



Kızılötesi (IR) Spektroskopinin Et ve Et Ürünlerinde Kullanımı

Infrared Spectroscopy In Meat and Meat Products

Batuhan TARCAN^{1*}, Özlem KÜPLÜLÜ²

¹Et ve Süt Kurumu Genel Müdürlüğü / Ankara

²Ankara Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Gıda Hijyeni ve Teknolojisi AD / Ankara

¹ORCID : 0000-0002-9724-7450, ²ORCID: 0000-0002-1559-2390

*Sorumlu Yazar : batuhan.tarcan@esk.gov.tr

Geliş Tarihi : 14.12.2020 Kabul Tarihi : 18.03.2021

ÖZET

Son derece kompleks yapıya sahip gıdalar çok çeşitli nedenlerden dolayı analiz edilmek durumundadırlar. Yasa yapıcılar gıdaların Türk Gıda Kodeksine ve ilgili yönetmeliklere ve kalite parametrelerine uygunluğunun kontrolü için analizleri gerçekleştirmektedir. Analizin amacı haksız ekonomik kazancın ve tüketicilere muhtemel bir zararın oluşmasının önüne geçmektir. Bunun yanında gıda analizleri gıda üreticileri için de oldukça önemlidir. Gıda üreticileri ham maddelerin ve ürettikleri gıdaların depolama, üretim ve sevkiyat aşamalarında istenilen kalite özelliklerini taşıdıklarından emin olmak için bu analizleri gerçekleştirmektedirler. Gıda ile ilgili akademik çalışmalar ise sürekli yeni ve daha kolay uygulanabilir yöntemlerin geliştirilmesi, tüketici haklarının korunması, gıdanın içerdiği bileşiklerin detaylı bir şekilde ortaya konması ve ekonomik değeri yükseltilmiş yeni gıdaların üretilmeleri yönündedir. Son yıllarda tüketiciler de gıdaların kalitelerinin analitik olarak tespit edilmeleri hususunda daha talepkâr duruma gelmişlerdir. Bu durumun oluşmasında gıda kökenli skandalların kitle iletişim araçlarında sıkça yer almaları da etkili olmuştur. Gıdaların hızlı analizlerinde başlıca iki yaklaşım bulunmaktadır. Bunlardan ilki gıdaların fiziksel özelliklerinin bir bilgi kaynağı olarak kullanmak, diğeri ise kimyasal metotların otomatize edilmesidir. Gıdaların fiziksel özelliklerine dayanan hızlı analiz yöntemlerinin büyük bir çoğunluğu spektroskopik yöntemlere dayanmaktadır. Kızılötesi spektroskopi de bu yöntemlerden biridir.

Anahtar kelimeler: Et ürünleri, Gıda analizi, Kızılötesi ışınları

ABSTRACT

Foods, which have the highest physical and chemical complex structure have to be analyzed for a variety of reasons. Legal authorities carry out analyzes to check whether foods comply with the regulations in the codex. The aim is to prevent unfair economic gain and the possibility of damaging consumers. Besides food analysis are also important for food manufacturers. They carry out these analyzes to ensure that the raw materials and the foods they produce meet the desired quality characteristics during the storage, production and shipping

stages. Academic studies on food are in the direction of developing new and more easily applicable analysis methods, preventing the above-mentioned unwanted situations, elaborating the compounds contained in food and producing new foods with high economic value. In recent years, consumers have also become more demanding for the analytical determination of the quality of food. The frequent occurrence of food scandals in the press might be the cause of this situation. So, the rapid analysis of foods has gained importance in recent years. There are two main approaches to rapid analysis of foods. The first is to use the physical properties of foods as a source of information, the other one is to automate chemical methods. Most of the rapid analysis methods based on physical properties of foods are based on spectroscopic methods. Infrared spectroscopy is one of those spectroscopic methods.

Keywords: Food analysis, Infrared rays, Meat products

GİRİŞ

Et ve et ürünleri, yapısında başta protein, lipit ve diğer makro ve mikro besin ögesi içeriğinin heterojen ve komplike olması biyolojik, kimyasal ve fiziksel niteliklerinin kalite parametreleri açısından standartların karşılanması, ayrıca gıda güvenliği gibi unsurlara da sahip olmalı üretimde günümüzde vazgeçilmez bir unsur olarak karşımıza çıkmaktadır.

Bu kompleks yapıya sahip gıdalar çok çeşitli nedenlerden dolayı analiz edilmek durumundadırlar. Yasal merciler gıdaların kodekse, yönetmeliklere uygun olup olmadığının kontrolü için analizleri gerçekleştirmektedir. Buradaki amaç haksız ekonomik kazancın ve tüketicilere muhtemel bir zararın oluşmasının önüne geçmektir. Bunun yanında gıda analizleri gıda üreticileri için de oldukça önemlidir. Gıda üreticileri ham maddelerin ve ürettikleri gıdaların depolama, üretim ve sevkiyat aşamalarında istenilen kalite özelliklerini taşıdıklarından emin olmak için bu analizleri gerçekleştirmektedirler. Gıda ile ilgili akademik çalışmalar ise sürekli yeni ve daha kolay uygulanabilir yöntemlerin geliştirilmesi, yukarıda bahsedilen

