

MİLFÖY HAMURUNUN ISIL YAYINIM KATSAYISININ SICAKLIKLA DEĞİŞİMİNİN BELİRLENMESİ

CHANGES OF THERMAL DIFFUSIVITY OF PUFF PASTRY DOUGH WITH TEMPERATURE

Seher KUMCUOĞLU*, Şebnem TAVMAN

Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü Bornova, İzmir

ÖZET: Bu çalışmada milföy hamurunun ısı yayılım katsayısı modifiye edilmiş Dickerson metodu kullanılarak -35 °C ile +10 °C sıcaklık aralığında deneysel olarak ölçülmüştür. Örneğin donmuş durumdaki ısı yayılım katsayısının donmamış durumuna ait ısı yayılım katsayısından daha yüksek olduğu ve sıcaklığın artmasıyla azaldığı tespit edilmiştir. Donmuş durum için elde edilen ölçüm sonuçlarına regresyon analizi uygulanarak milföy hamurunun ısı yayılım katsayısının sıcaklıkla değişimini veren empirik denklem elde edilmiştir. Donmamış durumda, 3-10 °C sıcaklık aralığında örneğin ısı yayılım katsayısı 1.08×10^{-7} m²/s olarak ölçülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Isı yayılım katsayısı; Isı difüzyivite, Hamur; Isıl özellikler; Milföy hamuru

ABSTRACT: Thermal diffusivity of puff pastry dough was measured in the temperature range from -35 to +10 °C, by using modified Dickerson method. Thermal diffusivity of the frozen dough found to be greater than unfrozen sample and was found to be decreased with temperature for the frozen state. Empirical equation for thermal diffusivity calculations were obtained by application of regression analysis to the results for the frozen state. Thermal diffusivity of puff pastry dough was measured as 1.08×10^{-7} m²/s between 3 and 10 °C.

Keywords: Thermal diffusivity; Dough; Thermal properties; Puff pastry dough

GİRİŞ

Dondurma işlemi, gıdaların korunmasında ürün sıcaklığını buz kristallerinin oluşmaya başladığı sıcaklık derecelerinin altına düşürülerek uygulanan bir muhafaza tekniğidir. Dondurma işleminin mühendislik açısından önemi büyüktür. Dondurulma ve donmuş halde depolama işleminin modellenmesi ve bu işlemler için gerekli ekipmanların tasarımında ısı özelliklerinin bilinmesine gereksinim duyulmaktadır. Bu işlemler sırasında sıcaklık değişim gösterdiğinden özelliklerin sıcaklığın fonksiyonu olarak da bilinmesi gereklidir.

Donma işlemi sırasında gıdanın içerdiği su giderek artan bir şekilde sıvı fazdan katı faza geçer. Gıdalarda bulunan suyun katı haldeki özellikleri sıvı suyun özelliklerinden farklı olduğu için; gıdaların donma noktasının üzerinde belirlenmiş olan ısı özellikleri donma noktasının altındaki sıcaklıklarda geçerli değildir (1, 2).

Isı yayılım katsayısı; maddenin sahip olduğu ısı özelliklerinden biridir ve maddenin ısı iletkenlik değerinin, özgül ısı ve yoğunluğunun çarpımına oranı olarak tanımlanır (3).

$$\alpha = \frac{k}{\rho C_p} \quad (1)$$

* E-posta: seher.kumcuoglu@ege.edu.tr

Isıl yayınım katsayısı, gıdanın su içeriği, sıcaklık, bileşim, yoğunluk ve gözeneklilik gibi özelliklerine bağlı olarak değişim göstermektedir. Gıdaların işlenmesi sırasında bu özelliklerin değişmesi söz konusu olduğundan, uygulanan işlem boyunca gıda maddesi için sürekli değişen bir ısıl yayınım katsayısı değeri beklenir (4).

Bir maddenin ısıl yayınım katsayısının ölçülmesi, belirli geometrideki madde örneğinin bilinen bir ısı akışına maruz bırakılması sonucunda örnek kesitinde oluşan sıcaklık değişiminin matematiksel olarak değerlendirilmesi esasına dayanır. Kararsız rejim ısı iletim denkleminin analitik çözümü, iç ve dış ısı direncini karşılaştıran boyutsuz Bi sayısına bağlıdır. Bi sayısının 40'dan büyük olması durumunda dış direnç, 0.2 den küçük olması durumunda da iç direnç ihmal edilebilir düzeydedir. Bi sayısının 0.2 ile 40 arasında olması sistemde her iki direncin de önemli olduğunu gösterir (5).

