

# KIZILÖTESİ VE KIZILÖTESİ-KOMBİNASYON ISITMA TEKNOLOJİLERİNİN GIDA İŞLEME UYGULAMALARINDA KULLANIMI

Semin Özge Özkoç\*

TÜBİTAK, Marmara Araştırma Merkezi, Gıda Enstitüsü, Gebze/Kocaeli

Geliş tarihi / Received: 05.08.2009

Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 14.10.2009

Kabul tarihi / Accepted: 20.10.2009

## Özet

Kızılötesi ısıtma, özellikle diğer ısıtma mekanizmalarıyla (konvansiyonel ısıtma, mikrodalga ısıtma gibi) bir arada kullanıldığında, zaman ve enerjiden tasarruf sağlayan bir ısıtma teknolojisidir. Gıda endüstrisinde yaygın olarak kurutma, pişirme, kavurma, çözdürme, pastörizasyon ve sterilizasyon gibi ısı işlemlerde kullanılmaktadır. Kızılötesi ısıtmanın konvansiyonel ısıtmaya göre avantajları, kısa ısıtma süresi, düzgün ısıtma, kalite kayıplarının ve besinsel kayıpların azaltılması, ekipmanların basit ve esnek olması ve önemli oranda enerji tasarrufu sağlaması şeklinde sıralanabilir. Bu derleme makalede, özellikle kızılötesi ve kızılötesi-kombinasyon pişirme teknolojilerinin bazı fırıncılık ürünlerinin (ekmek, kek, kurabiye gibi) fiziksel, fizikokimyasal, mikroyapısal özellikleri ile kaliteleri üzerine olan etkileri yer almaktadır. Ayrıca bu pişirme yöntemi ile konvansiyonel pişirme yönteminin ürün kalitesi üzerine olan etkileri ile ilgili karşılaştırmalı sonuçlara yer verilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Kızılötesi ısıtma, kızılötesi-kombinasyon ısıtma, kurutma, pişirme, çözdürme, pastörizasyon-sterilizasyon

## USE OF INFRARED AND INFRARED-COMBINED HEATING TECHNOLOGIES IN FOOD PROCESSING APPLICATIONS

### Abstract

Infrared heating is a heating technology which provides time and energy saving, especially when combined with other heating modes (such as conventional heating, microwave heating). It is widely used in thermal processes such as drying, baking, roasting, thawing, pasteurization and sterilization in food industry. Some of the advantages of infrared radiation as compared to conventional heating can be enumerated as reduced heating time, uniform heating, reduction of quality and nutritional losses, simple and versatile equipments, and significant energy saving. Within the context of this review, information especially on effects of infrared and infrared-combination baking technology on physical, physicochemical, microstructural properties and quality of some selected products (bread, cake, cookie) and the comparative results concerning the effect of this method and the conventional baking methods on product quality are provided.

**Keywords:** Infrared heating, infrared-combined heating, drying, baking, thawing, pasteurization-sterilization

\* Yazışmalardan sorumlu yazar / Corresponding author;

✉ semin.keskin@mam.gov.tr, ☎ (+90) 262 677 3238, 📠 (+90) 262 641 2309

## GİRİŞ

Mevcut teknolojilere alternatif yeni gıda işleme teknolojileri geliştirilirken ürün kalitesinin iyileştirilmesinin yanısıra zaman ve enerji tasarrufunun da sağlanması amaçlanmaktadır. Kızılötesi ısıtma, özellikle diğer ısıtma yöntemleri ile bir arada kullanıldığında, zaman ve enerji tasarrufu sağlayan bir ısıtma teknolojisidir. Diğer yandan konvansiyonel ısıtmayla karşılaştırıldığında daha yüksek ısıl verimlilik ve ısıtma hızına sahip olması nedeniyle gıda sektörünün de içinde bulunduğu değişik sektörlerde gittikçe popülerlik kazanmakta ve kullanım alanı bulmaktadır.

Kızılötesi radyasyon (dalga boyu; 0.76-1000 mm), bilindiği gibi ısı enerjisi, radyo frekansı ve mikrodalga ile ısıtmada olduğu gibi elektromanyetik dalga olarak transfer etmektedir. Diğer yandan kızılötesinin elektromanyetik spektrumdaki yeri görünür ışıkla mikrodalga arasındadır. Kızılötesi radyasyon, yakın-kızılötesi (0.76-2mm), orta-kızılötesi (2-4mm) ve uzak-kızılötesi (4-1000mm) olarak sınıflandırılmaktadır (1).

Gıda maddeleri, kızılötesi radyasyona maruz bırakıldıklarında, ortaya çıkan enerjiyi değişen oranlarda soğurma kabiliyetine sahiptirler. Son zamanlarda kızılötesi radyasyon, gıda endüstrisinde yaygın olarak kurutma, pişirme, çözdürme, pastörizasyon ve sterilizasyon gibi ısı işlemlerde kullanılmaktadır (2). Kızılötesi ısıtmanın konvansiyonel ısıtmaya göre avantajları, kısa sürede düzgün ısıtma sağlanması, kalite kayıplarının ve besinsel kayıpların azaltılması, ekipmanların basit ve esnek kullanım alanlarına sahip olmaları ve önemli oranda enerji tasarrufu sağlaması şeklinde sıralanabilir (2, 3).