istenmeyen durumların engellenmesi, gıdanın içerdiği bileşiklerin detaylı bir şekilde ortaya konması ve ekonomik değeri yükseltilmiş yeni gıdaların üretilmeleri yönündedir. Son yıllarda tüketiciler de gıdaların kalitelerinin analitik olarak tespit edilmeleri hususunda daha talepkâr duruma geçmişlerdir. Bu durumun oluşmasında gıda kökenli skandalların kitle iletişim araçlarında sıkça yer almaları da etkili olmuştur (Pico, 2012). Gıdaların hızlı bir şekilde analiz edilmeleri konusu son yıllarda önem kazanmıştır. Gıdaların hızlı analizlerinde başlıca iki yaklaşım bulunmaktadır. Bunlardan ilki gıdaların fiziksel özelliklerinin bir bilgi kaynağı olarak kullanmak, diğeri ise kimyasal metotların otomatize edilmesidir. Gıdaların fiziksel özelliklerine dayanan hızlı analiz yöntemlerinin büyük bir çoğunluğu spektroskopik yöntemlere dayanmaktadır. Kızılötesi spektroskopi de bu yöntemlerden biridir (Sun, 2009).

Kızılötesi Spektroskopi

Kızılötesi radyasyonun da dahil olduğu elektromanyetik radyasyon bir elektrik yükünün (elektron, pozitron, proton

veya anti proton) ivmelenmesi ile oluşur. Elektromanyetik radyasyon dalga boyu (λ), frekans (ν) ve dalga sayısı ($\bar{\nu}$) (birim uzunlukta bulunan dalga sayısı, kızılötesi radyasyon uygulamalarında cm^{-1} biriminin kullanımı genel olarak kabul görmüştür) ile tanımlanır (Adapa, Phani, Karunakaran, Tabil ve Schoenau, 2009).

Kızılötesi spektroskopi yani diğer adıyla titreşimsel spektroskopinin ilgilendiği moleküler hareketler iki grupta incelenir ve toplamda altı tanedir. Bunlardan ilk grup gerilme titreşimleri olup bu tür titreşimlerde atomlar arası uzaklık azalır artarken atomlar aynı ekseninde kalırlar.

Bir diğer titreşim türü ise bükülme titreşimleridir. Bu tip titreşimlerin enerjileri esneme tipi titreşimlere nazaran daha düşüktür. Bu yüzden daha düşük enerjili, daha uzun dalga boyuna sahip yani daha küçük dalga sayılı radyasyon ile etkileşirler (Atkins ve Paula, 2013).

Ortalama bir bağ titreşim enerjisi 0.01 ile 0.1 aJ (10^{-18} J) dolayında olduğu için bu bağ ile etkileşime girebilecek olan elektromanyetik radyasyonun frekansı 10^{13} - 10^{14} aralığında olmalıdır. Bu frekans aralığında ise kızılötesi radyasyon bulunmaktadır. Dolayısı ile moleküller arası titreşim enerjileri kızılötesi spektroskopi yardımı ile gözlemlenebilir (Atkins ve Paula, 2013).

Kızılötesi spektroskopide rutin olarak kullanılan ışık kaynağı ve dedektörden oluşan yöntemden farklı olan bir diğer yöntem ise FTIR (Fourier Transform Infrared) yöntemidir. FTIR spektroskopide diğer spektroskopik yöntemlerden farklı olarak bir interferometre (girişim ölçer) kullanılır. Bu yöntemde kızılötesi radyasyon yarı

geçirgen bir aynadan (ışın bölücü) geçerek bir hareketli bir de hareketsiz aynadan yansır. Her iki ışık da numuneden geçerek bir girişim deseni (interferogram) oluşturur (Sun, 2009). Elde edilen girişim deseni ise her periyodik fonksiyonun bir sinus dalgasına dönüştürülebileceği ilkesine dayanan Fourier Dönüşümü matematiksel yöntemi ile tipik bir kızılötesi spektrumuna dönüştürülür.

Analiz Yöntemi Olarak Gıdalarda Kullanımı

Kızılötesi spektroskopinin gıdalarda ilk kullanımı 1949'da Amerika Birleşik Devletleri Tarım Bakanlığı'nın (USDA) yürüttüğü bir araştırma projesi ile başlamıştır. Projede, o zamanlarda yumurtaların kalite kriterlerinin belirlendiği sistem olan bir ışık kaynağında yumurtanın bir uzman kişi tarafından incelenmesinin otomatize edilmesi amaçlanmıştır (Norris, 1996). Kızılötesi spektroskopi kullanılarak kantitatif olarak yapılan ilk çalışma ise 1962'de yayınlanmıştır. Çalışmada tohumların metanoldeki ekstratları kullanılarak nem tayinleri gerçekleştirilmiştir (Hart, Norris ve Golumbic, 1962).

1974'te Kanada Tahıl Komisyonu (CGC) tarafından buğdaydaki proteini belirlemede kjeldahl yöntemine alternatif olarak ve 1980'lerin başında da bazı Avrupa ülkelerinde un değirmencileri tarafından protein esaslı buğday alımında kullanılmaya başlanmıştır. Aynı dönemde Near Infrared Reflectance (NIR) protein testleri Federal Tahıl Denetim Servisi'nce (FGIS) resmi metot kabul edilmiş ve bu tarihten sonra Amerika'da buğday sınıflandırmada rutin olarak kullanılmıştır (Ertugay ve Başlar, 2010).

