

## KIZILÖTESİ UYGULAMA İLE YÜZEY DEKONTAMİNASYON PROSESİ SIRASINDA YUMURTA KABUĞU YÜZEY SICAKLIĞININ KIZILÖTESİ TERMOGRAFI İLE BELİRLENMESİ

Günseli Bobuş Alkaya\*<sup>1</sup>, Ferruh Erdoğan<sup>2</sup>, H. İbrahim Ekiz<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup>Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Ankara

Geliş tarihi / Received: 05.05.2016

Düzeltilerek Geliş tarihi / Received in revised form: 06.06.2016

Kabul tarihi / Accepted: 10.06.2016

### Özet

Sağlıklı kümes hayvanlarından elde edilen yumurtaların iç kısmının mikroorganizma içermediği kabul edilirken, yumurta kabuğunun oldukça fazla mikroorganizma taşıdığı bilinmektedir. Kabuktaki mikroorganizmalar mikro çatlaklardan içeriye geçebilmekte ya da proses sırasında, yumurtaların kırılmaları sürecinde yumurta içini kontamine ederek mikrobiyel bir tehlike oluşturabilmektedirler. Patojen mikroorganizmaların da bulunabileceği yumurta kabuğu dış yüzeyinin dekontaminasyonu amacıyla farklı yöntemler kullanılmaktadır. Ancak yumurta beyazının ve sarısının kalite özelliklerinin değişmemesi, özellikle ısıl yöntem kullanımını kısıtlamaktadır. Isıl dekontaminasyon uygulamaları sırasında yumurtaya belirli bir sıcaklık değerinin üstünde işlem uygulanması özellikle yumurta beyazında denatürasyona bağlı kalite değişimlerine sebep olabilmektedir. Kızılötesi uygulama, yüzey dekontaminasyonu amacıyla önerilen yöntemlerden birisi olup, uygulanan sıcaklığın belli bir değeri aşmaması için hızlı ve doğru olarak belirlenmesi gerekmektedir. Genellikle ısıl çift ile yapılan sıcaklık ölçümlerinin gıda yüzeyinde uygulanmasının zorluğu daha kullanışlı yöntemlerin araştırılmasına yol açmıştır. Yapılan bu çalışmada yumurtalara uygulanacak kızılötesi dekontaminasyon işlemi yumurta kabuğu yüzey sıcaklığında meydana gelecek değişimlerin kızılötesi kamera kullanılarak belirlenmesi için bir yöntem geliştirilmiş ve sonuçlar yumurta yüzey dekontaminasyonu kapsamında değerlendirilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Yüzey sıcaklığı, infrared kamera, yumurta, ısıl çift

## DETERMINATION OF SURFACE TEMPERATURE OF SHELL-EGGS BY USING INFRARED THERMOGRAPHY DURING INFRARED SURFACE DECONTAMINATION PROCESS

### Abstract

The interior of the eggs obtained from healthy hens might be accepted to be free of microorganisms while the outer shell surface might include various microorganisms including pathogens. These microorganisms might pass through micro-cracks in the shell, or egg constituents might be contaminated while the shells are broken by accident or for process related purposes. These cause high microbial risk. Various surface decontamination techniques for shell eggs are applied, and thermal techniques have a certain limitation not to affect the functional properties of egg constituents especially egg white. Infrared application for surface decontamination is one suggested industrial application, and like all the other thermal methods, surface temperature of the shell should not exceed a certain value and must be determined in a quick and accurate manner. Thermocouple measurements bring certain difficulty for surface temperature determination. Hence, use of more convenient methods is required. Therefore, in this study, an infrared thermography method was improved for surface temperature measurement of the eggs undergoing an infrared surface decontamination process.

**Keywords:** Surface temperature, infrared camera, shell egg, thermocouple

\* Yazışmalardan sorumlu yazar / Corresponding author;