Bu çalışma kapsamında, kızılötesi ve kızılötesi kombinasyon ısıtmanın gıda işlemede kullanım alanları ile konvansiyonel ısıtmaya göre avantaj ve dezavantajları ele alınmıştır. Ayrıca kızılötesi ve kızılötesi-kombinasyon pişirme teknolojilerinin bazı seçilmiş ürünlerin (ekmek, kek, kurabiye gibi) fiziksel, fizikokimyasal, mikroyapısal özellikleri ve kaliteleri üzerine olan etkileri ile konvansiyonel pişirme yöntemleriyle karşılaştırmalı sonuçlarına yer verilmiştir.

## KIZILÖTESİ VE KIZILÖTESİ-KOMBİNASYON ISITMA TEKNOLOJİLERİNİN GIDA İŞLEME UYGULAMALARINDA KULLANIMI

## Kurutma

Kızılötesi ısıtmanın en çok kullanıldığı alanlardan biri kurutmadır. Diğer yöntemlerle (konvektif kurutma, dondurarak kurutma gibi) karşılaştırıldığında düşük maliyetle yüksek kalitede ürün elde etme olanağı sağladığı bildirilmektedir (2). Diğer avantajları ise kurutma süresinin kısılması, alternatif enerji kaynağı olması, yüksek enerji verimliliğine sahip olması, kurutma sırasında ürün sıcaklığının düzgün dağılması, işlem parametrelerinin kolay kontrol edilebilir olması ve yer tasarrufu sağlaması şeklinde sıralanabilir (2). Uzak-kızılötesi kurutma son yıllarda başarılı bir şekilde meyve ve sebzelerin kurutulmasında kullanılmaktadır. Bu ürünler arasında patates, tatlı patates, soğan, elma yer almaktadır (4-9). Yakın-kızılötesi ısıtmanın kullanıldığı bir çalışmada farklı halojen lamba güçlerinde ekmek içi örnekleri kurutulmuştur. Yakın-kızılötesi ısıtmayla konvansiyonel fırında kurutma süresinde %80 ile %94 arasında değişen oranlarda düşüş, su tutma kapasitesinde ise artış gözlenmiştir (10). Aynı çalışmada, kızılötesi kurutmanın yüzey neminin uzaklaştırılmasında başarıyla kullanılabileceği belirtilmiştir.

Kızılötesi ısıtma, gelecek vaat eden yeni bir teknoloji olmasına karşın her kurutma işleminde kullanılamamaktadır. Gıdanın çeşidi, kalınlığı, kızılötesi ısıtma kaynağının nüfuz derinliği bu yöntemle gıda kurutmanın başarısını etkileyen faktörler arasında sıralanmaktadır (11). Gıda örnekleri uzun süre kızılötesi radyasyona maruz kaldıklarında yapısal özelliklerinde bozulmalar meydana geldiği belirtilmektedir. Örneğin kızılötesi ısıtma uygulanan arpa tanelerinin fiziksel, mekanik, kimyasal ve fonksiyonel özelliklerinin değiştiği bildirilmiştir (2). Ayrıca Fasina ve ark. (12) çalışmalarında, bakliyat tohumlarının kızılötesi ısıtmayla 140 °C sıcaklığa çıkarılmalarıyla yüzeylerinde çatlama meydana geldiğini belirtmişlerdir. Das ve ark. (13) kalın gıda ürünleri veya pirinç gibi yığın halinde kurutulan ürünlerin tek başına kızılötesi ısıtma kullanılarak eşit oranda ve homojen şekilde kurutulamadıklarını bildirmiştir. Bu tür sebeplerle, kızılötesi-kombinasyon ısıtma teknolojileri gündeme gelmiştir. Bu kombinasyon ısıtma teknolojileri arasında, kızılötesi-konvektif ısıtma, kızılötesi-hızlı hava akımı ile ısıtma ve kızılötesi-mikrodalga kombinasyon ısıtma teknolojileri yer almaktadır.

Kızılötesi-konvektif ısıtma kombinasyonunun ürün kalitesi ve enerji verimliliği açısından sinerji

yarattığı belirtilmektedir (14). Datta ve Ni, (15) çalışmalarında, gıda ürünlerinde konvansiyonel ısıtmaya alternatif olarak kızılötesi-mikrodalga ısıtmayı kullanarak, ısı ve nem transfer modellerini oluşturmuşlardır. Diğer yandan, gıda ürünlerinde yüzeyde esmerleşmenin sağlanması ve kırı yapının elde edilmesi amacıyla kızılötesi-mikrodalga kombinasyon ısıtma kullanılarak bazı patentler yayınlanmıştır (16-18). Sumnu ve ark. (19) çalışmalarında, kızılötesi-mikrodalga kombinasyon ısıtma teknolojisini kullanarak havuç kurutmuşlardır. Konvektif ısıtmayla karşılaştırıldığında kurutma süresinde %98 oranında azalma olduğunu ve hazır çorbalarda kullanılacak yüksek kaliteli kurutulmuş ürün elde edildiğini belirtmişlerdir. Kızılötesi-mikrodalga kombinasyon ısıtmanın kullanıldığı bir diğer çalışmada, ekmek içi örneklerinin kurutma süresinin yaklaşık %97-99 oranlarında azaldığı bildirilmiştir (10). Ayrıca kızılötesi-mikrodalga ısıtmayla kurutulan ekmek içi örneklerinin renk değerlerinin konvansiyonel fırında kurutulan örneklerin renk değerleriyle benzer olduğu bulunmuştur. Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde, kızılötesi-mikrodalga kombinasyon ısıtmanın ürün kalitesinden ödün vermeden zaman tasarrufu sağlaması avantajı, kurutma uygulamalarında açıkça görülmektedir.

