



Araştırma Makalesi/Research Article

Katı Yağ İçeriğinin Belirlenmesinde Yakın Kızıl Ötesi Spektroskopisinin (NIR) Kullanımı

Mustafa Ögütçü^{1*} Nazan Arifoğlu²

¹Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, 17020, Çanakkale,

²Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Uygulamalı Bilimler Yüksekokulu, Gıda Teknolojisi Bölümü, 17020, Çanakkale.

*Sorumlu yazar: mogutcu@comu.edu.tr

Geliş Tarihi: 12.11.2018

Kabul Tarihi: 04.12.2018

Öz

Bu çalışmada, farklı yağ ve jel ajanları kullanılarak oluşturulan oleojellerin katı yağ içeriklerinin yakın kızıl ötesi (NIR) spektroskopisi kullanılarak tahmin edilmesi amaçlanmıştır. Bununla birlikte, nükleer manyetik rezonans (NMR) spektroskopisi ile farklı formülasyonlara sahip 96 oleojel örneğinin katı yağ içerikleri iki farklı sıcaklık derecesinde (20 ve 35 °C) belirlenmiştir. Örneklerin NMR ile belirlenen 20 ve 35 °C'deki katı yağ içeriklerinin sırasıyla %1,65-9,84 ve %1,05-8,77 değerleri arasında olduğu tespit edilmiştir. Katı yağ içeriğinin belirlenmesinde NMR hasarsız bir teknik olmasına rağmen örnek hazırlama aşamasının zaman alıcı olması gibi bir olumsuzluğu da bulunmaktadır. NMR spektroskopisi ile belirlenen katı yağ içerik değerleri ile NIR spektroskopisi ile tahminlenen değerler arasında güçlü bir korelasyon [20 °C için $r_1=89,29$, RMSEP=0,774; 35 °C için $r_2=92,32$, RMSEP=0,601) olduğu görülmektedir. Çalışmadan elde edilen sonuçlar NIR spektroskopisinin, katı yağ içeriğinin tahmini için NMR spektroskopisinin yerini alacak güvenilir ve daha hızlı bir teknik olduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Katı Yağ İçeriği, Yakın Kızıl Ötesi Spektroskopisi, Oleojel, Mumlar.

Determination of Solid Fat Content Using with Near Infrared Spectroscopy (NIR)

Abstract

In this study, it is aimed to determine the solid fat content of oleogels prepared with different oils and organogelators using near infrared spectroscopy (NIRs). The solid fat content of 96 oleogel samples with different solid fat content for the calibration data set at 20 and 35 °C was determined by nuclear magnetic resonance (NMR) spectroscopy. The fat content of the samples at 20 and 35 °C determined by NMR was found to be between 1.65-9.84% and 1.05-8.77%, respectively. Although NMR is a non-destructive technique for the determination of the fat content, there is also a disadvantage that the sample preparation step is time-consuming. A strong correlation between the fat content values determined by NMR spectroscopy and the predicted values with NIR spectroscopy is 20 °C ($r_1 = 89.29$ and RMSEP = 0.774) and 35 °C ($r_2 = 92.32$ and RMSEP = 0.601). The results obtained from the study show that NIR spectroscopy is a reliable and rapid technique to replace the NMR spectroscopy for the estimation of the fat content.

Keywords: Solid Fat Content, Near Infrared Spectroscopy, Oleogels, Waxes.

Giriş

Yağlar insan beslenmesinde enerji vermeleri, esansiyel yağ asitlerinin kaynağı olmaları ve A, D, E ve K vitaminlerinin taşıyıcısı olmaları gibi önemli rolleri üstlenmektedir (Nas ve ark., 2001; Bockisch, 2015). Bunların yanı sıra bir gıda bileşeni olarak yağların, tek başına veya diğer bileşenler ile etkileşime girerek birçok gıda ürününün tüketiciler tarafından beğenilen lezzet, tekstür ve reolojisinin oluşmasında önemli katkı sağladığı bilinmektedir. Bitkisel kremler, margariner, çikolatalar, fırıncılık ürünleri ve şekerlemeler için özel yağlar gibi birçok kullanımda, katı yağ içeriği önemli bir rol oynamaktadır. Gerçekten de, saf yağlar ve sıvı yağlar genellikle doğal hallerinde doğrudan kullanım için yeterli fiziko-kimyasal özelliklere sahip değildir, dolayısıyla söz konusu özellikler diğer katı ve sıvı yağlarla belirli oranlarda karışım yapılması veya enzimatik veya kimyasal interesterifikasyon işlemi ile kazandırılabilir (Santos ve ark., 2018).