✉ gbobus@mersin.edu.tr,

☎ (+90) 324 361 0001/7212

(+90) 324 361 0032

## GİRİŞ

Gıda ürünlerinin raf ömrünü uzatmak, yeni ürün geliştirmek veya mevcut ürünün kalitesini iyileştirmek gibi amaçlarla uygulanan farklı prosesler sonucu gıda ürünlerinde farklı kalite değişiklikleri meydana gelmektedir. Kalite değişimlerine sebep olan en önemli proses parametresi sıcaklıktır. Proses sırasında ürün sıcaklığında meydana gelen değişimler genellikle ısı çiftler yardımıyla ölçülebilmekte (1) ve veri toplama sistemleri yardımıyla da değerlendirilmek üzere kaydedilmektedir. Ürün yüzey sıcaklığında meydana gelen değişimlerde ise, yüzey sıcaklığının ortam sıcaklık ve ısı transfer katsayısına bağlı değişimlere duyarlı olmasından dolayı, ısı çift kullanımı ile tam ve kesin sonuçların elde edilmesi yeterli olmayıp daha yenilikçi yöntemlerin kullanılması gerekmektedir. Yüzey sıcaklığının doğru belirlenmesi, ürün fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik özelliklerinde meydana gelebilecek değişimlerin belirlenmesi açısından da önemli bir noktadır. Nunez Vega ve ark., (2016), çalışmalarında sıcaklık değişimlerine duyarlı gıdalar için yüzey sıcaklıklarının otomatik kontrolü ile ulaşılabilir maksimum yüzey sıcaklığının önlenmesini sağlayarak gıda kalitesi anlamında en iyi kuruma sonuçlarının alınabileceğini ve bu kapsamda yüzey sıcaklığı tespitinin önemini vurgulamışlardır (2). Ürün yüzey sıcaklığının doğru tespit edilebilmesi için (ilişkilendirilmek istenen özellikle doğru ilişki kurabilmek açısından) gıda türüne göre farklı yöntemler kullanılmaktadır. Knoerzer ve ark., (2012) çalışmalarında; düşük basınç mikrodalga soğuk plazma koşulları altında yaptıkları deneylerde yüzey sıcaklığının belirlenmesinin önemini vurgularken, ısı çift, dirençli termometre, thermokron ve sıcaklık indikatörleri (sıcaklığın etkisi ile renk değiştiren şerit ve bantlar) gibi farklı ölçüm yöntemlerinin kullanılabilirdiğinden bahsetmişlerdir (3). Huang, (2004), kızılötesi uygulama ile hindi sosislerinin yüzey pastörizasyonu ile ilgili çalışmasında sıcaklığa bağlı olarak yüzey renk değişimini incelemiştir. Bu çalışmada yüzey pastörizasyonu sırasında, yüzeye yakın bir yere yerleştirilen ısı çiftlerle ölçülerek bulunan yüzey sıcaklıkları kullanmış; ısı çiftin direk kızılötesi enerjiye maruz kalması sonucu sıcaklık artışının doğru olarak belirlenememe ihtimalinden bahsedilmiş, ancak ısı çiftin ucunun çok küçük olmasından dolayı bu hatanın ihmal edilebileceği

konusunda bir sonuca varılmıştır (4). Yapılan diğer bir çalışmada ise çileklerin yüzey dekontaminasyonu için alternatif bir teknoloji olarak uzak kızılötesi uygulama denenmiş ve ürün kalite özellikleri açısından kritik parametre 50 °C sıcaklık olarak belirtilmiştir. Bu çalışmada kızılötesi kamera kullanımı ile yüzey sıcaklık ölçümleri ve simülasyon sonucu elde edilen sıcaklıklar karşılaştırılmıştır. Kullanılan iki yöntemle elde edilen sıcaklık verileri uyumluluğundan yola çıkarak proses geliştirilmesi önerilmiştir. Yani kızılötesi kamera ile ölçülen sıcaklıklar doğru olarak kabul edilip kontrol verisi olarak kullanılmıştır (5). Erdođdu ve ark., (2011), kimyon tohumlarına uygulanan morötesi ve kızılötesi kombinasyon işlem sonunda yüzeydeki sıcaklık değişiminden dolayı olan renk değişimini ölçmüşlerdir (bu çalışmada yüzey sıcaklık değişimi ile sıcaklık değişiminden etkilenen bir kalite parametresi ilişkilendirilmiştir) (6). Sturn ve ark., (2014) elma dilimleri kurutma kinetiği üzerinde çalışırken yüzey renk değişimi ve büzüşmesini, yüzey sıcaklığı ile ilişkilendirerek prosesi kontrol etmişlerdir (7).

Çiğ olarak satışa sunulan yumurtanın sağlıklı kümes hayvanlarından elde edildiği durumda içinde mikroorganizma bulunmadığı kabul edilmektedir (8). Ancak yumurta kabuğu mikroorganizma bakımından oldukça zengin olup başta koliform grubu olmak üzere birçok patojen bakteri bulundurma ihtimali bulunmaktadır. Gıda zehirlenmelerine neden olan *Salmonella* bakterisi de yumurta ve ürünlerinde önemli bir risk oluşturmaktadır. Kabukta bulunan mikrobiyel yoğunluğu azaltabilmek amacıyla uygulanan yöntemler ısı ve ısı olmayan işlemler olarak sınıflandırılabilir. Bu uygulamalar sırasında en önemli kriter yumurta içinin uygulanacak işlemde etkilenmemesi ya da minimal düzeyde etkilenmesidir (8, 9). Yumurta yüzey dekontaminasyonu amacıyla geniş uygulama alanı olan ısı işlemlerde, yüzey sıcaklığının belirlenmesi ile yumurta iç kalitesi ile ilgili yorum yapılabilmektedir. Dış yüzey sıcaklığının bilinmesi farklı matematiksel modelleme tekniklerinin kullanımı ile yumurta içi sıcaklığının belirlenmesini sağlamak ve sıcaklık değişiminden kalite parametreleri hesaplanabilmektedir. James ve ark., (2002), çalışmalarında kabuklu yumurtanın yüzey pastörizasyonunun gerekliliğinden bahsetmişlerdir. Aynı çalışmada yumurta içeriğine zarar vermeden elde edilebilir en yüksek yüzey

