

Kızılötesi Teknolojisi ve Gıda İşlemedeki Kullanımı

Neşe Yılmaz Tuncel ✉, N. Barış Tuncel

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

Geliş Tarihi (Received): 01.03.2014, Kabul Tarihi (Accepted): 27.07.2014

✉ Yazışmalardan Sorumlu Yazar (Corresponding author): neseyilmaz@comu.edu.tr (N. Yılmaz Tuncel)

☎ 0 286 218 00 18 / 2271 📠 0 286 218 05 41

ÖZ

Kızılötesi veya infrared radyasyon, elektromanyetik spektrumda mikrodalga ile görünür bölgeler arasında yer alan elektromanyetik enerjidir. Bu çalışmada gıda endüstrisindeki infrared uygulamaları, gıdaların infrared radyasyonu absorplama özellikleri, infrared kaynakları, infrared radyasyonun gıda işlemede kullanıldığı temel alanlar ve gıda bileşenlerine etkisi derlenmiştir. Gıda alanında nispeten yeni olan infrared teknolojisinin, geleneksel işleme metotlarına göre pek çok üstün yanı ortaya konmuş olmakla beraber, endüstriyel boyutlarda kullanılması ve gıda bileşenlerine etkisinin belirlenmesi için daha çok araştırmaya ihtiyaç vardır.

Anahtar Kelimeler: Kızılötesi, Gıda, Kurutma, Enzim inaktivasyonu, Patojen inaktivasyonu

Infrared (IR) Technology and Its Use in Food Processing

ABSTRACT

Infrared radiation is an electromagnetic energy between the microwaves and the visible light in the electromagnetic spectrum. In this study, infrared applications in food industry, infrared absorption properties of foods, infrared emitters and major use of infrared radiation in food processing and effects of infrared radiation on food components are reviewed. Although superiorities of infrared radiation in comparison to the traditional processing methods have been previously stated, more research is needed for the use of infrared radiation in industrial scale and to determine its effects on the food components considering that it is a relatively new technology in the field of food.

Keywords: Infrared, Food, Drying, Enzyme inactivation, Pathogen inactivation

GİRİŞ

Infrared (IR) radyasyon ilk defa 1800'lü yıllarda William Herschel tarafından keşfedilmiştir [1]. 1950-1970 yılları arasında ilk defa Amerika, Rusya ve Doğu Avrupa ülkelerinde gıda ve tarım ürünlerinin işlenmesi amacıyla kullanılmaya başlanmış daha sonra İsveç, Tayvan ve Japonya'da da yaygınlaşmıştır [2].

IR'nin en iyi bilinen uygulamaları otomotiv sanayisinde araba boyalarının ve kâğıt endüstrisinde kâğıtların kurutulmasıdır. Bunun yanında, basit bir ısı kaynağından tıp alanına kadar uzanan çeşitli dallarda da kullanılmaktadır. Ayrıca analitik uygulamalarda kimyasal

kompozisyonun spektroskopik olarak ölçülmesinde de IR ışıklardan yararlanılmaktadır. Bununla birlikte uzaktaki bir objenin sıcaklığı da, o objenin yaydığı IR radyasyon kullanılarak belirlenebilir [1, 3]. Bu özellikten yararlanılarak geliştirilmiş termal kameralar askeri alanlardan ev izolasyon sistemlerine kadar pek çok amaçla kullanılmaktadır. Aynı özellikten yararlanılarak vücut sıcaklığını uzaktan ölçen termometre tipi cihazlar da geliştirilmiştir. Bu çalışmada IR radyasyonun gıdaya uygulamaları incelenmiştir.

İNFRARED RADYASYON, KAYNAKLARI ve GIDALARA ETKİ BİÇİMİ

IR radyasyon bir elektromanyetik enerji olup, elektromanyetik spektrumda görünür ışık ile mikrodalga bölgeleri arasında yer alır [4-5]. IR bölgesi ise 1.8 ile 3.4 µm dalga boyları arasındaki elektromanyetik radyasyonu tanımlar [6]. Dalga boyu ve emisyon sıcaklığına göre IR ışınlar kendi içerisinde de 3'e ayrılmaktadır: (1) kısa dalga veya yakın IR bölgesi, 0.72-2µm (3870-1180°C), (2) orta dalga veya orta IR bölgesi, 2-4 µm (1180-450°C), (3) uzun dalga veya uzak IR bölgesi, 4-1000 µm (<450°C) [2]. Bununla birlikte IR'yi tanımlayan dalga boylarının alt ve üst sınırları literatürde küçük de olsa farklılıklar göstermekte olup, bu bölgeler arasında keskin bir ayırım yoktur [7].

Pratikte IR kaynakları çok geniş bir dalga boyu aralığında radyasyon sağlayabilir. Bu nedenle doğru dalga boyu aralığını seçmek önemlidir. Kısa dalga IR kaynakları (örneğin tungsten filamente sahip olanlar) 2000°C'nin üzerinde, orta dalga IR kaynakları (örneğin kuartz tüp şeklinde olanlar) 100-1150°C aralığında ve uzun dalga IR kaynakları (örneğin seramik malzemeden üretilmiş olanlar) 800°C'nin altındaki sıcaklıklarda çalışırlar [5, 7]. IR kaynakları temel olarak gaz ve elektrikle çalışanlar olarak iki gruba ayrılırlar. Elektrikle çalışan IR kaynakları kuartz, seramik ve halojen gibi farklı malzemelerden yapılmış olup, yaydıkları ışının dalga boyu da buna bağlı olarak değişmektedir [1]. Elektrikli IR kaynakları, gaz ile çalışanlara kıyasla daha yüksek sıcaklıklara çıkabilmektedir. Gaz ile çalışan IR kaynaklarının yatırım maliyeti yüksek olmasına rağmen işletme maliyeti elektrikle çalışanlara nispeten düşüktür. Elektrikli IR kaynakları; kolay kurulum ve işlem kontrolü sağladığı, çok kısa sürede ve hızla ısı ürettiği ve ısının temiz bir formu olduğu için daha popülerdir. Genel olarak elektrikli IR kaynaklarının verimliliği %40 ile %70 arasında değişirken, gaz ile çalışan IR kaynaklarında bu oran %30 ile %50 arasındadır [8].

Endüstriyel uygulamalar için uygun olan spektral bölge 1.17 ile 5.4 µm arasındadır ve 260 ile 2200°C sıcaklık aralığına tekabül etmektedir [9]. Bir IR ısıtıcının tasarımında en kritik özellikler spektral aralığı ve enerji yoğunluğudur. IR kaynağının spektral aralığı uygun optik filtrelerin kullanımı ve ısıtıcı materyalin yüzey sıcaklığının ayarlanmasıyla kontrol edilebilir. Verimli bir IR ısıtma için hedeflenen gıda materyalinin absorpsiyon bölgesini kapsayan spektral bölgenin seçimi kilit önem taşır [10].