Oleojelasyon, hâlihazırda katı yağ üretim teknikleri olarak bilinen hidrojenasyon, interesterifikasyon ve fraksinasyon gibi tekniklere alternatif bir teknik olarak son yıllarda ön plana çıkmaktadır. Oleojeller, likit yağın küçük molekül ağırlığına sahip bir jel ajanı tarafından oluşturulan üç boyutlu ağ yapısı içine hapsedilmesi sonucu oluşturulmaktadır. Jel ajanı olarak, mumlar, yağ alkollerini, lesitin, sorbitan esterleri, γ -orizanol+ β -sitosterol karışımı, mono- ve digliseritler kullanılabilir. Oleojellerin, likit yağın yağ asidi kompozisyonunda değişiklik oluşturmaması,



doymuş yağ içeriğinin düşük olması, termo geri-dönüşümlü olması, trans yağ içermemesi, opak ve/veya şeffaf görünümde olması gibi avantajları bulunmaktadır (Öğütçü ve Yılmaz, 2014; Öğütçü ve Yılmaz, 2015).

Katı yağ içeriği bir yağın farklı sıcaklıklardaki katı fraksiyonunun yüzdesi olarak tanımlanmakta olup, yağın ileri işlemler için uygunluğuna karar vermede kullanılmaktadır (Zhang ve ark., 2018). Farklı sıcaklıklardaki katı yağ içeriği yağların depolamada, ambalajlamada, kış ve yaz sıcaklıklarında, fırıncılık endüstrisinde ve tüketim sıcaklığında sergilediği reolojik davranışları ile ilgilidir. Katı yağ içeriği pulsed-NMR (ISO 8292) ve düşük rezolüsyonlu NMR spektroskopisi (AOCS Cd 16b-93) ile belirlenebilmektedir (AOCS, 1989; ISO, 2008). Söz konusu yöntem tahribatsız, insan sağlığına zararlı kimyasallar gerektirmeyen bir teknik olmasına rağmen örnek hazırlama kısmının zaman alıcı olması gibi bir dezavantaja da sahiptir (Rodrigues ve ark., 2005; Fiebig ve Lüttke, 2003).

Son yıllarda öne çıkan yakın kızılötesi (NIR) spektroskopisi, özellikle katı ve sıvı yağların kalitatif ve kantitatif analizi için kullanılan standart analitik tekniklere alternatif bir teknik olarak başarıyla test edilmiştir. NIR spektroskopisi, hâlihazırda kullanılan diğer yöntemlerle kıyaslandığında, hızlı, tahribatsız, sağlığa zararlı kimyasal gerektirmeyen yönüyle dikkat çekmektedir. Ayrıca, NIR spektrumları, farklı analitik tekniklerle değerlendirilen numunenin çeşitli özellikleri ile ilişkili olabilmekte ve böylece tek bir analizde çoklu parametre değerlendirmesine izin vermektedir (Rodrigues ve ark., 2005; Öğütçü ve ark., 2012; Racz ve ark., 2018). Son yıllarda literatürde, yağ asidi içeriği veya kompozisyonu belirlenmesi (Sato ve ark., 2003), fiziko-kimyasal özelliklerin ve oksidasyon parametrelerinin belirlenmesi (Yıldız ve ark., 2001; Öğütçü ve ark., 2012), zeytinyağında karotenoid ve klorofil içeriğinin belirlenmesi (Marquez, 2003) ve natürel zeytinyağlarında coğrafi sınıflandırmanın yapılması (Downey ve ark., 2003) gibi uygulamalarda NIR spektroskopisinin kullanımına rastlanmaktadır.