sıcaklığını belirlemek için kabuğun dış - iç sıcaklıklarını değerlendirmişler ve proses parametrelerini de bu sıcaklık değişimine göre belirlemişlerdir (10). Bu konuda yapılan farklı çalışmalar incelendiğinde genellikle belirli sayıda ısı çift yüzeye en yakın yere (kabuğun hemen altı) yerleştirilip ölçüm yapıldığı ve belirli sayıdaki sıcaklık ortalamalarının, yüzey sıcaklığı olarak kabul edildiği gözlenmiştir (4, 5, 11-13).

Bu çalışmada, yumurtalara uygulanacak kızılötesi ısı işlem dekontaminasyon prosesi sırasında kızılötesi kamera görüntüsü verilerinin, ürün yüzey sıcaklığının belirlenmesinde kullanımının açıklanması amaçlanmaktadır. Bu kapsamda kızılötesi kamera ile elde edilen yumurta yüzey sıcaklık verileri kullanımı ile yumurta yüzey sıcaklığının belirlenmesi konusunda bir çalışma yapılmıştır.

### **MATERYAL VE YÖNTEM**

#### **Materyal**

Deneylerde kullanılacak orta boy yumurtalar Çukurova Bölgesi'ndeki yerel bir tavuk firmasından aynı kümeden olacak şekilde seçilmiştir. Isıl çift olarak yalıtılmış T tipi (30 gauge) ısı çiftleri kullanılmış, ısı işlem uygulamasında kullanılan kızılötesi tünel Mersin Üniversitesi Gıda Mühendisliği'nde Dr. Ferruh Erdoğan tarafından "MÜH. F. GM (FE)2006-1" başlıklı proje kapsamında tasarlanmış (Şekil 1) ve Necat Makine A.Ş.'ye (İstanbul) yaptırılmıştır. Veri kaydedici olarak Keithley, Model 2700 DMM (USA), kızılötesi kamera olarak da FLIR- I50 sistemi (FLIR System AB, Sweden) kullanılmıştır. Isıl çiftlerin yumurta kabuğu iç yüzeyine yerleştirilmesi amacıyla kullanılan reçine yerel marketten alınmış; yumurta içinin doldurulmasında (bu kapsamda kızılötesi ısı işlem prosesinin gerçeğe uygun olarak gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır) agar (Merck - 1.01614) ve model yumurta olarak ısıl iletkenlik katsayısı yüksek malzemeden (bakırdan) yapılmış siyah boyalı yumurta şeklinde bir cisim ( $k=401\text{W/mK}$ , yüzey alanı= $7901\text{mm}^2$ ) kullanılmıştır.

#### **Yöntem**

##### **Sistem parametrelerinin belirlenmesi**

Öncelikle ısıl özellikleri bilinen, ısıya dayanıklı ve emissivite değeri yüksek olan siyah boya ile boyanmış, yumurta şeklinde tamamı bakır malzemeden yapılmış cismin içerisine T tipi (30 gauge) ısı çifti yerleştirilmiştir. Yüksek ısıl iletim

