



The Effect of Simple Extraction Method on Measurement Performance in Monitoring the Fatty Acid Profile of White Cheese with FTIR Spectrometer

Hülya Yaman^{1,2,a,*}

¹Department of Food Processing, University of Bolu Abant İzzet Baysal, 14030 Bolu, Türkiye

²Department of Food Science and Technology, The Ohio State University, Ohio, USA

*Corresponding author

ARTICLE INFO	ABSTRACT
<p><i>Research Article</i></p> <p>Received : 25/02/2022 Accepted : 23/06/2022</p> <p>Keywords: FTIR Cheese ripening Fatty acid Extraction White cheese</p>	<p>During cheese ripening many biochemical reactions occur, including hydrolysis of fat, lactose metabolism, and protein breakdown. The aim of this study is to compare the direct measurement method from cheese with simple extraction methods in determining the hydrolysis of fats by FTIR spectroscopy. For this purpose, white cheese samples were produced, ripened for 60 days and analysed at 20-day intervals. The content of fatty acids was determined by gas chromatography, while its estimation was performed using Partial Least Squares Regression (PLSR). As a result, the PLSR performance obtained from fat extract samples by FTIR spectroscopy was shown higher values than the performance obtained from the direct measurement from cheese. It has been shown that simple extraction methods provide higher performance in FTIR spectroscopic measurements made from cheese.</p>

Türk Tarım – Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi, 10(7): 1224-1229, 2022

Beyaz Peynir Yağ Asidi Profilinin FTIR Spektrometresi ile İzlenmesinde Basit Ekstraksiyon Yönteminin Ölçüm Performansına Etkisi

MAKALE BİLGİSİ	ÖZ
<p><i>Araştırma Makalesi</i></p> <p>Geliş : 25/02/2022 Kabul : 23/06/2022</p> <p>Anahtar Kelimeler: FTIR Peynirin olgunlaşması Yağ asidi Ekstraksiyon Beyaz peynir</p>	<p>Peynirin olgunlaşması esnasında, yağın hidrolizi, laktoz metabolizması ve proteinlerin parçalanması dâhil olmak üzere birçok biyokimyasal reaksiyon meydana gelmektedir. Bu çalışmada belirtilen biyokimyasal reaksiyonlardan yağların hidrolizinin FTIR spektroskopisi ile belirlenmesinde peynirden direk ölçüm yönteminin basit ekstraksiyon yöntemi ile karşılaştırılması amaçlanmıştır. Bu amaçla üretilen Beyaz peynir örnekleri 60 gün süre ile olgunlaştırılmış ve 20 günlük periyotlarla yağ asidi profilleri belirlenmiştir. Yağ asitlerinin miktarı gaz kromatografisi ile belirlenirken tahminlenmesi FTIR spektroskopisi verilerinin Kısmi En Küçük Kareler Regresyonu (PLSR) ile gerçekleştirilmiştir. Sonuçta FTIR spektroskopisi ile peynir yağı ekstraktından alınan ölçümün performansının peynirden direk yapılan ölçümün performansına göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Peynirden yapılan FTIR spektroskopisi ölçümlerinde basit ekstraksiyon yöntemlerinin kullanılması ile daha yüksek performans sağladığı ortaya konmuştur.</p>

^a hulyayaman@ibu.edu.tr

<http://orcid.org/0000-0003-0450-8058>



This work is licensed under Creative Commons Attribution 4.0 International License

Giriş

Peynir çeşitliliği bakımından ülkemizde en çok üretilen endüstriyel peynirler, Beyaz peynir, Kaşar peyniri ve Tulum peynirdir (Tarakçı ve ark., 2015). TÜİK (2022) verilerine göre 2021 yılı içerisinde üretilen 10 milyon ton inek sütünün yaklaşık yarısı peynire işlenerek 736 bin ton Beyaz peynir üretimi gerçekleştirilmiştir. Kaşar, Beyaz ve Tulum peynirleri, toplam peynir tüketiminin %85-89'unu, geri kalan %11-15'ini de çeşitli yöresel peynirler oluşturmaktadır (Tekinşen ve Nizamoğlu, 2003). Bu peynirler taze olarak tüketildikleri gibi ürünün geleneksel özelliğine göre olgunlaştırma işlemi de gerçekleştirilmektedir. Örneğin inek sütünden üretilen taze klasik Beyaz peynir 3 haftalık bir olgunlaşma ile piyasaya sunulurken Ezine peyniri 6 ay kadar bir olgunlaşma dönemi geçirebilmektedir (Özer ve ark., 2011).