Tüketiciler gıda ürünü aldıklarında öncelikli olarak gıdanın ekonomik değerini ve kalitesini göz önünde bulundurmaktadır. Ancak sayıları gittikçe artan bir tüketici grubu gıdada bu faktörlerin yanında bazı sağlık kriterlerine de dikkat eder olmuşlardır. Ekonomik ve kalite kriterlerine ek olarak talep edilen bu tip çeşitli sağlık faktörleri, gıdaların üretilirken bu kriterleri sağladığının hızlı olarak kontrol edilmelerini gerektirmiştir. Bunun için yeni analiz metotları geliştirilmiştir. Çünkü klasik analiz metotlarından olan örneğin bir ekstrasyon yağ tayini yaklaşık üç veya dört saat sürmekte, toksik ve tehlikeli kimyasalların kullanımını gerektirmektedir. Spektroskopik yöntemler ile aynı sonuca saniyeler içinde erişmek mümkündür. Bunun yanında analiz sürecinin numune hazırlama kısmının çok basit ve kısa sürede gerçekleştirilebilir olması, her bir analizin ekonomik olarak maliyetlerinin çok düşük olması, herhangi bir iyonize edici radyasyon içermemesi (güvenli oluşu) bu yöntemin avantajlarından. Ayrıca kızılötesi spektroskopi üretim hattına entegre olarak da kullanılabilir. Böylelikle ürünlerin belirli kalite kriterlerine uygunluğunun kontrolünü ürün üretim bandından ayrılmadan sağlanabilmektedir. Bu tip avantajlara sahip kızılötesi spektroskopi yönteminin kullanıldığı gıda ürünleri, et ve ürünleri (tavuk ve balık eti dâhil), süt ve ürünleri, tahıllar, baklagiller, pirinç, meyveler, meyve suları, yumurta, bal, şarap gibi çok çeşitlidir. Teorik olarak içeriğinde C – H, O – H ve N – H bağları bulduran her gıdanın kızılötesi spektroskopik analizi gerçekleştirilebilir (Prieto, Pawluczyk, Dugan ve Aalhus, 2017; Sun, 2009).

Et ve Ürünlerinde Kullanımı

Kızılötesi spektroskopi et ve ürünlerinin su içeriği, protein ve yağ oranı ve bazı durumlarda da mineral içeriğinin yaklaşık olarak tahminlerinde rutin olarak kullanılmaktadır. Bunun yanında etin kalitesi, pH değeri, yağ asit profil analizi, görünümü ve renginde ayrıca su tutma kapasitesi, kaslar arası yağ dağılımı ve gevreklik gibi kas karakteristik özellikleri ile mikrobiyal bozulma tespitinde de kullanımı bulunmaktadır. Ayrıca BSE hastalığının bulaşma riskine karşı et ve ürünlerinde bulunması yasaklanmış omurilik dokusunun varlığının tespiti için de kullanılmıştır (Sun, 2009).

Bir çalışmada 400 – 2500 nm aralığındaki dalga boyuna sahip kızılötesi radyasyonun 2 nm çözünürlüğe sahip formu kullanılarak sığır etlerinin yağ asiti kompozisyonu araştırılmıştır. Kızılötesi spektroskopi verilerinin kromatolojik analiz ile doğrulaması yapılmıştır. Çalışmada 12'den 22 karbon atomluya kadar çeşitli doymuş ve doymamış yağ asitleri istatistiksel olarak çeşitli derecelerde doğru tahmin edilmiştir ($R^2CV= 0.01 - 0.94$). Toplam yağ oranı yüksek doğruluk payı ile ($R^2CV= 0.95$) tespit edilebilmişken tekli doymamış yağ asitleri $R^2CV= 0.93$ ve çoklu doymamış yağ asitleri ise $R^2CV= 0.59$ doğruluk oranları ile tespit edilebilmiştir (Mourot vd., 2015).

Domuz karkaslarında, 350 – 2500 nm dalga boyu aralığında ve 1 nm dalga boyu hassasiyeti ile yapılan bir çalışmada ise yağların iyot değeri $R^2= 0.95$, doymuş yağ oranı (%) $R^2= 0.88$, tekli doymamış yağ oranı (%) $R^2= 0.85$, çoklu doymamış yağ oranı (%) $R^2= 0.94$, omega-3 değeri (%)

$R^2= 0.93$ ve omega-6 değeri (%) $R^2= 0.89$ doğruluk oranları ile tespit edilebilmiştir. Bu çalışma ile hayvanlardan elde edilen yağların kesimhaneden çıkmadan belirli kalite kriterlerine göre sınıflandırılabilceği görülmüştür (Prieto vd., 2018).

Sosislerde 12.000 ve 4.000 cm^{-1} dalga sayılı (833 – 2550 nm) kızılötesi radyasyon ile FT-NIR yöntemi kullanılarak nem oranı (%) $R^2= 0.997$, aw $R^2= 0.988$ ve NaCl oranı (%) $R^2= 0.974$ doğruluk oranlarıyla tespit edilebilmiştir (Collell vd., 2010).

