

## FOURIER DÖNÜŞÜMLÜ KIZILÖTESİ (FTIR) SPEKTROSKOPİSİ ve GIDA ANALİZLERİNDE KULLANIMI

Tuba Büyüksırtı<sup>1\*</sup>, Hakan Kuleşan<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Hitit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü Çorum

<sup>2</sup>Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Isparta

Geliş tarihi / *Received*: 16.12.2013

Düzeltilerek Geliş tarihi / *Received in revised form*: 06.05.2014

Kabul tarihi / *Accepted*: 07.05.2014

### Özet

Kızılötesi (IR) absorpsiyon spektroskopisi bir tür titreşim spektroskopisidir; IR ışınları molekülün titreşim hareketleri tarafından soğurulmaktadır. Her dalga boyunu ayrı ayrı tarama gerekmeksizin hızlı ve yüksek çözünürlükte spektrumlar elde edilir. Az miktarda örnekle bile kısa sürede sonuç vermektedir. Bilimin bir çok dalında olduğu gibi gıda mühendisliğinde de mikrobiyal hücrelerin tanımlanması, makromoleküllerin yapısal analizi, organik maddelerin kalitatif ve kantitatif analizi, yapılarının aydınlatılması, stereokimyasal özelliklerinin bulunması ve saflık kontrolü gibi amaçlarla kullanılmaktadır.

**Anahtar kelimeler:** FTIR, spektroskopi, kalitatif ve kantitatif analiz.

## FOURIER TRANSFORM INFRARED (FTIR) SPECTROSCOPY and UTILIZATION in FOOD

### Abstract

Infrared (IR) absorption spectroscopy is a kind of vibrational spektroskopi, IR radiation is absorbed by the molecule's vibrational motion. Each wavelength is obtained fast and high resolution spectra without requiring individually scanning. Even a small amounts of sample are given result in a short time. As in many branches of science are used in food engineering for such purposes as identification of microbial cells, the structural analysis of macromolecules, qualitative and quantitative analysis of organic materials, structural identifications, determination of stereochemistry structures and purity control.

**Keywords:** FTIR, spektroskopi, kalitatif ve kantitatif analiz.

\*Yazışmalardan sorumlu yazar / *Corresponding author*;

✉ tubabuyuksirt@hitit.edu.tr, © (+90) 364 227 4535,

☎ (+90) 364 227 4533

## GİRİŞ

Elektromanyetik ışımının organik moleküller tarafından soğurulması, moleküldeki atomların türüne, düzenlenmesine, moleküllerin şekline, büyüklüğüne bağlı olduğundan spektroskopik yöntemler, organik maddelerin kalitatif ve kantitatif analizi, yapılarının aydınlatılması, stereokimyasal özelliklerinin bulunması ve saflık kontrolü gibi çok geniş alanda uygulanmaktadır (1, 2). FTIR çeşitli mikroorganizmaların kimyasal bileşimini karakterize etmek için kullanılabilir hızlı, güvenilir, hassas ve ucuz bir tekniktir (3). Birçok FTIR çalışması grafiklerle desteklenerek spektral veri analizi yapılmaktadır (4).

Bu çalışmanın amacı, FTIR spektroskopisi ve bu yöntemin gıda alanında özellikle mikrobiyoloji çalışmalarında uygulanması hakkında bilgi vermektir. Derlemede, mikroorganizmaların ve mikroorganizmalar tarafından üretilen organik maddelerin tanımlanmasına yönelik çalışmalara değinilmiştir.

## FTIR SPEKTROSKOPİSİ

### Fourier Transform Infrared Spektroskopisi

Kızılötesi (IR) spektroskopisi, organik veya inorganik bileşiklerin karakterize edilmesinde kullanılan bir araçtır (5). IR spektrumu, maddeyi oluşturan atomlar arasındaki bağların titreşimiyle oluşan frekanslarına karşılık gelen absorpsiyon pikleri ile örneğin parmak izini göstermektedir (6). Her maddenin kendine has bir spektrumu vardır. Bunun tek istisnası optik izomerlerdir. Organik madde spektrumlarının özellikle de 2000  $\text{cm}^{-1}$  den sonra gelen kısmı daha ayrıntılıdır. Bu bölgeye parmak izi bölgesi denir ve spektrumu iki kat genişleterek alınır. Böylece madde hakkında daha ayrıntılı bilgi elde edilmektedir (7). Veri, farklı moleküler bağlardan kaynaklanan farklı titreşim frekanslarını temsil eder. (4).