Peynirin olgunlaşma derecesinin takip edilmesi peynirin kalite özelliklerinin belirlenmesi açısından önem arz etmektedir. Olgunlaşma boyunca meydana gelen biyokimyasal reaksiyonlar ve bu reaksiyonların endüstri açısından önemli birçok araştırmacı tarafından detaylı olarak açıklanmıştır. Peynirde olgunlaşmanın takibi üç temel biyokimyasal reaksiyonun (proteoliz, lipoliz ve glikoliz) izlenmesi ile gerçekleştirilmektedir. Bu metabolizmaların olgunlaşma dönemindeki önem dereceleri peynirin üretim şekli ve çeşidine göre değişebilmektedir. Örneğin yağ oranı yüksek veya küfle olgunlaştırılan peynirlerde lipoliz metabolizması daha etkin rol almaktadır (El Soda ve ark., 1995; McSweeney ve Sousa, 2000; Akalin ve ark., 2002; Singh ve ark., 2003) ve olgunlaşma boyunca oluşan yağ asitleri, kükürt bileşikleri, amino asitler, organik asitler, metil ketonlar ve laktonlar aroma oluşumunda etkili olan parçalanma ürünleridir (Urbach, 1993). Oluşan bu moleküllerin olgunlaşma süresince miktarının izlenmesi olgunlaşmanın gelişimi ve ürün kalitesi hakkında bilgi vermektedir. Ancak bu ürünlerin takibi içi kullanılan cihazlar karmaşık, analizler zaman alıcı, pahalı ve uzmanlık gerektirmektedir. Ayrıca uygulanan analiz yöntemlerinin de standart yöntemler veya bu yöntemlere dayalı olması gerekmektedir. Son yıllarda Fourier Transform Infrared (FTIR) spektroskopisine dayalı yöntemler, gıdanın birçok alanında olduğu gibi süt endüstrisinde de kullanılmaya başlanmıştır. Çalışmalardan elde edilen sonuçların çok değişkenli analiz metodları ile tahminlenmesi hem basit ve hızlı hem de güvenilir bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır.

FTIR spektroskopisi ($4000-700\text{ cm}^{-1}$) molekülün kimyasal bileşimini gösterirken diğer yandan parmak izi niteliğinde bir spektrum sağlamaktadır. Moleküllerin fonksiyonel gruplarının uyarılmaları ile gösterdikleri spektral desenler moleküllerin yapı ve özellikleri hakkında bilgi vermektedir (Yaman, 2020). Süt endüstrisinde ve özellikle Emmental (Karoui ve ark., 2006), Cheddar (Subramanian ve ark., 2011; Fagan ve ark., 2007), İsviçre (Koca ve ark., 2006), Comté (Boubellouta ve Dufour, 2012) ve Parmesan (Cevoli ve ark., 2013) peynirlerinde FTIR spektroskopisi olgunlaşmayı izlemek için başarıyla uygulanmıştır. Geleneksel ve endüstriyel peynirlerimizden Beyaz peynirin olgunlaşma boyunca izlenmesi üzerine Yaman ve ark. (2022) tarafından yapılan çalışmada Beyaz peynir örneklerinin FTIR, Raman ve NIR spektroskopisi cihazlarıyla direkt ölçülmesi ile olgunlaşmanın temel

bileşenlerine bakılmış ve olumlu sonuçlar elde edilmiştir. Bu nedenle mevcut çalışmanın amacı FTIR spektroskopisi ile Beyaz peynirde yağ asitlerinin belirlenmesinde peynirden alınan direkt ölçüm yönteminin basit ekstraksiyon yöntemleri ile karşılaştırılmasıdır.

Materyal ve Yöntem

Çalışmada Beyaz peynir üretimi gerçekleştirilerek 60 gün süre ile olgunlaştırılmış ve 20 günlük periyotlarla spektrum toplama ve yağ asidi analizleri gerçekleştirilmiştir. Aynı zamanda her depolama döneminde peynir örneklerinin yağı basit yöntemle ekstrakte edilerek, yağlardan spektrumlar toplanmış ve analizler gerçekleştirilmiştir.

Peynir Üretimi

Peynir üretimi Yaman ve ark. (2022) tarafından kullanılan üretim metoduna göre 2 tekerrürlü olarak yapılmıştır. Ohio State Üniversitesi (Columbus, OH) süt çiftliğinden sağlanan tam yağlı süt, standardizasyon ve pastörizasyon işleminden sonra mezofilik kültür (*Lactococcus lactis* subsp. *lactis*, *Lactococcus lactis* subsp. *cremoris*) (Choisit MA11, Danisco, Fransa) ilave edilmiş ve rennet ile mayalanmıştır. Doksan dakika mayalama sonrasında pıhtı $1 \times 1\text{ cm}$ ebadında kesilmiş, peynir altı suyu uzaklaştırıldıktan sonra teleme 4 saat süreyle preslenmiş ve $7 \times 7 \times 7\text{ cm}$ küpler halinde kesilmiştir. Salamurada (%16) 12 saat bekletilen peynir örnekleri 4°C 'de 100 gün süre ile depolanmış ve 20 gün aralıklarla analiz edilmiştir. Beyaz peynir örneklerinin temel bileşimi %58,30 su, %47,15 kurumaddede yağ ve %17,30 protein olarak belirlenmiştir.

