

# Gıda Proseslerinde Soğutma İşleminde Vurgulu Hava Jetlerinin Kullanımı

Ferruh ERDOĞDU

## ÖZET

Gıda ürünlerinin soğutulmasının amacı, ürün sıcaklığını mümkün olan en hızlı şekilde düşürerek mikroorganizma gelişimini engellemek ve ürün kalitesini muhafaza etmektir. Soğutma işleminde, ısı transfer katsayısı, hızlı bir işlemin gerçekleştirilebilmesi için artırılması gereken bir parametredir. Vurgulu hava jetlerinin kullanılması, hava hızının ve ısı transfer katsayısının artırılmasını sağlayan sistemlere örnek olarak verilebilir. Bu sistemlerin temel prensibi prosesde kullanılacak akışkanın hızının artırılarak ürün yüzeyine yönlendirilip ısı transfer katsayısının artırılmasına dayanmaktadır. Bu çalışmada soğutma amacıyla vurgulu hava jetlerinin kullanımı ve matematiksel modelleme temelinde ürün - sıcaklık değişimi ve soğutma ortamı - akış profili kapsamında bilgi verilecektir.

**Anahtar Kelimeler:** Soğutma, Vurgulu Hava Jetleri, Optimizasyon.

## 1. GİRİŞ

Hava hızı 10-100 m/s ve sıcaklığı -50-400 °C arasında değişen vurgulu hava jeti sistemleri kurutma, fırınlama, soğutma, dondurma, çözdürme gibi proseslerde geniş kullanım alanı bulmaktadır [1, 2]. Bu sistemlerin kullanımı ile proses zamanı kısaltılabilmekte ve ürün kalitesini artırma yönünde önemli avantajlar sağlanmakta olup proses sırasında dikkat edilmesi gereken önemli bir nokta ürün yüzeyine etki eden ısı transfer katsayısı değerinin ürün yüzeyince olan değişimidir [3]. Vurgulu hava jeti sistemleri farklı meme (nozzle) uçlarının kullanımına imkân sağlamakta olup, bu sistemlerde en fazla kullanılan konfigürasyonlar dörtgen yivli (slot) ve silindirik olanlardır. Bu sistemlerde meme ucu etkinliğinin belirlenmesinde genel olarak eş-değer boyut yöntemi kullanılmaktadır. Örneğin yivli bir meme ucu için eş-değer boyut uzunluk/genişlik oranıdır. Bunun yanında meme ucu boyutları uzunluk/çap oranları (L/D) ile de ifade edilebilirken hava jetinin üründen uzaklığı (H) H/D oranı ile gösterilmektedir. Bu orandaki değişim ürün yüzeyindeki ısı transfer katsayısı dağılımı ile doğrudan ilişkilidir [4, 5].

Isı transfer katsayısındaki değişim akış hız profilineki değişimin bir sonucu olup ısı transfer katsayısının belirlenmesi için öncelikle so-

## Abstract:

Significant goal of cooling food products is to reduce temperature as quickly as possible to prevent possible microorganism growth and preserve quality. To carry out a rapid cooling, heat transfer coefficient for a cooling system is one parameter to increase. Higher coefficients might be obtained by moving air at high velocities in air-impingement systems. Impingement is carried out by directing a jet or jets of fluid at a solid surface to cause a change. This study will demonstrate cooling of food products with impingement systems by focusing mathematical modeling to understand and identify fluid flow in cooling medium with temperature changes inside the product.

## Key Words:

Cooling, Jet Impingement, Optimization.