IR teknolojisi önemli bir potansiyeli olmasına rağmen gıda endüstrisinde gerektiğince değerlendirilememiştir. IR ısıtmanın gıda alanındaki ticari uygulamaları temel olarak; kuru ekmek, un, kakao, hububatlar, malt, makarna ve çay gibi düşük nemli gıdaların kurutulmasıdır. IR tekniği ayrıca, kızartma, pişirme, kavurma ve kurutma gibi işlemlerin bir parçası olarak, çoğunlukla da başlangıç aşamasında yüzey sıcaklığının kısa sürede artırılması amacıyla kullanılmaktadır. IR radyasyonun temel karakteristikleri; yüksek ısı transfer kapasitesi, doğrudan ürüne ısı nüfuzu ve hızlı işlem

kontrolüdür [1]. Ayrıca, IR ışınları havaya karşı herhangi bir davranış göstermediğinden ortam havasını ısıtmaya gerek olmaz ve her hava sıcaklığında çalışılabilir. IR ısıtmada, materyal doğrudan IR ışınlarının yarattığı titreşim ve sürtünmeden dolayı ısınır [10]. Optimum bir ısıtma işlem için; IR kaynağının sıcaklığı ve etkinliği, materyalin IR radyasyonu yansıtma ve absorplama özellikleri ve IR nüfuz gücü gibi özellikler oldukça önemlidir [1].

Isı kaynağının sıcaklığı, yaydığı IR radyasyonun dalga boyunu belirler. Gıdanın absorpladığı IR radyasyonun miktarı ise gıdanın bileşenleri tarafından belirlenmektedir. IR kaynağının yüksek sıcaklıkta olması, daha kısa dalga boylu ve nüfuz derinliği daha fazla olan IR ışınları üretmesi anlamına gelmektedir. Bir materyal IR ışınlarını absorpladığında moleküllerinde titreşim ve dönme hareketleri gözlenir ve atomlar arası mesafeler değişir ve absorplanan IR ışınları ısıya dönüşür [1]. İnfrared radyasyona maruz kalan materyaldeki su molekülleri 60000 ile 150000 MHz frekans aralığında titreşim gösterir. Bu durum, materyal içerisindeki su buharı basıncının artmasına ve materyalin ısınmasına neden olur [6].

IR ışınları bir materyalle temas ettiğinde, materyal tarafından yansıtılabilir, materyalin içinden geçebilir veya materyal tarafından absorbe edilebilir. İdeal ve mükemmel bir şekilde ısı yayan veya absorbe eden cisim "kara cisim" olarak tanımlanır [1]. Enerji absorpsiyonunun mekanizması radyant enerjinin dalga boyuna bağlıdır. Örneğin ultraviyole ve görünür ışık bölgesine denk gelen 0.2-0.7 µm dalga boyu aralığı atomların elektronik hallerinde değişime neden olur. Uzun ve orta dalga infrared bölgesine denk gelen 2.5-1000 µm dalga boyu aralığı, atomların titreşim hareketlerinde değişime neden olur. Mikrodalga bölgesine denk gelen 1000 µm'den daha uzun dalga boyları ise atomların dönme hareketlerinde değişime neden olur. Gıdalar, genel olarak atomların titreşimine neden olan dalga boyu aralığını (infrared) iyi absorplama özelliği gösterirler. Gıdanın temel bileşenleri olan su, protein ve nişasta gibi organik bileşenler 2.5 µm'den daha uzun dalga boylarında yüksek absorpsiyon gösterir [11]. Pek çok gıda maddesi 2.5 µm'den daha kısa dalga boylarını yansıtır veya geçirir yani absorplamaz [12].

Gıdaların absorpsiyon özelliklerini açıklamak kolay değildir. Pürüzlü yüzeylerde kısa dalga boylu ışınlar %50 oranında yansıtılır, daha uzun dalga boylu ışınlar meydana gelen yansıma ise %10'un altına düşebilir. Bu durum doğru IR kaynağı seçiminde oldukça önem taşımaktadır. IR ısıtmada genel olarak kısa (yaklaşık 1 µm) ve orta dalga (yaklaşık 10 µm) boylu ışınlar tercih edilir. Çünkü bu aralıktaki dalga boylarına sahip ışın üreten IR kaynakları istenilen sıcaklığa birkaç saniyede çıkar, yüksek miktarda ve hızlı bir enerji transferi sağlar ve işlemin kontrolü kolay ve hızlıdır [1]. IR ışınlarının nüfuz gücü gıdanın kimyasal kompozisyonuna, fizikokimyasal durumuna (sıvı-katı-toz, donmuş-donmamış, dispersiyon-emülsiyon-çözelti vb.) ve fiziksel özelliklerine (yoğunluk, porozite ve su miktarı) bağlıdır [3, 7]. IR kaynağının sıcaklığı arttıkça gıdaya aktarılan

radyant enerjinin miktarı da artar ve IR ışın dalga boyu kısalmır [5]. Infrared radyasyon kısa dalga boylarında su moleküllerinin içerisinden geçer, uzun dalga boylarında ise gıda yüzeyi tarafından absorplanır [11]. Bu nedenle ince tabaka halindeki materyallerin uzun dalga, daha kalın materyallerin ise kısa dalga boyundaki IR radyasyonla işlenmesi daha verimlidir [8]. Kısa dalga IR radyasyonun nüfuz gücü uzun dalga IR radyasyona kıyasla 10 kat daha fazladır. IR ısıtmada ısının doğrudan ürüne ulaşması, geleneksel yöntemlerde sıklıkla rastlanan kabuk oluşumu ve heterojen ısınma gibi sorunların da aşılmasını sağlar [4].

Gıdalar birçok farklı biyokimyasal molekül, biyolojik polimer, inorganik tuzlar ve sudan oluşan karmaşık bir yapıda olduğundan dolayı, IR radyasyon bu bileşenler tarafından farklı derecelerde absorplanır. Örneğin; aminoasit, polipeptid ve proteinler 3-4 ve 6-9 µm dalga boyu aralığındaki IR bölgede güçlü absorpsiyon gösterirken, yağlar, tüm infrared bölgesinde güçlü bir absorpsiyon göstermekte olup, en yüksek absorpsiyonu 3-4, 6 ve 9-10 µm dalga boyu aralığında göstermektedirler. Karbonhidratlar ise 3 ve 7-10 µm dalga boyu aralığında güçlü absorpsiyon gösterir [7-8, 12]. Gıdaların yağ içeriği ile ulaştıkları merkez sıcaklık bağlantılı değildir. Ancak, düşük radyasyon yoğunluklarında yağ içeriği arttıkça istenilen merkez sıcaklığa daha hızlı ulaşıldığı tespit edilmiştir [8]. Gıdanın IR radyasyona karşı gösterdiği absorpsiyon özellikleri, maruz kaldığı IR işlemi boyunca da değişkenlik gösterir. Örneğin, ısınmaya bağlı olarak su miktarı azalan gıdanın, başlangıçtaki daha yüksek su içeriğine sahip haline kıyasla IR radyasyonu absorplama yeteneği azalırken yansıtma özelliği artar [10].