Yağ ekstraksiyonu

Yağ ekstraksiyonu için Folch metodu kullanılmıştır. Peynir örnekleri 1/20 oranında hekzan:metanol (2:1 v/v) karışımı ile 20 dakika çalkalandıktan sonra düşük hızda (2000 rpm) santrifüjlenmiştir. Hekzan-lipid fazından oluşan üst tabaka başka bir tüpe aktarılmış ve hekzan kısmı vakum altında uzaklaştırılarak yağ elde edilmiştir.

Yağ Asitlerinin Belirlenmesi

Yağ asidi içeriği Sert ve ark. (2014)'ne göre belirlenmiştir. Peynirden ekstrakte edilen yağ numuneleri önce yağ asitlerinin metil esterleri oluşturularak uçucu özellik kazandırılmıştır. $100\ \mu\text{L}$ yağ örneği 10 mL hekzan ile çözülmüş ve $100\ \mu\text{L}$ 2 N potasyum hidroksitin metanol çözeltisi ilavesi ile iyice karıştırılmıştır. Karışımın üst kısmından alınarak viallere aktarılmış ve Agilent 6890 N serisi (Santa Clara, CA) gaz kromatografi (GC) alev iyonlaşmalı dedektör ile analiz edilmiştir. GC şartları olarak 20:1'lik bir split oranı ile enjeksiyon sağlanmıştır ($1\ \mu\text{L}$). Taşıyıcı gaz olarak helyum ve kolon olarak HP-88 kapiler kolon ($100\text{ m} \times 0,25\text{ mm} \times 0,2\ \mu\text{m}$) (Agilent Technologies, Santa Clara, CA, ABD) kullanılmıştır. Giriş ve detektör sıcaklığı sırasıyla 250°C ve 280°C 'ye ayarlanmış ve fırın koşulları 60°C 'de 1 dakika ile başlamış, sonra 190°C 'ye ($20^\circ\text{C}/\text{dk}$) yükseltilmiş ve 60 dk tutulmuş ve son olarak 220°C 'ye ($1^\circ\text{C}/\text{dk}$) yükseltilmiş ve 10 saniye bekletilmiştir. Yağ asitlerinin tanımlanmasında alikonma süresi ve bileşen yüzdesi referans standartlarla (Supelco 37 Bileşen FAME Mix, Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, ABD) karşılaştırılmasıyla gerçekleştirilmiştir.

FTIR Spektrometresi Ölçümleri

Peynir örneklerinin FTIR spektroskopisi ölçümleri peynirden direk ölçüm ile gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla peynir örneklerinin nemi kaba filtre kâğıdı arasında sıkıştırılarak alınmış ve spektrumlar, üçlü yansımali elmas zayıflatılmış toplam yansıtma (ATR) aksesuarı ile donatılmış taşınabilir FTIR ünitesi (Agilent Technologies Model 4500, Santa Clara, CA, ABD) (Şekil 1) kullanılarak toplanmıştır. Üniteye Çinko Selenit (ZnSe) ışın ayırıcılar, düşük güçlü katı hal lazeri, tel sargılı elemanlı kızıl ötesi kaynak ve termoelektrik olarak soğutulmuş DTGS (deuterated triglycine sulfate) dedektörü bağlıdır. Spektrumlar, 4 cm^{-1} çözünürlükle $4000\text{-}700 \text{ cm}^{-1}$ aralığında ve sinyal-gürültü oranını iyileştirmek için 64 taramanın birlikte eklenmesiyle toplanmıştır. Yağ örneklerinin ölçümlerinde ise sıcaklık kontrollü ZnSe kristali ile donatılmış FTIR spektrometre (Agilent Technologies Inc. Model 5500, Santa Clara, CA) (Şekil 2) cihazı kullanılmıştır. $50 \mu\text{L}$ yağ numunesi cihaz kristalinin üzerine yerleştirilmiş ve sıcaklık 55°C 'ye ayarlanmıştır. Spektrumlar, 4000 ila 650 cm^{-1} aralığında 4 cm^{-1} çözünürlükte toplanmış ve sinyal-gürültü oranını artırmak için 64 taramadan oluşan bir interferogram eklenmiştir.

Peynir ve yağ örneklerinde 3 tekrarlı ölçüm alınmıştır. Spektral veriler absorbans cinsinden gösterilmiş ve Agilent MicroLab PC yazılımı (Agilent Technologies Inc., Danbury, CT, ABD) kullanılarak kaydedilmiştir (Subramanian ve ark., 2011, Yaman, 2022).

