

Değişik Süt ve Bitkisel Yağ Örneklerinin Isıl İletkenlik Değerlerinin Deneysel Olarak Belirlenmesi

Sami Gökhan ÖZKAL, Yahya TÜLEK

*Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü,
20020 Çamlık Denizli-TÜRKİYE*

Geliş Tarihi 03.09.1999

Özet

Değişik süt ve bitkisel yağ örneklerinin ısı iletkenlik değerleri 25° ile 75°C sıcaklık aralığında belirlenmiştir. Kuru maddesi yüksek olan süt örneklerinin daha küçük ısı iletkenlik değerine sahip olduğu belirlenmiştir. Sıcaklık artışı ile süt örneklerinin ısı iletkenlik değerleri yükselmiştir. Yağ örneklerinin ısı iletkenlik değerleri birbirine yakın bulunurken, sıcaklıktaki artış ile belirgin bir değişme göstermediği saptanmıştır. Ayrıca, süt örneklerinin ısı iletkenliğinin sıcaklığa bağlı olarak hesaplanmasını sağlayacak matematiksel modeller geliştirilmiştir.

Anahtar Sözcükler: Isıl İletkenlik Değeri, Süt, Bitkisel Yağ

Experimental Determination of Thermal Conductivity of Various Milk and Vegetable Oil Products

Abstract

Thermal conductivity values of various milk and vegetable oil products were determined over a temperature range of 25°-75°C. Thermal conductivity of milk samples having higher solid content were found to be less than those having lower solid content. Thermal conductivity values of milk samples increased with increasing temperature. Thermal conductivity of oil samples was found to be similar and not to change with the increasing temperature. Also, mathematical models for the prediction of thermal conductivities of the milk samples were developed.

Key Words: Thermal Conductivity Value, Milk, Vegetable Oil

1. Giriş

Bir gıda hammaddesi mamül gıda haline işlenirken, fiziksel, kimyasal ve ısı özelliklerinde belirli değişiklikler meydana gelmektedir. Gıda maddesinin ısıtma ve soğutma şeklinde işleme tabi tutulması, ürünün ısı özelliklerinin değişmesine neden olmaktadır. Daha verimli proseslerin tasarımı için, proses esnasında, ürünün ısı özelliklerinde mey-

dana gelen değişikliklerin bilinmesi büyük önem arz etmektedir Arifin (1994), Certel ve arkadaşları (1996). Termal prosesler ve bu proseslerin işlevlerinin matematiksel olarak belirlenmesi için diğer özelliklerle birlikte ısıyı iletme özelliklerinin de belirlenmesi zorunludur. Maddenin ısıyı iletme özelliğinin bir ölçüsü olan ısı iletkenlik maddenin kompozisyonuyla birlikte uygulanan sıcaklığa, gıdanın özel fiziko-kimyasal karakteristiklerine ve

proses boyunca gıdanın fiziksel özelliklerinde oluşan değişimlere de bağlıdır Qashou ve arkadaşları (1972), Hori (1983), Bhumbra ve arkadaşları (1989), Unklesbay ve arkadaşları (1992), Wang ve Hayakawa (1993), Strecker ve arkadaşları (1994), Evcin ve arkadaşları (1995).

Isıl iletkenlik; ölçülmesi zor olan özelliklerden birisidir. Özellikle, sıvı gıdaların ısı iletkenliğinin ölçülmesi daha da zordur. Bunun en büyük nedeni de, ölçüm sırasında konvektif hareketin ihmal edilmesinin veya hesaplanmasının gerekliliğidir Cuevas ve Cheryan (1978).

Gıda maddelerinin ısı iletkenliğinin belirlenmesinde kullanılan metotlar, kararlı ve kararsız rejim veya geçici rejim metotları şeklinde iki ana grup altında toplanmaktadır. Paralel plaka, eşeksenli silindir, eşeksenli küre metotları ve DSC (Differential Scanning Calorimetry = Difransiyel Taramalı Kalorimetre) kullanımı kararlı rejim metotları olarak; ısıtma veya soğuma eğrileri, ısı iletkenlik probu, sıcak tel, sıcaklık karşılaştırma metodu, Fitch metodu, dondurarak kurutma, grafiksel ve nümerik metotlar ise kararsız rejim metotları olarak adlandırılmaktadır Cuevas ve Cheryan (1978), Buhri ve Singh (1993), Arifin (1994). Kararlı rejim metodlarında, örnek içerisinde herhangi bir noktanın sıcaklığı zamandan bağımsız iken, kararsız rejim metodlarında örneğe çok kısa zaman aralıklarında geçici bir sıcaklık alanı uygulanarak ısı iletkenliğin belirlenmesi esastır Cuevas ve Cheryan (1978).

Konu dahilinde, ısı iletkenlikle ilgili yapılmış bazı araştırmalar aşağıda kısaca özetlenmiştir.

Riedel (1949), şeker çözeltileri, meyve suları ve süt için ampirik ifade ortaya koyarak, pastörizasyon işleminin ısı iletkenlik üzerine bir etkisinin olmadığını ifade etmiştir. Fernandez-Martin ve Montes (1972), üç grup süt için %30-40 kuru maddeye kadar ve 5°-75°C aralığında deneysel olarak ısı iletkenlik belirleme yaparak, sonuçlardan regresyon formülleri elde etmişlerdir. Bu ilişkiler ve formüllerin sabit sıcaklık şartlarında, konsantrasyona göre doğrusal sonuç verdiğini saptamışlardır.