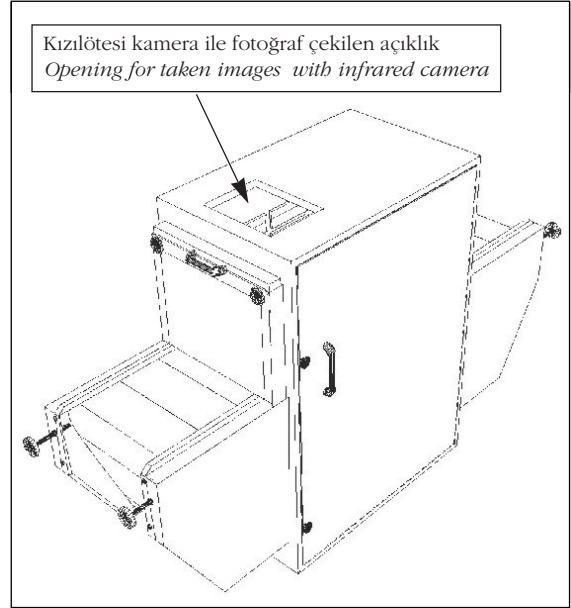
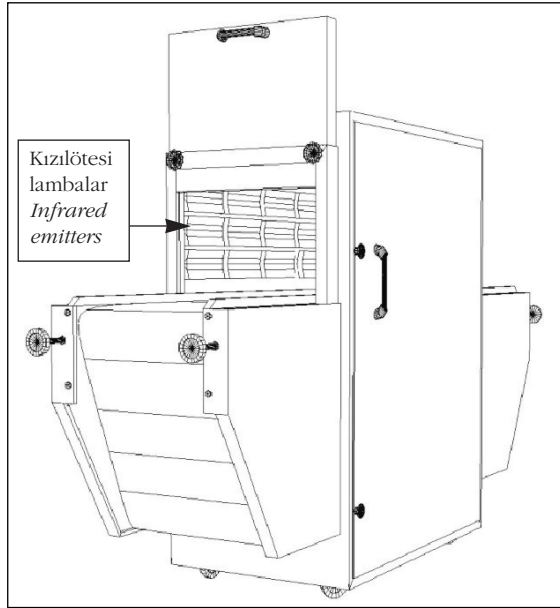
katsayısı ve kızılötesi işlem sistemlerinde oluşacak düşük ısı transfer katsayısına bağlı olarak bir lumped sistem elde edilebilir. Isıl işlem sırasında da bakır yumurtanın içerisinde, homojen bir sıcaklık dağılımı meydana gelmesi ve yumurta iç sıcaklığının yumurta yüzey sıcaklığına eşit olması doğru bir yaklaşım olarak kabul edilmiştir. Bakır yumurta emissivite değeri yüksek ( $\epsilon \approx 0.95$ ) (14) ısıya dayanıklı bir siyah boya ile boyanmış olduğundan, radyasyonla ısı transferi kapsamında üzerine gelen bütün enerjiyi emecek bir siyah cisim olarak davranmış olacaktır.

Yüzey sıcaklık değişimlerinin belirlenmesi için kullanılan FLIR I50 kameradan elde edilen kızılötesi görüntülerin işlenmesi gerektiğinden, bu temelde öncelikle sistem içi yansımaların bir fonksiyonu olarak ortaya çıkan yansıtılan görünür sıcaklık (reflected apparent temperature - RAT) değerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu amaçla kızılötesi işlemde kullanılacak olan sistem istenilen proses sıcaklığına ulaştıktan sonra bakır yumurta, sistem içerisine yerleştirilmiş ve sıcaklık değişimi kaydedilirken, Şekil 1'de gösterildiği gibi sistemin üst tarafında bulunan açıklıktan, zamana bağlı olarak, bakır cismin yüzey sıcaklık değişimleri belirlenmiştir. Bu kapsamda herhangi bir proses zamanında ürün iç sıcaklığı ile dış yüzey sıcaklık değişiminin eşit olması gerekliliğine bağlı olarak yumurta yüzey sıcaklıklarının belirlenmesi için gerekli parametreler RAT parametresi belirlenmiş olacaktır.

Kızılötesi sistemle bu kapsamda 4 farklı proses sıcaklığında (180, 250, 300 ve 350 °C) deneyler gerçekleştirilmiş ve yumurta yüzey sıcaklığının gerçek değerine yakın olması için yumurta yüzey alanını temsil edecek bir yüzey alanı görüntüsünün elde edilmesine çalışılmıştır. Sistem tasarımında, Şekil 1'de de gösterildiği gibi, sistem yan duvarlarına yerleştirilmiş olan kızılötesi seramik ısı kaynaklarına eşit sayıda simetrik pozisyonda bulduklarından yumurta alt ve üst yüzey bölgelerinin sıcaklık değişimleri de simetrik olarak kabul edilmiştir. Bütün deneyler farklı yumurtalarda üç paralelli ve farklı zamanlarda iki tekrarlı olarak yapılmıştır.

##### **Yumurta yüzey sıcaklıklarının belirlenmesi**

Ön denemelerde farklı kızılötesi proses uygulama sıcaklıklarında, farklı sürelerde proses edilen yumurtalarda proses süreleri 180 °C'de 30 – 900 s, 250 °C'de 30 – 900s , 300 °C'de 30 – 510 s ve 350 °C'de 15 – 210 s olarak uygulanmış ve sistem



Şekil 1: Kızılötesi sistemin şematik gösterimi.  
Figure 1: Schematic representation of Infrared heating system.

içerisine yerleştirilmiş yumurta kızılötesi termogramları, taşıyıcı banttı 50 cm yukarıdan kızılötesi kamera kullanılarak alınmıştır. Belirlenen RAT değerleri kullanılarak yumurta yüzey sıcaklıkları hesaplanmıştır. Bir sonraki aşamada ise bu sıcaklık değişimleri yumurta kabuğu altına reçine ile iliştirilen ısı çiftten elde edilen sıcaklık değerleri ile karşılaştırılmıştır.