Veri analizi

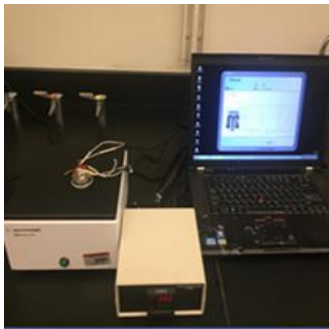
FTIR çok değişkenli verileri kemometrik yöntemler ile Pirouette® yazılımı (Sürüm 4.5, Infometrix Inc., Woodville, WA, ABD) kullanılarak değerlendirilmiştir. Normalizasyon ve ikinci türev fonksiyonları kullanılarak

tüm verilerin dönüştürülme işlemi gerçekleştirilmiştir. Peynir ve yağ örneklerinde referans analizi yapılan parametreler ile aynı örneklere ait spektrumların Kısmi En Küçük Kareler Regresyonu (PLSR) kullanılarak tahminlemesi yapılmış ve grafikleri çizilmiştir. Yağ asidi miktarları PLSR modellemesi kullanılarak toplanan spektral verilerle ilişkilendirilmiştir. PLSR modellerin doğruluğunu değerlendirmek için veri seti rastgele olarak kalibrasyon (toplam örnek büyüklüğünün %80'i) ve validasyon (kalan %20) grupları olarak iki alt gruba ayrılmıştır. Modellerin tahmin performansı, standart çapraz doğrulama hatası (SECV), belirleme katsayısı (r) ve aykırı değer teşhisi kullanılarak değerlendirilip, PLSR modellemesi sırasında, uç değerler ihmal edilerek en uygun modeller üretilmiştir (Yaman, 2020a).

Bulgular ve Tartışma

Yağ ve Peynir Örneklerinin Spektral Karakterizasyonu

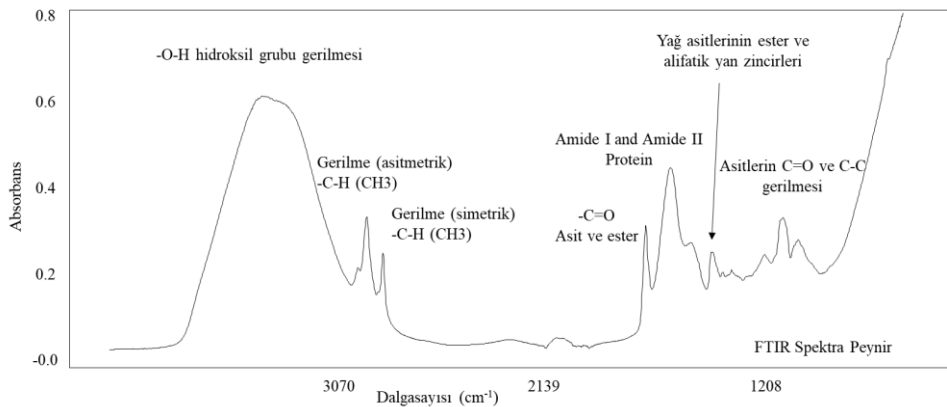
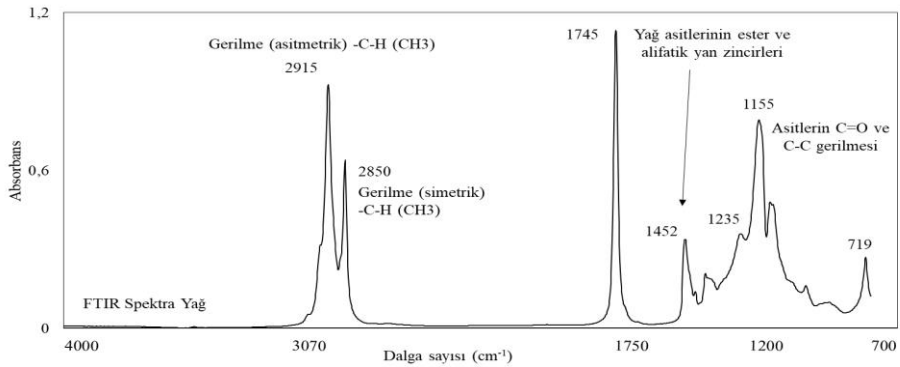
Peynir ve yağ örneklerinin spektrumları karşılaştırıldığında yağ asitlerine ait piklerin absorbanslarının arttığı ve diğer süt bileşenlerinin ise yer almadığı gözlenmiştir (Şekil 1). Yağ spektrumlarında asitlerin ve esterlerin C=O gerilmesi $1750\text{-}1700 \text{ cm}^{-1}$ aralığında görülebilirken (Yaman, 2020b) yağlardaki ester yapısını gösteren pik maksimum değer göstermektedir. Diğer yandan özellikle yağ asitlerinin parmak izi bölgesi olarak ifade edilen $2800\text{-}3000 \text{ cm}^{-1}$ aralığı yağ asitlerinin –CH₃ bağ yapısını temsil etmekte ve peynir spektrumuna göre yağ spektrumunda yüksek değerler göstermiştir (Yaman, 2022).