### Pişirme

Kızılötesi ısıtma, konvansiyonel ısıtmaya göre önemli avantajlar sağlamaktadır. Ancak literatürde başarılı uygulamaların (20-23) yanında, kötü ürün kalitesiyle sonuçlanan çalışmalar (24, 25) da yer almaktadır. Kullanılan kızılötesi ısıtma kaynağının dalgaboyu, işleme koşulları (pişirme süresi, fırın rutubeti vb.) ve gıdanın termal özellikleri ürün kalitesinde farklı sonuçlar elde etmeye neden olabilmektedir. Wade (20), yakın-kızılötesi ve konvektif fırınlarda pişirilen bisküvileri, görünüş, boyut, yeme özellikleri açısından karşılaştırmış, belirtilen parametreler bakımından benzer olduklarını bulmuştur. Ayrıca yakın-kızılötesi ısıtma kullanımıyla pişirme süresinin %50 oranında azaldığını bildirmiştir. Skjöldebrand ve Andersson (21), yaptıkları çalışma ile kızılötesi ısıtma kullanılarak pişirilen ekmeklerin daha ince kabuğa ve daha düşük iç sertlik değerine sahip olduğunu bulmuşlardır. Shyu ve ark (23), tarafından yapılan bir diğer çalışmada, uzak-kızılötesi fırının dört farklı fırıncılık ürününün (ekmek, tost, kek, pandispanya) kalite parametreleri (tekstür, hacim, bayatlama hızı ve

duyusal analiz) üzerine olan etkileri incelenmiş ve konvansiyonel fırında pişirilen örneklerin kaliteleriyle karşılaştırılmıştır. Her iki pişirme metodu ile pişirilen ürünlerin benzer hacim, su aktivitesi, bayatlama hızı ve duyusal analiz sonuçlarına sahip oldukları bildirilmiştir. Bu sonuçların aksine, Keskin ve ark. (24) ve Sumnu ve ark. (25), kızılötesi ısıtmanın (bu çalışmalarda yakın-kızılötesi ısıtma kaynağı olarak halojen lamba kullanılmıştır) tek başına kullanılması sonucu ekmek ve keklerde kalın kabuk oluşumunun gözlemlendiğini belirtmişlerdir. Ayrıca kızılötesi ısıtmayla pişirilen ekmeklerin konvansiyonel fırında pişirilen ekmeklere kıyasla özgül hacimlerinin düşük, iç sertlik değerlerinin ise yüksek olduğu bildirilmiştir (24).

Son yıllarda yapılan çalışmalarda, kombinasyon ısıtma teknolojileri, pişirme süresini kısaltmak ve ürün kalitesini arttırmak amacıyla kullanılmaktadır. Bunlar arasında kızılötesi-mikrodalga ve kızılötesi-hızlı hava akımı kombinasyon ısıtma teknolojileri yer almaktadır. Makalenin ilerleyen kısımlarında bu teknolojilerin kullanıldığı pişirme uygulamalarında elde edilen sonuçlara yer verilmiştir.

Kızılötesi ısıtmanın mikrodalga ile birleştirildiği çalışmalarda, bu ısıtma teknolojisinin ekmeklerin (24-27), keklerin (25, 28), pirinç unundan yapılan keklerin (29), kurabiyelerin (30) kalitelerine, ekmeklerin bayatlamalarına (31, 32), reolojik özelliklerine (32), taşınım özelliklerine (27, 33) ve gözenek yapılarına (34, 35) olan etkileri incelenmiştir. Yapılan çalışmalarda, kızılötesi-mikrodalga kombinasyon ısıtma ile konvansiyonel pişirme süresinin önemli oranda (%50 ile %80 arasında değişen oranlarda) azaldığı belirtilmektedir (24, 26, 30, 36). Kızılötesi-mikrodalga kombinasyon fırında pişirilen ekmeklerin renk, tekstürel özellikler, özgül hacim ve gözeneklilik değerleri göz önüne alındığında konvansiyonel fırında pişirilen ekmeklerin kaliteleriyle karşılaştırılabilir özellikte olduğu belirtilmiştir (26). Bir diğer çalışmada ise kızılötesi-mikrodalga kombinasyon fırında pişirilen keklerin renk ve iç sertlik değerlerinin konvansiyonel fırında pişirilen keklerin renk ve iç sertlik değerleriyle benzer olduğu bulunmuştur (25). Keskin ve ark. (30) çalışmalarında, kızılötesi-mikrodalga kombinasyon ısıtmanın kurabiyelerin kalitesi ve çirışlenme özellikleri üzerine etkisini araştırmışlardır. Mikrodalga ve halojen lamba (yakın-kızılötesi radyasyon kaynağı) gücünün ve pişirme süresinin kurabiyelerin nem içeriği, sertlik ve yayılma oranı değerlerini etkile-