Yumurta kabuk iç yüzey sıcaklığının belirlenmesi Orta büyüklükteki yumurtanın uç kısmına iğne yardımıyla küçük bir delik açıldıktan sonra yumurta içi boşaltılıp temizlenmiş ve etüvde kurutulduktan sonra ısı çift kabuğun iç yüzeyine eritilmiş reçine yardımıyla iliştirilmiştir. Daha sonra yumurta içerisi %3'lük ≈60 ml agar ile doldurulmuş (10) ve hazırlanan sistem 250 °C' ye ayarlanan sistemde proses edilirken sıcaklık değişimi belirlenmiştir.

## SONUÇLAR VE TARTIŞMA

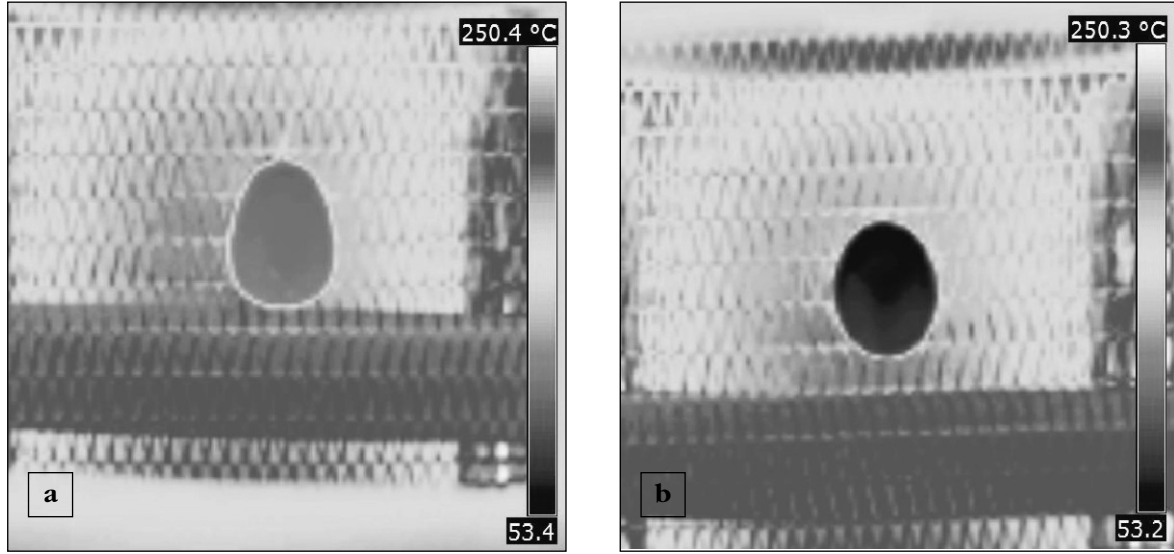
Radyasyonla ısı transferi kapsamında üzerine düşün enerjisinin tamamını soğuran ideal cisimler siyah cisim olarak adlandırılmakta olup bu tanım cisimlerin yayınladıkları ve soğurdukları ısı enerjisi göreceli olarak ölçmek için geliştirilen bir kavramdır (15). Yumurta şeklindeki bakır cismin dış yüzeyi gelen ışının tamamını soğurması için (siyah cisim gibi) siyaha boyanmıştır. Işığın tamamını soğuran siyah boya için emissivite

değeri 0.95 olarak kullanılmıştır. Deneyler sırasında yüksek sıcaklıklar da kullanılacağı için yüksek sıcaklığa dayanıklı boya tercih edilmiştir. Cisim, her tarafından aynı ısı gelecek şekilde ısıtılmakta olduğundan, yüzey sıcaklığının (yumurta dış yüzeyinde de) homojene yakın olacağı varsayımı yapılmıştır (Şekil 2a). Yukarıda da açıklanan lumped sistemi yaklaşımı kapsamında ısı çift ile ölçülen ürün iç sıcaklık değeri ile dış yüzey sıcaklığının aynı olacağı yaklaşımından yola çıkarak, bakır cismin yüzeyinin kızılötesi görüntüleri alınmış ve iç sıcaklık ile dış yüzey sıcaklığının eşit olmasını sağlayan RAT parametresi hesaplanmıştır (Çizelge 1). Şekil 2 a 'da 250 °C kızılötesi işleme 330 s maruz kalmış bakır cismin yüzey kızılötesi görüntüsü gösterilmektedir. Şekil 2-b'de verilen ise 250 °C kızılötesi işleme 120 s maruz kalmış yumurta yüzeyi kızılötesi kamera görüntüsüne aittir. Bu kapsamda yapılan hesaplamalar kısaca aşağıdaki örnekle açıklanmıştır:

Kızılötesi seramik kaynak sıcaklıkları 250 °C ayarlanmış kızılötesi sistem içine yerleştirilen bakır cismin 180 s sonra sıcaklığı 55.5 °C olarak kaydedilmiştir (lumped sistem yaklaşımı ile ısıçiftle elde edilen sıcaklık ile yüzey sıcaklığı eşdeğer olacaktır). Aynı anda kızılötesi kamera ile elde edilen görüntü bu yaklaşımla işlenmiş ve gerekli parametreler, kızılötesi görüntüsünden elde edilen değeri ile ısıçiftten elde edilen değerin eşit olması temelinde belirlenmiştir.

Çizelge 1: Kızılötesi tünel ayarlanan sıcaklıklar için FLIR sistemde kullanılan RAT değerleri  
Table 1: RAT values for FLIR system at different Infrared temperature

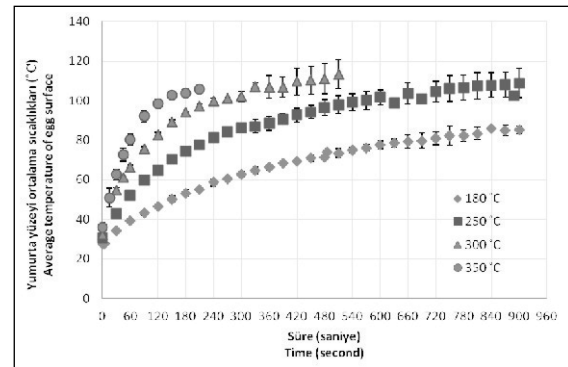
Ayarlanan Kızılötesi tünel sıcaklığı (°C) Temperature of Infrared Cabin	RAT değeri (°C) RAT value
180	188
250	276
300	316
350	380



Şekil 2: Kızılötesi kamera görüntüleri: a) 250 °C kızılötesi sistemde 330 s ısıtma işlemi uygulanmış dışı siyah boyalı bakır cismin görüntüsü (107 °C); b) 250 °C kızılötesi tünelde 120 s ısıtma işlemi görmüş yumurtanın görüntüsü (66 °C).  
Figure 2: Infrared camera images of a) egg shaped - black painted - copper object Infrared heated at 250 °C for 330s (107 °C); b) whole shell egg Infrared heated at 250 °C for 120s (66 °C).

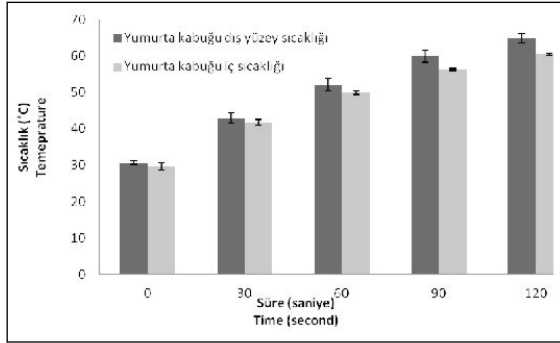
Günlük tüketimde kullanılan yumurtalar için yapılan deneylerde ise FLIR 150 sisteminde kullanılmak üzere yumurta kabuğu için emissivite değeri yine 0.95 (16, 17) olarak kabul edilmiştir. RAT değerleri olarak da Çizelge 1'deki veriler kullanılarak yumurtaların kızılötesi uygulama sırasındaki ortalama yüzey sıcaklıkları hesaplanmıştır. Farklı sıcaklıklarda işlem uygulanmış yumurtaların ortalama yüzey sıcaklıkları Şekil 3'de verilmiştir. Şekil 3 incelendiğinde kızılötesi işlem uygulanan bütün sıcaklıklarda yumurtaların başlangıç ortalama yüzey sıcaklıkları 27-36 °C arasında değişirken, sıcaklığın proses başlangıcında hızlı bir şekilde arttığı, belli bir süre sonra yavaşladığı ve sonra ise sabitlendiği gözlenmektedir. Farklı sıcaklıklarda kızılötesi işlem görmüş yumurtaların, kabuk sıcaklıkları sabitlendiğinde (kabuk deforme olmadan) kızılötesi işlemi sonlandırılmıştır. Uygulanan kızılötesi işlem ile 180 °C için 900 saniye sonra, yumurta ortalama yüzey sıcaklığı en fazla 85 °C olarak ölçülmüştür. Bu sıcaklıklar 250 - 300 ve

350 °C için, 900 - 510 ve 210 saniye sonra sırasıyla 109 - 113 - 106 °C olarak hesaplanmıştır. Deneyler sırasında 300 ve 350 °C kızılötesi işlem uygulanan yumurtaların resimleri ise belli süreler sonunda (210 ve 510 saniye) yumurta kabuğu bütünlüğünü koruyamadığı için elde edilememiştir.