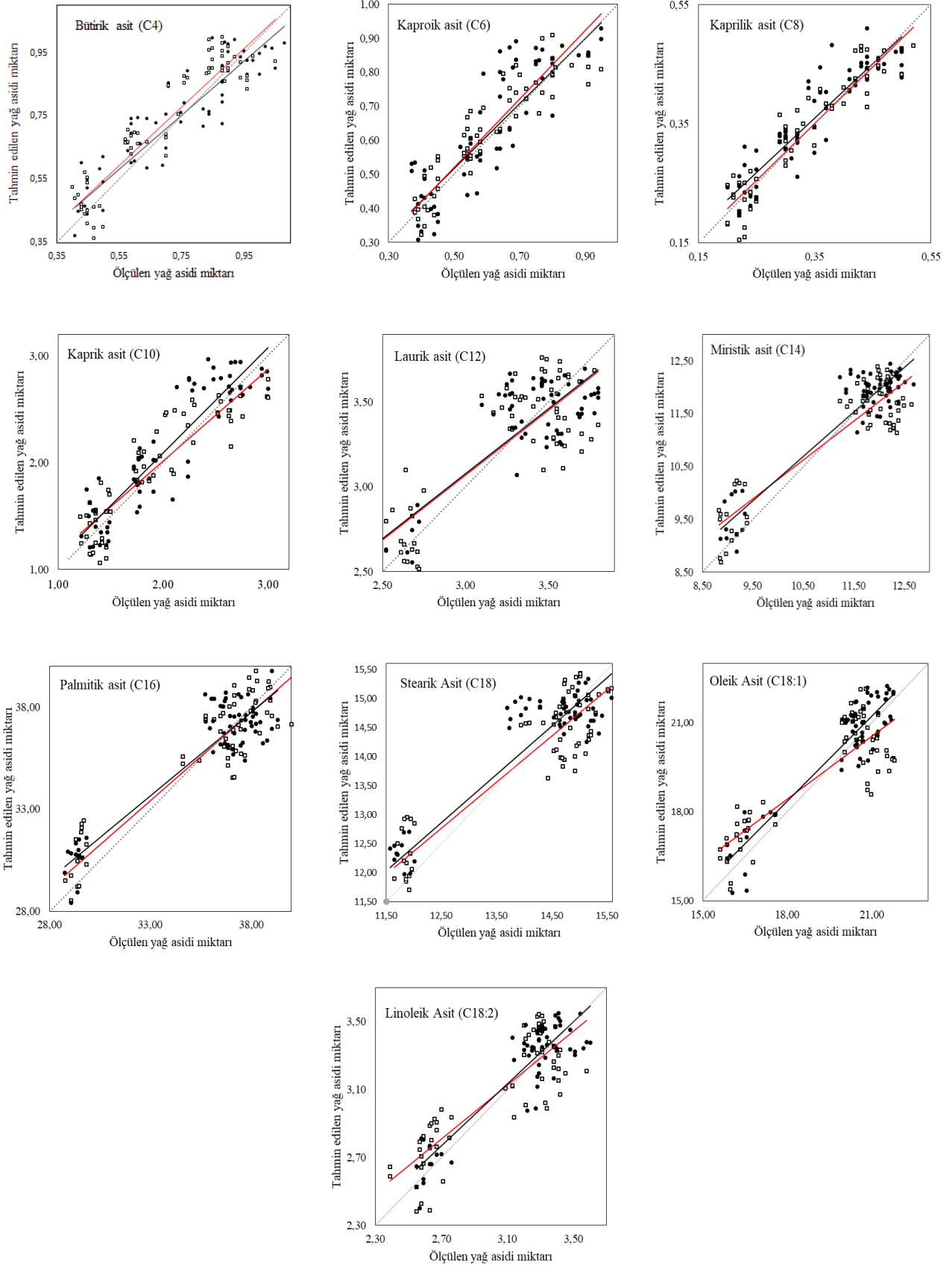
FTIR 5500 (AGILENT)



FTIR 4500 (AGILENT)



Şekil 1. Ekstrakt ve Beyaz peynir örneklerinin karakteristik FT-IR ($700\text{-}4000 \text{ cm}^{-1}$) spektrumları (üst: yağ, alt peynir)
Figure 1. Characteristic FT-IR ($700\text{-}4000 \text{ cm}^{-1}$) spectra of extract and white cheese samples (top: fat, bottom cheese)



Şekil 2. FTIR kullanılarak peynir örneklerindeki yağ asitleri oranının tahminlenmesinde kısmi en küçük kareler regresyon (PLSR) grafikleri (kırmızı eğim çizgisi peynir; siyah eğim çizgisi ekstrakte yağ; □ simgesi peynir verileri; ● simgesi ekstrakte yağ verileri)

Figure 2. Partial least squares regression (PLSR) plots for estimating the ratio of fatty acids in cheese samples using FTIR (red slope line cheese; black slope line extracted oil; □ symbol cheese data; ● extracted fat data)

Çizelge 1. Olgunlaşma sırasında peynir örneklerinde yağ asitlerinin tahmini için FTIR spektroskopisi kullanılarak geliştirilen kalibrasyon ve doğrulama modellerinin performans istatistikleri.

