisine olan ısı transferi konveksiyonel olarak yapıldığı için probun sıcaklığı sabit kalmaktadır. İkinci aşamada pıhtı oluşumunun başlamasına bağlı olarak konveksiyonel iletim yavaşlamakta ve prob sıcaklığında artış görülmektedir. Pıhtılaşmanın %72,0 ile %72,5 arasında bir değere ulaştığı üçüncü aşamada ise yeni bir dengeye ulaşan probtan ısı iletimi kondüksiyon ile gerçekleşmektedir.

Sbodio ark. (2006) tarafından sıcak tel yöntemi kullanılarak pıhtılaşma sürecinin izlendiği bir çalışmada pastörize edilmiş 35°C'deki süte pH 6,6'da 1,8 mM CaCl₂, 5 farklı oranda (0,0495, 0,043, 0,028, 0,013 ve 0,0066 RU·mL⁻¹ süt) rennet enzimi ve son konsantrasyonu 7,0, 10,3, 17,9, 25,5, 28,8 mM olacak şekilde NaCl ilave edilmiştir. Bu çalışma sonucunda, pıhtılaşma zamanı üzerindeki en önemli etkiyi enzim konsantrasyonu gösterirken; NaCl konsantrasyonu daha az göstermiştir. Aynı zamanda NaCl konsantrasyonunun artmasıyla pıhtılaşma süresinin arttığı sonucuna varılmıştır.

Sonuç

Peynir üretimi sırasında, pıhtılaşma ve kesim süresinin belirlenmesi, peynir üreticisinin deneyimlerine ya da önceden belirlenmiş kesim zamanına dayanmaktadır. Bu teknikler hem deneyi yapan kişiye hem de süt türü ve peynir çeşidine göre farklı sonuçlara neden olabilen subjektif yöntemlerdir. Süt pıhtılaşma aşamasının peynir kalitesi ve verimi üzerindeki öneminin yanısıra tüketicilerin kaliteli ürüne olan artan talepleri dikkate alındığında peynir sektöründe kesim zamanının belirlenmesi kritik bir aşama olarak kabul edilmektedir. Bu nedenle pıhtılaşma aşamasının enstrümental teknikler kullanılarak objektif yöntemler ile belirlenmesi, peynirde kalite özelliklerinin iyileştirilmesi ve hijyenik üretimin yapılması açısından büyük öneme sahiptir. Özellikle son yıllarda reoloji biliminde ve spektrofotometrik yöntemlerde yapılan çalışmaların artması bu tekniklere dayalı ölçümlerin peynir endüstrisinde kullanılabilirliği açısından ümit vaat edici görülmektedir. Bununla birlikte makale kapsamında bahsedilen tüm yöntemlerin, üretimde otomasyona geçilmesi ile pratikte kullanımlarının yaygınlaşması için daha fazla araştırma yapılarak endüstriye aktarılacak sonuçlara ihtiyaç duyulmaktadır.

Kaynaklar

Akan E, Kırık Ö. 2015. Keçi sütü kalitesinde yeni gelişmelere bir bakış. *J. Food Feed Sci. Technol.* 15: 34-45.
 Akın N. 1998. Süte uygulanan bazı işlemlerin sütün pıhtılaşma niteliği üzerine etkisi. *Gıda.* 23: 115-119.
 Ay C, Gunasekaran S. 1994. Ultrasonic attenuation measurements for estimating milk coagulation time. *American Society of Agricultural Engineers.* 37: 857-862.
 Bakkali F, Mouden A, Faiz B, Amghar A, Maze G, Montero de Espinosa F, Akhvak M. 2001. Ultrasonic measurement of milk coagulation time. *Meas. Sci. Technol.* 12: 2154-2159.
 Berridge NJ. 1952. An improved method of observing the clotting of containing rennin. *J. Dairy Res.* 19: 328-329.
 Budelli E, Pérez N, Lema P, Negreira C. 2012. Analysis of ultrasonic techniques for monitoring milk coagulation during cheesemaking. *Materials Science and Engineering.* 42: 1-4.