Şekil 3: Farklı sıcaklıklarda kızılötesi işlem uygulanmış yumurtaların ortalama yüzey sıcaklık değişimleri.  
Figure 3: Average temperature of shell egg surface processed by Infrared at different time - temperature.

Çalışmanın son aşamasında, kızılötesi kamera ile elde edilen sıcaklık verilerini doğrulamak amacıyla, yukarıda da açıklandığı şekilde bir model sistem hazırlanmış ve yumurta kabuğunun hemen altından ısı çiftle sıcaklık ölçümü alınmıştır. Elde edilen sıcaklıklar, kızılötesi kamera görüntülerinden elde edilen kabuk yüzey sıcaklıkları ile birlikte Şekil 4'de gösterilmektedir. Aynı koşullarda işlem görmüş yumurtaların, farklı iki yöntemle bulunan sıcaklık sonuçlarının birbirlerine oldukça yakın olduğu belirlenirken; aynı sıcaklıkta ve aynı sürede işlem görmüş yumurtalar için kabuk içi sıcaklığının beklendiği gibi (yumurta kabuğunun ısı transferine karşı oluşturduğu iletim direncinden dolayı) daha düşük olduğu gözlenmiştir.



Şekil 4: Kızılötesi tünelde 250 °C'de işlem görmüş yumurta kabuğu dış ve iç yüzey sıcaklıklarının karşılaştırılması.  
Figure 4: Outer and inner surface average temperature of shell egg processed by Infrared heater at 250 °C.

Yumurtalarda uygulanması gerekli yüzey dekontaminasyon işlemlerinde sıcaklık önemli bir parametredir. Yumurta dış yüzey sıcaklığı artarken, yumurta iç sıcaklığının 55-60 °C'yi geçmesi, yumurta beyazında denatürasyona neden olacağı için uygulanacak proseslerin belirtilen sıcaklığı geçmemesi gerekmektedir (10, 18). Bobuş Alkaya ve ark., (2016) yaptıkları çalışmada kızılötesi kamera ile yumurta yüzey sıcaklık değişimlerini belirlemişler ve yumurta beyazında olacak denatürasyon başlangıcı ve ilerlemesini de kontrol ederek yüzey dekontaminasyonu için farklı kızılötesi proses koşullarında gerekli süreleri, *E. coli* ATCC 25922 (*Salmonella* Enteritidis yerine) hedefleyerek belirlemişlerdir. Sonuç olarak yumurta beyazında denatürasyonun başlama süresini, kızılötesi kamera ile elde edilen yüzey sıcaklık değişimleri ile tespit edebilmişlerdir (8). Benzer sonuçları; Tanaka ve ark., (2007), kızılötesi

kamera ile çekilen çilek resimlerinden buldukları ve simülasyondan elde ettikleri yüzey sıcaklıklarının uyumlu olmasından yola çıkarak, proses parametrelerini belirledikleri çalışmada elde etmişlerdir (5). Eser ve Ekiz, (2016) uzak kızılötesi koşullarda proses ettikleri fıstıklarda kalite kontrol için yüzey sıcaklığını kritik parametre olarak kullanmışlar ve yüzey sıcaklık değişimlerini de yine kızılötesi kamera kullanımı ile belirlemişlerdir (19). Eliasson ve ark., (2015), toz kırmızı biber ile yaptıkları çalışmada kızılötesi kamera görüntülerini kullanmışlar ve yüzey sıcaklıklarını belirlemişlerdir (20). Foster ve ark., (2006)'nın çalışmaları ise gıda yüzeyini kısa zamanda ısıtmak ve soğutmak için tasarlanan bir sistemde yüzey sıcaklığını anlık belirlemek ve kontrol etmek için kızılötesi kamera kullanılan başka bir çalışmadadır (21).

Kızılötesi kamera ile belirlenen yüzey sıcaklıklarının, çiğ et ve et ürünlerinin, taze meyve ve sebzelerin, kabuklu yumurtanın ve bunlara benzer sıcaklığın kritik nokta olduğu gıdaların yüzey pastörizasyonu/sterilizasyonu veya dekontaminasyonu çalışmalarında önemli bir belirteç olarak kullanılması önerilebilir. Ayrıca ısı işlem uygulanan sürekli proseslerde, kızılötesi kamera ile kritik sıcaklığı geçen ürün belirlenebilir, sonra otomatik olarak o ürünün sistemden uzaklaştırılması sağlanabilir ve böylece son ürün kalite kontrolünün de artması sağlanabilir.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışmada katkısından dolayı Mersin Üniversitesi Bilimsel Araştırma Fonuna (BAP-2015-TP3-1164) teşekkür ederiz.