### FTIR Spektroskopisinin Avantajları

FTIR sadece mikrobiyal hücrelerin tanımlanmasında (fenotip, tür, alt-tür, patojenite, direnç vb.) değil aynı zamanda makromoleküllerin yapısal analizinde (doğallık, miktar ve moleküler bağların konformasyonu) de kullanılmaktadır (8). Geniş spektrum elde edildiği için uygulama alanları (gıda, tarım, tıp, biyomedikal uygulamalar, kimya)

geniştir (9). Kalibrasyon kaydı, analiz sonuçlarının doğru, güvenilir ve kalite güvencesi sağlamaktadır. Tek tuşla kalibrasyon yapılmaktadır (10). Örneğe zarar vermeden ve hızlı sonuç elde edilmesi geleneksel FTIR kullanımını yaygınlaştırmıştır (6). Örneğe ön ısıtma yapılabilmektedir ve ayar gerektirmeden otomatik olarak kendini temizlemektedir (10). FTIR spektroskopisi doğrudan ve geri dönüşlü bir yöntemdir. Az miktarda örnekle kısa sürede sonuç vermektedir (11).

FTIR spektroskopisi katı, sıvı ve gaz örneklerin analizinde kullanılmaktadır. FTIR analizi yapılması planlanan katı örnekler için üç farklı hazırlama tekniği kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden ilkinde örnek KBr (130 °C' de 4 saat kurutulmuş (12) elde edilen) ile karıştırılarak ince disk haline getirilmektedir. İkinci teknikte ise KBr kullanılmaksızın örneğin kendisi ince bir film haline getirilmektedir. Üçüncü yöntem olan solüsyon tekniğinde ise örnek bir çözgen içerisinde çözülerek analize hazırlanmaktadır (13). İnce film veya disk tekniğinde film formuna getirilmiş maddelerin kalitatif ve kantitatif analizi yapılmaktadır. Solüsyon tekniğinde ise çözünmüş maddelerin kalitatif analizi yapılabilmektedir (2, 14).

Gıdalar temel olarak yağlar, proteinler, karbonhidratlar ve sudan oluşurlar ki bunların hepsi de infrared spektruma katkıda bulunurlar. Karakteristik absorpsiyon bandları ile gıda bileşenleri arasında ilişkiler kurulabilmektedir (15,16). Farklı gruplardan kaynaklanan NH, OH, CH, C = O, C = C ve C = N bantları kilit bantları olarak adlandırılır (17). Karbonil ester ve CH yağları; amid grubu proteinleri; COH grupları karbonhidratları ve HOH bağlanması da su absorpsiyonunu göstermektedir. Su, IR spektrumunda spektrumdan rahatlıkla çıkarılabilir veya oranlanabilir (15).

Süt endüstrisinde süt bileşenlerinin geleneksel analitik yöntemlerle analizi, zaman alıcı ve pahalı olduğundan enstrümantal yöntemler geliştirilmiştir (18). FTIR-ATR protein haritalama tekniğinin, süt endüstrisinde membran modüllerinin belirlenmesi için kullanılabilir güvenilir bir yöntem olduğu belirlenmiştir (19).

Avrupa da ekonomik ve besleyici olması için yağlara katılan ama %50'den fazla olunca ticari olarak etikette belirtilen zeytin yağı miktarının

tespitinde FTIR spektroskopisi ile en küçük kareler regresyon analizine (PLSDA) dayalı yöntem kullanılarak zeytin yağı hem saf yağ örneğinden hem de diğer yağ karışımlarından ayrılmıştır (20). Aynı zamanda tüketilebilir katı ve sıvı yağların ayrılmasında spektroskopik yöntemlerin performansları karşılaştırılmıştır. Tüketilebilir katı ve sıvı yağlar ve doymamışlık bağları (C-C) IR spektrumları diskriminant analizde kullanılmak için tanımlanmıştır. FTIR spektroskopisi sıvı ve katı yağların sınıflandırılmasında %98 etkili olduğu tespit edilmiştir (21). Zeytinyağının, ayçiçek-mısır yağları karışımı, pamuk ve kolza yağları ile tağışı, FTIR verilerinin kemometrik yöntemlerle değerlendirilmesi sonucu tespit edilmiştir (22). Palm yağı karıştırılmış sahte sızma zeytinyağında saf ve karıştırılmış örnekler FTIR spektrumlarına dayalı diskriminant analizi ile sınıflandırılmıştır (23).