Bu çalışmanın amacı, farklı yağ ve jel ajanları kullanılarak hazırlanan oleojellerin farklı sıcaklıklardaki katı yağ içeriklerinin yakın kızıl ötesi spektroskopisi kullanılarak hızlı olarak belirlenmesidir.

Materyal ve Yöntem

Materyaller

Çalışmada oleojel oluşumu için kullanılan balık yağı (KRK Gıda Ltd. Şti. Türkiye), fındık yağı (Fiskobirlik San. Tic. A.Ş., Türkiye), natürel zeytinyağı (Tariş Tar. San, A.Ş., Türkiye) ve nar çekirdek yağı (Tito, Smart Kimya Ltd. Şti, Türkiye) ile ayçiçek mumu, şellak mumu, balmumu Kahlwax (Kahl GmbH & Co., Trittau, Almanya) ve monogliserit (Tito, Smart Kimya Ltd. Şti, Türkiye) ilgili firmalardan satın alınmıştır.

Oleojel Hazırlama

Çalışmada kullanılan oleojellerin üretimi Öğütçü ve Yılmaz (2014)' a göre gerçekleştirilmiştir. Buna göre oleojel oluşumu için farklı oranlarda organojelatör (%3, 5 ve 10) ve yağ ayrı ayrı kaplarda yağ banyosunda (Mommert One 7, Almanya) 80-90 °C' ye kadar ısıtılmış daha sonra izotermal koşullarda karıştırılmıştır. Bu karışım daha sonra 50 ml falcon tüplere alınarak oda sıcaklığında 12 saat oleojel oluşumu için bekletilmiştir. Elde edilen oleojel örnekleri analiz edilinceye kadar +4 °C'de depolanmıştır.

Yöntemler

Katı Yağ İçeriğinin Belirlenmesi

Örneklerin katı yağ içerikleri ISO 8292 (ISO 2008) standart yöntemine göre Nükleer Manyetik Rezonans spektroskopisi (pulse NMR) (Bruker NMR Analyzer mq20 The Minispec, Bruker Optics, Inc., Billerica, Mass., ABD) ile belirlenmiştir. NMR cihazının kalibrasyonları % 0, 31 ve 73,5 katı yağ içeren standart çözeltilerle yapılmıştır. Örnekler, NMR ölçümünden önce ölçüm sıcaklığı olan 20 ve 35 °C'de 30 dakika boyunca şartlandırılmış ve sonuçlar % olarak sunulmuştur.

NIR Spektroskopisi

Örneklerin yakın kızıl ötesi spektrumları InGaAs detektör (TE-InGaAs ve RT-InGaAs), 20-W yüksek şiddetli tungsten-halojen NIR ışık kaynağı ve Bruker OPUS-NT (5.5) yazılımı ile donatılmış Bruker FT-NIR spektrofotometre (Bruker Optik, GmbH, Ettlingen, Almanya) ile belirlenmiştir. Cihazın örnek bölme modu kullanılarak yapılan ölçümler 4000-12000 cm⁻¹ arasında 8 cm⁻¹ çözünürlükte yapılmıştır. Örnekler, her bir spektrum için örnek bölme modunda 128 kez taranmıştır. Referans olarak cihaza ait boş cam tüpler kullanılmıştır. Örnekler ölçümden önce tamamen ergitilmiş



ve cihazın cam tüplerine 3 mL hacimde doldurulmuş daha sonra 12 saat oda sıcaklığında bekletilmiş ve tüm ölçümler aynı sıcaklıklarda gerçekleştirilmiştir. Her bir örnek için ayrı cam tüp kullanılmıştır.