KIZILÖTESİ ISITMANIN GIDA ALANINDAKİ KULLANIMI

IR teknolojisi son yıllarda gıda alanında kurutma, haşlama, çözdürme, pastörizasyon, sterilizasyon, kızartma, kavurma, pişirme, patojen ve enzim inaktivasyonu gibi pek çok amaçla kullanılmaktadır [8].

Kurutma

Kurutma, yukarıda sözü edilen diğer işlemlere kıyasla IR radyasyonun en çok kullanıldığı işleme tekniğidir.

IR kurutma, güneşte kurutmanın yapay formu olarak düşünülebilir [13]. Kurutma işleminde IR teknolojisi kullanımı konvansiyonel (sıcak hava ile) kurutmaya kıyasla pek çok avantaj sağlamaktadır. Bunlar; kısa işlem süresi, homojen sıcaklık dağılımı, yüksek son ürün kalitesi, işlem kontrolü kolaylığı, düşük enerji tüketimi ve basit alet-ekipman gereksinimidir [8, 12-14]. Bununla birlikte IR radyasyonun herhangi bir toksik etkisi rapor edilmemiş olup, çevresel açıdan da temiz bir enerji kaynağıdır [12]. Ancak, nüfuz gücünün sınırlı olması ve uzun süreli işlemlerde arpa ve pirinç gibi materyallerde kırılma ve çatlaklara neden olması gibi dezavantajları da mevcuttur [8].

IR kurutma konusunda pek çok araştırma mevcuttur. Kurutulmuş materyallerden bazıları; arpa [15], çeltik

veya pirinç [16-20], elma [21-23], havuç [24-25], kırmızıbiber [26], patates [27-28], mısır [29-30], domates ve yan ürünleri [31-32], yabanmersini [33] ve soğan [34-35] olarak sıralanabilir. IR kurutmanın ayrıca hububatlar, un, makarna, ekmek kabuğu, malt, çay, et ve balık gibi ürünlerde başarıyla uygulandığı rapor edilmiştir [4, 13]. Bununla birlikte IR ile diğer işleme metodlarının birlikte veya art arda kullanıldığı kurutma çalışmaları da mevcuttur. Bunlardan en yaygın olanları IR-mikrodalga [36-40], IR-sıcak hava [30, 41-47], IR-sıcak hava-mikrodalga [48-49] ve IR-dondurarak kurutmadır [3, 50-53].

IR radyasyonun özellikle söz konusu diğer teknikler ile birlikte kullanımının işlem süresini oldukça kısalttığı ve işlem boyunca sarf edilen enerji miktarını kayda değer biçimde azalttığı rapor edilmiştir [8, 11, 30, 41]. Hebbbar ve ark. (2004) IR-sıcak hava kombinasyonu ile yapılan kurutmada (patates ve havuç) tek başına IR kurutmaya göre %63 daha az enerji harcadığını ve işlem süresinin %48 oranında kısaltıldığını bildirmiştir [42]. Yılmaz ve Tuncel [30] mısırdaki nemi IR-sıcak hava kombinasyonu ile %29'dan %13'e düşürmek için sarf edilen enerjinin miktarının, tek başına sıcak hava ile %15'ten %13'e düşürülmesi için sarf edilen enerji miktarından daha düşük olduğunu bildirmiştir. Araştırmacılar ayrıca IR-sıcak hava kombinasyonu ile yapılan kurutmada kuruma süresinin tek başına sıcak havalı kurutmaya kıyasla %86 oranında daha kısa olduğunu tespit etmiştir [30]. Afzal ve ark. [41] arpa kurutmada IR-sıcak hava kombinasyonu kullanımının 40, 55 ve 70°C'deki sıcak havalı kurutmaya kıyasla sırasıyla %156, %238 ve %245 daha az enerji gerektirdiğini rapor etmiştir. Sumnu ve ark. [38] IR-mikrodalga kombinasyonu ile havuç kurutulmuşlar ve kuruma süresinde sıcak hava ile kurutmaya kıyasla %98 azalma sağladıklarını rapor etmişlerdir. IR-mikrodalga kombinasyonunun kullanıldığı bir başka çalışmada da ekmek içi örneklerinin kuruma sürelerinde %97-99 oranında azalma bildirilmiştir [39].

Özellikle sıcak hava ile kurutulmuş sebzelerde sıklıkla rehidrasyon sorunu ile karşılaşmaktadır. Bu açıdan dondurarak kurutma tekniği iyi bir alternatif olmakla beraber oldukça pahalı bir teknolojidir [8]. IR ve IR-sıcak hava kurutma teknikleri ile kurutulmuş materyallerin rehidrasyon karakteristiklerinin tek başına sıcak havalı kurutma sistemleri ile kurutulan ürünlerden önemli oranda daha iyi olduğu gözlenmiştir [44]. IR teknolojisinden bitki ve baharatların kurutulmasında da yararlanılmakta olup, bunlardan vitamin elde edilmesinde faydalanılmaktadır [13]. IR kurutma ayrıca gıda analizlerinde de yerini almış olup, hızlı sonuç veren bir nem tayin yöntemi olarak kullanılmaktadır [54].

Enzim İnaktivasyonu

IR radyasyonu ile enzim inaktivasyonu çalışmaları genellikle meyve ve sebzelere depolama öncesi uygulanan haşlama işlemine alternatif olarak denenmiştir. Haşlama işleminde polifenoloksidaz, peroksidaz ve katalaz gibi enzimlerin inaktive edilmesi amaçlanmakla beraber, bunlar arasında ısıya en dayanıklı enzim peroksidaz olduğundan pek çok

çalışmada inaktivasyon ölçüsü olarak peroksidaz testine rastlanmıştır. IR'in bu amaçla kullanılmasının bir sebebi de kuru şartlarda enzim inaktivasyonunu mümkün kılması ve klasik haşlamada gözlenen suda çözünen bileşenlerin kaybı, atık su oluşumu ve çeşitli kalite kayıpları gibi dezavantajlarının olmamasıdır [55].