Sweat ve Parmelle (1978), buharlaştırılarak yoğunlaştırılmış süt de dahil olmak üzere toplam 28 süt ürünü ve margarinin 0°, 20°, 40°C'lik sıcaklıklarda ısı iletkenlik probunu kullanarak yaptıkları ölçümlerde, ısı iletkenlik ve ürünün su içeriği arasında kuvvetli bir ilişkinin ($R=0,93$), yağ içeriği arasında ise daha düşük bir ilişkinin ($R=0,75$) olduğunu ifade etmişlerdir. Hori (1983), sıcak tel metodunu kullanarak % 60-70 arasında su içeren

yağsız süt ve yağsız süt pıhtılarının efektif ısı iletkenlik değerini belirlemiştir. Araştırmacı, 30°C sıcaklıktaki süte yapılan rennet uygulamasının sebep olduğu yapısal değişiklikten dolayı, ölçülen ısı iletkenlik değerinde önemli derecede düşme olduğunu belirtmiştir. Ayrıca, örneklerin su içeriği ve efektif ısı iletkenlik arasındaki ilişki basit bir parabolik formül geliştirilerek tanımlanmıştır.

Ziegler ve Rizvi (1985), ısı iletkenlik üzerinde yağsız sütteki kuru maddenin ve tam yağlı sütteki kuru maddenin etkileri arasında önemli bir farklılığı ($p>0,05$) olmadığını ve pastörizasyon işleminin süütün ısı iletkenliği üzerine etkisinin bulunmadığını belirtmişlerdir. Araştırmacılar, ayrıca üretici tarafından, bir polisakkarit olan ve kıvam artırıcı olarak süte eklenen carrageenanın süütün ısı iletkenlik değerleri üzerinde diğer bileşenlerden daha fazla etkili olduğunu da ifade etmişlerdir. More ve Prasad (1988), süt endüstrisinde ısı değiştirici tasarımı için ısı iletkenlik değerinin gerekli olduğunu, süt ve süt ürünlerinin ısı iletkenlik değerlerinin belirlenmesi için birçok araştırmanın yapıldığını ve birkaç araştırmanın dışında bu araştırmaların büyük çoğunluğunun düşük sıcaklıklarda gerçekleştirildiğini belirtmişlerdir. Bu araştırmacılar, bir kararlı rejim metodu olan paralel disk metoduyla tam yağlı süütün değişik konsantrasyonlarda ve 40° ile 90°C sıcaklık aralığında ısı iletkenlik değerlerini deneysel olarak belirlemişlerdir. Araştırmacılar, süütün ısı iletkenlik değerinin sıcaklık artışıyla arttığını ve kuru madde artışıyla azaldığını tespit etmişlerdir. Tespit ettikleri sonuçların, Konrad ve Ramke (1971), Agrawala ve Ojha (1972), Fernandez-Martin ve Montes (1972) tarafından bulunan sonuçlara uygunluk gösterdiğini ifade etmişlerdir.

Reddy ve Datta (1994), konsantre edilmiş ve bileşimi ayarlanmış süt örneklerinin, %40-70 aralığındaki değişik konsantrasyonlarında ve 35°-65°C sıcaklıklarında ısı iletkenlik, spesifik ısı ve vizkozite gibi termodinamik özelliklerini belirlemişlerdir. Araştırmacılar, örneklerin ısı iletkenliğinin, su içeriğindeki ve sıcaklıktaki artışla yükselme gösterdiğini belirleyerek, sıcaklık ve konsantrasyonun bir fonksiyonu olacak şekilde ısı iletkenlik belirleme için eşitlik ortaya koymuşlardır.

Hough ve arkadaşları (1986), tatlandırılmış ve koyulaştırılmış süt benzeri tipik bir Arjantin süt ürünü olan Dulce de Lechenin pişirme işleminin değişik aşamalarındaki ve farklı formülasyonlardaki ısı iletkenliğinin ve spesifik ısısının tahmininde kullanılacak uygun modeller ortaya ko-

yarak, Maxvel-Eucken modelinin hesaplamalar için kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Yapılan literatür çalışmaları gıdaların termofiziksel özelliklerinden birisi olan ısı iletkenliğinin belirlenmesi için gerçekleştirilen araştırmaların yeterli düzeyde olmadığını, özellikle ülkemizde, kendi ürün çeşitlerimize ve uygulanan teknolojilere göre çeşitli gıdalar için veri eksikliğinin bulunduğunu, bu nedenle de böylesi araştırmaların yapılması gerektiğini göstermektedir. Bu gerekçe ile ve yapılan literatür çalışmaları ışığı altında planlanan bu araştırmada aşağıda maddeler halinde belirlenen amaçların gerçekleştirilmesi hedeflenmiştir: (1) Değişik süt ve sıvı yemeklik yağların ısı iletkenlik değerlerinin ölçülmesi. (2) Bu ürünlerin ısı iletkenlik değerleri üzerine sıcaklığın etkisinin araştırılması. (3) Gıda sanayiinde, bu araştırmada materyal olarak kullanılan ürünleri işleyen ısı işlem ekipmanlarının tasarımlarında kullanılabilecek ve ayrıca bu konuda ülkemizde yapılacak araştırmalara veri tabanı teşkil edebilecek temel bazı bilgilerin ortaya konulması da amaçlanmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

Araştırmada kullanılan metodun kontrolü amacıyla referans madde olarak sakkaroz (Riedel) çözeltisi kullanılırken, ısı iletkenlik belirlenmesi için Denizli piyasasından temin edilmiş olan tam yağlı ve yağsız süt (Mis Süt), işlenmemiş taze süt, ayçiçeği, mısır özü ve zeytin yağı (Kırlangıç) kullanılmıştır. Araştırmada kullanılan tüm örnekler denemelerde kullanıldığı süre içerisinde cam kavanozlarda +4°C'da ev tipi buzdolabında muhafaza edilmiştir.

