

## BAZI DONDURMA KARIŞIMLARININ ISIL İLETKENLİKLERİNİN SICAKLIKLA DEĞİŞİMİNİN BELİRLENMESİ

### DETERMINATION OF THE THERMAL CONDUCTIVITY OF SOME ICE CREAM MIXES AS A FUNCTION OF TEMPERATURE

Seher KUMCUOĞLU<sup>1\*</sup>, Şebnem TAVMAN<sup>1</sup>, Alpaslan TURGUT<sup>2</sup>, Bii ERGİN<sup>3</sup>

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

<sup>2</sup>Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, İzmir

<sup>3</sup>Unilever San. ve Tic. Türk A.Ş., Terkidağ

**ÖZET:** Bu çalışmada geleneksel ürünlerimizden olan ve modern bir işletmede sürekli sistemde üretilen Maraş usulü ve kaymaklı dondurma karışımlarının -30 °C ile +30°C sıcaklık aralığındaki ısı iletkenlik değerleri çizgisel ısı kaynaklı prob yöntemi kullanılarak deneysel olarak belirlenmiştir. Kalibrasyon materyali olarak % 0.3 agar içeren saf su kullanılmıştır. Optimum ölçüm koşulları; değişik elektriksel akım, işlem süreleri ve örnek boyutları kullanılarak tespit edilmiştir. Örneklerin donmuş durumlarındaki ısı iletkenlik değerlerinin donmamış durumlarına ait ısı iletkenlik değerlerinden daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Maraş usulü dondurma karışımının ısı iletkenliği 25 °C'de 0.494 W/m.K, -30 °C'de 1.051 W/m.K; kaymaklı dondurma karışımının ısı iletkenliği ise 25 °C'de 0.452 W/m.K, -30 °C'de 0.993 W/m.K olarak ölçülmüştür. Örneklerin ısı iletkenlik değerlerinin bileşim ve sıcaklıkla değişim gösterdiği saptanmıştır.

**Anahtar kelimeler:** ısı özellikler, ısı iletkenlik, dondurma, prob metodu

**ABSTRACT:** In this study, thermal conductivity of Maras ice cream and standard ice cream mixes produced in continuous system in a modern ice cream plant were measured at temperatures ranging from -30°C to 30 °C using the transient hot-wire probe method. The system was calibrated by using a gel made with pure water and 0.3% agar. The effects of various experimental conditions were also considered, to optimize the line heat source technique used for the measurements. The results have shown that the thermal conductivity values of frozen samples were greater than the ones found for unfrozen samples. Thermal conductivity values are obtained at 25°C 0.494 W/m.K, at -30 °C 1.051 W/m.K for Maras ice cream mix and at 25 °C 0.452 W/m.K, at -30 °C 0.993 W/m.K for standart ice cream mix. It was determined statistically that thermal conductivity values depend on composition and temperature of the mixes .

**Keywords:** Thermal properties, thermal conductivity, freezing, prob method

### GİRİŞ

Dondurma; süt ve/veya uygun diğer süt ürünleri, içilebilir nitelikteki su, yumurta, sakkaroz ile çeşni maddeleri ve katkı maddelerinin belirli oranda karıştırılması ve pastörize edilmesinden sonra tekniğine uygun olarak hazırlanan bir süt ürünüdür (Anonim 1984). Diğer dondurma çeşitlerine göre daha kıvamlı yapıya sahip olan Maraş usulü dondurma Türkiye'nin güneydoğu bölgesine özgü geleneksel bir dondurma çeşididir.

Dondurulma işleminin mühendislik açısından önemi büyüktür. Dondurucu sistemlerinin ve uygulanan işlemlerin tasarımı, donma süresinin hesaplanması ancak gıdalara ait doğru ısı özellik verileriyle yapılabilir. Doğru verilerle dizayn edilen dondurulma işlemiyle üründe meydana gelecek kalite kayıpları önlenir, ayrıca gıda maddesine fazla veya eksik ısı uygulaması da önlenerek önemli bir enerji tasarrufu sağlanmış olur. Donma işleminde en önemli ısı özellikler; ısı iletkenlik, ısı difüzyon hızı, özgül ısı, donma başlangıç noktası ve entalpidir (Heldman 1982).