Vishwanathan ve ark. [55], havuç dilimlerine tek başına IR, IR-sıcak hava kombinasyonu ile kuru haşlama uygulamış ve bu iki yöntemi geleneksel suda haşlama yöntemi ile işlem süresi, C vitamini kaybı ve rehidrasyon karakteristikleri açısından karşılaştırmıştır. Araştırmacılar, mevcut peroksidaz enzimi konsantrasyonunun %90'ının tek başına IR uygulayarak inaktive edilmesi için gerekli sürenin, geleneksel haşlamaya kıyasla daha uzun, ancak C vitamini kaybının daha az olduğunu, bununla birlikte IR-sıcak hava kombinasyonunun hem işlem süresini kısalttığını hem de ürünlerdeki C vitamini kaybını önemli derecede azalttığını bildirmiştir [55]. Krishnamurthy ve ark. [8] bezelye, havuç gibi gıdalarda dondurma öncesi uygulanan IR işleminin başarılı sonuçlar verdiğini bildirmiştir. Ayrıca IR radyasyona tabi tutulan havuçlarda yapılan tekstür analizi sonucu yüzeyin ilk yarım milimetresindeki hücrelerin etkilendiği ve tekstür karakteristiklerinin hiç işlem görmemiş havuçlarla aynı olduğu, bu nedenle de dondurulmuş havuç endüstrisi için iyi bir potansiyeli olduğu belirtilmiştir [56]. Pan ve Atungulu [57], geliştirdikleri prototip IR cihazı ile patates, havuç, biber ve soğan gibi sebzelere ısı işlem uygulamış ve polifenoloksidaz enzimlerinin başarılı bir şekilde inaktive edildiğini bildirmiştir. Zhu ve Pan [58] IR radyasyona tabi tuttukları elmalarda, radyasyon yoğunluğu, dilim kalınlığı ve işlem süresi faktörlerinin; kuruma hızı, ürün sıcaklığı, nem kaybı, polifenoloksidaz ve peroksidaz enzimleri aktivitesi üzerine etkilerini incelemiştir. Araştırma sonuçlarına göre, dilim kalınlığının söz konusu özellikler üzerinde önemli bir etkisi olduğu, ince dilimlenmiş elmalarda enzim inaktivasyonunun ve kurumanın daha hızlı gerçekleştiği belirtilmiştir. Polifenoloksidaz ve peroksidaz enzimlerinin IR ile inaktivasyonunun birinci dereceden reaksiyon kinetiğine uygunluk gösterdiği ve söz konusu enzimlerde önemli düzeyde bir inaktivasyon sağlamak için elmaların merkez sıcaklığının sırasıyla 60-80 ve 70-90°C'ye ulaşması gerektiği bildirilmiştir [58]. Lin ve ark. [59], elma dilimlerini 4000 W/m² yoğunluktaki IR radyasyona 10 dakika boyunca maruz bırakmışlar ve bu şartlarda polifenoloksidaz enzimi inaktivasyonunun gerçekleştiği ve inaktivasyonun birinci derece reaksiyon kinetiğine uygunluk gösterdiğini rapor etmişlerdir. Bingöl ve ark. [60], düşük kalorili kızartılabilir patates üretiminin bir ön aşaması olarak IR ile kuru haşlama ve geleneksel haşlama yöntemlerini karşılaştırmıştır. Araştırmacılar, 9.43 mm kalınlığındaki patates dilimlerindeki polifenoloksidaz enziminin tamamen inaktivasyonu için gereken işlem süresinin IR ile 200 saniye ve geleneksel haşlama için 16 dakika olduğunu belirtmiştir. Daha sonra farklı sıcaklık ve sürelerde kızartılan patates dilimlerinden IR ile muamele edilmiş olanların daha az yağ çektiği gözlenmiştir.

Krishnamurthy ve ark. [8] soya fasulyelerinde bozulmaya neden olan lipoksigenaz enziminin 60

saniyelik bir ısı işlem ile %95.5 oranında inaktive edildiğini bildirmiştir. Araştırmacılar ayrıca termal kondüksiyon ile %70 oranında inaktive edilen lipaz enziminin, 6 dakikalık IR muamelesi sonucu %60 oranında inaktive edildiğini rapor etmiştir [8].

Sawai ve ark. [61], lipaz ve α -amilaz enzimlerinin IR ile inaktivasyonu üzerine yaptıkları çalışmada belli konsantrasyonlarda hazırladıkları enzim solüsyonlarının hem termal kondüksiyon hem de IR ile muamelesi sonucu inaktivasyonunu incelemişler ve IR işleminin 60°C sıcaklıklarda termal kondüksiyona neredeyse eşdeğer bir grafik izlediğini belirtmişlerdir. Enzim inaktivasyonunun bu sıcaklık derecelerinde 10 dakika içerisinde tamamlandığı belirtilmiştir.

IR ile işlem görmüş soya fasulyesi unlarının 1 yıl boyunca tazeliğini koruduğu, buna karşılık işlem görmemiş unların acılaştığı bildirilmiştir [8]. Yılmaz ve ark. [62] 600 W IR gücünde 5 dakika işleme tabi tuttukları pirinç kepeklerinde lipaz aktivitesinin bir ürünü olan serbest yağ asitliği miktarının yaklaşık 6 ay boyunca istatistiksel olarak önemli miktarda bir değişim göstermediğini tespit etmiştir.

Patojen İnaktivasyonu

IR, hem katı hem de sıvı gıdalarda bakteri, spor, küf ve maya gibi mikroorganizmaların inaktivasyonunda kullanılmaktadır. IR kullanılan mikrobiyal inaktivasyon işlemlerinin etkinliği; IR gücü / yoğunluğu ve dalga boyu, kullanılan IR kaynağı tipi, materyalin kalınlığı ve derinliği, mikroorganizmanın çeşidi ve fizyolojik fazı (üssel büyüme evresi, durağan dönem vb.) gibi pek çok faktöre bağlıdır. İnaktivasyon, IR'nin mikroorganizmaların DNA, RNA, ribozom, hücre zarfı ve protein gibi yaşamsal bileşenlerini etkilemesi nedeniyle gerçekleşmektedir. Bakteri, maya ve küfler yapısal ve kompozisyonel açıdan farklılık gösterdiğinden IR radyasyona gösterdikleri direnç de farklıdır [8].

Yang ve ark. [63] bademleri 130, 140 ve 150°C'de sadece IR, IR-sıcak hava kombinasyonu ve sadece sıcak hava kullanarak orta düzeyde kavurmuştur. *Pediococcus* bakterisinin inaktivasyonunu inceleyen araştırmacılar, IR-sıcak hava kombinasyonu kullanılarak 130, 140 ve 150°C'de kavurulan bademlerde sırasıyla 4.10, 5.82 ve 6.96 log düzeyinde mikrobiyal azalma tespit etmişler ve tek başına sıcak hava ile kavurma işlemine göre söz konusu sıcaklıklarda sırasıyla %38, 39 ve 62 zaman tasarruf etmişlerdir. Farklı metodlarla kavurulan bademler arasında duyu özellikler açısından istatistiksel olarak önemli bir fark belirleyemeyen araştırmacılar, IR-sıcak hava kombinasyonunun kavurma ve pastörize etme işlemleri için önemli bir potansiyele sahip olduğunu belirtmiştir [63].