Dinlendirilmiş etlerin saptanmasına yönelik bir çalışmada iki günlük dinlendirilmiş etler %94 doğruluk oranı ile ve on dört günlük dinlendirilmiş etler %97 doğruluk oranı ile 350 – 2500 nm arasındaki dalga boyuna sahip kızılötesi radyasyon ile belirlenebilmiştir. Aynı çalışmada iki günlük dinlendirilmiş etlerden gevrekliğini arttırma amaçlı nem ilavesi yapılmış (%0.5 oranında standart tuz ve %0.49 oranında disodyum fosfat solüsyonu, et enjeksiyon makinesi ile ete enjekte edilmiş) olanlarını %97 doğruluk oranı ile nem ilavesi yapılmamış olanlarını ise %99 doğruluk oranı ile; on dört günlük dinlendirilmiş etlerden nem ilavesi yapılmış olanlarını %94 ve nem ilavesi yapılmamış olanlarını %95 doğruluk oranı ile saptanabilmiştir (Prieto vd., 2015).

Bir çalışmada ise $1800 - 1000 \text{ cm}^{-1}$ dalga sayılı kızılötesi radyasyon FTIR tekniği ile kullanılarak etlerin mikrobiyal bozulma dereceleri ölçülmüştür. Çalışmada etlerin bozulma belirtisi olarak toplam canlı bakteri sayısı ve organoleptik muayene baz alınmıştır. Sonuç olarak taze etler %92, yarı taze etler %93.33 ve bozulmuş etler %100 spesifite ile saptanabilmiştir (Kodogiannis vd., 2014).

Kanatlı hayvanlarla yapılmış bir çalışmada 2 nm çözünürlükte 400 – 2498 nm dalga boyundaki kızılötesi radyasyon kullanılarak tavuk etlerinin kurutulup toz haline getirilmesi ile elde edilen karışımdan ham protein $R^2= 0.86$, yağ $R^2= 0.93$ ve kül oranı $R^2= 0.71$ doğruluk oranıyla bulunabilmiştir. Bunun yanında aynı çalışmada tavuklar kızılötesi spektroskopi yardımı ile genotiplendirme yapılabilmüş ve Ross 308, Euribrid HISEX ve Ross 1972 genotiplerinden hangisine ait oldukları tespit edilebilmiştir (McDevitt vd., 2005).

Varyant Creutzfeldt – Jakob hastalığı insanlara, sığırların süngerimsi beyin hastalığı (BSE) ile enfekte sığırların sinir dokularında bulunan prionlar ile bulaşmaktadır. Bu yüzden BSE hastalığının bulaşma yolunun anlaşıldığı tarihten itibaren sığırların herhangi bir sinir dokusunun etlerde bulunması yasaklanmıştır. Ancak sinir sistemi dokusu (özellikle omurilik) karkaslardan temizlenirken yanlışlıkla etlere bulaşabilmektedir. Sinir sistemi dokusunun tespiti için çeşitli analiz yöntemleri bulunmaktadır. Bunlardan biri ELISA yöntemidir. Bu yöntemde glial fibriller asidik protein hedeflenmektedir. GC-MS yöntemi ile de sinir sistemi dokusu, yapısında bulunan 22-26 karbonlu uzun zincirli yağ asitleri (sifingo ve fosfolipidler) hedeflenerek tespit edilebilmektedir. Gangidi, Proctor ve Pohlman (2003) bu tip uzun süren, yetişmiş teknik personele ihtiyaç duyan analizler yerine FTIR yöntemi kullanarak 16 ppm hassasiyeti ile sinir dokusunu sığır kıymasında tespit edebilmişlerdir. Ancak FTIR cihazlarının maliyetleri yüksektir ve et endüstrisinde yaygın olarak kullanılamamaktadır. Bunun yerine başka bir çalışmada omurilik dokusu,

et endüstrisinde nispeten yaygın olarak kullanılan NIR yöntemi ile $5400 - 10.000 \text{ cm}^{-1}$ dalga sayısındaki ($1000 - 1850 \text{ nm}$) kızılötesi radyasyon kullanılarak incelenmiştir. Çalışmada tespit edilebilen minimum limit değer 21 ppm olarak bulunmuştur. Yani çalışmada bir numuneye pozitif denebilmesi için 21 ppm'den yüksek omurilik dokusu içermesi gerekmektedir. Örneklerin %87'si doğru olarak pozitif, %67 ise doğru olarak negatif şeklinde belirlenmiştir. Bu değerlerden omurilik dokusu içeren %13'lük kısmın tespit edilemediği ortaya çıkmaktadır. Ancak model spesifite üzerinden kurulduğunda yani %67'lik kısımdan geri kalan %23'lük kısmın yanlış pozitif sonuç verdiği düşünüldüğünde; bu yanlış pozitifler Amerika Birleşik Devletleri Tarım Bakanlığı (USDA) tarafından doğrulama metodu olarak belirlenen (eozin ve hematoksilin boyama yöntemi) yöntem ile taranarak yanlış pozitiflerin elimine edilebileceği ve tüm taranması gereken numunelerde ciddi bir azalışın meydana geleceğini belirtilmiştir (Gangidi vd., 2006).