### **FTIR SPEKTROSKOPİSİNİN KULLANIM ALANLARI**

Fourier transform infrared (FTIR) spektroskopisi, gıda endüstrisinde kantitatif bir kontrol yöntemi olarak önemli bir potansiyele sahiptir ve çeşitli gıdalarda kimlik doğrulama ve tağış sorunları çözmek için bugüne kadar başarıyla kullanılmıştır (24, 25). Hücreleri oluşturan temel biyomoleküller hakkında bilgi vermektedir (26). Proteinleri oluşturan amino asitleri, kofaktör, redoks reaksiyonu, reaksiyona katılan enzimlerin oluşumu ve bağların yapısal değişikliklerini incelemek için kullanılan bir tekniktir (27).

### **FTIR Spektroskopisi ile Organik Maddelerin Tanımlanması**

FTIR kimyasal sınıfların (yağ asitleri, proteinler, karbohidratlar, nükleik asitler ve polisakkaridler) belirlenmesi ve bileşik yapıların aydınlatılması için en çok kullanılan yöntemlerden biridir (28, 29). Bu teknik gıda bozulmalarının belirlenmesi, patojenlerin tespiti ve stres koşullarında bakterilerdeki yapısal değişikliklerin çalışılması gibi kompozisyon analizinde ve gıda kalite kontrolünde kullanılmaktadır. Yağ asitleri, membran ve intraselüler proteinler, polisakkaritler ve nükleik asitler gibi hücre bileşenlerinin spektral karakterlerini göstermektedir (30). Renk maddelerinin yapılarının ortaya konması ve

karakterize edilmesi amacıyla kullanılmıştır (31-33). FTIR teknikleri melanin pigment yapısında ana fonksiyonel gruplar hakkında bilgi vermiştir (34). Antosiyaninlerin 1630-1640  $\text{cm}^{-1}$  aralığında pik oluşturduğu belirlenmiştir (35).

Birçok alanda özellikle biyolojik bilimlerde DNA'nın yapısının belirlenmesi önem arz etmektedir. Gen terapisi ve genetik mühendisliği çalışmalarında ortamın elektriksel (kasyonik) yapısının değiştirilmesinin DNA aktarımlarının (transformasyonların) gerçekleşmesinde önemli bir rol oynadığı belirlenmiştir. Bu tarz farklı elektriksel yüklere sahip ortamlarda DNA'da oluşan şekilsel farklılıkların belirlenmesinde FTIR tekniği pratik bir uygulama olarak kullanılmaktadır. (36).

FTIR spektroskopisi ile kinonların IR titreşim bantları ölçülmüştür ve kinon türleri yapısal olarak açıklanmıştır (37). İki hidrojen bağı olan karboksilik asitlerin C=O bantları 1703-1710  $\text{cm}^{-1}$  aralığında görüldüğü bildirilmiştir ve bu aralık içinde bir grubun daha önce karboksilik asit grubundan kaynaklandığı öne sürülmüştür (27). Gallik asitin, FTIR spektroskopisi ile analizi yapıldığında 407.05, 960.40, 931.51, 865.75, 639.70, 509.58, 420.99, 153.78, 97.08, 777.58, 663.54, 601.28, 462.89  $\text{cm}^{-1}$  aralığında pik oluşturduğu görülmektedir (38). FTIR yöntemi soya proteininin konformasyonunu incelemek için kullanılmıştır. Soya fasulyesi proteinleri ekstraksiyon yöntemine göre 400-4000  $\text{cm}^{-1}$  aralığında sinyal yoğunluğunda ve/veya IR bantlarının konumunda değişiklik göstermiştir (39). Bir başka çalışmada ise serum albumin ve globulin fraksiyonlarının pH ve sıcaklığa karşı duyarlılığı FTIR ile belirlenmiştir (40).

FTIR analizi tarçın kabukları uçucu bileşiklerinin tespitinde kullanılmıştır. Dokuz numunenin uçucu yağ ana bileşiminin (%66,28-81,97) trans-sinamaldehit olduğunu göstermiştir. Hiyerarşik kümeleme analizi, benzerlik değerlendirme ve temel bileşenler analizi dokuz örnekten etkin tanımlama ve değerlendirme imkanı sağlamıştır (41).