\* E-posta: seherkumcuoglu@food.ege.edu.tr

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. Isıl özelliklerdeki en çarpıcı değişimler donma noktasına yakın sıcaklıklarda gözlenir (Singh 1995, Delgado, Gallo, De Pianta ve Rubiolo 1997). Isıl iletkenlik, gıdaların ısıyı iletme yeteneğini ifade eder ve donma, kurutma, sterilizasyon gibi işlemlerin de kontrol parametresidir.

Donma noktasının üzerindeki sıcaklıklarda bir çok gıda maddesi için ısı özellikleri literatürde mevcut olmasına rağmen, gıda maddelerinin çoğu için donmuş durumlarına ait ölçülmüş ısı özellikleri bulunmamaktadır. Ayrıca; günümüzde yeni bileşimlerle gıda pazarındaki dondurulmuş ürün çeşitlerinin artması, bu ürünlerin de ısı özelliklerinin belirlenmesini zorunlu hale getirmiştir. Uygulanan ısı işlemlerde, doğru sıcaklık ve sürenin belirlenebilmesi için bu verilere ihtiyaç duyulmaktadır. Donmuş gıdaların ısı özelliklerinin doğru bilinmesi gereği bu konuda deneysel çalışmaların yapılması ve matematiksel modeller geliştirilmesi gereğini de beraberinde getirmiştir.

Bu çalışmada geleneksel ürünlerimizden Maraş usulü ve kaymaklı dondurma karışımlarının ısı iletkenlik değerleri deneysel olarak belirlenmiş ve ısı iletkenliğinin sıcaklıkla değişimi incelenmiştir.

## MATERYAL ve YÖNTEM

### Materyal

Bu çalışmada materyal olarak kullanılan Maraş usulü ve kaymaklı dondurma karışımları ticari olarak üretim yapan bir işletmeden pastörizasyon öncesi aşamada temin edilmiştir. Dondurma karışımları; su, şeker, glikoz şurubu, peynir altı suyu tozu, yağsız süt tozu, kıvam arttırıcılar, emülgatör, salep ve doğala özdeş aroma (vanilya) içermektedir. Örneklerin üretici firma tarafından belirlenen kimyasal bileşimleri Çizelge 1.' de verilmiştir.

Çizelge 1. Dondurma karışımlarının kimyasal bileşimi (%)

Materyal	Su	Protein	Yağ	Karbonhidrat	Kül
Maraş usulü dondurma karışımı	66.0	2.6	3.3	26.7	1.4
Kaymaklı dondurma karışımı	63.3	3.4	9.8	23.4	0.1

### Yöntem

#### Isıl İletkenlik Ölçüm Yönteminin Teorik Analizi

Bu çalışmada ısı iletkenlik ölçümleri için kullanılan prob yöntemi, hot wire yöntemi ile benzer teoriye dayanmaktadır. Çizgisel ısı kaynağı (probe veya ısıtıcı tel), ısı iletkenliği ölçülmek istenen, başlangıç sıcaklığı homojen ve sabit  $T_0$  olan malzemenin içerisine yerleştirilir. Çizgisel ısıtıcı elemana (ısıtıcı tel),  $t=0$  anından itibaren sabit güç sağlanır ve bu elemana yakın bir noktadaki ısı çift ile kısa ısıtma süresince sıcaklık değişimi zamana bağlı olarak kaydedilir. Yöntem, silindirik koordinatlarda geçici rejimde ısı iletimi ilkesine dayanır ve denklem:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t} \quad (1)$$