Yüzeyden konveksiyon katsayısının sonsuz kabul edilebildiği ve örnek dış ortam sıcaklığının sabit olduğu durumlarda Ball ve Olson (6) ve Hayakawa ve Ball (7)'de verilen ısıl yayınım katsayısı ölçüm yöntemi örneğin ısıl yayınım katsayısının belirlenmesinde kullanılabilir (8). Bu yöntem bir çok araştırmacı tarafından değişik gıdaların ısıl yayınım katsayılarının belirlenmesinde kullanılmıştır.

Literatürde hamurların ve unlu mamullerin ısıl yayınım katsayılarının ölçülmesine yönelik çalışmalar bulunmaktadır. Rask (9)'da bazı hamurlara ve unlu mamullere ilişkin ısıl yayınım katsayısı değerleri ve ısıl yayınım katsayısının hesaplanmasında kullanılan empirik denklemler verilmiştir. Lind (10)'de hamurların ısıl yayınım katsayılarının belirlenmesinde kullanılan ölçüm yöntemleri detaylı olarak açıklanmıştır. Zaroni ve ark. (11) tarafından yapılan çalışmada ekmeğin ısıl yayınım katsayısının gözeneklilikle değişimi incelenmiş ve ısıl yayınım katsayısının gözenekliliğin üssel fonksiyonu olduğu belirtilmiştir. Magee ve Bransburg (12)'te %34.4 nem içeren 242 kg/m³ yoğunluktaki ekmeğin ısıl yayınım katsayısı 1.17x10⁻⁷ m²/s olarak verilmiştir.

Milföy hamuru üretim aşamasında donma işlemine tabi tutulan ve tüketiciye soğuk zincirle ulaştırılması gereken bir gıda maddesidir. Gerek üretim ve gerekse depolama aşamalarında soğutma işlemine ait hesaplamaların yapılmasında bu ürüne ait ısıl özelliklerin bilinmesi gerekmektedir. Bu çalışmada dondurulmuş milföy hamurunun ısıl yayınım katsayısı -35 °C ile +10 °C sıcaklık aralığında deneysel olarak belirlenmiş ve ısıl yayınım katsayısının sıcaklıkla değişimi incelenmiştir.

MATERYAL ve YÖNTEM

Materyal

Bu çalışmada materyal olarak kullanılan milföy hamuru ticari olarak üretim yapan bir işletmeden temin edilmiştir. Milföy hamurunun bileşimi %43.60 karbonhidrat, %27.71 su, %20.43 yağ, %5.90 protein ve %2.36 kül olarak belirlenmiştir. Hamurun donmamış durumdaki yoğunluğu 872.9 kg/ m³ tür.

Yöntem

Isıl Yayınım Katsayısı Ölçüm Düzeneği

Isıl yayınım katsayısı ölçüm düzeneği ısıtılmalı ve karıştırılmalı bir su banyosu ve bunun içine daldırılmış olan, içi ısıl yayınım katsayısı ölçülecek madde ile doldurulan bir silindirik ölçüm tüpünden oluşmuştur. Sıcaklık kontrollü su banyosu; 65x65x33 cm boyutlarında, 139 litre hacme sahip, paslanmaz çelikten yapılmıştır. Su sıcaklığının tüm kaptaki homojen olmasını sağlamak amacıyla; 21 Watt gücünde bir motorla çalışan ve 98 devir/dak. hızla dönen 2 adet kanadı bulunan karıştırıcı bulunmaktadır.

Su banyosu, dış yüzeyi yüksek yoğunluklu ekstrude polistiren köpük ile kaplanarak izole edilmiştir. Isıl yayınım katsayısı ölçüm denemelerinde 30 mm iç çapa sahip, 24.8 mm uzunluğundaki pirinçten yapılmış silindirik tüp örnek kabı olarak kullanılmıştır. Isıl yayınım katsayısı ölçülecek materyal ile doldurulan ölçüm tüpünün iki ucu, sıkıca yerleşen teflon kapakla kapatılmıştır. Sızıntıyı önlemek amacıyla, kapakların tüp ucuyla temas yüzeylerine sıvı conta kaplanmıştır.