## KAYNAKLAR

1. Roeser WmF, Mueller EF. 1930. Measurement of surface temperatures. *RP231 Bureau of Standards J Res*, 5 (4): 793-802.
2. Nunez Vega AM, Sturn B, Hofacker W. 2016. Simulation of convective drying process with automatic control of surface temperature. *J Food Eng*, 170, 16-23.
3. Knoerzer K, Murphy AB, Fresewinkel M, Sanguansri P, Coventry J. 2012. Evaluation of methods for determining food surface temperature in the presence of low-pressure cool plasma. *Innovative Food Sci Eng Technol*, 15, 23-30.

4. Huang L. 2004. Infrared surface pasteurization of Turkey frankfurters. *Innovative Food Sci Emerging Technol*, 5, 345–351.
5. Tanaka F, Verboven P, Scheerlinck N, Morita K, Iwasaki K, Nicolai B. 2007. Investigation of far infrared radiation heating as an alternative technique for surface decontamination of strawberry. *J Food Eng*, 79, 445-452.
6. Erdoğan SB, Ekiz Hİ. 2011. Effect of ultraviolet and far infrared radiation on microbial decontamination and quality of cumin seeds. *J Food Sci* 76 (5): 284-292.
7. Sturn B, Nunez Vega AM, Hofacker WC. 2014. Influence of process control strategies on drying kinetics, colour and shrinkage of air dried apples. *Applied Thermal Engineering*, 62, 455-460
8. Bobuş Alkaya G, Erdoğan F, Halkman AK, Ekiz Hİ. 2016. Surface decontamination of whole-shell eggs using far-infrared radiation. *Food and Bioprocess Processing*, 98, 275-282.
9. Sarıbay MU, Köseoğlu T. 2012. Işınlanmış yumurta ve yumurta ürünlerinde kalite değişimleri. *Gıda ve Yem Bilimi – Teknoloji Dergisi*, 12, 41-48.
10. James C, Lechevalier V, Ketteringham L. 2002. Surface pasteurization of shell eggs. *J Food Eng*, 53, 193-197.
11. Ha J-W, Kang D-H. 2013. Simultaneous Near-Infrared Radiant Heating and UV Radiation for Inactivating *Escherichia coli* O157:H7 and *Salmonella enterica* Serovar Typhimurium in Powdered Red Pepper (*Capsicum annuum* L.). *Appl Environ Microbiol*, 79 (21): 6568-6575.
12. Palazoğlu TK, Coşkun Y, Tuta S, Mogol BA, Gökmen V. 2015. Effect of vacuum-combined baking of cookies on acrylamide content, texture and color. *Eur Food Res Technol*. 240, 243–249
13. Sanguinetti AM, Secchi N, Del Caro A, Fadda C, Fenu PAM, Catzeddu P, Piga A. 2015. Gluten-free fresh filled pasta: The effect of xanthan and guar gum on changes in quality parameters after pasteurization and during storage. *LWT- Food science and Technology*, 64, 678-684.
14. Çengel YA. 2003. *Heat transfer: a practical approach*, 2<sup>nd</sup> Edition, McGraw-Hill Companies.
15. Yüncü H, Kakaç S. 1999. *Temel Isı Transferi*, Bilim kitapevi.
16. Turner JS. 1985. Cooling rate and size of birds' eggs – A natural isomorphic body. *J. Therm. Biol*, 10;2, 101-104.
17. Jimenez-Munoz JC, Sobrino JA. 2012. Comment on "Ecological importance of the thermal emissivity of avian eggshells". *Journal of Theoretical Biology*, Letter to Editor, 304; 304-307.
18. Pasquali F, Fabbri A, Cevoli C, Manfreda G, Franchini A. 2010. Hot air treatment for surface decontamination of table eggs. *Food Control*, 21, 431-435.
19. Eser E, Ekiz Hİ. 2016. Surface temperature a critical parameter to control peanut quality during far infrared pretreatment process. *Int Food Res J*, (Baskıda).
20. Eliasson L, Isaksson S, Lövenklev M, Ahrne L. 2015. A comparative study of infrared and microwave heating for microbial decontamination of paprika powder. *Front Microbiol*. 6, 1-8.
21. Foster AM, Ketteringham LP, Purnell GL, Kondjoyan A, Havet M, vans J A. 2006. New apparatus to provide repeatable surface temperature-time treatments on inoculated food samples. *J Food Eng*, 76, 19-26.