şekindedir. Bu denkleme aşağıdaki başlangıç ve sınır şartları uygulandığında;

$$t = 0, r > 0 ; T = T_0 = 0 \quad (2)$$

$$t > 0, r \rightarrow \infty ; T = 0 \quad (3)$$

$$t > 0, r \rightarrow 0 ; -2\pi r.k.\frac{\partial T}{\partial r} = Q = \text{sabit} \quad (4)$$

elde edilir. Burada T sıcaklık, t zaman, r radyal uzaklık, a ısı difüzyon hızı, Q ısıtıcı telin birim uzunluğundan, birim zamanda sağlanan ısıdır. Isıtıcı telin yüzeyindeki ( $r=r_0$ ) sıcaklık artışı,  $t \gg r^2/4\alpha$  olması durumunda aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$\Delta T (r_0, t) = \frac{Q}{4\pi.k} \cdot \ln \left( \frac{4\alpha.t}{r_0^2 . C} \right) \quad (5)$$

$$C = e^{\gamma} = 1.781 \quad (\text{Euler sabiti})$$

Isıl difüzyon hızının, küçük sıcaklık aralıklarındaki ölçümlerde sabit olduğu dikkate alınır; ısı iletkenlik, DT'nin  $\ln(t)$  ye göre değişiminden belirlenebilir:

$$k = \frac{Q}{4\pi} \cdot \frac{d (\ln t)}{d (\Delta T)} \quad (6)$$

Bu durumda çizgisel ısı kaynağındaki sabit güç ve DT'nin,  $\ln(t)$  ye göre değişim grafiğinin eğimi "S" kullanılarak ısı iletkenlik aşağıdaki denklemden hesaplanabilir (Murakami, Sweat, Sastry, Kolbe, Hayakawa ve Datta 1995, Murakami, Sweat, Sastry ve Kolbe 1996).

$$k = \frac{Q}{4\pi} \cdot \frac{1}{S} \quad (7)$$

Örnek ve prob boyutlarının sonlu ölçülerde olması Denklem (5)'in geçerliliğine olumsuz bir etkendir. Pratikteki sistemin, teorik analize yakın sonuç verebilmesi için probun uzunluğunun, çapına oranının sonsuz büyük ve prob çapının sonsuz küçük kabul edilebilir bir değer olması gerekir. Blackwell (1956) uzunluğun çapa oranının 30 veya daha büyük olması durumunda bu etkinin ihmal edilebilir olduğunu teorik olarak göstermiştir. Aynı şekilde örnek boyutu da sonlu büyüklükte olmasına karşın, De Vries ve Peck (1958) tarafından ortaya konan minimum numune yarıçapı " $R_s$ " aşağıdaki şartı sağladığı sürece bu etki de ihmal edilebilir seviyededir.

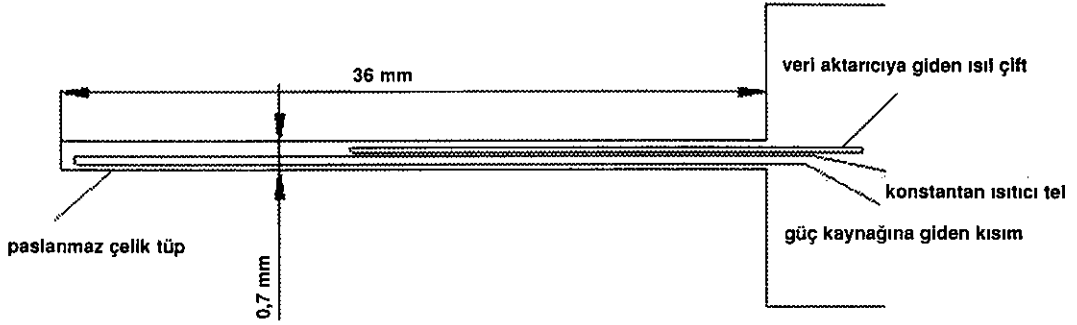
$$e^{-R_s^2 / 4\alpha.t} \ll 1 \quad (8)$$

### Isıl İletkenlik Ölçüm Cihazı

Isıl iletkenlik ölçüm sistemi; örnek kabı, prob, 0-30 V ayarlanabilir doğru akım güç kaynağı, veri kaydedici ve aktarıcı ile bilgisayardan oluşmaktadır. Deneyler  $-30$  °C ile  $30$  °C sıcaklık aralığında gerçekleştirilmiştir.