2.2. Metot

2.2.1. Deneme Deseni

Denemelerde uygulanan muameleler ve seçilen muamele seviyeleri; literatür bilgisi, gıda sanayiindeki pratik uygulamalar ve ön denemeler sonucunda belirlenmiştir. Sakkarozdan %10, 30, ve 50'lik üç farklı konsantrasyona sahip örnek hazırlanmış ve bunların 25° ile 75°C sıcaklık aralığında 3 farklı sıcaklıkta ısı iletkenlik değerleri saptanmıştır. Süt ve yağ örneklerinin 25° ile 75°C sıcaklık aralığında 5 farklı sıcaklıkta ısı iletkenlik değerleri belirlenmiştir. Örneklerin ısı iletkenlik değerlerinin belirlenmesi 2 tekerrürlü olarak gerçekleştirilmiştir. Sakkaroz

çözeltisi ve süt ürün çeşitlerinde her bir tekerrür için 3 ölçüm, yağ örnekleri için 2 ölçüm yapılmıştır. Böylece deneme deseni sakkaroz çözeltisi için 3×3×2 olurken diğer örnekler için 3×5×2 olmuştur Yıldız ve Bircan (1991).

2.2.2. Isıl İletkenlik Değerlerinin Ölçülmesi

Değişik sıvı gıda maddelerinin ısı iletkenlik değerlerinin ölçümü, aşağıda anlatıldığı şekilde, sıvılar ve gazlarda ısı iletkenlik ölçüm ünitesinin (P.A. Hilton Limited; H470) kullanımı ile gerçekleştirilmiştir Anon (1994). Isıl iletkenlik ölçümünde kullanılan cihaz ve donanımlar Şekil 1'de verilmiştir.

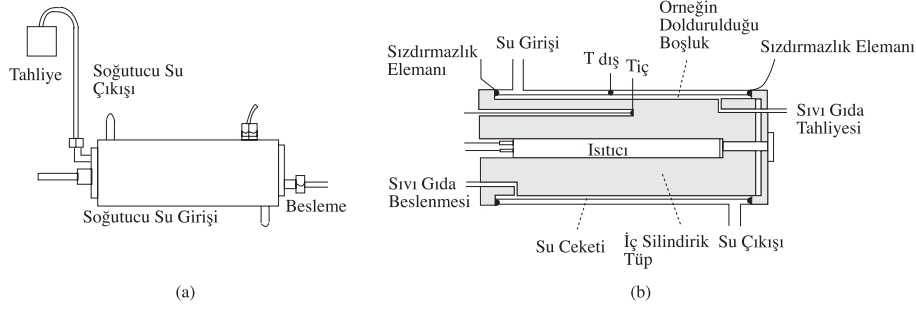
Isıl iletkenlik ölçüm ünitesi, yalnızca sıvılarda ve gazlarda ısı iletkenlik değerlerinin ölçümü için tasarlanmış olup, sıcaklık ve ısı girdisinin ölçüm ve kontrol edilmesini sağlayan iç içe geçmiş eksenel iki silindirik tüpten oluşmuştur. İçteki tüp, istenilen çalışma sıcaklıklarını sağlamak için, direnç ölçülebilen ısıtıcı bir eleman ve bu tüpün dış yüzeyine yakın olacak şekilde yerleştirilmiş K tipi bir ısı çifti içermektedir. Bu tüp ısı gerilmeleri ve sıcaklık değişimlerini azaltmak için alüminyumdan imal edilmiştir. Çapı 39 mm ve etkin uzunluğu 110 mm'dir. Gıda maddesinin doldurulacağı iki tüp arasındaki radyal boşluk konvektif hareketin önlenmesi için 0,31mm gibi küçük bir değere sahiptir. İçteki silindirik tüp radyal boşluğu kapatan sızdırmazlık elemanı vasıtasıyla su ceketı adı verilen, ikinci silindirik tüpün ortasında tutulmaktadır. Su ceketı nikel kaplamalı pirinçten imal edilmiş olup, paslanmaz çelikten yapılmış gövde üzerine monte edilmiştir. Ceket içerisine iç yüzey sıcaklığının ölçümü için K tipi bir ısı çifti yerleştirilmiştir. Isıtıcı eleman 54,8Ω dirence sahip olup, maksimum gücü 100W ve uygulanabilecek maksimum voltaj ise 70V'dur.

Isıl iletkenlik ölçümleri sırasında, su ceketinin içerisinden 0°,1°C hassasiyetinde sirkülasyonlu su banyosunda istenilen sıcaklığa getirilmiş su geçirilerek, ölçüm ünitesinde istenilen sıcaklıklar elde edilmiştir.