Etleri dondurmak etin kalitesine etki etmektedir. Bunun başlıca nedeni etin içerisinde buz kristallerinin oluşmasıdır. Bunun sonucunda ette su kaybı meydana gelmekte, proteinler denatüre olmakta ve et hücreleri parçalanmaktadır. Çözündürülme sonrası oluşan eksudat ise mikroorganizmaların gelişmesine büyük oranda katkı sağlamaktadır. Dondurulmuş – çözündürülmüş etleri tespit etmede çeşitli yöntemler ileri sürülmüştür. Bu yöntemlerden glutamik oksaloasetik transaminazın elektroforezi tekniği uzun zaman almaktadır. Beta-hidroksiasil-koenzim-

A'nın kimyasal tespiti daha hızlı bir teknik olmakla birlikte hücreleri başka bir nedenle parçalanmış etler de çözündürülmüş olarak sınıflandırılmaktadır (Ballin ve Lametsch, 2008). Kızılötesi spektroskopinin kullanıldığı bir çalışmada ise taze, dondurulmuş ve çözündürüldükten sonra tekrar dondurulmuş etlerin ayrımının yapılabildiği belirtilmiştir. Çalışmada *M. longissimus dorsi* kasının dilimleri bütün olarak veya saldığı et suyu doğrudan veya santrifüje edilmiş hali kullanılmıştır. Eksudatlar $400 - 2500 \text{ nm}$ kızılötesi radyasyonla tüm kas dokusu ise $1100 - 2500 \text{ nm}$ kızılötesi radyasyonla incelenmiş ve eksudat, santrifüje edilmiş eksudat ve bütün kas dokusu sırayla %95, %100 ve %98 oranında doğru olarak tespit edilebilmiştir (Thyholt ve Isaksson, 1997).

Dondurulmuş etlerin kızılötesi radyasyon kullanılarak tespit edilmesi ile ilgili güncel bir çalışmada ise tavuk etleri kullanılmıştır. Tavuk eti eksudatları $500 - 4000 \text{ cm}^{-1}$ dalga sayısına sahip kızılötesi radyasyon ile 6 cm^{-1} dalga sayısı çözünürlükte incelenmiştir. Çalışmada FTIR yöntemi kullanılmıştır. Sonuç olarak tavuk etleri $-20 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de 2 gün boyunca saklanmış olsalar bile (çalışmada 85 güne kadar dondurulmuş vaziyette bekletilmiş etler de kullanılmıştır) taze etlerden ayrılabilmişlerdir (Grunert vd., 2016).

Donmuş etler kullanılarak yapılmış bir başka çalışmada ise sığır etlerine hile amacıyla katılan hindi etleri analiz edilmiştir. Çalışmada hindi etleri sığır etlerine %5, %10, %15, %20, %30, %40, %50 oranlarında katılmıştır. Etler $800 - 2667 \text{ nm}$ dalga boyuna sahip kızılötesi radyasyon ile 8 cm^{-1} çözünürlükte incelenmiştir. Tağışlı etleri

tespit limiti %20 olarak bulunmuştur. Taze, donmuş çözüldürülmüş ve pişmiş etlerde $R^2=0.884$ 'ten daha iyi bir doğruluk oranı ile taşış saptanabilmiştir (Alamprese vd., 2016).

Kıyma haline getirilmiş etlerde hile amaçlı, ekonomik olarak nispeten değeri düşük protein ve yağ kaynakları eklenebilmektedir. Bu protein ve yağ kaynaklarından sığır etine katılan domuz eti, trim artıkları (yağ ve kolajen doku) ve sakatat (böbrek, karaciğer, akciğer ve kalp) üzerine yapılan bir çalışmada hem taze hem de donmuş ($-30\text{ }^\circ\text{C}$ 'de 60 gün bekletilmiş) örnekler kullanılmıştır. Örnekler 400 – 2500 nm dalga boyuna sahip radyasyon ile incelenmişlerdir. Sığır etine katılan domuz, trim artıkları ve sakatat sırasıyla $R^2= 0,96$; 0,94 ve 0,95 doğruluk oranı ile saptanmıştır. Tespit edilebilen limitlerin standart sapması kütlece sırasıyla %5,39; %5,12 ve %2,08 olarak bulunmuştur (Morsy ve Sun, 2013).

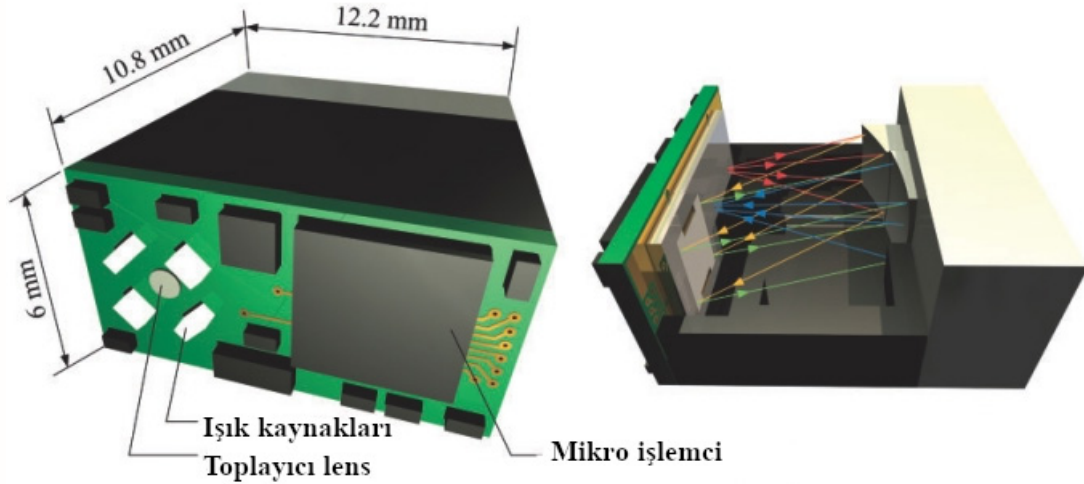
Ette yapılan taşışler dünyanın çeşitli bölgelerinde görülebilmektedir. 2013 yılında İngiltere ve İrlanda'da sığır hamburger etlerine at ve domuz etlerinin taşış olarak eklendiği görülmüştür. Bu olay kitle iletişim araçlarında da "at eti skandalı" olarak yer bulmuştur. Bu burger etlerinin İngiltere ve İrlanda'dan sonra 13 farklı Avrupa ülkesinde de görüldüğü belirtilmiştir. Et ve ürünlerindeki taşışler sadece hayvansal kaynaklı protein kaynakları ile olmamakta bunun yanında bitkisel kaynaklı protein kaynakları da kullanılmaktadır. Hem hayvansal hem de bitkisel protein kaynakları ile yapılan taşış tespit etme amaçlı yapılan bir çalışmada; sığır, domuz ve tavuk etleri ayrıca bitkisel protein kaynakları olarak dokulu bitkisel protein (TVP) ve buğday gluteni (BG)