Huang [64], *Listeria monocytogenes* ile kontamine edilmiş hindi sosislere IR kullanarak yüzey pastörizasyonu uygulamış ve 103 saniyelik işlem sonucunda söz konusu bakteri popülasyonunda 4.5 log düzeyinde azalma tespit etmiştir. James ve ark. [65], yumurta yüzeylerine 30 saniye IR uygulayarak *S. enteritidis* mikroorganizmasında 6 log düzeyinde azalma

tespit etmiştir [65]. Hebbar ve ark. [66] bal örneğinde doğal olarak bulunan mayaların 8 dakikalık kısa dalga IR uygulaması sonucu tamamen inaktive edildiğini bildirmiştir. Bingöl ve ark. [67] 10-15 dakika boyunca IR radyasyona maruz bırakılan çiğ bademlerin (erişilen sıcaklık 90°C) *Pediococcus* konsantrasyonunda 5 log düzeyinde bir azalma tespit ettiğini belirtmişlerdir. Huang ve Sites [68] *Listeria monocytogenes* ile kontamine ettikleri sosislere, yüzey sıcaklığı 70, 75, 80 ve 85°C'ye erişinceye kadar IR uygulamış ve söz konusu bakteri konsantrasyonunda sırasıyla 1.0, 2.1, 3.0 ve 5.3 log düzeyinde azalma tespit etmiştir. 80 ve 85°C'lik yüzey sıcaklığına ulaştıktan sonra aynı sıcaklıkta sırasıyla 3 ve 2 dakika daha IR radyasyona maruz bırakılan örneklerin *Listeria monocytogenes* konsantrasyonunda ise sırasıyla 6.4 ve 6.7 log düzeyinde azalma belirlenmiştir [68].

İnfrared Radyasyonun Kullanıldığı Diğer Gıda İşleme Metotları

Et ve et ürünleri, tahıllar, soya fasulyesi, kakao taneleri ve ceviz gibi ürünlere kızartma, kavurma, ızgara, ısıtma ve pişirme gibi işlemler rapor edilmiştir [8]. Skjöldebrand [4], fırın ürünlerinin pişirilmesi açısından geleneksel yöntem ile IR'yi karşılaştırmış ve IR kullanımı ile pişme süresinin %25-50 kısaldığını, sarf edilen enerji miktarının geleneksel yöntemle kıyaslanabilir olduğunu, pişme kayıplarının %10-15 daha az olduğunu ve pişen ürünlerin duysal özelliklerinin geleneksel olarak pişirilmiş ürünlere benzer olduğunu belirtmiştir. IR radyasyonun pişirmede sırasında ürünün hem yüzeyinde hem de merkezinde etkili olduğu ancak kısa dalga boyundaki IR radyasyonun uzun dalga boyuna kıyasla pişirme işlemi için daha iyi sonuç verdiği bildirilmiştir [4].

İnfraredin ekmek, bisküvi, kraker ve kek gibi pek çok fırın ürününün pişirilmesi amacıyla kullanıldığı bildirilmiştir [69]. Sakai ve Mao [5] uzun dalga IR fırın ile geleneksel fırınları kraker pişirme bakımından kıyaslamış ve IR fırının pişme süresini %66.7, sarf edilen enerji miktarını da %54.5 oranında azalttığını tespit etmiştir. IR, et ürünlerinin pişirilmesi amacıyla da kullanılmıştır [5]. Sumnu ve Özkoç [69] IR'ın çay yaprakları, kahve çekirdekleri, yer fıstığı, fındık ve susam gibi ürünlerin kavrulması amacıyla kullanıldığını bildirmiştir.

İnfrared, donmuş gıdaların hızlı çözündürülmesi amacıyla da kullanılmaktadır. Bu amaçla yaygın olarak kullanılan bir diğer teknik mikrodalga olup, donmuş ve donmamış bölgenin dielektrik özelliklerindeki farktan dolayı gıda dış yüzeylerinde iç kısımlara göre aşırı ısınma problemi oluşmaktadır. Diğer yandan su ve buzun IR radyasyonu absorplanma katsayıları birbirine neredeyse eşit olduğundan, IR radyasyon çözündürme işlemi için önemli bir alternatif sunmaktadır. Böylece tekdüze bir çözünme, daha az damlama kaybı ve etlerde istenmeyen renk değişiminde azalma sağlanabilmektedir [5]. Et ürünlerinin yanı sıra donmuş deniz ürünlerinin ve hazır yemeklerin çözündürülmesinde de IR ısıtmadan faydalanılmıştır [70].

IR ve mikrodalga kombinasyonlu işlemlerin bazı ürünlere yüzey karamelizasyonu ve çıtır yapı geliştirmek amacıyla kullanıldığı bildirilmiştir [70].

İNFRARED RADYASYONUN GIDA BİLEŞENLERİ VE YAPISINA ETKİSİ

Literatürde IR işleminin gıda bileşenleri üzerindeki etkisine yönelik oldukça az çalışma bulunmaktadır. Bunların bir kısmına aşağıda değinilmiştir. Bununla birlikte genel olarak IR işleme, geleneksel yöntemlere göre işlem süresini önemli ölçüde kısalttığı için besinsel kayıpların daha az olduğu söylenebilir [4].

Fasina ve ark. [6] IR ısıtmanın baklagil tanelerinin protein, nişasta ve jelatinize nişasta miktarını etkilemediğini bununla birlikte tripsin inhibitörleri miktarında azalma gözlemlerini belirtmiştir. Aynı çalışmada IR ısıtmanın baklagil tanelerinin kırılabilirliğini arttırdığı da bildirilmiştir. Soya fasulyelerinin IR ile 124°C'ye kadar ısıtılması sonucu üreaz ve tripsin inhibitörlerinin kabul edilebilir düzeylere kadar düştüğünü, buna karşılık kullanılabilir lizin miktarında önemli bir değişim olmadığı rapor edilmiştir [6]. Skjöldebrand [4] darıdaki tanen miktarının önemli bir kısmının IR ile denatüre edildiğini bildirmiştir. IR pişirme ile ekmek kabuğu ve ette oluşan Maillard reaksiyonunun kızartma, ızgara gibi geleneksel yöntemlere kıyasla daha iyi kontrol altında tutulduğu belirlenmiştir. Shi ve ark. [33], IR ile kuruttukları yabanmersinlerinin sıcak hava ile kurutulanlara göre daha sert tekstürel özelliklere sahip olduğunu belirtmiştir.