Isıl iletkenlik ölçümleri yapılmadan önce, ısı iletim katsayısı belirlenecek olan gıda maddesi üzerinden kondüksiyonla olan ısı transferi haricinde oluşan, diğer bütün ısı transfer değerlerinin toplamının hesaplanması yapılmıştır. Bu toplam ısı, kayıp ısı (Q_k) olarak belirtilmiştir. Kayıp ısı, ısıtıcı elemanın bulunduğu silindirik tüpü su

ceketinin ortasında tutan, radyal boşluğu kapatan sızdırmazlık elemanı tarafından su ceketine doğru, içteki silindirik tüpten ceketle radyasyonla ve uç

kısımdan dışarıya doğru gerçekleşen ısı kayıplarının tümünü içermektedir.



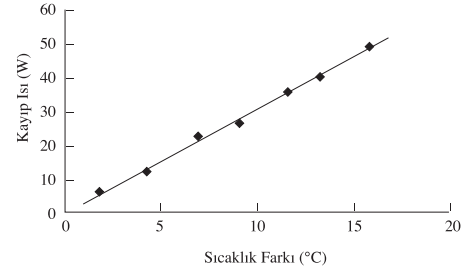
Şekil 1. Sıvı gıda maddelerinin ısıl iletkenlik değerlerinin ölçümünde kullanılan sistem ve sistem elemanları: (a) Genel görünüş; (b) Tüp-ceket sisteminin kesit görünüşü

Kayıp ısı miktarının hesaplanması, diğer bir ifadeyle cihazın kalibrasyonu için, üretici firma tarafından belirtildiği şekilde, kuru hava kullanılmıştır. Kuru hava kaynağı olarak kuru hava tüpü (Habaş, İzmit) kullanılmıştır. Cihazın örnek haznesine kuru hava verildikten sonra, sisteme elektrik akımı uygulanarak, ayarlanan çeşitli voltajlarda, yüksek ($T_{iç}$) ve düşük ($T_{dış}$) sıcaklıklar sabitlendiğinde okunmuştur. Daha sonra, elektriksel ısı girdisinden (Q_e) kuru hava üzerinden kondüksiyonla yapılan ısı transferi (Q_c) çıkarılarak, kayıp ısı miktarı hesaplanmıştır. Böylece farklı voltaj değerlerinde hesaplanan kayıp ısı değerleri, sıcaklık farkına karşı grafik edilerek Şekil 2'deki kalibrasyon grafiği çizilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi kayıp ısı değerleri ile sıcaklık farkı arasında Fourier ısı iletimi kanununa uygun lineer bir ilişki vardır ve sıcaklık farkı arttıkça kayıp ısı değeri de artmaktadır. Bu doğrunun denklemi (1) Lineer regresyon ile bulunmuş ($r^2 = 0,9977$) ve denemede kullanılan gıda maddelerinin ısıl iletkenliklerinin hesaplanmasında bu denkleme göre belirlenen kayıp ısı değerleri baz alınmıştır.

$$Q_k = 3,0332 \times \Delta T - 0,5041 \quad (1)$$

Cihaz içerisinde örneğin enjekte edildiği boşluk kalınlığının (0,31 mm) bu silindirik boşluğun yarıçapına göre çok küçük olması nedeniyle, ısı transferinin gerçekleştiği bu alan düz levha olarak kabul edilmiş ve hesaplamalar bu doğrultuda gerçekleştirilmiştir. Kalibrasyon hesaplamalarında, kuru hava için ortalama sıcaklık, $(T_{iç} + T_{dış})/2^\circ C$, alınmıştır. Bu sıcaklıktaki kuru havanın ısıl iletken-

lik değeri belirlenip aşağıdaki ifadeye (2) yazılarak, kuru hava üzerinden kondüksiyonla olan ısı transferi hesaplanmıştır:



Şekil 2. Isıl iletkenlik hesaplamalarında kullanılan kalibrasyon grafiği.

$$Q_c = k_a A \Delta T / \Delta r \quad (2)$$

Elektriksel ısı girdisi ise aşağıdaki eşitlik (3) kullanılarak hesaplanmıştır:

$$Q_e = V^2 / R \quad (3)$$

Gıda maddelerinin ısıl iletkenlik değerlerinin belirlenmesi anlatılan çalışma yöntemine göre gerçekleştirilerek, hesaplamalarda aşağıda tanımlanan ifadeler kullanılmıştır.

$$Q_c = Q_e - Q_k, \quad (4)$$

$$k = Q_c \Delta r / A \Delta T \quad (5)$$

2.2.3. Süt Örneklerinde Kuru Madde ve Yağ miktarı Tayini

Süt örneklerinde etüvde 100°-105°C sıcaklıkta, sabit ağırlığa gelinceye kadar kurutulmak suretiyle toplam kuru madde miktarları bulunmuştur Kurt ve arkadaşları (1993). Sonuçlar, toplam kuru maddesi yüzdesi olarak ifade edilmiştir.

Süt örneklerin toplam yağ yüzdesi örneklerden direkt 11'er ml alınıp, özgül ağırlığı 1,82 olan 10 ml sülfürik asit, 1ml amil alkol, gerber butirometresi ve gerber santrifüjü kullanılarak Gerber metodu ile belirlenmiştir Kurt ve arkadaşları (1993).