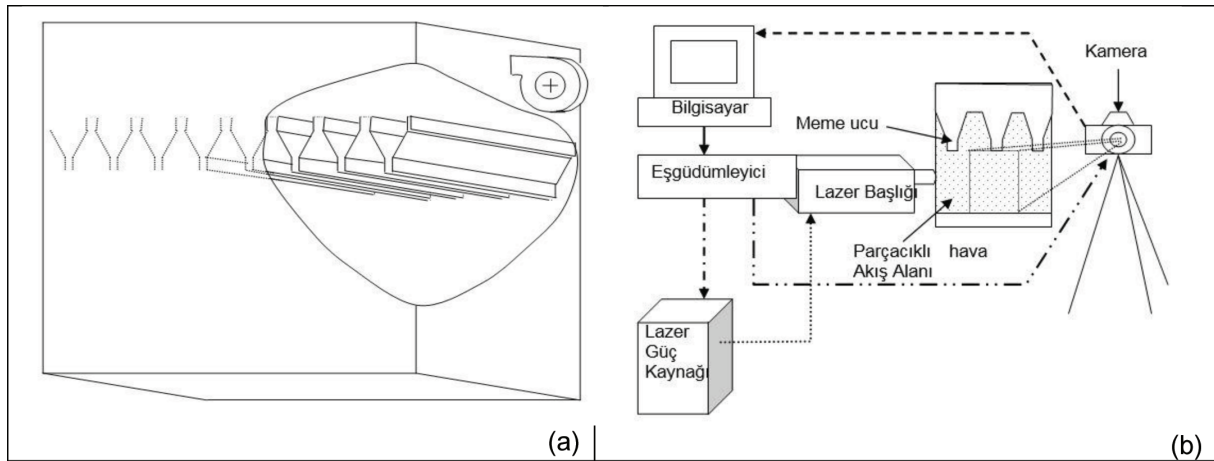
ğutma ortamı akış profili değişimlerin bilinmesi gereklidir. Akış profili değişimi proses optimizasyonu amacıyla kullanılabileceğinden öncelikle proses sırasında oluşan (kompleks) akış profilinin belirlenmesi gerekmektedir [6]. Görüntü hız analiz sistemleri (PIV) akış içerisinde önceden işaretlenmiş parçacıkların belli bir bölgede belli zaman aralıklarıyla görüntülerinin alınması ve bu görüntülerin analiz edilmesi prensibine dayanmaktadır [7]. PIV sistemleri oto-korelasyon ve çapraz-korelasyon yöntemleriyle kullanılmakta olup çapraz korelasyon metodu, uygulamasının kolay olmasına bağlı olarak, daha fazla tercih edilmektedir. Bu yöntemin kullanıldığı bir sistem, akışı nötral olan ve akış içerisinde doğal olarak hareket etme özelliğinde olan parçacıklarla beslendikten sonra kısa bir zaman aralığında akış alanı içerisinde görüntülerinin alınması prensibine göre çalışmaktadır [7].

Vurgulu hava jeti sistemlerinin gıda proseslerinde kullanımı önem kazanmakta olup [3, 8] bu sistemlerin etkili biçimde kullanımları ve proses tasarımı için proses sırasında ürün ve soğutma ortamında meydana gelen sıcaklık ve akış profili değişimlerinin bilinmesi gerekmektedir. Bu kapsamda bu çalışmada (pişirilmiş tüketime hazır yumurta üretiminde) yumurtaların soğutulmasında kullanılabilecek bir vurgulu hava jeti soğutma sisteminde sıcaklık değişimlerinin belirlenmesi amacıyla bir matematiksel modelin geliştirilmesi örnek olarak sunulmuştur [9].

## 2. VURGULU HAVA JETLERİ UYGULANAN BİR GIDA SOĞUTMA PROSESİ ÖRNEĞİ

Piştirilmiş tüketime hazır yumurtaların üretimi gıda endüstrisinde son yıllarda artan bir öneme sahiptir. Bu amaçla kaynatılan yumurtalar su içerisinde bekletilerek ya da yüzeylerine su uygulaması ile soğutulduktan sonra kabukları soyulmakta ve paketlenerek tüketime hazır hale getirilmektedirler. Ancak bu proses sonucunda hem kullanılan suyun zamanla kirlenmesi hem de bu suyun sıcaklık artışına bağlı olarak sürekli olarak yenilenmesi gerektiğinden bir atık su problemi ortaya çıkmaktadır. Vurgulu hava jeti sistemlerinin bu endüstride kullanılmasının avantajları hem proses zamanının kısaltılabilmesi hem de alternatif bir soğutma sistemi tasarlanması olarak düşünülmüştür [9]. Bu çalışmada vurgulu bir hava jeti sistemi (Şekil-1a) ile yapılan soğutma işlemi sırasında yumurta etrafında oluşan akış profili PIV yöntemi kullanılarak analiz edilmiş, soğutma prosesi sırasında yumurta içi sıcaklık değişimleri belirlenmiş ve sıcaklık değişimleri sonuçları su soğutmalı sistemlerin kullanılması sırasında elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır [9]. Ayrıca, akış profili değişimleri de PIV sonuçları ile karşılaştırılarak doğrulanmıştır.