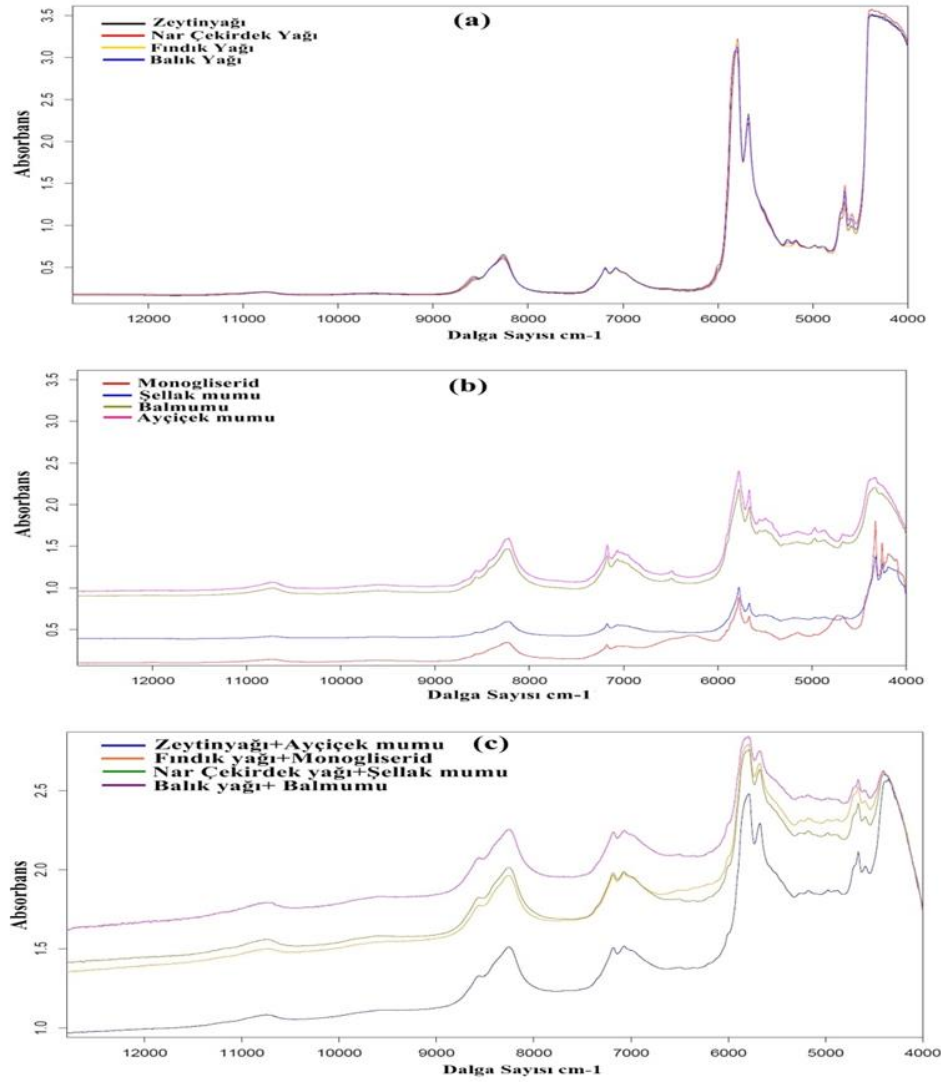
İstatistiksel Analiz

Örneklerin katı yağ içeriği analizi ve NIR spektrumları iki tekrarlı olarak gerçekleştirilmiştir. NIR spektral verileri ve kemometrik analiz cihazın OPUS 5.5 yazılımı (Bruker Optik, GmbH, Ettlingen, Almanya) kullanılarak değerlendirilmiştir. Kısmi en küçük kareler regresyon (PLSR) modelinin hesaplanmasından önce tam çoğullayıcı dağılım düzeltmesi (MSC), vektör normalizasyonu (VN) birinci türev (FD) ve ikinci türev (SD) ön işlem algoritmaları uygulanmıştır. Tüm örnek seti modelleme için kullanılmış ve dâhili doğrulama (interval validation) tam çapraz-doğrulama (leave-one-out) ile gerçekleştirilmiştir.