2.2.5. İstatistik Analizler ve Matematiksel Modellemeler

Isıl iletkenlik hesaplamaları Microsoft Excell 7.0, istatistik analizler ve matematiksel modellemelerde Mstat-C istatistik programı kullanılarak

gerçekleştirilmiştir.

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Analitik Bulgular

Araştırmada materyal olarak kullanılan süt ürün çeşitlerinin toplam kuru madde miktarı ve yağ miktarı sonuçları Tablo 1'de verilmiştir.

3.2. Isıl İletkenlik Ölçüm Sonuçları

Üç farklı konsantrasyon seviyesine sahip sakkaroz çözeltilerinin üç farklı sıcaklık seviyesinde elde edilen ısıl iletkenlik değerleri Tablo 2'de verilmiştir. Sakkaroz örneklerinin ısıl iletkenlik değerlerinin sıcaklık artışı ile artma gösterdiği ve kuru madde konsantrasyonundaki artış ile azaldığı belirlenmiştir (Tablo 2).

Tablo 1. Araştırmada Kullanılan Süt Ürünlerinin Bazı Analitik Özelliklerine Ait Analiz Sonuçları

Ürün Çeşidi	Toplam Kuru Madde Miktarı (%)	Yağ Miktarı (%)
İşlenmemiş Süt	11,10	3,2
Yağsız Süt	9,36	<0,1
Tam yağlı Süt	11,52	3,0

Tablo 2. Değişik Konsantrasyonlardaki Sakkaroz Çözeltilerinin Farklı Sıcaklıklarda Elde Edilen Isıl İletkenlik Değerleri

Konsantrasyon (%)	Ortalama Sıcaklık (°C)	Isıl İletkenlik (W/mK)	Standard Sapma
10	31	0,507	0,0036
	51	0,530	0,0011
	71	0,546	0,0069
30	31	0,417	0,0043
	51	0,444	0,0003
	71	0,471	0,0003
50	31	0,377	0,0043
	51	0,412	0,0023
	72	0,430	0,0020
Ortalama Standart Sapma			0,0028

Sakkaroz çözeltisi için elde edilen ısıl iletkenlik değerlerinden yapılan regresyon analizi sonucunda eşitlik (6)'da verilen denklem elde edilmiştir.

$$k = 0,488832 - 3,0434 \times 10^{-3}X + 1,2092 \times 10^{-3}T \quad (r^2 = 0,96) \quad (6)$$

Sakkaroz çözeltilerinin ölçülen ısıl iletkenlik değerlerinin literatürde verilen değerlerle

karşılaştırıldığında, ölçülen değerlerin literatür değerlerinden daha düşük oldukları (%16) bulunmuştur Riedel (1949) ve Constenla ve arkadaşları (1989)

Eşitlik (7)'de sakkaroz çözeltisi için Riedel (1949) tarafından ortaya konulan model görülmektedir.

$$k = 1,162222 \times 10^{-3}(486 + 1,55T - 0,005T^2) (1 - 0,0054X) \quad (7)$$

Deneyisel olarak elde edilen ısı iletkenlik değerleri ile Ridel (1949) tarafından ortaya konulan değerler arasındaki ilişkinin saptanması amacıyla %10, 30 ve 50'lik sakkaroz çözeltilerinin 30°, 50° ve 70°C'deki ısı iletkenlik değerleri ifade (6) ve (7) ile hesaplanmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak iki model arasındaki ilişki bağıntı (8)'de görüldüğü gibi saptanmıştır.

$$k_{lit} = 1,0943 \times k_{ölç} + 0,0342 \quad (r^2 = 0,99) \quad (8)$$

Üç farklı süt ürün çeşidinin, beş farklı sıcaklık seviyesinde elde edilen ısı iletkenlik değerleri Tablo 3'de verilmiştir. Varyans analiz sonucunda, ısı iletkenlik üzerinde, farklı ürün çeşitlerinin ve sıcaklık seviyelerinin istatistiki olarak çok önemli düzeyde ($P<0,01$), ürün çeşidi \times sıcaklık seviyesi etkileşiminin de önemli düzeyde ($P<0,1$) etkiye sahip olduğu saptanmıştır (Tablo 4).

Tablo 3. Değişik Süt Ürün Çeşitlerinin Farklı Sıcaklıklarda Elde Edilen Isıl İletkenlik Değerleri ve Ölçüm Sonuçları

Süt Ürün Çeşidi	Ortalama Sıcaklık (°C)	Isıl İletkenlik (W/mK)	Standard Sapma
İşlenmemiş Süt	32	0,506	0,0038
	42	0,521	0,0022
	51	0,519	0,0101
	62	0,526	0,0005
	72	0,539	0,0012
Yağsız Süt	32	0,517	0,0035
	41	0,520	0,0070
	51	0,543	0,0077
	62	0,545	0,0093
	72	0,556	0,0062
Tam Yağlı Süt	31	0,505	0,0059
	41	0,510	0,0099
	50	0,515	0,0051
	62	0,521	0,0041
	72	0,523	0,0009
Ortalama Standart sapma			0,0052

Tablo 4. Süt Ürün Çeşidi ve Sıcaklık Seviyelerinin Isıl İletkenlik Değerlerine Etkisine Ait Varyans Analiz Sonuçları