Yumurta etrafında oluşan akış profilini belirlemek amacıyla kullanılan PIV sisteminin çalışma prensibi Şekil-1b'de verilmiş olup bu sistem yüksek çözünürlükte dijital kamera; lazer kaynağı; eşgüdümleyici; görüntü analizi için paralel proses özelliklerine sahip bilgisayar ve görüntü analiz yazılımından oluşmak-



**Şekil 1. Deneyler Sırasında Yumurtaların Soğutulması Amacıyla Kullanılan Vurgulu Hava Jeti Sistemi (A) ve Kullanılan Olan PIV Sisteminin Çalışma Prensibi (B) ([9] Numaralı Referanstan Uyarlanmıştır)**

tadır. Yumurta etrafında oluşan akış profili ve yumurta sıcaklık değişiminin matematiksel olarak belirlenmesi amacıyla çözülen diferansiyel denklemler Çizelge 1’de verilmiştir:

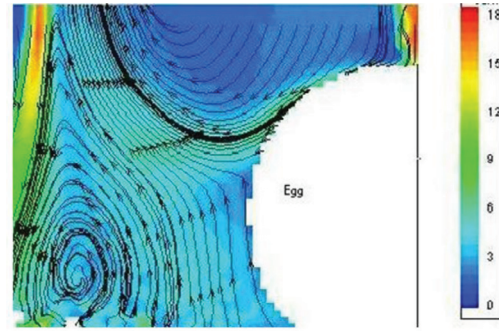
Bu eşitliklerde,  $U$  ortalama hızı (m/s),  $u'$  hızın turbulent bileşenini (m/s),  $(u'_i u'_j)$  hızın ortalama salınan bileşenini,  $T$  ortalama sıcaklığı (K),  $T'$  sıcaklığın salınan bileşenini (K),  $P$  basıncı (Pa),  $\rho$  yoğunluğu ( $\text{kg/m}^3$ ),  $\nu$  akışkanın kinematik viskozitesini ( $\text{m}^2/\text{s}$ ), ve  $c_p$  ve  $c_v$  sabit basınç ve sıcaklıktaki ısı kapasitesini ( $\text{J/kg-K}$ ) göstermektedir. Akış profili değişiminin belirlenmesi amacıyla, süreklilik ve momentum denklemlerinin çözümünde  $\kappa$ - $\epsilon$  turbulent modeli kullanılmış ve yumurta ısıl ve fiziksel özellikleri [10]’dan uyarlanmıştır.

## SONUÇLAR

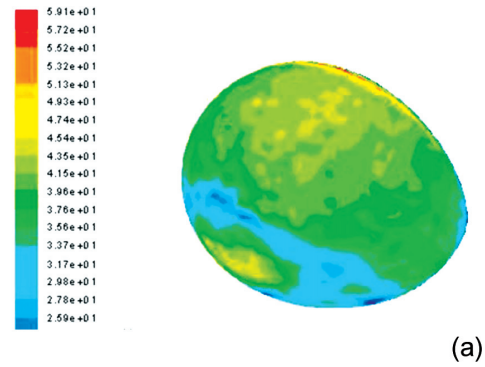
Deneysel olarak elde edilen yumurta içi sıcaklık değişimi ve akış profil değişimleri kullanılarak geliştirilen model doğrulanmıştır. Şekil 2’de yumurta etrafında oluşan ve PIV sistemi ile alınan akış profili; Şekil 3a’da soğutma zamanının 20. dakikasında yumurta yüzeyindeki ısı transfer katsayısı dağılımı ve Şekil 3b’de soğutma ortamı olarak  $0^\circ\text{C}$  hava ve durağan su kullanılması durumunda yumurta sarısı merkezinde meydana gelen sıcaklık değişimleri gösterilmektedir. Bu kapsamda vurgulu hava jeti sistemlerinin de en az su ile soğutma kadar etkili olabileceği gösterilmiştir. Bu çalışma vurgulu hava jeti sistemlerinin endüstriyel anlamda gıda soğutma işlemleri için uygun olabileceğini ve etkin bir proses tasarımının yapılabilmesi için üründe olan sıcaklık değişimlerinin yanında soğutma ortamı akışkan hareketinin de bilinmesi gerektiğini göstermektedir.