Kırmızı şaraptaki toplam antioksidan kapasitenin belirlenmesi için FTIR kullanılmıştır. 83 farklı kırmızı şarap örneğinin FTIR spektrumu, karakteristik parmak izi bölgesini 965-1543  $\text{cm}^{-1}$  aralığında göstermiştir. Genellikle kırmızı şaraplarda çeşitli antioksidanlar (örneğin; resveratrol,  $\text{SO}_2$ , askorbik

asit, polisakaritler) FTIR hassasiyetinin altındaki konsantrasyonda bulunmakta ve bunların toplam katkısı Y - Varyans (%44) ile tahmin edilmiştir (42).

Hidrojen peroksit tayininde basit ve hızlı bir yöntem olan FTIR spektroskopisi kullanılmıştır. NaCl pencerede  $669.18 \text{ cm}^{-1}$  ve KBr pencerede  $418.48 \text{ cm}^{-1}$ 'de pik görülmüştür. Askorbik asit, riboflavin ve sitrat bufferdan oluşan 0.1M konsantrasyonundaki çözeltide  $10^{-4}$  M hidrojen peroksit belirlenmiştir. Bu yöntem, sulu çözelti içinde hidrojen peroksit miktarının belirlenmesini sağlamıştır (43).

### **FTIR Spektroskopisi ile Mikroorganizmaların Tanımlanması**

Spektroskopik yöntemler, moleküler yöntemlerin ötesinde suşları karşılaştırmak için ileri sürülmüştür. FTIR spektrumları tür ve alt tür seviyesinde mikroorganizmaların spektroskopik parmak izini belirlemektedir (8, 44). Ayrıca iyi karakterize edilmiş mikroorganizmalar için geniş spektral kütüphanelerin oluşturulması tür ya da alt tür düzeyinde bilinmeyen izolatların belirlenmesini mümkün kılmaktadır (17). Bakterilerin FTIR spektrumları belirli bir suş için özeldir. Ayrıca FTIR tekniği, mayaların yanı sıra çeşitli patojen ve bozulmaya neden olan bakterilerin tanımlanmasında da uygulanmıştır (3, 45).

Bir bakteri hücrelerinin belirli bileşenlerinin özgül absorpsiyon bantlarıyla örtüşmesi sınırlıdır. Mikroorganizmaların spektrumları arasındaki farkları gözle belirlemek zordur ve bu nedenle istatistiksel yöntemler kullanılmaktadır. İstatistiksel yöntemler kontrollü ve denetimsiz yöntemler olarak iki gruba ayrılmıştır (30). Kontrollü yöntemler, mikroorganizmalara ait ışık dizileri arasındaki benzerlikleri göstererek mikroorganizmaların tanımlanmasını sağlamaktadır. Bu amaçla hiyerarşik kümeleme analizi (HCA), temel bileşen analizi (PCA), uyum analizi (CA) ve aritmetik ortalamaya dayalı ağırlıksız eşleştirme yöntemi (UPGMA) gibi yöntemlerden yararlanılmaktadır. Denetimsiz yöntemlerde ise önce her ışık dizisi belirli bir sınıfa dahil edilir, böylece kalitatif veriler kantitatif spektral verilere eklenir. Daha sonra elde edilen spektral verilerle oluşturulan sınıflar arasındaki ilişkinin aydınlatılmasına çalışılır (46). Bu yöntemler, çalışılan mikroorganizmalar hakkında bir ön bilgi ile bakteri suşlarının ve gruplarının ayrılmasında

kullanılmaktadır. Bu sayede, bakterinin küçük spektral mesafe de bulunan ama bilinmeyen FTIR spektrumları tahmin edilebilmektedir (47).

FTIR spektroskopisi ile bilgisayar tabanlı teknik kullanılarak bakteri örneklerinin sınıflandırılması ve tanımlanması yapılmıştır. On dört türe ait referans spektrumu içeren veri tabanı oluşturulmuş ve *Staphylococcus*, *Streptococcus*, *Clostridium*, *Legionella* ve *Escherichia coli*'nin seçilmiş suşları tanımlanmıştır (48).