Castillo M, Payne FA, Hicks CL, Lopez MB. 2000. Predicting cutting and clotting time of coagulating goat's milk using diffuse reflectance: Effect of pH, temperature and enzyme concentration. *Int. Dairy J.* 10: 551-562.
 Castillo M, Payne FA, Hicks CL, Lopez MB. 2003. Effect of protein and temperature on cutting time prediction in goat's milk using an optical reflectance sensor. *J. Dairy Res.* 70: 205-215.
 Castillo M. 2006. Cutting time prediction methods in cheesemaking. Department of Biosystems and Agricultural Engineering, University of Kentucky, Lexington, Kentucky, U.S.A.
 Correa EC, Moreno-Lucas B, Chamorro MC, Barreiro P. 2011. Optimization of a portable NIR device for the optical supervision of milk coagulation process. *International Congress of Engineering and Food.* Madrid, Spain.
 Çebi N. 2012. Beyaz peynirlerde kimyasal kompozisyonun mikro ölçekte dağılımının mikro-ftir ile belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi. İTÜ Fen Bil. Enst. İstanbul.
 Engin FB. 2009. Ultraviyole ışınları ve ultrasound uygulamalarının sütün aroma-aktif bileşenleri ve mikroorganizma yükü üzerine etkisi. Yüksek Lisans Tezi (Yayınlanmamış). ÇOMÜ Fen Bil. Enst. Çanakkale.
 Esteves CLC, Lucey CA, Pires EMV. 2002. Rheological properties of milk gels made with coagulants of plant origin and chymosin. *Int. Dairy J.* 12: 427-434.
 Garnot P, Rank TC, Olson NF. 1982. Influence of protein and fat contents of ultrafiltered milk on rheological properties of gels formed by chymosin. *J. Dairy Sci.* 65: 2267-2273.
 Gunasekaran S, Ay C. 1996. Milk coagulation cut-time determination using ultrasonics. National Chiayi Institute of Agriculture Chiayi, Taiwan.
 Hallén E. 2008. Coagulation properties of milk. A Thesis. Faculty of Natural Resources and Agricultural Sciences Department of Food Science, Uppsala.
 Hardy J, Fanni J. 1981. Application of reflection photometry to the measurement of milk coagulation. *J. Food Sci.* 46: 1956-1957.
 Hayaloğlu AA, Özer B. 2011. Peynir Biliminin Temelleri. Sidas Medya Ltd, 643 s, İzmir.
 Hennessy RJ. 2011. Studying milk coagulation kinetics with laser scanning confocal microscopy, image processing and computational modeling. A Thesis. Faculty of California Polytechnic State University, San Luis Obispo.
 Herbert SA, Riaublanc A, Bouchet B, Gallant DJ, Deffour E. 1999. Fluorescence spectroscopy investiga-investigation of acid or rennet induced coagulation milk. *J. Dairy Sci.* 82: 2056-2062.
 Herbert SA, Riou N, Devaux M, Riaublanc A, Bouchet B, Gallant DJ, Defour E. 2000. Monitoring the identity and the structure of soft cheeses by fluorescence spectroscopy. *Le Lait.* 80: 621-34.
 Horne DS, Davidson CM. 1990. The use of dynamic light-scattering in monitoring rennet curd formation. *Milchwissenschaft.* 45: 712-715.
 İçier F, Bozkurt H. 2010. Süt ve rekonstitüe sütün ohmik ısıtılmasının incelenmesi: Reolojik özellikleri üzerine etkisinin belirlenmesi. *Gıda.* 35: 251-258.
 Kahyaoğlu T. 2002. Rheological properties of reduced-fat Gaziantep cheese. Yüksek Lisans Tezi. GAZÜ Fen Bil. Enst. Gaziantep.
 Karoui R, De Baerdemaeker J. 2007. A review of the analytical methods coupled with chemometric tools for the determination of the quality and identity of dairy products. *Food Chemistry.* 102: 621-640.
 Klandar AH, Lagaude A, Chevalier-Lucia D. 2007. Assessment of the rennet coagulation of skim milk: A comparison of methods. *Int. Dairy J.* 17: 1151-1160.
 Koç AB, Özer B. 2005. Peynirde kesim zamanının ultrasonik olarak belirlenmesi. *Tübitak,* 1-55.