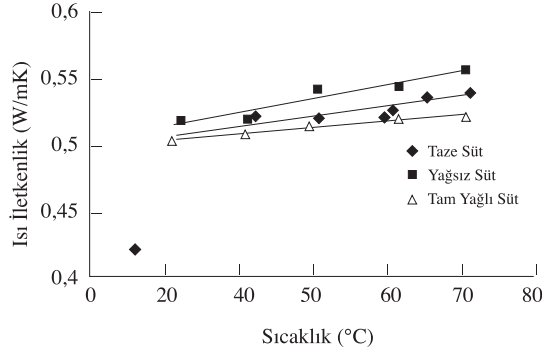
Varyasyon Kaynakları	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F değeri
Süt Ürün Çeşidi (A)	2	0,001	31,40**
Sıcaklık (B)	4	0,001	22,528**
A \times B	8	0,0001	2,024*
Hata	15	0,0001	-

* $P < 0,1$ düzeyinde önemli, ** $P < 0,01$ düzeyinde önemli

İşlenmemiş süt ile tam yağlı süt örneklerinin ısı iletkenlik değerlerinin, yağsız sütün ısı iletkenlik değerinden daha düşük ve birbirlerine oldukça yakın olduğu görülmüştür. Nitekim, Duncan çoklu karşılaştırma testi sonunda, işlenmemiş ve tam yağlı süt örneklerinin ısı iletkenlik değerleri arasında istatistiki olarak bir farklılık olmadığı, an-

cak, yağsız sütün bu iki süt çeşidine ait ısı iletkenlik değerlerine göre $P < 0,01$ seviyesinde farklı bir ısı iletkenlik değeri verdiği saptanmıştır (Tablo 5). Bununla birlikte farklı sıcaklıklarda tespit edilen ısı iletkenlik değerleri arasında istatistiki olarak çok önemli seviyede ($P < 0,01$) farklılık olmadığı, birbirini takip eden sıcaklıklarda sonuçların biri birler-

ine çok yakın olduğu saptanmıştır (Tablo 6, Şekil 3). Ayrıca, süt örneklerinin hepsinde ısı iletkenlik değerlerinin sıcaklık artışı ile, az da olsa artma gösterdiği belirlenmiştir (Tablo 3, Şekil 3). Duncan çoklu karşılaştırma test sonuçlarına göre; yağsız süt en yüksek ısı iletkenlik değeri gösterirken, diğer örnekler birbirlerine benzer ısı iletkenlik değeri vermişlerdir. Uygulanan her bir sıcaklık seviyesi ise, birbirinden çok az farklı, yani birbirine yakın ısı iletkenlik değeri vermiştir. Sıcaklıktaki artışın ısı iletkenlikte az düzeyde yükselmeye neden olduğu saptanmıştır (Tablo 5 ve 6).



Şekil 3. Süt ürün çeşitlerinin ısı iletkenlik değerleri

Tablo 5. Üç Farklı Süt Ürün Çeşidinin Isıl İletkenlik Değerleri Ortalamalarına Ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Test Sonuçları*

Süt Ürün Çeşidi	n	Ortalama k (W/mK)
İşlenmemiş Süt	10	0,522 ^b
Yağsız Süt	10	0,535 ^a
Tam Yağlı Süt	10	0,515 ^b

*Farklı harfler, ortalamaların birbirinden P<0,01 düzeyinde farklı olduğunu göstermektedir.

Süt ürünlerinde ısı iletkenlik ve ürünün su içeriği arasında kuvvetli bir doğrusal ilişki, yağ içeriği arasında ise ters bir ilişki mevcuttur Sweat ve Parmelle (1978). Değişik süt ürünlerinin ısı iletkenlik değerlerinin sıcaklık artışı ile yükseldiği ve kuru madde konsantrasyonunun artışı ile de azaldığı belirtilmektedir Konrad, Ramke (1971), Agrawala ve Ojha (1972), Fernandez-Martin ve Montes (1972), Ziegler ve Rizvi (1985), More ve Prasad (1988).

Üç farklı yağ çeşidinin, beş farklı sıcaklık seviyesinde elde edilen ısı iletkenlik değerleri Tablo 6'da verilmiştir. Varyans analiz sonucunda, ısı

iletkenlik üzerinde, farklı ürün çeşitlerinin, sıcaklık seviyelerinin ve yağ ürün çeşidi × sıcaklık seviyesi etkileşiminin istatistiki olarak çok önemli düzeyde (P<0,01) etkiye sahip olduğu saptanmıştır (Tablo 8).

Bununla birlikte, farklı yağ çeşitlerinin ve sıcaklık seviyelerinin birbirlerine yakın ısı iletkenlik değeri verdiği tespit edilmiştir (Tablo 9 ve 10). Elde edilen ısı iletkenlik değerlerinin 0,092-0,097 gibi çok küçük değerlere tekabül etmiş olması varyans analizi sonucunu yukarıda belirtilen sonucu ortaya çıkarmış ise de Duncan çoklu karşılaştırma test sonuçları, farklı ürün çeşitlerinin ve sıcaklık seviyelerinin benzer ısı iletkenlik değeri verdiğini ortaya koymuştur. Sonuç olarak, farklı yağ ürün çeşitlerinin ve sıcaklık seviyelerinin ısı iletkenlik üzerinde, rakamların çok küçük olmasından dolayı farklılığa neden olmadığı saptanmıştır (Tablo 7, 8, 9, 10 ve Şekil 4).