Fenotipik, fiziksel (FTIR spektroskopisi) ve moleküler yöntemleri geleneksel Gravyer peynirinden izole edilen laktik asit bakterilerine uygulanmıştır. Peynir örneğindeki yaygın olan LAB türlerinin *Lactobacillus casei/paracasei* (%68.8), *Lactobacillus plantarum* (19.5%), *Streptococcus thermophilus* (8.9%), *Enterococcus faecium* (2.1%) ve *Lactococcus lactis* (0.7%) olduğu belirtilmiştir (49). Dört yakın akraba laktobasil türleri olan *L. sakei*, *L. plantarum*, *L. curvatus* ve *L. paracasei*'nin 56 suşu kullanılarak FTIR spektroskopisi ile analizi yapılmıştır. Bu çalışma ile FTIR spektroskopisinin hem büyük veri kümesi hem de laktobasillerin tür düzeyinde tanımlanması için son derece uygun olduğu bildirilmiştir (50).

Bir çalışmada hiyerarşik düzenlenmiş modelden *Pseudomonas*'nin 42 farklı suşu, *Bacillus*'un 33 suşu, *Staphylococcus*'un 46 suşu ve maya türü olan *Candida*'nın 24 suşu ve 6 türünden oluşan dört mikroorganizma türü ayırt edilmiştir. *Candida albicans* türleri antibiyotige karşı duyarlılıklarına göre sınıflandırılmıştır (51). Fourier Transform Kızılötesi fenotipik yaklaşımıyla hastalardan 29 *Candida glabrata* suşu izole edilmiştir. 16 suş arasından en iyi ayrımı yapacak spektrum penceresi belirlenmiştir. Bulunan bölgelerde spektral ölçümler alınmış ve tanımlama yapılmıştır (8). Ayrıca *Saccharomyces cerevisiae*, *Debaryomyces hansenii* ve *Rhodotorula minuta* türüne ait suşların kirlenme tahmini için FTIR kullanılmıştır (52). Sığır tüberkülozu etkeni olan *Mycobacterium bovis*'in tanısında FTIR kullanılmıştır (53).

Gıda güvenliği ile ilgili büyük bir endişe oluşturan yaygın gıda kaynaklı patojen *Listeria monocytogenes* alt tiplerinin serotip ve haplotip seviyelerinde belirlenmesi için FTIR yansıma mikroskopu kullanılabilen bir yöntem geliştirilmiştir. Dört farklı PCR serotiplerine (1/2a, 1/2B, 4b, 4c ve) ait *L. monocytogenes*'in otuz suşunun FTIR

tabanlı tanımlama ve sınıflandırması yapılmıştır. Spektrumların kanonik değişken analizi (CVA) ile serotip düzeyinde tanımlamasının % 96.6 ve hiyerarşik kümeleme analizi (HCA) ile haplotip düzeyde % 91,7 doğru olduğu görülmüştür (17).

Bir çalışmada, FTIR spektroskopisi (fonksiyonel gruplara göre, 3500-500 cm<sup>-1</sup> spektral aralığı) farklı mikotoksin üretme kapasitesine sahip cinsleri (Özellikle *Aspergillus* sp. ve *Mucor* sp.) ayırt etmek için kullanılmıştır. Mikotoksin üretebilen küf suşlarının her biri için uygun bir "parmak izi" elde edilmiştir. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar, FTIR'ın mikotoksin üretme yeteneğine sahip küflerde kalıp belirlenmesi için büyük bir potansiyel olduğunu göstermiştir (3).

## SONUÇ

Teknolojinin gelişmesiyle bilimde geleneksel yöntemlerin yerini modern yöntemler almıştır. Mikrobiyel hücrelerin tanımlanması, makromoleküllerin yapısal analizi, organik maddelerin kalitatif ve kantitatif analizi, yapılarının aydınlatılması, stereokimyasal özelliklerinin bulunması ve saflık kontrolü gibi bilimin bir çok alanında FTIR spektroskopisi kullanım olanağı bulmuştur. Yapılan çalışmalarla FTIR spektroskopisinin gıda, tarım, tıp, biyomedikal uygulamalar, kimya gibi bir çok alanda kullanılabileceği kanıtlanmıştır.