kullanılmıştır. Numuneler sığır eti + domuz eti, sığır eti + tavuk eti, sığır eti + TVP, sığır eti + BG, domuz eti + TVP ve sığır eti + domuz eti + TVP içerecek şekilde hazırlanmıştır. Çalışmada 200 – 1100 nm ve 900 – 1700 nm dalga boyunda elektromanyetik radyasyon kullanılmıştır ve sonuç olarak taşışlı numuneler %96 doğrulukla belirlenebilmiştir (Rady ve Adedeji, 2018).

Kızılötesi spektroskopik analizinin homojenize edilmiş ve kızılötesi ışığa geçirgen ambalaj malzemeleri ile ambalajlanmış gıdaların, ambalaj bütünlüklerini bozmadan analizlerini gerçekleştirilip gerçekleştirilemediğinin tespiti için de yapılan çalışmalar literatürde mevcuttur. Bu doğrultuda Tayvan'da işlenmiş et ürünleri arasında çok meşhur olan ve "Mu-Yor" olarak adlandırılan domuz sosisleri kullanılmıştır. Bu sosislerin kılıfları kızılötesi radyasyona geçirgen naylon – polietilen malzemedir üretilmiştir. Sosislerin kılıflarının kalınlıkları 30μ ile 80μ arasında değişen değerlerde ölçülmüştür. Plastik kılıfın varlığı kızılötesi spektrumlarında ölçümü değiştirecek piklere neden olmamıştır. 4000 ile $12,500\text{ cm}^{-1}$ dalga sayısına sahip kızılötesi radyasyonun kullanıldığı çalışmanın sonucunda ambalaj bütünlüğü bozulmamış sosislerden de sosislerin nem, protein, yağ, kül ve karbonhidrat oranları tayini yapılabileceği ispatlanmıştır (Ritthiruangdej vd., 2011).

Kızılötesi Spektroskopinin Geleceği

11 Eylül 2001 tarihinde New York şehrindeki Dünya Ticaret Merkezi'nin bir terör eylemi sonrasında yıkılmasının ardından patlayıcılar ve kimyasal tehditlerin hızlı analizi çok büyük önem kazanmıştır. Bu tarihten sonra portatif optik spektroskopi cihazlarının



Şekil 1. Tasarımı Cep Telefonlarına Entegre Edebilmek için Optimize Edilmiş Mikrospektrometre (Pügner vd., 2016)

geliştirilmesi bir ivme kazanmıştır. Bu tip cihazların 2016'da ki pazar payı 170 milyon doları (yaklaşık 44.000 cihaz) bulmuştur ve 2021 yılında 297 milyon dolara (yaklaşık 168.000 cihaz) ulaşması beklenmektedir (Crocombe, 2018).

Portatif spektroskopik cihazlar detektör, işlemci, ekran, enerji kaynağı (pil) ve yazılım gibi cep telefonlarında zaten hazır olarak bulunan bileşenlerden oluşmaktadır. Bu yüzden portatif spektroskopik cihazların cep telefonlarına entegrasyonları son zamanlarda yaygınlaşmıştır. Cep telefonlarına entegre edilen spektroskopik cihazlar sağlık (kılcal damarların dağılımı ve kan akımının durumu), çevre (hava kirliliği ölçümü), tarım ve gıda (meyvelerin olgunlaşma derecelerinin ölçümü) gibi sektörlerde de kullanım alanı bulmuştur. Bu cihazların günlük hayata daha çok girmesi ile çok zaman alan, ekonomik maliyeti yüksek olan, eğitilmiş personele ihtiyaç duyan ve çevreye zararlı atıklar üreten rutin analiz metotları yerini bu tip analizlere bırakabilecektir. Ayrıca gelişmekte olan ülkeler için bu tip mobil analiz cihazları bir fırsat olarak ortaya çıkmaktadır (Rateni vd.,

2017).