Gıda maddesi ile doldurulan ısı yayılım katsayısı ölçüm tüpünün merkez sıcaklığını ölçmek amacıyla T tipi ısıleş probu kullanılmıştır. Bu prob, teflon kapakta açılan delikten tüp içerisine sıkıca yerleştirilmiştir. Su sızıntısına engel olmak amacıyla burada da temas yüzeylerine sıvı conta uygulanmıştır. Örnek tüpünün dış yüzeyine monte edilen ısıleş ise yüzey sıcaklığını ölçmede kullanılmıştır.

Dickerson (13) tarafından uygulanan metodun modifiye bir şekli olan Bhowmik ve Hayakawa (8)'da verilen yöntemle benzer bir şekilde gerçekleştirilen ısı yayılım katsayısı ölçüm denemelerinin başlangıcında hazırlık olarak; gıda maddesi ile doldurulup ısıleş bağlantıları yapılan ısı yayılım katsayısı ölçüm tüpünün homojen başlangıç sıcaklığının oluşması için dondurucu içerisinde ısı dengeye ulaşıncaya kadar beklenmiştir. Bu çalışmada homojen başlangıç sıcaklığına ulaşmak amacıyla örnek tüpü bir gün dondurucu (-35°C) içerisinde bekletilmiştir. Daha sonra örnek tüpü, dondurucu içerisinden çıkarılıp sabit sıcaklıktaki su banyosu içine yatay olarak yerleştirilmiştir. Örneğin donmuş haline ait ısı yayılım katsayısı ölçümlerinde hacimce %15 etilen-glikol içeren -4 °C (± 1°C) 'deki termostatlı su banyosu kullanılmıştır.

Örneğin donmamış durumuna ait ölçümlerde ise homojen başlangıç sıcaklığı elde etmek için donmuş haldeki ölçümleri tamamlanan örnekler 0 °C'taki su banyosunda dört saat bekletildikten sonra 20 °C (±2°C)' taki su banyosu içine yerleştirilmiştir. Cole Parmer DialogR sıcaklık kaydedici yardımıyla örneklerin merkez ve yüzey sıcaklıkları 10 saniyede bir, ölçülen merkez ve yüzey sıcaklıkları arasındaki fark sabitleşinceye kadar kaydedilmiştir. Sıcaklık ölçümlerinde Cole Parmer T tipi 20 gauge'lik ısıleşler kullanılmıştır.

Teori

Sonsuz silindirde ısı iletim denklemi yüzeyde konveksiyon olması durumunda aşağıdaki denklemle ifade edilir (14):

$$\frac{T_m - T}{T_m - T_0} = 2Bi \sum_{n=1}^{\infty} \left[\exp(-\alpha \beta_n^2 t / R^2) \right] \left[\frac{J_0(\beta_n r / R)}{(Bi^2 + \beta_n^2) J_1 \beta_n} \right] \quad (2)$$

β_n denklemin n inci dereceden pozitif köküdür;

$$Bi J_0(\beta_n) - \beta_n J_1(\beta_n) = 0 \quad (3)$$

Üssel fonksiyon ve Bessel fonksiyonları içeren bu denklem seri çözüm veren bir analitik yaklaşıma sahiptir ve serinin ilk terimi önemlidir (4, 14, 15):

$$\frac{T_m - T}{T_m - T_0} = 2Bi \left[\exp(-\alpha \beta_1^2 t / R^2) \right] \left[\frac{J_0(\beta_1 r / R)}{(Bi^2 + \beta_1^2) J_1 \beta_1} \right] \quad (4)$$

Denklem (4) silindirin merkez $\left(\frac{r}{R} = 0\right)$ ve yüzey $\left(\frac{r}{R} = 1\right)$ sıcaklıklarını gösterecek şekilde ifade edilirse;

$$\text{Merkez için: } \frac{T_m - T_c}{T_m - T_0} = 2Bi \left[\exp(-\alpha \beta_1^2 t / R^2) \right] \left[\frac{1}{(Bi^2 + \beta_1^2) J_1 \beta_1} \right] \quad (5)$$

$$\text{Yüzey için: } \frac{T_m - T_s}{T_m - T_0} = 2Bi \left[\exp(-\alpha \beta_1^2 t / R^2) \right] \left[\frac{J_0(\beta_1)}{(Bi^2 + \beta_1^2) J_1 \beta_1} \right] \quad (6)$$

Merkez ve yüzey sıcaklıklarını veren bu iki denklem birbirine oranlanarak (7) nolu denklem elde edilir:

$$T_{cs} = \frac{T_m - T_c}{T_m - T_s} = \frac{1}{J_0(\beta_1)} \quad (7)$$

Bu denklemde sabit bir değerde olan T_{cs} in değeri;