diğini bulmuşlardır. Kızılötesi-mikrodalga kombinasyon ısıtma ile konvansiyonel pişirme süresinde %50 oranında azalma gözlemlenmiştir. Turabi ve ark. (29), halojen lamba (yakın-kızılötesi radyasyon kaynağı) gücünün %1 ksantan gam içeren pirinç unundan yapılmış glutensiz keklerin kalitesine olan etkilerini incelemişlerdir. Halojen lamba gücü arttıkça glutensiz keklerin hacimlerinin düştüğü, toplam renk değişimlerinin ise arttığı gözlenmiştir. Bunların yanı sıra, kızılötesi-mikrodalga kombinasyon fırında pişirilen ekmeklerin kalite problemlerini (yüksek iç sertlik, düşük nem içeriği) gidermek amacıyla farklı enzim (31) ve gamlardan (27) yararlanılmışlardır. Keskin ve ark. (31) çalışmalarında, farklı enzimler (fungal  $\alpha$ -amilaz, proteaz, ksilenaz, lipaz) kullanarak kızılötesi-mikrodalga kombinasyon fırında pişirilen ekmeklerin iç sertlik değerlerini azaltmayı amaçlamışlardır. Çalışmada kullanılan bütün enzimlerin örneklerin hem tazeyken hem de 48 saatlik bekletme sonrasında iç sertlik değerlerini azalttığını gözlemlenmiştir. Ayrıca enzim ilave edilen ekmeklerin özgül hacimlerinin de yüksek olduğu gözlenmiştir. Diğer bir çalışmada, ekmeklerin nem içeriğini arttırmak, iç sertlik değerini azaltmak amacıyla farklı gamlar formülasyona ilave edilmiştir (27). Ksantan-guar gam karışımının formülasyona ilave edilmesiyle ekmeklerin özgül hacim ve gözeneklilik değerlerinin arttığı, iç sertlik değerlerinin azaldığı gözlenmiştir. Bayatlama parametreleri (retrogradasyon entalpisi ve FTIR çıktısı) ele alındığında, kızılötesi-mikrodalga kombinasyon fırında pişirilen ekmeklerin konvansiyonel fırında pişirilen ekmeklerinkine benzer bayatlama derecesine sahip oldukları belirtilmiştir (32). Sumnu ve ark. (33) çalışmalarında, kızılötesi-mikrodalga ısıtmanın da aralarında bulunduğu üç farklı ısıtma moduyla (kızılötesi-mikrodalga kombinasyon, hızlı hava akımı-mikrodalga kombinasyon ve hızlı hava akımı ısıtma) ekmeklerin pişirilmeleri sırasında fiziksel özelliklerini (dielektrik özellikleri, ısıl iletkenlik ve kalite özellikleri) incelemiş, örneklerin dielektrik özellikleri ve ısıl iletkenlikleriyle kalite parametreleri (nem içeriği, gözeneklilik) arasında regresyon denklemleri elde etmişlerdir. Bu denklemlere ait regresyon katsayıları yüksek bulunmuş, pişirme sırasındaki dielektrik özelliklerin nem içeriğindeki düşüş ve gözeneklilikteki artıştan etkilendiği bildirilmiştir. Datta ve ark. (34), farklı ısıtma yöntemleri (kızılötesi-mikrodalga kombinasyon; hızlı hava akımı-mikrodalga kombinasyon; hızlı hava akımı ısıtma) kullanılarak elde edilen ekmeklerin gözenek karakterizasyonunu yapmış, farklı

ısıtma yöntemleri kullanılarak pişirilen ekmeklerin farklı gözenek yapısına sahip olduğunu bulmuşlardır. Kızılötesi-mikrodalga kombinasyon fırında pişirilen ekmeklerde en yüksek oranda kapalı gözenek yapısının gözlemlendiği, bunu sırasıyla hızlı hava akımı-mikrodalga kombinasyon ve hızlı hava akımı ısıtma ile pişirilen ekmeklerin takip ettiği bildirilmiştir. Ozkoc ve ark. (35) çalışmalarında, farklı gamların farklı fırınlarda pişirilen ekmeklerin mikro- ve makro gözenek yapılarına etkilerini araştırmışlardır. SEM analizi sonucunda, konvansiyonel fırında pişirilen kontrol ekmeklerin gözeneklerinin kombinasyon fırında pişirilen ekmeklerin gözeneklerine oranla daha küçük ve küre şeklinde veya oval şekilde olduğu görülmüştür. Ayrıca konvansiyonel fırında pişirilen ekmeklerin daha homojen kapalı gözenek yapısına sahip oldukları belirtilmiştir. Diğer yandan, kızılötesi-mikrodalga kombinasyon fırında pişirilen ekmeklerin gözeneklerinin küresel şekilde olmadığı, gözeneklerin birleşerek kanallar oluşturduğu gözlenmiştir. Elde edilen bu sonuçlar ışığında, ısıtma yöntemlerine hızlı hava akımı, mikrodalga gibi farklı ısıtma mekanizmalarının dahil olmasıyla ürün gözenek yapısında belirgin farklılıklar meydana geldiği açıkça görülmektedir.

Olsson ve ark. (37) çalışmalarında, kızılötesi ve hızlı hava akımı ısıtma yöntemlerini tek başına ve kombine şekilde kullanarak yarı-pişmiş ekmeklerde pişirme sonrası kabuk ve renk oluşumunu incelemişler ve konvansiyonel fırında pişirme sonrası elde edilen değerlerle karşılaştırmışlardır. Kızılötesi ve hızlı hava akımı ısıtma yöntemlerinin ekmekte renk oluşum hızını arttırdığını ve pişirme süresini azalttığını bulmuşlardır. En hızlı renk oluşumunun ise kızılötesi-hızlı hava akımı ısıtma kombinasyonu kullanılarak elde edilen ekmeklerde meydana geldiğini belirtmişlerdir.