Günümüzde 15x14x10 mm boyutlarında (toplam hacmi 2,1 cm³'ü geçmeyen) spektrometre geliştirilmiştir. Bir küp şekere yakın boyutlarda, 8,4 gr ağırlığında ve 1,9W güç tüketimine sahip spektrometrede ölçümler gerçekleştirilmiştir. Cep telefonuna entegre edilmesi planlanan bu spektrometrede ekonomik olarak avantajlı olduğundan Czerny – Turner dizaynı seçilmiştir. Spektrometrenin duyarlı olduğu dalga boyu aralığı 950 – 1900 nm olarak seçilmiştir. Bu dalga boyu bandının seçilmesinde bu dalga boyuna sahip kızılötesi radyasyonun numune içine girişiminin daha iyi olması (numuneyi daha iyi temsil edebilmesi) bunun yanında organik numunelerin analizleri planlandığından dolayı suyun belirgin kızılötesi dalga boyu olan 1446 nm ve karbon bileşiklerinin belirgin kızılötesi dalga boyu olan 1650 – 1800 nm dalga boyu bandını içermesidir (Pügner vd., 2016).

Mikrospektrometrenin cep telefonlarına entegre edilebilmesi için kalınlığının 0.6 mm'yi geçmemesi gerektiği bildirilmiştir. Bu yüzden bahsedilen

mikrospektrometrenin tasarımında optimizasyona gidilmiş, bütünleşik ışık kaynakları eklenmiş ve kalınlığı 0,6 mm'yi, toplam hacmi ise 0,8 cm³'ü geçmeyen spektrometre tasarlanmıştır. Tasarım aşamasında olan bu yeni spektrometrenin şemazite hali Şekil 1'de sunulmuştur (Pügner vd., 2016).

SONUÇ

Son yıllarda kitle iletişim araçlarında yeralangıdakaynaklıhaber ve bilgilendirmeler nedeniyle tüketiciler gıdaların doğrulanmasını daha çok talep eder hâle gelmişlerdir. Ayrıca hem gıda üretiminde yaşanan rekabetten dolayı hem de resmi merciler tarafından belirlenen kriterlere uyma zorunluluğundan ötürü üreticiler belirli kaliteye sahip ürünleri üretmek durumundadırlar. Gıda üreticileri için ürettikleri gıdaların belirli kalite standartlarına sahip olduklarının kontrolü (örneğin yağ oranı gibi) çok büyük önem taşımaktadır. Klasik yöntemle yağ tayini en az iki – üç saat süren ekstrasyon yöntemi ile yapılmaktadır. Bu sırada üretilmiş ürünlerin analizleri uygun çıkmadığı halde bu süre boyunca üretilmiş olan tüm ürünlerin tekrardan üretim bandına girmeleri gerekmektedir. Bu süre boyunca gıdaların hem depolama maliyeti hem de işçilik maliyetleri artmaktadır. Kızılötesi spektroskopi yöntemi ile yağ tayini saniyeler içinde gerçekleşebilmektedir. Dolayısı ile gıdaların üretim maliyetini düşürmede kızılötesi spektroskopi analiz yöntemi katkı sağlamaktadır.

Kızılötesi spektroskopi yönteminin klasik yöntemlere göre öne çıkan avantajları vardır. Bunlar: Analizlerin çok hızlı (saniyeler içinde) gerçekleştirilebilmesi, aynı anda

birden fazla analizi gerçekleştirebilmesi, analiz maliyetinin çok düşük olması, ürünün bütünlüğünü bozmadan hatta ambalajını bile açmadan (şeffaf plastik ambalaj ile ambalajlanmış ise) analizi gerçekleştirebilmesi, numune hazırlama basamağının çok kısa ve basit oluşu, yüksek derecede yetişmiş teknik personele ihtiyaç duymaması, analiz sırasında kimyasal sarfiyatı olmadığı için çevreye zararının minimum düzeyde olmasıdır. Kızılötesi spektroskopi yönteminin dezavantajları ise: Profesyonel düzeyde bir spektroskopi cihazının ilk kurulum maliyetinin yüksek olması, kalibrasyon modellerinin geliştirilmesi için uzun zaman ve önemli miktarda yatırıma gerek duyulması, spektrometrelerin optik özellikleri nedeniyle bir cihazdaki kalibrasyon modellerinin başka cihazlarda kullanılamayışı ve melamin gibi bazı ülkelerde çok sıkı denetime sahip kimyasalların analizlerinde yeterli hassasiyeti sağlayamamasıdır.

KAYNAKLAR

- Adapa, P. K., Karunakaran, C., Tabil, L. G. ve Schoenau, G. J. (2009). Potential applications of infrared and Raman spectromicroscopy for agricultural biomass. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*.
- Alamprese, C., Amigo, J. M., Casiraghi, E. ve Engelsen, S. B. (2016). Identification and quantification of turkey meat adulteration in fresh, frozen-thawed and cooked minced beef by FT-NIR spectroscopy and chemometrics. *Meat Science*, 121, 175–181. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2016.06.018>