$(T_m - T_c)/(T_m - T_s)$ ' in ısıtma veya soğutma zamanına karşı çizilen grafiği kullanılarak bulunabilir. " β_1 " değeri de bu sabit kullanılarak Bessel fonksiyonu tablolarından bulunur. Gerekli düzenlemeler yapıldığında; " β_1 " ve ısı yayılım katsayısı arasındaki ilişkiyi veren denklem (8) elde edilir (8, 16).

$$\frac{f\alpha}{R^2} = \frac{2303}{\beta_1^2} \quad (8)$$

Bu denklemde f , ısı yayılım katsayısı ölçümü amacıyla uygulanan ısıtma veya soğutma işlemi sırasında kaydedilen deneysel sıcaklık verileri kullanılarak elde edilen $\log(T_m - T_c) - t$ (zaman) eğrisinin eğiminin tersinin negatif değeridir. R ise örnek tüpünün yarıçapıdır. (8, 16, 17).

SONUÇ ve TARTIŞMA

Isıl yayılım katsayısı ölçüm düzeneğinin kalibrasyonunda referans materyal olarak % 0.3 agar içeren saf su kullanılmıştır. Özellikleri saf suyla aynı olarak kabul edilen agarjelin, suda oluşturduğu jel yapısı konveksiyonla ısı transferini engellemektedir. Isıl yayılım katsayısı ölçümleri üç tekrarlı olarak gerçekleştirilmiştir. Referans materyale ait ölçümler, gıda örnekleri için olduğu gibi donmuş ve donmamış durumlar için ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir. Çizelge 1. de değişik sıcaklıklarda referans materyal için elde edilen ölçüm sonuçlarının Nesvadba (18) da verilen değerlerle karşılaştırılması görülmektedir.

Çizelge 1. Referans materyal için ölçülen ısı yayılım katsayısı değerlerinin literatür değerleriyle karşılaştırılması

	Isıl yayılım katsayısı (m ² /s)			
	Sıcaklık			
	-25°C	-20°C	-15 °C	-7°C
I. deneme	1.37x10 ⁻⁶	1.32x10 ⁻⁶	1.28x10 ⁻⁶	1.02 x10 ⁻⁶
II.deneme	1.46x10 ⁻⁶	1.34x10 ⁻⁶	1.29x10 ⁻⁶	1.06x10 ⁻⁶
III.deneme	1.42x10 ⁻⁶	1.34x10 ⁻⁶	1.30x10 ⁻⁶	1.04x10 ⁻⁶
Ortalama	1.42x10⁻⁶	1.33x10⁻⁶	1.29x10⁻⁶	1.04x10⁻⁶
St. sapma	4.72x10 ⁻⁸	1.30x10 ⁻⁸	1.35x10 ⁻⁸	2.086x10 ⁻⁸
Literatür *	1.42x10 ⁻⁶	1.29x10 ⁻⁶	1.24x10 ⁻⁶	1.21x10 ⁻⁶

*Nesvadba (18)

Çizelge 1.' de denemelerde elde edilen ısı yayılım katsayısı sonuçlarının literatür değerleriyle oldukça uyumlu olduğu görülmektedir.

% 0.3 agar içeren saf suyun donmamış durumuna ait 10°C'taki ısı yayılım katsayısı 1.26x10⁻⁷ ile 1.39x10⁻⁷ m²/s arasında ölçülmüştür. Suya ait aynı sıcaklıktaki değer Geankoplis (19) te verilen saf suya ait özellikler Denklem (1)' de yerine koyularak 1.408x10⁻⁷ m²/s olarak hesaplanmıştır.

Denklem (8)'deki f değerinin zamanla değişimini elde etmek amacıyla ısı yayılım katsayısı ölçüm denemelerinde ölçülen zaman sıcaklık verileri kullanılarak $\log (T_m - T_c)$ 'nin zamanla (t) değişimi SPSS 11.5 istatistik paket programı kullanılarak t 'nin ikinci dereceden polinomiyal fonksiyonu olarak ifade edilmiştir. Milföy hamuru için elde edilen bu denklem korelasyon katsayısıyla birlikte aşağıda verilmiştir.