IR ile sebze kurutmada klorofil ve renk yıkımı ile C vitamini ve β-karoten kaybının geleneksel kurutma yöntemlerine göre daha az olduğu bildirilmiştir [5]. Kocabıyık ve ark. [32], orta dalga IR kaynağı ile 300, 350, 400, 450 ve 500 IR gücü; 30-35°C hava sıcaklığı ve 1.0, 1.5 ve 2.0 m/s hava hızlarında kuruttukları domateslerde %27 ile 75 arasında değişen oranlarda C vitamini kaybı olduğunu belirtmiştir. Aynı çalışmada domateslerdeki likopen miktarında ise %29 ile 364 arasında artış gözleyen araştırmacılar, bu sonucu likopenin IR kurutma sonrasında domatesten daha verimli bir şekilde ekstrakte edilmesine atfetmiştir. Tuncel ve ark. [71] IR, sıcak hava ve IR-sıcak hava kombinasyonu ile kuruttukları mısırlarda protein, toplam renk değişimi, β-karoten ve fenolik asit miktarı bakımından önemli bir değişiklik gözlenmediğini belirtmiştir. Nimmol ve Devahastin [72], IR ile kurutulmuş gıdalarda geleneksel metotlara kıyasla daha az C vitamini ve β-karoten kaybı gözlendiğini, aroma ve rengin daha iyi korunduğunu tespit etmişlerdir.

Kim ve ark. [73] IR kavurmanın yeşil çayın fizikokimyasal özelliklerine etkisini incelemiş ve konvansiyonel yöntemlere göre toplam fenolik madde miktarını önemli ölçüde daha yüksek bulmuştur. Araştırmacılar bu sonucu polifenolsiz enziminin inhibisyonuna ve böylece fenolik bileşiklerin oksidasyonunun ve polimerizasyonunun engellenmesine atfetmiştir. IR ile ısıtılan materyallerin toplam fenolik madde miktarları ve antioksidan aktiviteleri genel olarak konvansiyonel metotlara kıyasla daha yüksek

bulunmaktadır [69]. Bu durum, IR'nin kovalent bağları kırma etkisi göstererek flavonoid, karoten, tanen ve polifenol gibi bileşiklerin açığa çıkmasını sağlamasına atfedilmiştir [74]. Nitekim pirinç kavuzlarında kovalent olarak bağlı bulunan fenolik maddelerin IR radyasyon ile bağlarının kırılarak miktarının arttığı ancak konvansiyonel ısıtmanın bu etkiyi sağlamadığı sonucuna ulaşılmıştır [75].

Kumar ve ark. [44] IR ve sıcak hava kombinasyonu ile kuruttukları soğanların tek başına sıcak hava ile kurutululara göre pürüvik asit, toplam renk değişimi ve esmerleşme indeksi gibi parametreler bakımından daha iyi kalitede olduğunu tespit etmişlerdir.

İnfrared radyasyon ile pişirilmiş kek, kurabiye gibi çeşitli fırın ürünlerinin renk, kabuk kalınlığı, hacim, tekstürel ve duyuşal özelliklerine ait çalışmalar [76-80] bulunmakla beraber IR ile pişirmenin bu ürünlerin besinsel bileşenlerine etkisinin araştırıldığı bir çalışmaya ulaşılamamıştır.

SONUÇ

Sonuç olarak, IR radyasyon, henüz yeterince değerlendirilmemiş olmakla birlikte, gıda alanında pek çok amaçla kullanılabilir potansiyele sahip bir teknolojidir. Ortam havasını ısıtma mecburiyeti olmadan doğrudan ürüne nüfuz etmesi, kısa işlem süresi, düşük enerji maliyeti, basit alet ekipman gereksinimi gibi temel avantajları mevcuttur. Bununla birlikte IR'nin gıda işleme amacıyla endüstriyel boyutlarda kullanılması ve gıda bileşenlerine etkisi üzerine daha fazla araştırmaya ihtiyaç vardır.

KAYNAKLAR

- [1] Skjöldebrand, C., 2001. Infrared Heating. In Thermal Technologies in Food Processing, Edited by R. Richardson, Boca Raton, Florida, 208-227p.
- [2] Fasina, O., 2003. Infrared heating of food and agricultural materials. ASAE Paper No: 036219 St Joseph, Mich.
- [3] Atungulu, G.G., Pan, Z., 2011. Combined Infrared Radiation and Freeze Drying. In Infrared Heating for Food and Agricultural Processing, Edited by Z. Pan, G.G. Atungulu, Boca Raton, Florida, 117-140p.
- [4] Skjöldebrand, C., 2002. Infrared processing. In The Nutrition Handbook for Food Processors, Edited by C.J.K. Henry, C. Chapman, Boca Raton, Florida, 423-432p.
- [5] Sakai, N., Mao, W., 2006. Infrared Heating. In Thermal Food Processing New Technologies and Quality Issues, Edited by D.W. Sun, Boca Raton, Florida, 493-527p.
- [6] Fasina, O., Tyler, B., Pickard, M., Zheng, G.H., Wang, N., 2001. Effect of infrared heating on the properties of legume seeds. *International Journal of Food Science and Technology* 36: 79-90.
- [7] Datta, A.K., Almeida, M., 2005. Properties Relevant to Infrared Heating of Foods. In Engineering Properties of Foods (3rd ed.), Edited by M.A. Rao,