Bulgular ve Tartışma

Çalışmada kullanılan yağlar, mumlar ve oluşturulan oleojellere ait NIR spektrumları Şekil 1'de verilmiştir. Çalışmada kullanılan yağlara ait NIR spektrumları oldukça benzer bulunmuştur (Şekil 1a). Yağların NIR spektrumları incelendiğinde 4594, 4663, 4700 cm^{-1} , 5166, 5670, 5796 cm^{-1} , 6000, 7073, 7185 cm^{-1} ve 8261, 8562 cm^{-1} civarında belirgin piklerin olduğu görülmektedir. Literatür, verilerine göre 8560 ve 7187 cm^{-1} civarındaki piklerin CH_3 - fonksiyonel grubu ile ilişkili olduğu belirtilmiştir. 8260, 7074 ve 5791 cm^{-1} etrafındaki piklerin $-\text{CH}_2-$ fonksiyonel grubu ile ilişkili olduğu bildirilmiştir. 6010 cm^{-1} civarında görülen pikin *cis* $\text{R}_1\text{CH}=\text{CHR}_2\text{CH}_3$ - fonksiyonel grubu ile ilişkili olduğu vurgulanmıştır. Yine, 5260 ve 5179 cm^{-1} etrafında görülen piklerin $\text{C}=\text{O}$ gerilimleri ile ilişkili olduğu bildirilmiştir. 4707 cm^{-1} civarında görülen pikin ise $-\text{COOR}$ fonksiyonel grubu ile 4662 ve 4595 cm^{-1} etrafında oluşan piklerin ise $-\text{CH}=\text{CH}-$ fonksiyonel grubu ile ilişkili olduğu vurgulanmıştır (Christy ve ark., 2004). Galtier ve ark. (2007) tarafından 4400-5300 cm^{-1} arasında oluşan bantların diğer titreşim biçimleri ile $-\text{CH}$ gerilim titreşimlerinin kombinasyonları olduğu, 5500-6100 cm^{-1} arasında oluşan bantların $-\text{CH}$ gerilim titreşiminin (metil, metilen ve etilen grupları) birinci overtone ile ilişkili olduğu vurgulanmıştır. Ayrıca, 6500-7500 ve 8000-9000 cm^{-1} arasında görülen bantların sırasıyla $-\text{CH}$ gerilim titreşiminin kombinasyonları ve $-\text{CH}$ gerilim titreşiminin (metil, metilen ve etilen grupları) ikinci overtone ile ilişkili olduğu belirtilmiştir. Bu çalışmada elde edilen balık, fındık, nar çekirdek ve natürel zeytinyağı örneklerinin NIR spektrumları literatür verileri (Christy ve ark., 2004; Galtier ve ark., 2007) ile benzerlik göstermektedir. Çalışmada kullanılan mumlar ile monoglisieritin NIR spektrumları incelendiğinde balmumu ve ayçiçek mumunun NIR spektrumlarının benzer, şellak mumu ve monoglisieritin ise oldukça farklı olduğu tespit edilmiştir (Şekil 1b). Şekil 1c incelendiğinde ise oleojellerin NIR spektrumları arasında belirgin bir farklılık olmadığı saptanmıştır.