### Kavurma

Kavurma, üründe kimyasal reaksiyonların oluştuğu, ısı değişimi ve kurutmanın da yer aldığı sıcaklık ve süre bağımlı bir işlemdir. Kızılötesi ısıtma, kahve çekirdeklerinin (38) ve yeşil çayın (39, 40) kavurulmasında başarıyla kullanılmıştır. Kino (38) çalışmasında, konvektif ve uzak-kızılötesi ısıtma kullanılarak kavru lan kahve çekirdeklerinden elde edilen özütte bileşen analizi yapmıştır. Uzak-kızılötesi kavurma ile daha lezzetli ve yumuşak tatta ürün elde edildiği belirtilmiştir. Ta-keo (39), uzak-kızılötesi kullanılarak kavru lan ye-

şil çay yapraklarının duyuşal ve bileşen analizini yapmış, daha iyi aroma ve tek düze ısıtma sağlanabildiğini, ve kısmi aşırı ısınmanın da engellenebildiğini bildirmiştir. Kim ve ark. (40) çalışmalarında, uzak-kızılötesi kavurmanın yeşil çayın fiziko-kimyasal özelliklerine olan etkilerini incelemişler, aynı sıcaklık ve sürede konvansiyonel olarak kavru lan örneklerle karşılaştırma yapmışlardır. Uzak-kızılötesi radyasyonun toplam fenolik madde miktarını önemli oranda arttırdığını bulmuşlardır. Bunun nedeni olarak uzak-kızılötesi ısıtmanın polifenol oksidaz gibi enzimleri daha etkin şekilde inhibe etmesi ve bunun sonucu olarak da fenolik bileşiklerin oksidasyonunun ve polimerizasyonunun engellemesi gösterilmiştir.

Kızılötesi-kombinasyon ısıtma teknolojilerinin kavurmada kullanılmasıyla ilgili olarak sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Uysal ve ark. (41) çalış-

malarında, fındıkların kavrulmasında kızılötesi-mikrodalga ısıtmanın kullanım olanaklarını araştırmışlardır. Kızılötesi-mikrodalga kombinasyon ısıtmanın konvansiyonel ısıtma süresini azalttığını ve konvansiyonel kavurmaya alternatif olabileceğini bildirmişlerdir. Kızılötesi-mikrodalga fırın için belirledikleri optimum kavurma koşullarında (%90 mikrodalga %60 üst halojen lamba ve %20 alt halojen lamba gücünde 2.5 dakika) kavru lan fındıkların konvansiyonel olarak kavru lan fındıkların renk, tekstür, nem içeriği ve yağ asitleri kompozisyonu açısından karşılaştırılabilir özellikte olduğunu bulmuşlardır.

Kızılötesi-mikrodalga kombinasyon ısıtma teknolojisinin kullanıldığı kurutma, pişirme ve kavurma işlemlerinde, konvansiyonel ısıtma süresinde önemli oranda azalma meydana geldiği Çizelge 1’de görülmektedir.

Kurutma ve kavurma işlemlerinde ürün kalitesin-

Çizelge 1. Kızılötesi-mikrodalga kombinasyon ısıtma teknolojisinin kullanıldığı kurutma, pişirme ve kavurma işlemlerinde konvansiyonel ısıtma sürelerindeki azalma oranları (M: mikrodalga gücü, UH: Üst halojen lamba gücü, AH: Alt halojen lamba gücü, s: süre, S: sıcaklık)

Ürün	İşlem	Isıtma koşulları		Konvansiyonel ısıtma süresinde azalma oranı (%)	Kaynak
		Kızılötesi-mikrodalga kombinasyon ısıtma	Konvansiyonel ısıtma		
Havuç	Kurutma	M: %50, UH: %50, AH: %50, s: 2.6 dakika	S: 60°C s: 128 dakika	~ % 98	Sumnu ve ark., 2005
Ekmek içi	Kurutma	M: %70, UH: %50, AH: %50, s: 1.75 dakika	S: 75°C s: 126 dakika	~ % 99	Tireki ve ark., 2006
Hamburger ekmeği	Pişirme	M: %20, UH: %70, AH: %50, s: 5 dakika	S: 200 °C s: 13 dakika	~ %60	Demirekler ve ark., 2004
Bisküvi	Pişirme	M: %20, UH: %70, AH: %70, s: 5.5 dakika	S: 205 °C s: 11 dakika	%50	Keskin ve ark., 2005
Kek	Pişirme	M: %30, UH: %60, AH: %70, s: 5 dakika	S: 175 °C s: 24 dakika	~ %79	Sevimli ve ark., 2005
Glutensiz kek	Pişirme	M: %40, UH: %60, AH: %70, s: 7 dakika	S: 175 °C s: 30 dakika	~ %75	Turabi ve ark., 2008
Fındık	Kavurma	M: %90, UH: %60, AH: %20, s: 2.5 dakika	S: 150°C, s: 20 dakika	~ %88	Uysal ve ark., 2009

den ödün vermeden yüksek mikrodalga gücü kullanılabilirdi için kurutma süresi yaklaşık % 90-99 oranlarında azaltılabilmektedir. Pişirme uygulamalarında, özellikle fırıncılık ürünlerinde ise düşük mikrodalga gücü tercih edilmektedir. Fırıncılık ürünleri, kızılötesi-mikrodalga fırında düşük mikrodalga ve mikrodalga gücüne oranla daha yüksek halojen lamba güçlerinde pişirilmektedir. Böylece, yüksek mikrodalga gücünün fırıncılık ürünlerinde neden olabileceği kalite problemleri bertaraf edilebilmektedir. Yüksek halojen lamba gücü kullanılarak ise halojen lambanın düşük nüfuz derinliğine sahip olması özelliğinden faydalanılarak ısının yüzeyde yoğunlaşması ve ürün yüzeyinde renk ve kabuk oluşumu sağlanmaktadır.