- S.S.H. Rizvi, A.K. Datta, Boca Raton, Florida, 209-235p.
- [8] Krishnamurthy, K., Khurana, H.K., Jun, S., Irudayaraj, J., Demirci A., 2008. Infrared heating in food processing: An overview. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 7: 2-13.
- [9] Sheridan, P. Shilton, N., 1999. Application of far-infrared radiation to cooking of meat products. *Journal of Food Engineering* 41: 203-208.
- [10] Jun, S., Krishnamurthy, K., Irudayaraj, J., Demirci, A., 2011. Fundamentals and Theory of Infrared Radiation. In Infrared Heating for Food and Agricultural Processing, Edited by Z. Pan, G.G. Atungulu, Boca Raton, Florida. 1-18p.
- [11] Sakai, N., Hanzawa, T., 1994. Applications and advances in far-infrared heating in Japan. *Trends in Food Science and Technology* 5: 357-362.
- [12] Sandu, C., 1986. Infrared radiative drying in food engineering: A process analysis. *Biotechnology Progress* 2(3): 109-119.
- [13] Chua, K.J., Chou, S.K., 2003. Low-cost drying methods for developing countries. *Trends in Food Science and Technology* 14: 519-528.
- [14] Mongpreneet, S., Abe, T., Tsurusaki, T., 2002. Accelerated drying of welsh onion by far infrared radiation under vacuum conditions. *Journal of Food Engineering* 55: 147-156.
- [15] Afzal, T.M., Abe, T., 2000. Simulation of moisture changes in barley during far infrared radiation drying. *Computers and Electronics in Agriculture* 26: 137-145.
- [16] Abe, T., Afzal, T.M., 1997. Thin-layer infrared radiation drying of rough rice. *Journal of Agricultural Engineering Research* 67: 289-297.
- [17] Das, I., Das, S.K., Bal, S., 2004. Specific energy and quality aspects of infrared (IR) dried parboiled rice. *Journal of Food Engineering* 62: 9-14.
- [18] Meeso, N., Nathakaranakule, A., Madhiyanon, T., Soponronnarit, S., 2007. Modeling of far infrared radiation in paddy drying process. *Journal of Food Engineering* 78: 1248-1258.
- [19] Pan, Z., Khir, R., Godfrey, L.D., Lewis, R., Thompson, J.F., Salim, A., 2008. Feasibility of simultaneous rough rice drying and disinfestation by infrared radiation heating and rice milling quality. *Journal of Food Engineering* 84: 469-479.
- [20] Laohavanich, J., Wongpichet, S., 2009. Drying characteristics and milling quality aspects of paddy dried with gas-fired infrared. *Journal of Food Process Engineering* 32: 442-461.
- [21] Nowak, D., Lewicki, P.P., 2004. Infrared drying of apple slices. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 5: 353-360.
- [22] Toğrul, H., 2005. Simple modeling of infrared drying of fresh apple slices. *Journal of Food Engineering* 71: 311-323.
- [23] Timoumi, S., Mihoubi, D., Zagrouba, F., 2007. Shrinkage, vitamin C degradation and aroma losses during infrared drying of apple slices. *LWT-Food Science and Technology* 40: 1648-1654.
- [24] Toğrul, H., 2006. Suitable drying model for infrared drying of carrot. *Journal of Food Engineering* 77(3): 610-619.

- [25] Kocabiyik, H., Tezer, D., 2009. Drying of carrot slices using infrared radiation. *International Journal of Food Science and Technology* 44: 953-959.
- [26] Nasıroğlu, Ş., Kocabiyik, H., 2009. Thin-layer infrared radiation drying of red pepper slices. *Journal of Food Process Engineering* 32: 1-16.
- [27] Afzal, T.M., Abe, T., 1999. Some fundamental attributes of far infrared radiation drying of potato. *Drying Technology* 17(1): 138-155.
- [28] Doymaz İ., 2012. Infrared drying of sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) slices. *Journal of Food Science and Technology-Mysore* 49(6): 760-766.
- [29] Doymaz, İ., Pala, M., 2003. The thin-layer drying characteristics of corn. *Journal of Food Engineering* 60: 125-130.
- [30] Yılmaz, N., Tuncel, N.B., 2010. An alternative strategy for corn drying (*Zea mays*) resulted in both energy savings and reduction of fumonisins b1 and b2 contamination. *International Journal of Food Science and Technology* 45: 621-628.
- [31] Celma, A.R., Cuadros, F., Lopez-Rodrigues, F., 2009. Characterisation of industrial tomato by-products from infrared drying process. *Food and Bioproducts Processing* 87: 282-291.
- [32] Kocabiyik, H., Yılmaz, N., Tuncel, N.B., Sümer, S.K., Büyükcın, M.B., 2014. The effects of middle infrared radiation intensity on the quality of dried tomato products. *International Journal of Food Science and Technology* 49(3): 703-710.
- [33] Shi, J., Pan, Z., McHugh, T.H., Wood, D., Hirschberg, E., Olson, D., 2008. Drying and quality characteristics of fresh and sugar infused blueberries dried with infrared radiation heating. *LWT-Food Science and Technology* 41: 1962-1972.
- [34] Sharma, G.P., Verma, R.C., Pathere, P., 2005. Mathematical modeling of infrared radiation thin layer drying of onion slices. *Journal of Food Engineering* 71: 282-286.
- [35] Gabel, M.M., Pan, Z., Amaratunga, K.S.P., Harris, L.J., Thompson, J.F., 2006. Catalytic infrared dehydration of onions. *Journal of Food Science* 71(9): 351-357.
- [36] Baysal, T., Icier, F., Ersus, S., Yildiz H., 2003. Effects of microwave and infrared drying on the quality of carrot and garlic. *European Food Research and Technology* 218: 68-73.
- [37] Chua, K.J., Chou, S.K., 2005. A comparative study between intermittent microwave and infrared drying of bioproducts. *International Journal of Food Science and Technology* 40: 23-39.
- [38] Sumnu, G., Turabi, E., Öztop, M., 2005. Drying of carrots in microwave and halogen lamp-microwave combination oven. *LWT-Food Science and Technology* 38: 549-553.
- [39] Tireki, S., Şumnu, G., Esin, A., 2006. Production of bread crumbs by infrared-assisted microwave drying. *European Food Research and Technology* 222: 8-14.
- [40] Wang, J., Sheng, K., 2006. Far infrared and microwave drying of peach. *LWT-Food Science and Technology* 39: 247-255.
- [41] Afzal, T.M., Abe, T., Hikida Y., 1999. Energy and quality aspects of combined fir-convection drying of barley. *Journal of Food Engineering* 42: 177-182.
- [42] Hebbar, H.U., Viswanathan, K.H., Ramesh, M.N., 2004. Development of combined infrared and hot air dryer for vegetables. *Journal of Food Engineering* 65: 557-563.
- [43] Jain, D., Pathare, P.B., 2004. Selection and evaluation of thin layer drying models for infrared radiative and convective drying of onion slices. *Biosystems Engineering* 89: 289-296.
- [44] Kumar, D.G.P., Hebbar, H.U., Sukumar, D., Ramesh, M.N., 2005. Infrared and hot-air drying of onions. *Journal of Food Processing and Preservation* 29: 132-150.
- [45] Kumar, D.G.P., Hebbar, H.U., Ramesh, M.N., 2006. Suitability of thin layer models for infrared-hot air drying of onion slices. *LWT- Food Science and Technology* 39: 700-705.
- [46] Pathere, P.B., Sharma, G.P., 2006. Effective moisture diffusivity of onion slices undergoing infrared convective drying. *Biosystems Engineering* 93 (3): 285-291.
- [47] Vishwanathan, K.H., Giwari, G.K., Hebbar, H.U., 2013. Infrared assisted dry-blanching and hybrid drying of carrot. *Food and Bioproducts Processing* 91: 89-94.
- [48] Datta, A.K., Ni H., 2002. Infrared and hot-air-assisted microwave heating of foods for control of surface moisture. *Journal of Food Engineering* 51: 355-364.
- [49] Kowalski, S.J., Rajewska, K., 2009. Convective drying enhanced with microwave and infrared radiation. *Drying Technology* 27: 878-887.
- [50] Lin, Y.P., Tsen, J.H., King, V.A.E., 2005. Effects of far-infrared radiation on the freeze-drying of sweet potato. *Journal of Food Engineering* 68: 249-255.
- [51] Lin, Y.P., Lee T.Y., Tsen, J.H., King V.A.E., 2007. Dehydration of yam slices using FIR-assisted freeze drying. *Journal of Food Engineering* 79: 1295-1301.
- [52] Chakraborty, R., Bera, M., Mukhopadhyay, P., Bhattacharya P., 2011. Prediction of optimal conditions of infrared assisted freeze-drying of aloe vera (*Aloe barbadensis*) using response surface methodology. *Separation and Purification Technology* 80: 375-384.
- [53] Pan, Z., Shih, C., McHugh, T.H., Hirschberg, E., 2008. Study of banana dehydration using sequential infrared radiation heating and freeze-drying. *LWT-Food Science and Technology* 41: 1944-1951.
- [54] Hagen, W., Drawert, F., 1986. Determination of water content by infrared. *Monatsschrift Brauwissenschaft* 40(6): 240-246.
- [55] Vishwanathan, K.H., Giwari, G.K., Hebbar, H.U., 2013. Infrared assisted dry-blanching and hybrid drying of carrot. *Food and Bioproducts Processing* 91: 89-94.
- [56] Galindo, F.G., Toledo, R.T., Sjöholm, I., 2005. Tissue damage in heated carrot slices: Comparing mild hot water blanching and infrared heating. *Journal of Food Engineering* 67: 381-385.