Tablo 6. Süt Ürünlerinde Beş Farklı Sıcaklık Seviyesinin Isıl İletkenlik Değerleri Ortalamalarına Ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Test Sonuçları*

Sıcaklık(°C)	n	Ortalama k(W/mK)
30-32	6	0,509 ^c
40-42	6	0,517 ^{bc}
50-52	6	0,525 ^{abc}
60-62	6	0,530 ^{ab}
70-72	6	0,539 ^a

*Farklı harfler, ortalamaların birbirinden P<0,01 düzeyinde farklı olduğunu göstermektedir.

Kuru madde içeriği % 9,4 olan ve %0,1'den az yağ içeriğine sahip yağsız süt örneğinin ısı iletkenlik değerlerinin, %11,1 kuru madde ve %3,2 yağ içeren taze süt ve %11,5 kuru madde ve %3,0 yağ içeren tam yağlı süt örneklerinin ısı iletkenlik değerlerinden daha büyük bulunması ve taze süt ve tam yağlı sütün birbirine benzer ısı iletkenlik değerleri vermesi, süt için ısı iletkenlik üzerinde kuru madde ve kuru maddedeki yağ içeriğinin önemli bir faktör olduğunu göstermektedir (Tablo 3 ve 4). Bununla birlikte, sıcaklık artışına bağlı olarak ısı iletkenlik değerlerinde düzenli bir artış belirlenmiştir. Fakat, süt ürünlerinde ısı iletkenlik üzerinde kuru madde konsantrasyonunun sıcaklıktan daha etkin bir faktör olduğu görülmektedir. Nitekim, % 2,2'lik kuru madde artışı ortalama ısı iletkenlik değerini %3,9'luk bir azalma ile, 0,536'dan 0,515'e düşürürken, 20°C'lik bir sıcaklık artışı ortalama ısı iletkenlik değerini %3,1 seviyesinde artırabilmiş ve

0,509'dan 0,525'e yükseltebilmiştir (Tablo 5 ve 6). More ve Prasad (1988)'da süt ürünlerinde kuru madde konsantrasyonunun sıcaklıktan daha etkin bir faktör olduğunu ifade etmiştir. Süt ürünlerin ısı

iletkenlik değerleri sıcaklığın bir fonksiyonu olarak ifade edilmiştir. Yağsız süt, tam yağlı süt ve işlenmemiş taze süt için elde edilen eşitlikler sırası ile eşitlik (9), (10) ve (11)'de verilmiştir.

Tablo 7. Değişik Yağlar İçin Farklı Sıcaklıklarda Elde Edilen Isıl İletkenlik Değerleri ve Ölçüm Sonuçları

Yağ Çeşidi	Ortalama Sıcaklık (°C)	Isıl İletkenlik (W/mK)	Standard Sapma
Mısır Özü Yağı	33,8	0,096	0,00147
	44,1	0,096	0,00010
	54,0	0,092	0,00037
	64,8	0,092	0,00041
	73,4	0,097	0,00015
Ayçiçeği Yağı	33,4	0,093	0,00004
	43,2	0,095	0,00020
	54,1	0,093	0,00034
	62,6	0,095	0,00076
	74,8	0,096	0,00046
Zeytin Yağı	34,2	0,092	0,00097
	43,7	0,093	0,00107
	54,8	0,092	0,00041
	64,5	0,093	0,00073
	74,8	0,093	0,00144
Ortalama Standart Sapma			0,00053

Tablo 8. Yağ Ürün Çeşidi ve Sıcaklık Seviyelerinin Isıl İletkenlik Değerlerine Etkisine Ait Varyans Analiz Sonuçları

Varyasyon Kaynakları	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F değeri
Yağ Ürün Çeşidi (A)	2	0,0001	14,913**
Sıcaklık (B)	4	0,0001	9,500**
A × B	8	0,0001	5,130**
Hata	15	0,0001	-

**P < 0,01 düzeyinde önemli

Tablo 9. Üç Farklı Yağ Ürün Çeşidinin Isıl İletkenlik Değerleri Ortalamalarına Ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Test Sonuçları*

Yağ Ürün Çeşidi	n	Ortalama k (W/mK)
Mısır Özü Yağı	10	0,095 ^a
Ayçiçeği Yağı	10	0,095 ^a
Zeytin Yağı	10	0,093 ^a

*Aynı harfler, ortalamaların birbirinden P < 0,01 düzeyinde farklı olmadığını göstermektedir.

Eşitliklerden görüldüğü gibi bütün örneklerin ısı iletkenlik değerleri sıcaklıkla ikinci dereceden bir ilişki içerisindedir. Bu örneklerin sıcaklıkla doğrusal bir ilişki içinde olup olmadıkları da araştırılmıştır,

fakat elde edilen eşitliklerin r² değerleri daha düşük bulunduğu için daha doğru tahmin sonucu veren buradaki ifadeler verilmiştir.

Tablo 10. Yağ Ürünlerinde Beş Farklı Sıcaklık Seviyesinin Isıl İletkenlik Değerleri Ortalamalarına Ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Test Sonuçları*

Sıcaklık (°C)	n	Ortalama k (W/mK)
33-35	6	0,094 ^a
43-45	6	0,095 ^a
53-55	6	0,093 ^a
63-65	6	0,093 ^a
73-75	6	0,096 ^a

* Aynı harfler, ortalamaların birbirinden $P < 0,01$ düzeyinde farklı olmadığını göstermektedir.