Oluşturulan oleojellerin NMR spektroskopisi ile belirlenen katı yağ içerikleri ile kısmi en küçük kare regresyon (PLSR) analizi sonuçları Çizelge 1'de sunulmuştur. Buna göre oleojel örneklerinin katı yağ içerikleri 20 ve 35 °C'de sırasıyla %1,65-9,84 ve %1,05-8,77 değerleri arasında değiştiği gözlemlenmiştir. Ayrıca oleojellerin katı yağ içerik değerlerinin ilave edilen jel ajanı konsantrasyonuna bağlı olarak artış gösterdiği tespit edilmiştir. Örneklerin 20 ve 35 °C'deki katı yağ içerik değerleri çapraz doğrulama yöntemi ile tahmin edilmiştir. Örneklerin 20 °C'deki katı yağ içeriklerinin belirlenmesi için uygulanan çapraz doğrulama yöntemi kalibrasyon modelinin doğruluk derecesi (r^2) değeri 96,22 ve hata ortalama kare kökü (RMSEC) değeri ise 0,489 olarak bulunmuştur. Ayrıca, 20 °C'deki katı yağ içerik değerlerinin çapraz doğrulama yöntemi ile tahminlenmesi için, NIR spektrumuna vektör normalleştirme ön işlemi uygulanmış ve 7502-5446,2 cm^{-1} dalga sayısı aralığı kullanılmıştır. Örneklerin 20 °C'deki katı yağ içeriklerinin tahminlenmesi için uygulanan çapraz doğrulama yöntemi doğruluk derecesi (r^2) ve hata ortalama karekökü (RMSEP) değeri sırasıyla 89,29 ve 0,774 olarak bulunmuştur. Örneklerin 20 °C' de NMR spektroskopisi ile belirlenen katı yağ içerik değerleri ile NIR spektroskopisi ile tahminlenen değerleri arasında güçlü bir korelasyon olduğu görülmektedir (Şekil 2a).



Şekil 1. Yağlar (a), jel ajanları (b) ve oluşturulan oleojellere (c) ait NIR spektrumları

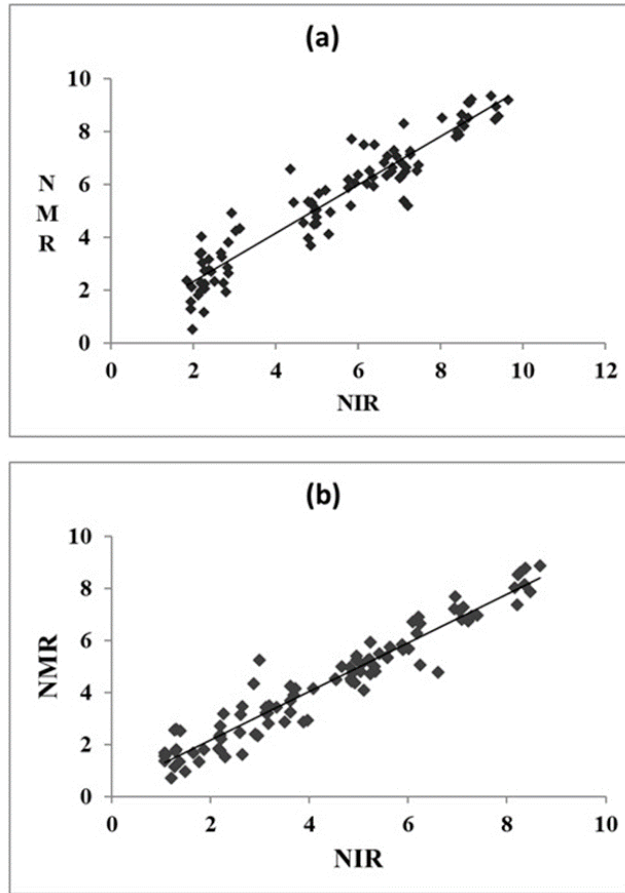
Çizelge 1. Farklı sıcaklıklarda katı yağ içerik değerleri için PLS modellerinin çapraz doğrulama sonuçları

Örnek	Kalibrasyon		Tahmin			Spektral Ön İşlem	Dalga Sayısı Aralığı (cm ⁻¹)	Katı Yağ İçeriği (%)
	r ²	RMSEC	r ²	RMSEP	Rank			
KYİ20	96,22	0,489	89,29	0,774	10	Vektör Normalizasyon	7502-5446,2	1,65-9,84
KYİ20	94,70	0,569	89,11	0,781	7	Çoğullayıcı Dağılım Düzeltmesi (MSC)+ Birinci Türev	7502-6098,1; 5450-4597,7	1,65-9,84
KYİ35	96,43	0,428	92,32	0,601	7	Vektör Normalizasyon	7502-6098,1	1,05-8,77
KYİ35	94,27	0,537	90,54	0,667	5	Vektör Normalizasyon	7502-6472,2	1,05-8,77