## KAYNAKLAR

1. Erdik E. 1993. *Organik Kimyada Spektroskopik Yöntemler*. Gazi Kitabevi, ISBN: 975-7373-04-1, 531s., Ankara.
2. Doğan A, Siyakus G, Severcan F. 2007. FTIR spectroscopic characterization of irradiated hazelnut (*Corylus avellana* L.). *Food Chem*, 100 (2007) 1106-1114.
3. Bhat R. 2011. Potential use of fourier transform infrared spectroscopy for identification of molds capable of producing mycotoxins. *Int J Food Prop*, vol:14, is:6.
4. Ergin Ç, İlkit M, Gök Y, Özel MZ, Çon AH, Kabay N, Söyleyici S, Döğen A. 2013. Fourier transform infrared spectral evaluation for the differentiation of clinically relevant Trichophyton species. *J Microbiol Methods*, 93 (2013) 218-223.
5. Ono D, Bamba T, Oku Y, Yonetani T, Fukusaki E. 2011. Application of Fourier transform near-infrared spectroscopy to optimization of green tea steaming process conditions. *J Biosci Bioeng*, vol:112 No. 3, 247-251.
6. Lin SY, Wang SL. 2011. Advances in simultaneous DSC-FTIR microspectroscopy for rapid solid-state chemical stability studies: Some dipeptide drugs as examples. *Adv Drug Delivery Rev*, 64 (2012) 461-478.
7. Gündüz T. 2001. *İnstrümental Analiz*. Gazi Kitabevi, ISBN: 978-975-7313-43-4, 1357 s., Ekim 2007, Ankara.
8. Essendoubi M, Toubas D, Lepouse C, Leon A, Bourgeade F, Pinon JM, Manfait M, Sockalingum GD. 2007. Epidemiological investigation and typing of *Candida glabrata* clinical isolates by FTIR spectroscopy. *J Microbiol Methods*, 71 (2007) 325-331.
9. Kane SR, Ashby PD, Pruitt LA. 2008. ATR-FTIR as a Thickness Measurement Technique for Hydrated Polymer-on-Polymer Coatings. *Wiley InterSci*, DOI: 10.1002/jbm.b.31436.
10. Anon 2012. NOACK Group of Companies. LactoScope FTIR Advanced Infra-red high precision analyser for milk & dairy products.
11. Gómez-Ordó ez E, Rupérez P. 2010. FTIR-ATR spectroscopy as a tool for polysaccharide identification in edible brown and red seaweeds. *Food Hydrocoll*, 25 (2011) 1514-1520.
12. Zhang Q, Liu C, Sun Z, Hu X, Shen Q, Wu J. 2012. Authentication of edible vegetable oils adulterated with used frying oil by Fourier Transform Infrared Spectroscopy. *Food Chem*, 132 (2012) 1607-1613.
13. Mak YW, Chuah LO, Ahmad R, Bhat R. 2013. Antioxidant and antibacterial activities of Hibiscus (*Hibiscus rosa-sinensis* L.) and Cassia (*Senna bicapsularis* L.) flower extracts. *J King Saud Univ Sci*.
14. Anon 2010. JASCO FTIR Seminar. <http://www.jasco.hu/konyvtar/FT-IR-Grundl.-Seminar.pdf>.
15. Erkahveci A, Karaali A. 1996. Fourier Transform Infrared (FTIR) Spektroskopinin Gıda Analizlerine Uygulanması. *GIDA* (1996) 21 (5): 337-345.