### Çözdürme

Çözdürme koşulları (çözdürme yöntemi, çözdürme sıcaklığı, çözdürme hızı, vb.), dondurulmuş ürünlerin kalitelerini etkileyen önemli parametrelerdendir. Konvansiyonel yöntemlerin uzun çözdürme süresi, gıda kalitesinde istenmeyen değişiklikler ve ürün kaybı gibi dezavantajları bulunmaktadır. Kızılötesi ısıtmanın konvansiyonel ısıtmaya göre avantajının ise su ve buzun benzer kızılötesi radyasyonu absorplama katsayısına sahip olması sonucu tekdüze ısıtma sağlaması, daha az damlama kaybına ve etlerde daha az renk değişikliğine neden olması gösterilmektedir (42). Literatürde dondurulmuş deniz ürünlerinin ve hazır yemeklerin çözdürülmesinde kızılötesi ısıtmadan faydalanılmıştır (43, 44). Kızılötesi ısıtmanın nüfuz derinliği dikkate alındığında, gıdanın kalınlığı, çözdürme süresini etkilemektedir. Bu nedenle daha kalın örneklerin çözünmesi daha uzun sürmektedir. Liu ve ark. (44) çalışmalarında, çözdürme süresiyle örnek kalınlığı arasında korelasyonu belirlemişlerdir. Doğal konveksiyonla çözdürme işlemi ile karşılaştırıldığında dört kat daha hızlı çözdürme sağlanabildiği belirtilmiştir. Literatürde, çözdürme zamanını kısaltmak amacıyla kızılötesi-konvektif kombinasyon ısıtma teknolojisinden faydalanılmıştır (43, 44). Kızılötesi-mikrodalga kombinasyon ısıtma teknolojisi, Seyhun ve ark. (45) tarafından patates püresinin çözdürülmesinde kullanılmıştır. Çalışmalarında, mikrodalga ve kızılötesi-mikrodalga kombinasyonlu fırınlarda sıcaklık dağılımının ve ısıtma modellerinin farklı olduğunu, mikrodalga ve halojen lamba güçleri arttıkça çözdürme süresinin kısalacağını bildirmişlerdir. Bu çalışmada, kombi-

nasyon ısıtmada, %30, %40, %50 mikrodalga gücü ile %10, %20, %30 üst halojen lamba gücünden faydalanılmıştır. Çözdürme işleminde düşük halojen lamba gücü ve ona oranla daha yüksek mikrodalga gücü kullanılmasının nedeni, halojen lambanın düşük nüfuz derinliği özelliği nedeniyle ısının yüzeyde yoğunlaşmasını ve renk oluşumunu engellemek ve mikrodalga ısıtmanın ise hacimsel ısıtma (volumetric heating) özelliğinden faydalanarak homojen ürün elde etmek olarak sıralanabilir.

### Pastörizasyon-sterilizasyon

Kızılötesi ısıtmanın bir diğer kullanım alanı ise pastörizasyon, sterilizasyon işlemleridir. Bu teknoloji, istiridye (43), tahıl (46), et (43) gibi gıdalarda bakteri, maya, küf ve sporların inaktivasyonunda kullanılabilir. Kızılötesi radyasyon, ısı inaktivasyonla mikroorganizmanın DNA, RNA, ribozom, hücre zarfı ve proteinlerini tahrip edebilmektedir. Sawai ve ark. (47), fosfat tampon çözeltisi içinde kızılötesi radyasyona maruz bırakılan *E. coli*'nin inaktivasyon mekanizmasını araştırmışlardır. Kızılötesi radyasyon sonucu hasar gören hücrelerin inhibitör ajanlara karşı daha duyarlı olduklarını belirtmektedirler. Bu hasar kondüktif ısıtma ile de elde edilebildiği halde, mikroorganizmanın RNA, protein ve hücre duvarının kızılötesi ısıtma uygulaması sonrasında daha savunmasız olduğunu bulmuşlardır. Kızılötesi radyasyonun en çok hasar verdiği yapının, proteinler olduğu, onları sırasıyla RNA, hücre duvarı ve DNA takip ettiği belirtilmektedir.

Mikrobiyel inaktivasyon derecesini etkileyen parametreler arasında kızılötesi radyasyon kaynağının gücü, dalgaboyu, gıda tipi, kalınlığı, mikroorganizma tipi, mikroorganizmanın hangi fizyolojik evrede olduğu (üssel büyüme evresi, durgun evre gibi) bulunmaktadır. Kızılötesi radyasyon kaynağının gücü arttıkça daha fazla enerji üretilmesi ve mikroorganizmanın soğurduğu toplam enerji miktarının artması nedeniyle mikrobiyel inaktivasyon artmaktadır (2). Bant genişlikleri ele alındığında ise gıdaların ve mikroorganizmaların tiplerine göre farklı dalga boylarındaki kızılötesi radyasyonu soğurma özelliğine sahip olmaları nedeniyle "seçimli ısıtma" sağlanabilmektedir (46). Diğer yandan, bakteri, maya ve küfler, yapısal ve kompozisyonel farklılıklara sahip olmaları nedeniyle kızılötesi-ısıtmaya olan dirençleri farklılık göstermektedir (48). Mikrobiyel inaktivasyonun derecesini etkileyen bir di-

ğer önemli parametre de mikroorganizmanın içinde bulunduğu fizyolojik evredir. Bilindiği gibi, mikroorganizmanın farklı büyüme evrelerinde kimyasal bileşimi ve direnci değişiklik göstermektedir. Üssel (exponential) büyüme evresindeki hücrelerin, kızılötesi ısıtmaya maruz kaldıklarında, durgun (stationary) evredeki hücrelere göre daha çok zarar gördükleri bildirilmektedir (49).