Isıl iletkenlik ölçüm probu, paslanmaz çelikten imal edilmiş olup dış çapı  $0.7$  mm, uzunluğu ise  $36$  mm'dir. Probun uzunluğunun çapa oranı  $51$ 'dir ve bu değer sonlu boyutlara sahip prob etkilerinin ihmal edilebileceği bir değerdir. Probun ısıtıcı teli konstantan ve direnci  $223$  W/m olup doğru akım güç kaynağından beslenmektedir. Kromel konstantan tip ısı çift prob içerisinde ısıtıcı telin yakınına yerleştirilmiş ve veri kaydediciye minyatür bir bağlayıcı ile bağlanmıştır. Probun içinde ısıtıcı tel ile ısı çift dışında kalan bölge ısı iletimini artırıcı silikon bazlı sızdırmazlık elemanı ile doldurulmuştur. Isıl iletkenlik ölçümlerinde kullanılan probun şematik gösterimi Şekil 1.' de gösterilmiştir.

Prob, kaptaki ısı iletkenliği ölçülecek örnek içerisine yerleştirilir. Örnek ortam ile denge sıcaklığına ulaştıktan sonra güç kaynağından sabit akımda alınan enerji ısıtıcı tel aracılığı ile proba ulaşır. Bu ısı radyal olarak ölçümü yapılacak numuneye aktarılır. Isıl çift yardımı ile sıcaklık değişimi  $0.5$  saniye aralıklarla veri kaydediciye buradan da bilgisayara kaydedilir. Bu işlem yaklaşık  $45$  saniye sürmektedir. Sıcaklığın, doğal logaritmik zamana bağlı olarak değişim grafiği çizilir. Bu grafikte doğrusal kısmın eğimi "S" doğrusal regresyon ile hesapla-

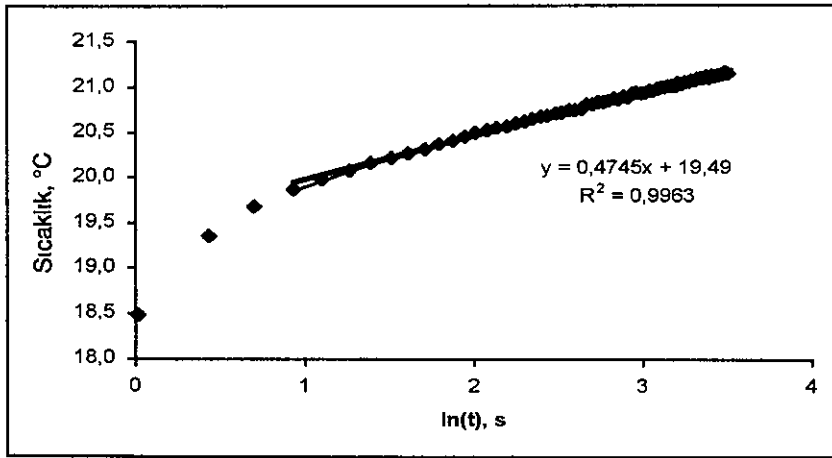


Şekil 1. Isıl iletkenlik ölçüm probunun şematik gösterimi

nır. Isıtıcı tele gelen güç,  $Q=I^2.R_f$  formülünden hesaplanır. Burada  $R_f$  ısıtıcı telin birim uzunluğuna karşılık direncidir. "Q" ve "S" denklem (9) da kullanılarak ısı iletkenlik değeri hesaplanır.