- [57] Pan, Z., Atungulu, G.G., 2011. Infrared Radiative Properties of Food Materials. In *Infrared Heating for Food and Agricultural Processing*, Edited by Z. Pan, G.G. Atungulu, Boca Raton, Florida. 19-37p.
- [58] Zhu, Y., Pan, Z., 2009. Processing and quality characteristics of apple slices under simultaneous infrared dry-blanching and dehydration with continuous heating. *Journal of Food Engineering* 90: 441-452.
- [59] Lin, Y.L., Li, S.J., Zhu, Y., Bingöl, G., Pan, Z., McHugh, T.H., 2009. Heat and mass transfer modelling of apple slices under simultaneous infrared dry blanching and dehydration process. *Drying Technology* 27: 1051-1059.
- [60] Bingöl, G., Wang, B., Zhang, A., Pan, Z., McHugh, T.H., 2014. Comparison of water and infrared blanching methods for processing performance and final product quality of french fries. *Journal of Food Engineering* 121: 135-142.
- [61] Sawai, J., Sagara, K., Hashimoto, A., Igarashi, H., Shimizu, M., 2003. Inactivation characteristics shown by enzymes and bacteria treated with far-infrared radiative heating. *International Journal of Food Science and Technology* 38: 661-667.
- [62] Yılmaz, N., Tuncel, N.B., Kocabıyık, H., 2013. Infrared stabilization of rice bran and its effects on γ -oryzanol content, tocopherols and fatty acid composition. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 94(8): 1568-1576.
- [63] Yang, J., Bingöl, G., Pan, Z., Brandi, M.T., McHugh, T.H., Wang, H., 2010. Infrared heating for dry-roasting and pasteurization of almonds. *Journal of Food Engineering* 101: 273-280.
- [64] Huang, L., 2004. Infrared surface pasteurization of turkey frankfurters. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 5: 345-351.
- [65] James, C., Lechevalier, V., Ketteringham, L., 2002. Surface pasteurization of shell eggs. *Journal of Food Engineering* 53: 193-197.
- [66] Hebbbar, H.U., Nandini, K.E., Lakshmi, M.C., Subramanian, R., 2003. Microwave and infrared heat processing of honey and its quality. *Food Science and Technology Research* 9 (1): 49-53.
- [67] Bingöl, G., Yang, J., Brandi, M.T., Pan, Z., Wang, H., McHugh, T.H., 2011. Infrared pasteurization of raw almonds. *Journal of Food Engineering* 104: 387-393.
- [68] Huang, L., Sites, J., 2008. Elimination of *Listeria monocytogenes* on hotdogs by infrared surface treatment. *Journal of Food Science* 73(1): 27-31.
- [69] Sumnu, S.G., Özkoç, S.Ö., 2011. Infrared Baking and Roasting. In *Infrared Heating for Food and Agricultural Processing*, Edited by Z. Pan, G.G. Atungulu, Boca Raton, Florida. 203-225p.
- [70] Özkoç, S.Ö., 2010. Kızılötesi ve kızılötesi-kombinasyon ısıtma teknolojilerinin gıda işleme uygulamalarında kullanımı. *Gıda* 35(3): 211-218.
- [71] Tuncel, N.B., Yılmaz, N., Kocabıyık, H., Öztürk, N., Tunçel, M., 2010. The effects of infrared and hot-air drying on some properties of corn. *Journal of Food Agriculture and Environment* 8 (1): 63-68.
- [72] Nimmol, C., Devahastin, S., 2011. Vacuum Infrared Drying. In *Infrared Heating for Food and Agricultural Processing* Z. Pan, G.G. Atungulu, Boca Raton, Florida. 141-166p.
- [73] Kim, S.Y., Jeong, S.M., Jo, S.C., 2006. Application of far infrared radiation in manufacturing of process green tea. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 54: 9943-9947.
- [74] Niwa, Y., Kanoh, T., Kasama, T., Neigishi, M., 1988. Activation of antioxidant activity in natural medicinal products by heating, brewing and lipophilization. A new drug delivery system. *Drugs under Experimental and Clinical Research* 14: 361-372.
- [75] Lee, S.C., Kim, J. H., Jeong, S.M., Kim, D.R., Ha, J.U., Nam, K.C., Ahn, D.U., 2003. Effect of far infrared radiation on the antioxidant activity of rice hulls. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 51: 4400-4403.
- [76] Wade, P., 1987. Biscuit baking by near-infrared radiation. *Journal of Food Engineering* 6: 165-175.
- [77] Skjöldebrand, C., Andersson, C., 1989. A comparison of infrared bread baking and conventional baking. *Journal of Microwave power and Electromagnetic Energy* 24: 91-101.
- [78] Keskin, S.Ö., Sumnu, G., Şahin, S., 2004. Bread baking in halogen lamp-microwave combination oven. *Food Research International* 37: 489-495.
- [79] Sakiyan, O., Sumnu, G., Sahin, S., Meda, V., 2007. The effect of different formulations on physical properties of cakes baked with microwave and near infrared-microwave combinations. *Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy* 41: 17-23.
- [80] Syhu, Y.S., Sung, W.C., Chang, M.H., Hwang, J.Y., 2008. Effect of far-infrared oven on the qualities of bakery products. *Journal of Culinary Science and Technology* 6: 105-118.