16. Konwar M, Baruah GD. 2011. On the nature of vibrational bands in the FTIR spectra of medicinal plant leaves. *Scholars Research Library, Archives of Applied Science Research*, 2011, 3 (1): 214-221.
17. Davis R, Mauer LJ. 2011. Subtyping of *Listeria monocytogenes* at the haplotype level by Fourier transform infrared (FT-IR) spectroscopy and multivariate statistical analysis. *Int J Food Microbiol*, 150 (2011) 140-149.
18. Öner Z. 2009. Süt ve Süt Ürünlerinin Kimyasal Analizinde Infrared Yöntemlerin Kullanımı. *Süt Dünyası, Süt Ürünleri ve Teknolojileri Dergisi*, ocak-şubat 2009, yıl:3 sayı:18.
19. Delaunay D, Rabiller-Baudry M, Goz'alvez-Zafrilla JM, Balannec B, Frappart M, Paugam L. 2006. Mapping of protein fouling by FTIR-ATR as experimental tool to study membrane fouling and fluid velocity profile in various geometries and validation by CFD simulation. *Chem Eng Process*, 47 (2008) 1106-1117.
20. Mata P, Dominguez-Vidal A, Bosque-Sendra JM, Ruiz-Medina A, Cuadros-Rodríguez L, Ayora-Cada MJ. 2011. Olive oil assessment in edible oil blends by means of ATR-FTIR and chemometrics. *Food Control*, 23 (2012) 449-455.
21. Yang H, Irudayaraj J, Paradkar MM. 2004. Discriminant analysis of edible oils and fats by FTIR, FT-NIR and FT-Raman spectroscopy. *Food Chem*, 93 (2005) 25-32.
22. Gürdeniz G, Tokatlı F, Özen B. 2008. Zeytinyağında Tağsis Tespiti için Fourier Dönüşümlü Kızıl Ötesi (FTIR) Spektroskopisi Kullanımı. Türkiye 10. Gıda Kongresi; 21-23 Mayıs 2008, Erzurum.
23. Rohman A, Che Man YB. 2009. Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy for analysis of extra virgin olive oil adulterated with palm oil. *Food Res Int*, 43 (2010) 886-892.
24. Papadopoulou O, Panagou EZ, Tassou CC, Nychas GJE. 2011. Contribution of Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy data on the quantitative determination of minced pork meat spoilage. *Food Res Int*, 44 (2011) 3264-3271.
25. Reis N, Franca AS, Oliveira LS. 2013. Performance of diffuse reflectance infrared Fourier transform spectroscopy and chemometrics for detection of multiple adulterants in roasted and ground coffee. *LWT - Food Sci Technol*, 53 (2013) 395-401.
26. Mecozzi M, Pietroletti M, Tornambe A. 2011. Molecular and structural characteristics in toxic algae cultures of *Ostreopsis ovata* and *Ostreopsis* spp. evidenced by FTIR and FTNIR spectroscopy. *Spectrochim Acta Part A Mol Biomol Spectrosc*, 78 (2011) 1572-1580.
27. Iwaki M, Cotton PJ, Quirk PG, Rich PR, Jackson JB. 2005. Molecular Recognition between Protein and Nicotinamide Dinucleotide in Intact, Proton-Translocating Transhydrogenase Studied by ATR-FTIR Spectroscopy. *JACS Articles*, Published on Web 02/04/2006.
28. Adiana MA, Mazura MP. 2011. Study on *Senna alata* and its different extracts by Fourier transform infrared spectroscopy and two-dimensional correlation infrared spectroscopy. *J Mol Struct*, 991 (2011) 84-91.
29. Dole MN, Patel PA, Sawant SD, Shedpure PS. 2011. Advance Applications Of Fourier Transform Infrared Spectroscopy. *Int J Pharm Sci Rev Res*, Volume 7, Issue 2, March – April 2011; Article-029.
30. Dziuba B, Babuchowski A, Nalecz D, Niklewicz M. 2005. Identification of lactic acid bacteria using FTIR spectroscopy and cluster analysis. *Int Dairy J*, 17 (2007) 183-189.
31. Mukherjee G, Singh SK. 2011. Purification and characterization of a new red pigment from *Monascus purpureus* in submerged fermentation. *Process Biochem*, 46 (2011) 188-192.
32. Deveoğlu O, Çakmakçı E, Taşköprü T, Torgan E, Karadağ R. 2012. Identification by RP-HPLC-DAD, FTIR, TGA and FESEM-EDAX of natural pigments prepared from *Datisca cannabina* L.. *Dyes and Pigments*, 94 (2012) 437-442.
33. Büyüksırt T, Kuleaşan H. 2013. Farklı kaynaklardan doğal renk maddesi üreten mikroorganizmaların izolasyonu, tanısı ve elde edilen pigmentlerin karakterizasyonu. *GIDA* (2013) 38 (4): 199-206.