### SONUÇ ve TARTIŞMA

Isıl iletkenlik ölçüm probunun kalibrasyonunda referans materyal olarak %0.3 agar içeren saf su kullanılmıştır. Agar-saf su karışımının, kimyasal yapısı gereği viskoz bir jel kıvamında olduğu ve ısınma sırasında kap içerisindeki örnekte ısı taşınımını engellediği ve sadece iletim yoluyla ısı transferine izin verdiği saptanmıştır (Rizvi, Blaisdell, ve Harper 1980). Kalibrasyon materyali için elde edilen sıcaklığın, doğal logaritmik zamana bağlı olarak değişimi grafiği Şekil 2.'de gösterilmiştir.



Şekil 2. %0.3 agar içeren saf su için sıcaklık – zaman eğrisi

Yapılan ölçümlerde %0.3 agar içeren örneğin 20 °C'deki ısı iletkenlik değeri, eğrinin doğrusal kısmının eğimi (0.4745) ve uygulanan akım ( $I=125$  mA) kullanılarak Denklem (7)' den 0.594 W/m.K olarak hesaplanmıştır. Saf suyun 20 °C'deki ısı iletkenliği Geankoplis (1983)' de 0.597 olarak verilmiştir.

Modern bir işletmede sürekli sistemde ticari olarak üretilen Maraş usulü ve kaymaklı dondurma karışımlarının ısı iletkenlik değerleri çizgisel ısı kaynaklı prob kullanılarak -30 °C ile +30°C sıcaklık aralığında deneysel olarak belirlenmiştir. Ölçümler beş tekrarlı olarak yapılmış ve ortalama değer hesaplanmıştır. Dondurma karışımlarının değişik sıcaklıklarda ölçülen ısı iletkenlik değerleri Çizelge 2.' de verilmiştir.

Örneklerin donmuş durumlarındaki ısı iletkenlik değerlerinin donmamış durumlarına ait ısı iletkenlik değerlerinden daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Ayrıca donmamış haldeki örneklerin ısı iletkenlik değerlerinin

Çizelge 2. Örneklerin değişik sıcaklıklarda ölçülen ısı iletkenlik değerleri.

Sıcaklık, °C	Maraş usulu dondurma karışımı		Kaymaklı dondurma karışımı	
	Isıl iletkenlik (W/m.K)	Standart sapma	Isıl iletkenlik (W/m.K)	Standart sapma
25	0.494	0.0113	0.452	0.0123
-15	1.012	0.0479	0.959	0.0173
-25	1.039	0.0233	0.972	0.0475
-30	1.051	0.0229	0.993	0.0270

sıcaklığın artmasıyla arttığı görülmüştür. Cogné, Andrieu, Laurent ve Nocquet (2003), dondurmanın ısı iletkenlik değerinin sıcaklık ve gözeneklilikle değişimini incelemiş, gözenekliliği %0 olan örneğin daha yüksek ısı iletkenlik değerine sahip olduğunu bulmuşlardır. Ölçümler çizgisel ısı kaynaklı prob metodu kullanılarak -40 °C ile 10 °C sıcaklık aralığında gerçekleştirilmiştir. Tüm örneklerin donmuş durumdaki ısı iletkenlik değerlerinin donmamış durumdaki ısı iletkenlik değerlerinden daha büyük olduğu tespit edilmiştir.

Kaymaklı dondurma karışımına göre daha düşük yağ ve daha yüksek su içeren Maraş usulü dondurma karışımının ısı iletkenlik değerinin donmuş ve donmamış durumda kaymaklı dondurma karışımının ısı iletkenlik değerinden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Yağ, ısı iletkenliği suya göre daha düşük olan bir bileşendir. Örneklerin kimyasal bileşimlerdeki farklılıkların ısı iletkenlik değerlerini etkilediği görülmüştür.