KYİ20; 20 °C'deki katı yağ içeriği, KYİ35; 35 °C'deki katı yağ içeriği, RMSEC; kalibrasyon modeli hata kareleri ortalaması, RMSEP; tahminlenen hata kareleri ortalaması

Örneklerin 35 °C'deki katı yağ içeriklerinin belirlenmesi için çapraz doğrulama yöntemi kalibrasyon modeli (r²) değeri 96,43 ve hata ortalama kare kökü (RMSEC) değeri 0,428 olarak bulunmuştur. Katı yağ içerik değerlerinin çapraz doğrulama yöntemi ile tahminlenmesi 20 °C'deki örneklere benzer şekilde vektör normalleştirme ön işlemi uygulanmış NIR spektrumu ve 7502-6098,1 cm⁻¹ dalga sayısı aralığı kullanılmıştır. Örneklerin 35 °C'deki katı yağ içeriklerinin belirlenmesi için çapraz doğrulama yöntemi (r²) değeri 92,32 ve RMSEP değeri ise 0,601 olarak tespit edilmiştir. 20 °C'de elde edilen katı yağ içeriği sonuçlarına benzer olarak NMR spektroskopisi ile belirlenen katı yağ

içerik değerleri ile NIR spektroskopisi ile tahminlenen değerleri arasında güçlü bir korelasyon olduğu görülmektedir (Şekil 2b). Rodrigues ve ark. (2005) tarafından yapılan bir çalışmada palm stearini, hurma çekirdeği yağı ve n-3 çoklu doymamış yağ asitleri ile zenginleştirilmiş trigliserit konsantrelerinden oluşan 128 örneğin farklı sıcaklıklardaki (10, 20 30 ve 35 °C) katı yağ içerikleri NMR ve NIR spektroskopisi ile belirlenmiştir. Çalışmada, birinci türev ön işlem uygulanmış NIR spektrumu ve 9993–4246 ile 8544–8108; 7475–4497 cm^{-1} dalga sayısı aralıkları kullanıldığı bildirilmiştir. Sonuç olarak, NMR spektroskopisi ile belirlenen katı yağ içerik değerleri ile NIR spektroskopisi çapraz doğrulama yöntemi ile tahminlenen değerler arasında güçlü bir korelasyon 10 °C ($R^2 = 0.91$, RMSECV= 2.4), 20 °C ($R^2 = 0.96$, RMSECV= 1.7), 30 °C ($R^2 = 0.96$, RMSECV= 1.3) ve 35 °C ($R^2 = 0.96$, RMSECV= 1.3) olduğu belirtilmiştir (Rodrigues ve ark., 2005). Literatür verileri ile bu çalışmada elde edilen bulgular farklılık göstermektedir. Bu farklılık kullanılan örnekler, sıcaklık değerleri, örneklerin içerdiği katı fraksiyonların farklı olması ile açıklanabilmektedir. Ancak, katı yağ içeriğinin tahminlenmesinde NMR sonuçları ile NIR sonuçları arasında görülen güçlü korelasyon bakımından, literatür bulguları ile çalışma bulgularının örtüştüğü görülmektedir.



Şekil 2. Oleojellerin farklı sıcaklıklardaki katı yağ içeriklerinin çapraz doğrulama sonuçları (a) 20 °C ve (b) 35 °C

Sonuç ve Öneriler

Katı yağ içeriği, bir yağın farklı sıcaklıklardaki katı fraksiyonunun yüzdesi olarak tanımlanmakta olup bu değer margariner, çikolatalar ve şekerleme gibi ürünlerde önem taşımaktadır. Katı yağ içeriğinin belirlenmesinde hâlihazırda kullanılan bir teknik olarak NMR spektroskopisi hasarsız bir teknik olmasına rağmen, örnek hazırlama aşamasının zaman alıcı olması gibi bir olumsuzluğu da bulunmaktadır. Bu yüzden katı yağ içeriğinin belirlenmesinde NIR spektroskopisi kullanımının daha hızlı, kolay ve güvenilir sonuç veren bir teknik olduğu düşünülmektedir.