Table 1. Performance statistics of calibration and validation models developed using FTIR spectroscopy for the estimation of fatty acids in cheese samples during ripening.

Birim	Parametre	Kalibrasyon Modeli					Validasyon Modeli				
		Aralık ^a	N ^b	F ^c	SECV ^d	R _{kal} ^e	Aralık	N	SEP ^f	r _{val} ^g	
Peynir	C4	0,31-1,05	46	5	0,08	0,95	0,37-1,08	12	0,08	0,95	
	C6	0,26-0,91	47	5	0,07	0,94	0,28-0,95	14	0,08	0,94	
	C8	0,16-0,50	47	5	0,03	0,96	0,16-0,52	13	0,03	0,96	
	C10	0,97-3,00	46	4	0,22	0,96	1,14-2,76	12	0,21	0,96	
	C12	2,41-3,80	46	4	0,21	0,89	3,76-2,56	14	0,21	0,90	
	C14	8,83-12,65	47	4	0,50	0,89	8,86-12,69	13	0,49	0,89	
	C16	28,77-40,00	45	4	1,24	0,93	28,75-39,04	14	1,21	0,93	
	C18	11,65-15,58	46	4	0,52	0,93	11,79-15,21	12	0,51	0,92	
	C18:1	15,62-21,76	45	3	0,90	0,91	15,62-21,81	13	0,90	0,91	
C18:2	2,39-3,58	46	4	0,16	0,91	2,39-3,41	13	0,16	0,92		
Yağ	C4	0,36-1,05	45	5	0,07	0,95	0,40-1,00	14	0,08	0,95	
	C6	0,27-0,95	46	4	0,09	0,92	0,35-0,95	12	0,09	0,94	
	C8	0,15-0,51	46	5	0,04	0,93	0,20-0,50	13	0,04	0,94	
	C10	1,21-2,99	45	4	0,30	0,92	1,22-3,00	15	0,26	0,93	
	C12	2,44-3,80	45	5	0,19	0,94	2,43-3,80	13	0,18	0,94	
	C14	8,97-12,38	46	4	0,39	0,94	9,15-12,41	14	0,34	0,94	
	C16	28,75-39,04	44	5	1,13	0,94	29,07-39,33	13	1,15	0,94	
	C18	11,58-15,58	45	4	0,49	0,94	11,60-15,41	15	0,49	0,93	
	C18:1	15,87-21,76	44	4	0,66	0,94	16,50-21,77	12	0,68	0,94	
C18:2	2,55-3,60	45	5	0,11	0,95	2,57-3,58	13	0,12	0,94		

^aAralığın birimi (%); ^bKalibrasyon modellerinde kullanılan numune sayısı; ^cFaktör sayısı; ^dStandart çapraz doğrulama hatası (Standard Error of Cross Validation); ^eÇapraz doğrulamanın korelasyon katsayısı. ^fStandart tahmin hatası (Standard error of Prediction). ^gDış doğrulama için tahmin korelasyon katsayısı.

Peynir örneklerinin spektrumunda görülen 3700-3100 cm⁻¹ spektral aralık ise nem içeriğini göstermektedir (Woodcock ve ark., 2008). 1680-1239 cm⁻¹ arasındaki spektral aralık protein varlığını temsil etmekte olup bu kısım yağ spektrumunda yer almamaktadır. Peynir spektrumunda yer alan Amid-I (1680-1631 cm⁻¹), Amid-II (1560-1533 cm⁻¹) ve Amid-III (1472-1239 cm⁻¹) aralıkları ise protein bölgesi olarak ifade edilmektedir (Barth, 2007).

Her iki örnek grubunda da yer alan diğer ortak pikler ise daha çok 1000-1200 cm⁻¹ bölgesindeki karbonhidrat ve yağ asitlerinin C-C, C-O gerilmesi ile ilgili olanlardır (Grube ve ark., 2002; Nicolaouve ark., 2010).