Kombinasyon ısıtma teknolojileri ele alındığında ve kızılötesi ve mikrodalga ısıtma yöntemlerinin birbirinden bağımsız olarak pastörizasyon ve sterilizasyon işlemlerinde kullanıldığı düşünüldüğünde, kızılötesi-mikrodalga kombinasyon ısıtma teknolojisinin bu uygulamalarda yüksek kullanılma potansiyeline sahip olduğu söylenebilir.

## SONUÇ

Kızılötesi ve kızılötesi-kombinasyon ısıtma teknikleri, yüksek besinsel değere sahip, kaliteli ve güvenli gıda üretimi ve enerji/zaman tasarrufu sağlamaları nedeniyle gıda işlemede yaygın şekilde kullanılma potansiyeline sahiptir. Kaliteli ürün elde etmede kritik nokta, kızılötesi ısıtmada hangi dalgaboyunun kullanılacağıdır. Yapılan çalışmalar, uygun dalgaboyu kullanıldığında kızılötesi ve kızılötesi-kombinasyon ısıtmanın başarıyla gıda işlemede kullanılabileceğini kanıtlamaktadır. Diğer yandan çeşitli fırıncılık ürünlerinin kalitelerinin belirlenmesi çalışmalarında, kızılötesi ısıtma ile karşılaştırıldığında kızılötesi-kombinasyon ısıtma ile daha iyi sonuçlar elde edildiği belirtilmektedir. Ayrıca son yıllarda yapılan çalışmalarla, mikrodalga ısıtma teknolojisinin neden olduğu kalite kayıplarını azaltması ve zaman tasarrufu sağlaması nedeniyle ön plana çıkan kızılötesi-mikrodalga ısıtma teknolojisi ile konvansiyonel ısıtma ile elde edilen kaliteye benzer/yakın kalitede ürün elde edilebildiği gösterilmiştir.

## KAYNAKLAR

1. Sepulveda DR, Barbosa-Canovas GV. 2003. Heat transfer in food products. In: *Transport phenomena in food processing*, Chanes JW, Velez-Ruiz JE, Barbosa-Canovas GV (eds), Food Preservation Technology Series, CRC Press, Florida, USA, 42 p.
2. Krishnamurthy K, Khurana SJ, Irudayaraj J, Demirci A. 2008. Infrared Heating in Food Processing: An Overview. *Compr Rev Food Sci Food Saf*, 7: 2-13.

3. Ranjan R, Irudayaraj J, Jun S. 2002. Simulation of infrared drying process. *Drying Technol*, 20: 363-379.
4. Afzal TM, Abe T. 1998. Diffusion in potato during far infrared radiation drying. *J Food Eng*, 37: 353-365.
5. Sawai J, Nakai T, Hashimoto A, Shimizu M. 2004. A comparison of the hydrolysis of sweet potato starch with  $\beta$ -amylase and infrared radiation allows prediction of reducing sugar production. *Int J Food Sci Technol*, 39: 967-974.
6. Mongpreneet S, Abe T, Tsurusaki T. 2002. Accelerated drying of welsh onion by far infrared radiation under vacuum conditions. *J Food Eng*, 55: 147-156.
7. Sharma GP, Verma RC, Pathare PB. 2005. Thin-layer infrared radiation drying of onion slices. *J Food Eng*, 67: 361-366.
8. Nowak D, Levicki PP. 2004. Infrared drying of apple slices. *Innov Food Sci Emerg Technol*, 5: 353-360.
9. Togrul H. 2005. Simple modeling of infrared drying of fresh apple slices. *J Food Eng*, 71: 311-323.
10. Tireki S, Sumnu G, Esin A. 2006. Production of breadcrumbs by infrared-assisted microwave drying. *Eur Food Res Technol*, 222: 8-14.
11. Sandu C. 1986. Infrared radiative drying in food engineering: a process analysis. *Biotechnol Prog*, 2: 109-119.
12. Fasina OO, Tyler B, Pickard M. 1997. Infrared heating of legume seeds effect on physical and mechanical properties. *ASAE Paper No*: 976013.
13. Das I, Das SK, Bal S. 2004. Drying performance of a batch type vibration-aided infrared dryer. *J Food Eng*, 6: 9-14.
14. Afzal TM, Abe T, Hikida Y. 1999. Energy and quality aspects of combined FIR-convection drying of barley. *J Food Eng*, 42: 177-182.
15. Datta AK, Ni H. 2002. Infrared and hot-air-assisted microwave heating of foods for control of surface moisture. *J Food Eng*, 51: 355-364.
16. Eck P, Buck, RG. 1980. Method of browning food in a microwave oven. US Patent 4, 396, 817.
17. Fujii M, Tsuda T. 1987. Microwave heating and infrared ray heating appliance. US Patent 4, 803, 324.
18. Jung KH, Lee SY. 1992. Microwave ovens with infrared rays heating units. US Patent 5, 310, 979.
19. Sumnu G, Turabi E, Oztop M. 2005. Drying of carrots in microwave and halogen lamp-microwave combination oven. *LWT, Food Sci Technol*, 38: 549-553.
20. Wade P. 1987. Biscuit baking by near-infrared radiation. *J Food Eng*, 6: 165-175.
21. Skjöldebrand C, Andersson C. 1989. A comparison of infrared bread baking and conventional baking. *J Microwave Power Electromagn Energy*, 24: 91-101.