Kaynaklar

- AOCS, 1989. Official and recommended methods of the American Oil Chemist's Society. AOCS, Champaign, III.
- Bockisch, M. (Ed.), 2015. Fats and Oils Handbook (Nahrungsfette und Öle). Elsevier.
- Christy, A.A., Kasemsumran, S., Du, Y., Ozaki, Y., 2004. The detection and quantification of adulteration in olive oil by near-infrared spectroscopy and chemometrics. *Analytical Sciences*. 20 (6): 935-940.
- Downey, G., McIntyre, P., Davies, A.N., 2003. Geographic classification of extra virgin olive oils from the eastern Mediterranean by chemometric analysis of visible and near-infrared spectroscopic data. *Applied spectroscopy*. 57 (2): 158-163.
- Fiebig, H.J., Lüttke, J., 2003. Solid fat content in fats and oils-determination by pulsed nuclear magnetic resonance spectroscopy [C-IV 3g (2003)]. *European Journal of Lipid Science and Technology*. 105 (7): 377-380.
- Galtier, O., Dupuy, N., Le Dréau, Y., Ollivier, D., Pinatel, C., Kister, J., Artaud, J., 2007. Geographic origins and compositions of virgin olive oils determined by chemometric analysis of NIR spectra. *Analytica chimica acta*. 595 (1-2): 136-144.
- ISO (International Standard). 2008. Animal and vegetable fats and oils-determination of solid fat content by pulsed NMR (no 8292–1). Geneva, Switzerland: ISO Publishing. p 1–5.
- Márquez, A.J., 2003. Monitoring carotenoid and chlorophyll pigments in virgin olive oil by visible-near infrared transmittance spectroscopy. On-line application. *Journal of Near Infrared Spectroscopy*. 11 (3): 219-226.
- Nas, S., Gökalp, H.Y., Ünsal, M., 2001. Bitkisel Yağ Teknolojisi. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Ders Kitapları Yayın. (005).
- Öğütçü, M., Yılmaz, E., 2014. Oleogels of virgin olive oil with carnauba wax and monoglyceride as spreadable products. *Grasas y Aceites*. 65 (3): 040.
- Öğütçü, M., Yılmaz, E., 2015. Comparison of the pomegranate seed oil organogels of carnauba wax and monoglyceride. *Journal of Applied Polymer Science*. DOI:10.1002/APP.41343: 1-8.
- Öğütçü, M., Aydeniz, B., Büyükcın, M.B., Yılmaz, E., 2012. Determining frying oil degradation by near infrared spectroscopy using chemometric techniques. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 89 (10): 1823-1830.
- Rácz, A., Fodor, M., Héberger, K., 2018. Development and comparison of regression models for the determination of quality parameters in margarine spread samples using NIR spectroscopy. *Analytical Methods*. 10 (25): 3089-3099.
- Rodrigues, J.C., Nascimento, A.C., Alves, A., Osório, N.M., Pires, A.S., Gusmão, J.H., Ferreira-Dias, S., 2005. Calibration of near infrared spectroscopy for solid fat content of fat blends analysis using nuclear magnetic resonance data. *Analytica chimica acta*. 544 (1-2): 213-218.
- dos Santos, M.T., Morgavi, P., Le Roux, G.A., 2018. Exploring amazonian fats and oils blends by computational predictions of solid fat content. *OCL*. 25 (1): D107.
- Sato, T., Maw, A.A., Katsuta, M., 2003. NIR reflectance spectroscopic analysis of the FA composition in sesame (*Sesamum indicum* L.) seeds. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 80 (12): 1157-1161.
- Yıldız, G., Wehling, R.L., Cuppet, S.L., 2001. Method for determining oxidation of vegetable oils by near-infrared spectroscopy. *J Am Oil Chem Soc*. 78: 495–502.
- Zhang, Z., Shim, Y.Y., Ma, X., Huang, H., Wang, Y., 2018. Solid fat content and bakery characteristics of interesterified beef tallow-palm mid fraction based margarines. *RSC Advances*. 8 (22): 12390-12399.