PLSR Modellerinin Geliştirilmesi

Tablo 1, yağ asitleri içeriğini tahmin etmek için taşınabilir FTIR spektrometreleri kullanılarak geliştirilen tahmin modellerinin performansını göstermektedir. PLSR modelinin geliştirilmesinde çok sayıda faktör kullanmak, tahmin performanslarını iyileştirebilir; ancak, modelin performansını olumsuz etkileyebilecek gürültü veya alakasız bileşenler içerebilmektedir. Benzer şekilde, optimal sayıdan daha az faktör kullanmak, gerekenden daha az varyansın dahil edilmesinden kaynaklanan yetersiz tahminlemeye neden olabilmektedir (Abdi, 2010). Bu nedenle çalışmada tahmine dayalı modeller için optimum faktörler iki ila altı arasında tutulmuştur. Yapılan tüm tahmine dayalı modellerde, yüksek r_{val} (dış doğrulama için tahmin korelasyon katsayısı) ve düşük SECV (Standard Error of Cross Validation) değerleri açısından çok iyi performanslara sahip olduğu görülebilmektedir. Tüm tahmin modelleri için, FTIR spektrometre performansları mükemmel sonuç vermiştir; çünkü r_{val}, 0,90'ın üzerinde olduğunda tahmin seviyesi mükemmel olarak

değerlendirilmektedir (Shenk ve Westerhaus, 1996; Urbano Cuadrado ve ark., 2005). Benzer şekilde, Yaman (2020b) portatif FTIR ünitesinin, Beyaz peynirden ve ekstraksiyon ürünüden yapılan ölçümlerin de tahmininde üstün performansa sahip olduğunu bildirmiştir. Benzer şekilde Subramanian ve ark. (2011) Cheddar peyniri ile yaptıkları çalışmada suda çözünen bileşiklerin belirlenmesinde basit ekstraksiyon yöntemi kullanmışlar, organik ve amino asitlerin belirlenmesinde daha iyi sonuçlar elde etmişlerdir.

Örnekleme metodu açısından değerlendirdiğimizde peynir ve yağ ekstraktardan elde edilen veriler karşılaştırıldığında, yağ ekstraktlarının regresyon modellerinin öngörü kabiliyetinde belirgin bir artış olduğunu açıkça görülmüştür. Tüm örnekleme yöntemleri için yağ asitlerinin FTIR spektrumlarının tahmini için >0,89'lik bir korelasyon katsayısı bulunmuştur ve uygulanan FTIR tekniği, olgunlaşma sırasında genel bileşimle ilgili biyokimyasal değişiklikler hakkında değerli bilgiler sağlayabilmektedir. PLSR modelleri detaylı incelendiğinde suda çözünen kısa zincirli yağ asitlerinin performansı peynirden direk ölçümlerde daha yüksek bir korelasyon göstermektedir (grafiklere bakıldığında kırmızı eğim çizgisi). Yağ ekstraktlarına (grafiklere bakıldığında siyah eğim çizgisi) bakıldığında ise uzun zincirli, büyük moleküllü ve özellikle de çift bağ içeren yağ asitlerinde daha iyi performans gösterdiği söylenebilmektedir.

Sonuç olarak, FTIR spektroskopisi ile yapılan çalışmalarda su oranı yüksek materyallerin analizinde, ölçülecek bileşenin de çözünme özellikleri dikkate alındığında bazı basit ekstraksiyon yöntemlerinin PLSR modellerinin geliştirilmesi ve daha doğru tahminlemelerin yapılması için gerekli olabileceği düşünülmektedir. Elde

edilen veriler ve değerlendirmeler FTIR yönteminin peynirden direk ölçüm alınımında, peynirdeki su oranına bağlı olarak suda çözünür yeteneği gösterebilen kısa zincirli yağ asitlerinin değerlendirilmesinde yağ ekstraksiyonu ile benzer sonuçlar gösterebilmektedir. Ancak zincir uzunluğu veya molekül büyüklüğü arttıkça ve/veya suda çözünürlük azaldıkça peynirden direk ölçümlerde model performansının düştüğü ve ekstrakte edilen yağlardan alınan verilerin model performansının daha yüksek olduğu görülmektedir.

Teşekkür

Yazar, doktora sonrası araştırma bursu için Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu'na (TÜBİTAK) ve çalışmanın Ohio Eyalet Üniversitesi (Columbus, Ohio, ABD), Gıda Bilimi ve Teknolojisi Bölümü laboratuvarında yürütülmesinde verdiği destek için Prof. Luis E. Rodriguez Saona'ya teşekkür eder.