### Çizelge 1. Çözülen Diferansiyel Eşitlikler

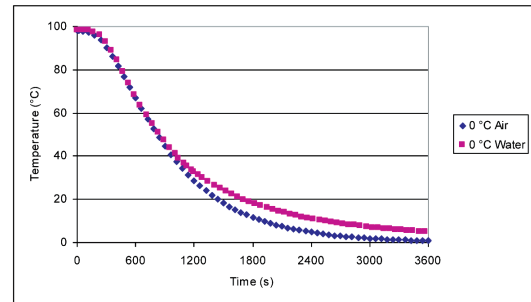
Süreklilik denkliği	$\frac{\partial U_j}{\partial x_j} = 0$
Momentumun denkliği	$\frac{\partial U_i}{\partial t} + \frac{\partial U_i U_j}{\partial x_j} = \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \nu \left( \frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} - (u'_i u'_j) \right) \right]$
Enerjinin korunumu	$\rho \cdot c_v \cdot \frac{\partial T}{\partial t} + \rho \cdot U_j \cdot c_p \cdot \frac{\partial T}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ k \cdot \frac{\partial T}{\partial x_j} - \rho \cdot c_p \cdot (u'_j T') \right]$



Şekil 2. Yumurta Etrafında Oluşan Akış Profili (19 Numaralı Referanstan Uyarlanmıştır)



Şekil 3. (a) Soğutma Sırasında ( $T=20$  dk) Yumurta Yüzeyi Isı Transfer Katsayısı Dağılımı



Şekil 3. (b) Soğutma Ortamı Olarak  $0^\circ\text{C}$  Hava ve Su Kullanıldığında Yumurta Sarısı Merkezindeki Sıcaklık Değişimi (19 Numaralı Referanstan Uyarlanmıştır)

## KAYNAKLAR

- [1] Sarkar, A., Singh, R. P., "Spatial Variation Of Heat Transfer Coefficient In Air Impingement Applications", Journal Of Food Science, 68, 910-916, 2003.
- [2] Erdogdu, F., Anderson, B. A., "Impingement Thermal Processing", In Mathematical Modeling Of Food Processing, Ed. By Farid, M., Chp. 27.
- [3] Whalby, U., Skjoldebrand, C., Junker, E., "Impact Of Impingement On Cooking Time And Food Quality", Journal Of Food Engineering, 43, 179-187, 2000.
- [4] Sarkar, A., Singh, R. P., "Air Impingement Technology For Food Processing: Visualization Studies", Lebensmittel Wissenchaft Und Technologie, 37, 873-879, 2004.
- [5] Erdogdu, F., Sarkar, A., Singh, R. P., "Mathematical Modeling Of Air-Impingement Cooling Of Finite Slab Shaped Objects And Effect Of Spatial Variation Of Heat Transfer Coefficient", Journal Of Food Engineering, 71, 287-294, 2005.
- [6] Chandrasekaran, M., Marcroft, H., Bakalis, S., Karwe, M.V., "Applications Of Laser Doppler Anemometry In Understanding Food Processing Operations", Trends In Food Science And Technology, 8, 369-375, 1997.
- [7] Buchhave, P., "Particle Image Velocimetry-Status And Trends", Experimental Thermal And Fluid Science, 5, 586-604, 1992.
- [8] Ovaıda, D. Z., Walker, C. E., "Impingement In Food Processing", Food Technology, 52(4), 46-50, 1992.
- [9] Erdogdu, F., Ferrua, M., Singh, S. K., Singh, R. P., "Air-Impingement Cooling Of Boiled Eggs: Analysis Of Flow Visualization And Heat Transfer", Journal Of Food Engineering, 79, 920-928, 2007.
- [10] Sabliov, C. M., Farkas, B. E., Keener, K. M., Curtis, P. A., "Cooling Of Shell Eggs With Cryogenic Carbon Dioxide: A Finite Element Analysis Of Heat Transfer", Lebensmittel Wissenchaft Und Technologie, 35, 568-574, 2002.