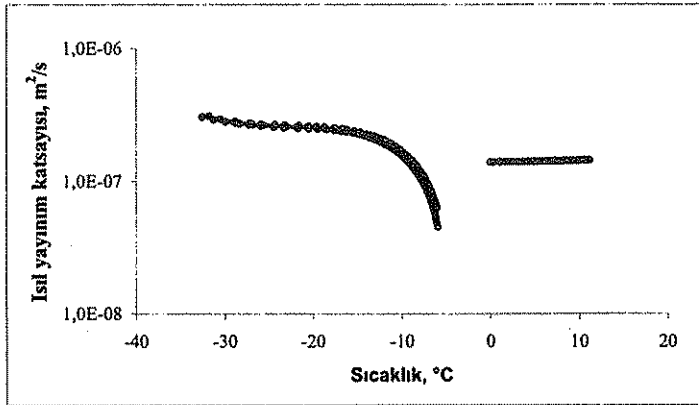
$$\log(T_m - T_c) = 0.9986 \times 10^{-6} t^2 - 0.0019t + 1.5927 \quad (R^2=0.9971) \quad (9)$$

Bu denklemin birinci türevinin tersinin negatif değeri Denklem (8)'deki "f" in ısınma süresine göre değişimini vermektedir. Isıl yayılım katsayısının sıcaklıkla değişimini bulmak amacıyla denemelerde tespit edilen ısınma süreleriyle sıcaklık arasındaki değişime incelenerek sıcaklığın üçüncü dereceden polinomial fonksiyonu olarak ifade edilmiştir (Denklem 10). Böylece Denklem (8)deki "f" değeri sıcaklığın fonksiyonu olarak ifade edilmektedir.

$$t = 0.0858T^3 + 6.2918T^2 + 156.4767T + 1456.6333 \quad (R^2=0.9926) \quad (10)$$

Denklem (8)'de verilen β_1 değeri ise milföy hamuru örneği için ölçülen zaman-sıcaklık değerleri kullanılarak 2.20 olarak bulunmuştur.

f değerinin, sıcaklığın üçüncü dereceden polinomial fonksiyonu olması nedeniyle, bu değer denklem (8)'de yerine konulduğunda ısıl yayılım katsayısı sıcaklığın fonksiyonu olarak ifade edilmiş olmaktadır (16). Milföy hamuru için yapılan hesaplamalar sonucunda elde edilen ısıl yayılım katsayısının sıcaklıkla değişimi Şekil 1'de gösterilmektedir.



Şekil 1. Milföy hamurunun ısıl yayılım katsayısının sıcaklıkla değişimi

Donmuş durumda milföy hamurunun ısıl yayılım katsayısının sıcaklıkla değişimi ise Denklem (11)de verilmiştir.

$$\alpha = -2.061 \times 10^{-11} T^3 - 1.4849 \times 10^{-9} T^2 - 3.6887 \times 10^{-8} T - 1.2365 \times 10^{-7} \quad (R^2=0.9850) \quad (11)$$

Literatürde milföy hamurunun ısıl yayılım katsayısı ile ilgili değer bulunamamıştır. Kumcuoğlu (20)'de pizza ve ekmeğin hamurlarının ısıl yayılım katsayıları -35 °C ile +15 °C sıcaklık aralığında belirlenmiş, bileşimleri benzer olan ekmeğin ve pizza hamurlarının ısıl yayılım katsayılarının da benzer olduğu bulunmuştur. 1080 kg/m³ yoğunluktaki % 43.2 nem içeren ekmeğin hamurunun ısıl yayılım katsayısı -28 °C'de 2.4 x 10⁻⁷ m²/s, 12 °C'de 1.46 x 10⁻⁷ m²/s olarak ölçülmüştür. Rask (9)'da % 43.5 nem içeren (r = 1100 kg/m³) ekmeğin hamuru için -28 °C'ta ısıl yayılım katsayısı 3.95 x 10⁻⁷ m²/s ve +19 °C'ta 1.63 x 10⁻⁷ m²/s olarak verilmiştir. Bu çalışmada pizza ve ekmeğin hamurlarına göre yağ oranı daha yüksek, nemi ve yoğunluğu daha düşük olan milföy hamurunun ısıl yayılım katsayısı -30 °C'de 1.94 x 10⁻⁷ m²/s, 10 °C'de 1.08 x 10⁻⁷ m²/s olarak ölçülmüştür. Bu değerlerin literatürde pizza ve ekmeğin hamuru için verilen değerlerden daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Bu durumun bileşimlerindeki farklılıktan kaynaklandığı düşünülmektedir.