- Laporte M, Martel R, Paquin P. 1998. The near-infrared optic probe for monitoring rennet coagulation in cow's milk. *Int. Dairy J.* 8: 659-666.
- Lucey CA. 2002. Formation and physical properties of milk protein gels. *J. Dairy Sci.* 85: 281-294.
- Lyndgaard CB, Engelsen SB, WJ Van Den Berg F. 2012. Real-time modeling of milk coagulation using online near-infrared spectroscopy. *J. Food Eng.* 108: 345-352.
- Nassar G, Nongaillard B, Noël Y. 2001. Monitoring of milk gelation using a low-frequency ultrasonic technique. *J. Food Eng.* 48: 351-359.
- Nicolau N, Castillo M, Buffa M, O'Callahan DJ, Guamis B. 2010. Light scatter estimation of clotting and cutting time in sheep cheese manufacture. *Dairy Sci. Technol.* 4: 495-507.
- O'Callaghan DJ, O'Donnell CP. 2001. Online sensor control for milk powder and cheese manufacture. *Dairy Products Research Centre.* 42: 1-17.
- O'Callaghan DJ, O'Donnell CP, Payne FA. 1999. A comparison of online techniques for determination of curd setting time using cheese milk under different rates of coagulation. *J. Food Eng.* 41: 43-54.
- Phadungath C. 2005. The mechanism and properties of acid-coagulated milk gels. *Songklanakarin J. Sci. Technol.* 27: 433-448.
- Sbdio OA, Tercero EJ, Coutaz R, Martinez E. 2002. Optimizing processing conditions for milk coagulation using the hot wire method and response surface methodology. *J. Food Sci.* 67: 1097-1102.
- Sbdio OA, Tercero EJ, Coutaz R, Revelli GR. 2006. Effects of rennet and NaCl concentrations on milk coagulation properties. *Cienc. Tecnol. Aliment.* 5: 182-188.
- Sbdio OA, Revelli GR. 2012. Milk's coagulation. Development of a device for online "monitoring" of the process. *RIA.* 3: 236-246.
- Scott Blair GW, Burnett J. 1958. Physical changes in milk caused by the action of rennet. 1. Description of apparatus for measuring rigidity module and internal viscosities, test of reliability and some observations of syneresis. *J. Dairy Res.* 25: 297-303.
- Taifi N, Bakkali F, Faiz B, Moudden A, Maze GDD. 2006. Characterization of the syneresis and the firmness of the milk gel using an ultrasonic technique. *Maeas. Sci. Technol.* 17: 281-287.
- Üçüncü M. 2004. A'dan Z'ye Peynir Teknolojisi. *Meta Basım, I. Cilt,* 543 s, İzmir.
- Vanderheiden G. 1976. An apparatus for continuously monitoring the structural rigidity of a gel. *CSIRO Food Res. Quarterly.* 36: 45-47.
- Woodcock T, Fagan CC, O'Donnell CP, Downey G. 2008. Application of near and mid-infrared spectroscopy to determine cheese quality and authenticity. *Food Bioprocess Technol.* 1: 17-129.
- Zhao L, Zhang S, Uluko H, Liu L, Lu J, Xue H, Kong F, Lv J. 2014. Effect of ultrasound pretreatment on rennet-induced coagulation properties of goat's milk. *Food Chemistry.* 165: 167-174.