Sastry ve Datta (1984) tarafından yapılan çalışmada %59.05 su içeren vanilyalı dondurmanın ısı iletkenliğinin sıcaklık ve yığın yoğunluğuyla değişimi incelenmiştir. 634, 683 ve 780 kg/m<sup>3</sup> yığın yoğunluklarına getirilen örneklerin ısı iletkenlik değerleri prob metodu kullanılarak -38, -22 ve -12 °C sıcaklık değerlerinde ölçülmüştür. Dondurmanın ısı iletkenliğinin sıcaklık ve yığın yoğunluğunun artmasıyla arttığı saptanmıştır. %59.05 su ve %13 yağ içeren 780 kg/m<sup>3</sup> yoğunluğa sahip vanilyalı dondurma karışımının -22 °C'deki ısı iletkenlik değeri 0.580 W/m.K olarak verilmiştir. Bu çalışmada ise %66 su, %3.3 yağ içeren 1088.5 kg/m<sup>3</sup> yoğunluğa sahip Maraş usulü dondurma karışımının -25 °C' deki ısı iletkenlik değeri 1.039 W/m.K olarak ölçülmüştür.

Sonuç olarak Örneklerin ısı iletkenlik değerlerinin bileşim ve sıcaklıkla değişim gösterdiği saptanmıştır.

## TEŞEKKÜR

Örneklerin temin edilmesinde desteklerini esirgemeyen Unilever San ve Tic. Türk A.Ş.'e teşekkür ederiz.

### Semboller

C	Euler sabiti
I	Elektrik Akımı, A
k	Isıl iletkenlik, W/mK
Q	Birim zamanda, birim uzunluktan yayılan ısı, W/ m
R <sub>f</sub>	Isıtıcı telin birim uzunluktaki direnci, Ω/m
R <sub>s</sub>	Silindirik numunenin yarıçapı, m
r	Radyal silindirik mesafe, m
S	Sıcaklık, ln(zaman) eğrisinin eğimi
T	Sıcaklık, °C
T <sub>0</sub>	Başlangıç sıcaklığı, °C
t	Zaman, s
α	Isıl difüzyon katsayısı, m <sup>2</sup> /s

**KAYNAKLAR**

- Anonim 1984. TS 4265 Dondurma. TSE, Ankara.
- Blackwell JH. 1956. The axial-flow error in the thermal conductivity probe. *Can. J. of Phys.* 34: 412-417.
- Cogné C Andrieu J Laurent P Besson A and Nocquet J. 2003. Experimental data and modelling of thermal properties of ice creams. *Journal of Food Engineering*,58: 331-341.
- De Vries DA and Peck AJ. 1958. On the cylindrical probe method of measuring thermal conductivity with special reference to soil 1: Extension of theory and discussion of probe characteristics. *Australian Journal of Physics*, 11: 255-271.
- Delgado AE, Gallo A, De Piante D and Rubiolo, A. 1997. Thermal conductivity of unfrozen and frozen strawberry and spinach. *Journal of Food Engineering*, 31:137-146.
- Geankoplis CJ. 1983. *Transport Processes and Unit Operations*. Prentice-Hall International Inc., 921 s. New Jersey.
- Heldman DR. 1982. Food propeties during freezing, *Food Technol.*, 36, 92-96.
- Murakami EG, Sweat VE, Sastry SK, Kolbe E, Hayakawa K and Datta A. 1995. Recommended design parameters for thermal conductivity probes for nonfrozen food materials. *Journal of Food Eng.* 27: 109-123.
- Murakami EG, Sweat VE, Sastry SK and Kolbe E. 1996. Analysis of various design and operating parameters of the thermal conductivity probe. *Journal of Food Engineering*, 30:209-225.
- Rizvi SSH, Blaisdell JL and Harper WJ. 1980. Thermal diffusivity of model analog systems. *Journal of Food Science*, 45:1727-1731.
- Sastry SK and Datta AK. 1984. Thermal properties of frozen peas, clams and ice cream. *Can. Inst. Food Sci. Technol. J.*, 17(4): 242-246.
- 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.