- Atkins, P. ve Paula, J. de. (2013). Elements of Physical Chemistry. OUP Oxford.
- Ballin, N. Z. ve Lametsch, R. (2008). Analytical methods for authentication of fresh vs. Thawed meat – A review. *Meat Science*, 80(2), 151–158. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2007.12.024>
- Collell, C., Gou, P., Picouet, P., Arnau, J. ve Comaposada, J. (2010). Feasibility of near-infrared spectroscopy to predict aw and moisture and NaCl contents of fermented pork sausages. *Meat Science*, 6.
- Crocombe, R. A. (2018). Portable Spectroscopy. *Applied Spectroscopy*, 72(12), 1701–1751. <https://doi.org/10.1177/0003702818809719>
- Ertugay, M. ve Başlar, M. (2011). Gıdaların kalite özelliklerinin belirlenmesinde yakın kızılötesi (NIR) spektroskopisi. *Gıda*, 36 (1), 49-54.
- Gangidi, R. R., Proctor, A. ve Pohlman, F. W. (2003). Rapid Determination of Spinal Cord Content in Ground Beef by Attenuated Total Reflectance Fourier Transform Infrared Spectroscopy. *Journal of Food Science*, 68(1), 124–127. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2003.tb14126.x>
- Gangidi, R. R., Proctor, A., Pohlman, F. W. ve Meullenet, J. -F. (2006). Rapid Determination of Spinal Cord Content in Ground Beef by Near-Infrared Spectroscopy. *Journal of Food Science*, 70(6), c397–c400. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2005.tb11436.x>
- Grunert, T., Stephan, R., Ehling-Schulz, M. ve Johler, S. (2016). Fourier Transform Infrared Spectroscopy enables rapid differentiation of fresh and frozen/thawed chicken. *Food Control*, 60, 361–364. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2015.08.016>
- Hart, J. R., Norris, K. H. ve Golumbic, C. (1962). Determination of the Moisture Content of Seeds by Near-Infrared Spectrophotometry of Their Methanol Extracts. *Cereal Chemistry*, 39, 94–99.
- Kodogiannis, V. S., Kontogianni, E. ve Lygouras, J. N. (2014). Neural network based identification of meat spoilage using Fourier-transform infrared spectra. *Journal of Food Engineering*, 142, 118–131. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2014.06.018>
- McDevitt, R. M., Gavin, A. J., Andrés, S. ve Murray, I. (2005). The Ability of Visible and near Infrared Reflectance Spectroscopy to Predict the Chemical Composition of Ground Chicken Carcasses and to Discriminate between Carcasses from Different Genotypes. *Journal of Near Infrared Spectroscopy*, 13(3), 109–117. <https://doi.org/10.1255/jnirs.463>
- Morsy, N. ve Sun, D. -W. (2013). Robust linear and non-linear models of NIR spectroscopy for detection and quantification of adulterants in fresh and frozen-thawed minced beef. *Meat Science*, 93(2), 292–302. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2012.09.005>
- Mourot, B. P., Gruffat, D., Durand, D.,

- Chesneau, G., Mairesse, G. ve Andueza, D. (2015). Breeds and muscle types modulate performance of near-infrared reflectance spectroscopy to predict the fatty acid composition of bovine meat. *Meat Science*, *99*, 104–112. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2014.08.014>
- Norris, K. H. (1996). History of NIR. *Journal of Near Infrared Spectroscopy*, *4*(1), 31–37. <https://doi.org/10.1255/jnirs.941>
- Pico, Y. (2012). *Chemical Analysis of Food: Techniques and Applications*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/C2010-0-64808-5>
- Prieto, N., Juárez, M., Larsen, I. L., López-Campos, Ó., Zijlstra, R. T. ve Aalhus, J. L. (2015). Rapid discrimination of enhanced quality pork by visible and near infrared spectroscopy. *Meat Science*, *110*, 76–84. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2015.07.006>
- Prieto, N., Pawluczyk, O., Dugan, M. E. R. ve Aalhus, J. L. (2017). A Review of the Principles and Applications of Near-Infrared Spectroscopy to Characterize Meat, Fat, and Meat Products. *Applied Spectroscopy*, *71*(7), 1403–1426. <https://doi.org/10.1177/0003702817709299>
- Prieto, N., Dugan, M. E. R., Juárez, M., López-Campos, Ó., Zijlstra, R. T. ve Aalhus, J. L. (2018). Using portable near-infrared spectroscopy to predict pig subcutaneous fat composition and iodine value. *Canadian Journal of Animal Science*, *98*(2), 221–229. <https://doi.org/10.1139/cjas-2017-0033>
- Pügner, T., Knobbe, J. ve Grüger, H. (2016). Near-Infrared Grating Spectrometer for Mobile Phone Applications. *Applied Spectroscopy*, *70*(5), 734–745. <https://doi.org/10.1177/0003702816638277>
- Rady, A. ve Adedeji, A. (2018). Assessing different processed meats for adulterants using visible-near-infrared spectroscopy. *Meat Science*, *136*, 59–67. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2017.10.014>
- Rateni, G., Dario, P. ve Cavallo, F. (2017). Smartphone-Based Food Diagnostic Technologies: A Review. *Sensors*, *17*(6), 1453. <https://doi.org/10.3390/s17061453>
- Ritthirangdej, P., Ritthiron, R., Shinzawa, H. ve Ozaki, Y. (2011). Non-destructive and rapid analysis of chemical compositions in Thai steamed pork sausages by near-infrared spectroscopy. *Food Chemistry*, *129*(2), 684–692. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.04.110>
- Sun, D. -W. (Ed.). (2009). *Infrared Spectroscopy for Food Quality Analysis and Control*. Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374136-3.00025-0>
- Thyholt, K. ve Isaksson, T. (1997). Differentiation of frozen and unfrozen beef using near-infrared spectroscopy. *J. Sci. Food Agric.*, *73*, 525–532. [https://doi.org/10.1002/\(sici\)1097-0010\(199704\)73:4<525::aid-jsfa767>3.0.co;2-c](https://doi.org/10.1002/(sici)1097-0010(199704)73:4<525::aid-jsfa767>3.0.co;2-c)