34. Tan M, Gan D, Wei L, Pan Y, Tang S, Wang H. 2011. Isolation and characterization of pigment from *Cinnamomum burmannii* peel. *Food Res Int*, 44 (2011) 2289-2294.
35. Pappas CS, Takidelli C, Tsantili E, Tarantilis PA, Polissiou MG. 2011. Quantitative determination of anthocyanins in three sweet cherry varieties using diffuse reflectance infrared Fourier transform spectroscopy. *J Food Compos Anal*, 24 (2011) 17-21.
36. Abu-Teir V, Abu-Taha M, Al-Jamal A, Eideh H. 2008. DNA Infrared Absorbency Detection using Photopyroelectric Technique and FTIR Spectroscopy. *J Appl Biol Sci*, 2 (3): 113-119, 2008 ISSN: 1307-1130.
37. Büschel M, Stadler C, Lambert C, Beck M, Daub J. 1999. Heterocyclic quinones as core units for redox switches: UV-vis/NIR, FTIR spectroelectrochemistry and DFT calculations on the vibrational and electronic structure of the radical anions. *J Electroanal Chem*, 484 (2000) 24-32.
38. Meenakshi S, Umayaparvathi S, Arumugam M, Balasubramanian T. 2011. In vitro antioxidant properties and FTIR analysis of two seaweeds of Gulf of Mannar. *Asian Pac J Tropical Biomed*, (2012)S66-S70.
39. Chen X, Ru Y, Chen F, Wang X, Zhao X, Ao Q. 2013. FTIR spectroscopic characterization of soy proteins obtained through AOT reverse micelles. *Food Hydrocoll*, 31 (2013) 435-437.
40. Saguer E, Alvarez PA, Sedman J, Ramaswamy HS, Ismail AA. 2009. Heat-induced gel formation of plasma proteins: New insights by FTIR 2D correlation spectroscopy. *Food Hydrocoll*, 23 (2009) 874-879.
41. Li Y, Kong D, Wu H. 2013. Analysis and evaluation of essential oil components of cinnamon barks using GC-MS and FTIR spectroscopy. *Ind Crops Prod*, 41 (2013) 269-278.
42. Versari A, Parpinello GP, Scazzina F, Del Rio D. 2010. Prediction of total antioxidant capacity of red wine by Fourier transform infrared spectroscopy. *Food Control*, 21 (2010) 786-789.
43. Şansal Ü, Somer G. 1999. Detection of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> in food samples by FTIR. *Food Chem*, 65(1999) 259-261.
44. Duygu Yalçın D, Baykal T, Açıköz İ, Yıldız K. 2009. Fourier Transform Infrared (FT-IR) Spectroscopy for Biological Studies. *G.U. J Sci*, 22(3): 117-121.
45. Santos C, Fraga ME, Kozakiewicz Z, Lima N. 2010. Fourier transform infrared as a powerful technique for the identification and characterization of filamentous fungi and yeasts. *Res Microbiol*, 161, 168-175.
46. Başıyigit Kılıç G, Karahan AG. 2010. Fourier Dönüşümlü Kızılötesi (FTIR) Spektroskopisi ve Laktik Asit Bakterilerinin Tanısında Kullanılması. *GIDA*, (2010) 35 (6): 445-452.
47. Preisner OE, Menezes JC, Guiomar R, Machado J, Lopes JA. 2012. Discrimination of Salmonella enterica serotypes by Fourier transform infrared spectroscopy. *Food Res Int*, 45 (2012) 1058-1064.
48. Helm D, Labischinski H, Schallehn G, Naumann D. 1991. Classification and identification of bacteria by Fourier-transform infrared spectroscopy. *J Gen Microbiol*, (137)1: 69-79.
49. Samelis J, Bleicher A, Delbès-Paus C, Kakouri A, Neuhaus K, Montel MC. 2011. FTIR-based polyphasic identification of lactic acid bacteria isolated from traditional Greek Graviera cheese. *Food Microbiol*, 28 (2011) 76-83.
50. Oust A, M retr T, Kirschner C, Narvhus JA, Kohler A. 2004. FT-IR spectroscopy for identification of closely related lactobacilli. *J Microbiol Meth*, 59, 149-162.
51. Udelhoven T, Naumann D, Schmitt J. 2000. Development of a hierarchical classification system with artificial neural networks and FT-IR spectra for the identification of bacteria. *Appl. Spectrosc*, 54, 1471-1479.
52. Rellini P, Roscini L, Fatichenti F, Morini P, Cardinali G. 2009. Direct spectroscopic (FTIR) detection of intraspecific binary contaminations in yeast cultures. *FEMS Yeast Res*, 9 (2009) 460-467.
53. Winder CL, Gordon SV, Dale J, Hewinson RG, Goo-dacre R. 2006. Metabolic fingerprints of Mycobacterium bovis cluster with molecular type: implications for genotype-phenotypelinks. *Microbiol*, 152, 2757-2765.