Kaynaklar

- Abdi H. 2010. Partial least squares regression and projection on latent structure regression (PLS Regression). Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics, 2(1): 97–106. <https://doi.org/10.1002/wics.51>
- Akalin AS, Gonc S, Akba Y. 2002. Variation in organic acids content during ripening of pickled white cheese. J. Dairy Sci. 85:1670-1676.
- Barth A. 2007. Infrared spectroscopy of proteins. BiochemBiophys Acta 1767
- Boubellouta T, Dufour É. 2012. Cheese-Matrix Characteristics During Heating and Cheese Melting Temperature Prediction by Synchronous Fluorescence and Mid-Infrared Spectroscopies. Food Bioprocess Technol 15: 273–284.
- Cevoli C, Alessandro Gori, Angelo Fabbri 2013. FT-NIR and FT-MIR spectroscopy to discriminate competitors, non-compliance and compliance grated Parmigiano Reggiano cheese Food Research International (Ottawa, Ont.). 52(1):214-220
- El Soda MN, Farkye JC, Vuilleumard RE, Simard NF, Olson W, El Kholly E, Dako E, Medrano M, Gaber LLim. 1995. Autolysis of lactic acid bacteria: Impact on flavor development in cheese. Pages 2205–2223 in FoodFlavours: Generation, Analysis and process influence. G. Charalambous, ed. ElsevierSciences BV, Amsterdam, TheNetherlands
- Fagan CC, O'Donnell CP, O'Callaghan DJ. 2007. Application of mid-infrared spectroscopy to the prediction of maturity and sensory texture attributes of cheddar cheese. J Food Sci. 72(3): E130-E137.
- Grube M, Bekers M, Upite D, Kaminska E. 2002. Infrared spectra of some fructans. Spectroscopy 16:289– 296
- Karoui R, Mouazen AM, Dufour E, Pillonel L, Picque D, De Baerdemaeker J, Bosset JO. 2006. Application of the MIR for the determination of some chemical parameters in European Emmental cheeses produced during summer. Eur. Food Res. Technol., 222:165-170
- Koca N, Rodriguez-Saona LE, Harper WJ, Alvarez VB. 2007. Application of Fourier transform infrared spectroscopy for monitoring short-chain free fatty acids in Swiss cheese. J Dairy Sci. 90(8):3596-3603
- McSweeney PLH, Sousa MJ. 2000. Biochemical pathways for the production of flavor compounds in cheeses during ripening: A review. Lait 80:293–324.
- Nicolaou N, Xu Y, Goodacre R. 2010. Fourier transform infrared spectroscopy and multivariate analysis for the detection and quantification of different milk species. J Dairy Sci 93:5651–5660
- Özer B, Kirmaci HA, Hayaloglu AA. 2011. The effects of incorporating wild-type strains of Lactococcus lactis into Turkish white brined cheese (Beyazpeynir) on the fatty acid and volatile content. Int J Dairy Technol 64:494–501.
- Shenk JS, Westerhaus MO. 1996. Calibration the ISI way. Near infrared spectroscopy: The future waves. Chichester, UK: NIR Publications.
- Singh TK, Drake MA, Cadwallader KR. 2003. The flavor of Cheddar cheese: A chemical and sensory perspective. Comp. Rev. Food Sci. Food Saf. 2:166-189.
- Subramanian A, Alvarez VB, Harper WJ, Rodriguez-Saona LE. 2011. Monitoring amino acids, organic acids, and ripening changes in Cheddar cheese using Fourier-transform infrared spectroscopy. International Dairy Journal, 21(6):434-440,
- Tarakçı Z, Bölük M, Karaağaç M. 2015. Ordu İlinde Tüketicilerin Peynir Tüketim Alışkanlıkları. Ordu Üniv. Bil. Tek. Derg, 55-62.
- Tekinşen KK, Nizamlioğlu M. 2003. Maraş Peyniri Üretiminde Baskılama Ağırlığı ve Haşlama Suyu Sıcaklığının Bazı Kalite Niteliklerine Etkisi. Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences, 27(1): 53–160.
- TÜİK, 2022. Süt ve Süt Ürünleri İstatistikleri. Türkiye İstatistik Kurumu: Ankara.
- Urbach G. 1993. Relations between cheese flavor and chemical composition. Int. Dairy J. 3:389-422.
- Urbano Cuadrado M, Luque De Castro MD, Pérez Juan PM, Gómez-Nieto MA. 2005. Comparison and joint use of near infrared spectroscopy and Fourier transform mid infrared spectroscopy for the determination of wine parameters. Talanta, 66(1): 218–224. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2004.11.011>
- Woodcock T, Fagan CC, O'Donnell CP. 2008. Better Quality Food and Beverages: The Role of near Infrared Spectroscopy, Food Bioprocess Technol 1: 117.
- Yaman H, Aykas DP, Jiménez-Flores R, Rodriguez-Saona LE. 2022. Monitoring the ripening attributes of Turkish white cheese using miniaturized vibrational spectrometers. J Dairy Sci. 105(1):40-55
- Yaman H. 2020a. A rapid method for detecting adulteration in goat milk by using vibrational spectroscopy in combination with chemometric methods. J Food Sci Technol 57(8):3091–3098
- Yaman H. 2020b. Olgunlaşma Sürecinde Beyaz Peynirde Organik ve Yağ Asidi İçeriğinin Farklı Örnekleme Tekniği Kullanılarak Taşınabilir FTIR Spektrometre ile İzlenmesi. International Journal of Innovative Approaches in Science Research, 4(4): 100-111.