Semboller

Bi	Biot Sayısı.
C _P	Özgül ısı, (Joule/kg°C).
f	Eğim indeksi, (s).
J ₀	Sıfırıncı mertebeden birinci tür Bessel fonksiyonu.
J ₁	Birinci mertebeden birinci tür Bessel fonksiyonu.
k	Isıl iletkenlik katsayısı, (W/m°C).
R	Örnek tüpünün yarıçapı, (m).
r	Yarıçap doğrultusunda merkezden uzaklık, (m).
t	Isınma süresi, s.
T	Sıcaklık, (°C).
T _c	Örnek tüpünün merkez sıcaklığı,(°C).
T _{cs}	(T _m -T _c)/(T _m -T _s), birimsiz.
T _m	Isıtma ortamı sıcaklığı,(°C).
T _o	Başlangıç sıcaklığı,(°C).
T _s	Örnek tüpünün yüzey sıcaklığı, (°C).
a	Isıl yayılım katsayısı, (m ² /s).
b _n	n'inci dereceden pozitif kök.
b ₁	Birinci dereceden pozitif kök.

KAYNAKLAR

- Singh RP. 1995. Thermal properties of frozen foods. In *Engineering Properties of Foods*, MR Rao and SSH Rizvi (eds), pp.139-166, Marcel Decker Inc., New York.
- Delgado AE, Gallo A, De Piante D and Rubiolo, A. 1997. Thermal conductivity of unfrozen and frozen strawberry and spinach. *J. Food Eng.*, 31:137-146.
- Sweat VE. 1986. Thermal properties of foods. In *Engineering Properties of Foods*, MR Rao and SSH Rizvi (eds.), pp. 49-88, Marcel Decker Inc., New York.
- Singh RP. 1982. Thermal diffusivity in food processing. *Food Technol.*, 36:87-91.
- Singh RP.1992. Heating and cooling processes for foods. In *Handbook of Food Engineering*, R. Heldman and DB Lund (eds.), pp. 247-276, Marcel Dekker Inc., New York.
- Ball CO, Olson FCW. 1957. *Sterilization in Food Technology: Theory, Practice and Calculation*. McGraw Hill Book Co., New York.
- Hayakawa K, Ball CO. 1971. Theoretical formulas for temperatures in cans of solid food and for evaluating various heat processes. *J. Food Sci.*, 36: 306-310.
- Bhowmik SR. and Hayakawa K. 1979. A new method for determining the apparent thermal diffusivity of thermally conductive food. *J Food Sci.*, 44(2):469-474.
- Rask C. 1989. Thermal properties of dough and bakery products: A review of published data, *J. Food Eng.*, 9:167-193.
- Lind I. 1991. The measurement and prediction of thermal properties of food during freezing and thawing – A review with particular reference to meat and dough. *J. Food Eng.*, 13:285-319.
- Zanoni B., Peri C. and Gianotti R. 1995. Determination of the thermal diffusivity of bread as a function of porosity. *J. Food Eng.*, 497-510.
- Magee TRA. and Bransburg T. 1995. Measurement of thermal diffusivity of potato, malt bread and wheat flour. *J. Food Eng.*, 25:223-232.
- Dickerson RW. 1965. An apparatus for the measurement of thermal diffusivity of foods. *Food Technol.*, 19:198-204.
- Carslaw HS and Jaeger JC. 1988. *Conduction of Heat in Solids*. Clarendon Press, 510 pp., Oxford.
- Dinçer İ. 1997. *Heat Transfer in Food Cooling Applications*. Taylor and Francis Publishers, 399 pp., London.
- Ben-Yoseph E. and Hartel RW. 1998. Computer simulation of ice recrystallization in Ice cream during storage. *J. Food Eng.*, 38:309-329.
- Rahman SM. 1995. *Food Process Handbook*. CRC Pres, 500 pp, London.
- Nesvadba P. 1982. A new transient method for the measurement of temperature dependent of thermal diffusivity. *J. Phys. D., Apply. Phys.* 15: 725-737.
- Geankoplis CJ. 1983. *Transport Processes and Unit Operations*. Prentice-Hall International Inc., 921 pp., New Jersey.
- Kumcuoğlu S. 2003. Bazı gıda maddelerinin donma koşullarında ısıl özelliklerinin belirlenmesi. Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı Doktora tezi, 137 s, İzmir.