22. Martinez-Bustos F, Morales SE, Chang YK, Herrera-Gomez A, Martinez MJL, Banos L, Rodriguez ME, Flores MHE. 1999. Effect of infrared baking on wheat flour tortilla characteristics. *Cereal Chem*, 76: 491-495.
23. Shyu YS, Sung WC, Chang MH, Hwang JY. 2008. Effect of far-infrared oven on the qualities of bakery products. *J Culinary Sci Technol*, 6: 105-118.
24. Keskin SO, Sumnu G, Sahin S. 2004. Bread baking in halogen lamp-microwave combination oven. *Food Res Int*, 37: 489-495.
25. Sumnu G, Sahin S, Sevimli KM. 2005. Microwave, infrared and infrared-microwave combination baking of cakes. *J Food Eng*, 71: 150-155.
26. Demirekler P, Sumnu G, Sahin S. 2004. Optimization of bread baking in halogen lamp-microwave combination oven by response surface methodology. *Eur Food Res Technol*, 219: 341-347.
27. Keskin SO, Sumnu G, Sahin S. 2007. A study on the effects of different gums on dielectric properties and quality of breads baked in infrared-microwave combination oven. *Eur Food Res Technol*, 224: 329-334.
28. Sakiyan O, Sumnu G, Sahin S, Venkatesh M. 2007. The effect of different formulations on physical properties of cakes baked with microwave and near infrared-microwave combinations. *J Microw Power Electromagn Energy*, 41: 17-23.
29. Turabi E, Sumnu G, Sahin S. 2008. Optimization of baking of rice cakes in infrared microwave combination oven by response surface methodology. *Food Bioprocess Technol*, 1: 64-73.
30. Keskin SO, Ozturk S, Sahin S, Koxsel H, Sumnu G. 2005. Halogen lamp-microwave combination baking of cookies. *Eur Food Res Technol*, 220: 546-551.
31. Keskin SO, Sumnu G, Sahin S. 2004. Usage of enzymes in novel baking process. *Nahrung*, 48: 156-160.
32. Ozkoc SO, Sumnu G, Sahin S, Turabi E. 2009. Investigation of physicochemical properties of breads baked in microwave and infrared-microwave combination ovens during storage. *Eur Food Res Technol*, 228: 883-893.
33. Sumnu G, Datta AK, Sahin S, Keskin, SO, Rakesh V. 2007. Transport and related properties of breads baked using various heating modes. *J Food Eng*, 78: 1382-1387.
34. Datta AK, Sahin S, Sumnu G, Keskin SO. 2007. Porous media characterization of breads baked using novel heating modes. *J Food Eng*, 79: 106-116.
35. Ozkoc SO, Sumnu G, Sahin S. 2009. The effects of gums on macro and micro-structure of breads baked in different ovens. *Food Hydrocoll*, 23: 2182-2189.
36. Sevimli KM, Sumnu G, Sahin S. 2005. Optimization of halogen lamp-microwave combination baking of cakes: a response surface methodology study. *Eur Food Res Technol*, 221: 61-68.
37. Olsson EEM, Tragardh AC, Ahrne LM. 2005. Effect of near-infrared radiation and jet impingement heat transfer on crust formation of bread. *J Food Sci*, 70: E484-E491.
38. Kino T. 1999. Application of far-infrared heating in roasting of coffee beans. *The Food Ind*, 42: 29-38.
39. Takeo, T. 1999. Firing and roasting of green tea. *The Food Ind*, 42: 18-24.
40. Kim SY, Jeong SM, Jo SC. 2006. Application of far-infrared radiation in manufacturing of process green tea. *J Agric Food Chem*, 54: 9943-9947.
41. Uysal N, Sumnu G, Sahin S. 2009. Optimization of microwave-infrared roasting of hazelnut. *J Food Eng*, 90: 255-261.
42. Sakai N, Mao W. 2006. Infrared Heating. In: *Thermal Food Processing: New Technologies and Quality Issues*, Da-Wen Sun (ed), CRC Press, Boca Raton, pp. 493-525.
43. Sakai N, Hanzawa T. 1994. Applications and advances in far-infrared heating in Japan. *Trends Food Sci Technol*, 5: 357-362.
44. Liu CM, Sakai N, Hanzawa T. 1999. Three dimensional analysis of heat transfer during food thawing by far-infrared radiation. *Food Sci Technol Res*, 5: 294-299.
45. Seyhun N, Ramaswamy H, Sumnu G, Sahin S, Ahmed J. 2009. Comparison and modeling of microwave tempering and infrared assisted microwave tempering of frozen potato puree. *J Food Eng*, 92: 339-344.
46. Jun S, Irudayaraj J. 2003. A dynamic fungal inactivation approach using selective infrared heating. *Trans ASAE(Am Soc Agric Eng)*, 46: 1407-1412.
47. Sawai J, Sagara K, Igarashi H, Hashimoto A, Kokugan T, Shimizu M. 1995. Injury of *Escherichia coli* in physiological phosphate buffered saline induced by far-infrared irradiation. *J Chem Eng Japan*, 28: 294-299.
48. Hamanaka D, Uchino T, Furuse N, Han W, Tanaka S. 2006. Effect of the wavelength of infrared heaters on the inactivation of bacterial spores at various water activities. *Int J Food Microbiol*, 108: 281-285.
49. Sawai J, Kojima H, Igarashi H, Hashimoto A, Fujisawa M, Kokugan T, Shimizu M. 1997. Pasteurization of bacterial spores in liquid medium by far-infrared irradiation. *J Chem Eng Japan*, 30: 170-172.