Yağ örneklerinin ısı iletkenlik değerleri çalışma sıcaklıklarında sıcaklıkla belirgin bir değişim göstermediğinden, bu örneklerin ısı iletkenlik değerlerin regresyon analizi yapılmamıştır.

$$k = 0,4738 + 0,0014T - 4 \times 10^{-6}T^2 \quad (9)$$

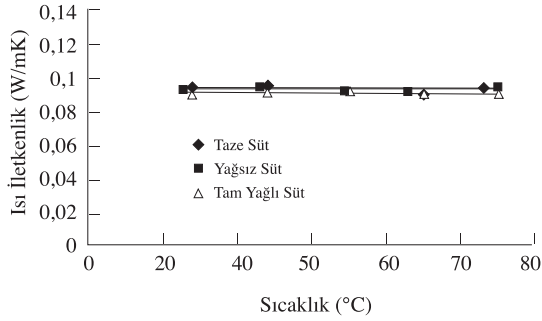
$(r^2 = 0,92)$

$$k = 0,4797 + 0,0009T - 4 \times 10^{-6}T^2 \quad (10)$$

$(r^2 = 0,99)$

$$k = 0,4905 + 0,0005T + 3 \times 10^{-6}T^2 \quad (11)$$

$(r^2 = 0,90)$



Şekil 4. Yağ çeşitlerinin ısı iletkenlik değerleri

Sakkaroz çözeltisinde olduğu gibi, süt ve yağ örneklerinin elde edilen ısı iletkenlik değerlerinde de literatür değerleri ile Riedel (1949), Choi ve Okos (1983 b), Fernandez-Martin ve Montes (1972), Ziegler ve Rizvi (1985) yapılan karşılaştırmaların sonucunda benzer bir ilişkinin söz konusu olduğu yani ölçülen değerlerin literatürde belirtilen değerlerden daha küçük oldukları tespit edilmiştir. Aradaki farkın ortadan kaldırılması ve elde edilen sonucun doğrulanması amacıyla ifade (8)' verilen ilişkiden yararlanılabilir.

4. Sonuçlar

Araştırmada saptanan genel sonuçlar aşağıda kısaca maddelenerek özetlenmiştir.

1. 25°-75°C sıcaklık aralığında farklı sıcaklık seviyelerinin yağsız süt, tam yağlı süt ve işlenmemiş

taze süt örneklerinin ısı iletkenlik değerlerinde farklılıklara neden olduğu belirlenmiştir. Örneklerin ısı iletkenlik değerleri sıcaklıktaki yükselme ile orantılı bir şekilde artmıştır.

2. Araştırmada, % 9,4'lük kuru madde ve %0,1'den az yağ içeriklerine sahip yağsız süt örneğinin ısı iletkenlik değeri diğer süt örneklerinden daha yüksek bulunurken, %11,1 kuru madde ve %3,2 yağ içeren taze süt ve %11,5 kuru madde ve %3,0 yağ içeren tam yağlı süt örneklerinin ısı iletkenlik değerlerinin birbirlerine yakın olduğu ve en düşük ısı iletkenliğe tam yağlı süt örneğinin sahip olduğu tespit edilmiştir.

3. Belirlenen ısı iletkenlik değerleri, sütün ısı iletkenliği üzerinde etkili olan en önemli faktörün kuru madde ve kuru maddedeki yağ içeriği olduğunu göstermiştir.

4. Mısırözü, ayçiçeği, ve zeytin yağlarının, 25°-75°C sıcaklık aralığında, benzer ısı iletkenlik değerlerine sahip oldukları ve farklı sıcaklık seviyelerinin birbirine yakın ısı iletkenlik değerleri verdiği belirlenmiştir.

5. Araştırmada kullanılan süt ürünlerinin ısı iletkenlik değerleri sıcaklığın bir fonksiyonu olarak ifade edilmiştir. Araştırmada elde edilen sonuçların önemli bulgular içerdiği düşünülmektedir. Değişik tip ürünler dikkate alınarak, farklı metotlar kullanılarak ve farklı muamele kombinasyonları da uygulanarak bu konuda yeni araştırmaların yapılmasının, bilimsel ve pratik uygulamalar açısından yararlı olacağı kanaatine varılmıştır.

Semboller

A	Isı transfer alanı (m ²)
k	Isı iletkenlik değeri (W/mK)
Q _c	Kondüksiyonla olan ısı transferi (W)
Q _e	Elektriksel ısı girdisi (W)
Q _k	Kayıp ısı (W)
R	Istıtcı elemanın direnci (Ω)
T	Sıcaklık (°C)
V	Uygulanan voltaj değeri (V)
r	Yarıçap (m)
X	Konsantrasyon (% ağırlık)

Kaynaklar

- Agrawala, S.P. and Ojha, T.P., "Effect of Concentration on Thermal Conductivity of Whole Milk". *Indian J. Ag. Eng.*, 9(3),24-30, 1972.
- Anonymous, "Thermal Conductivity of Liquids and Gases Unit", Series H470. Experimental Operating and Maintenance Manual. P.A. Hilton Ltd., England,1994.
- Arifin, B.B., "Measurement of Thermal Conductivity Using a Modified Differential Scanning Calorimeter". *Dissertation Abstract International*, B, 54(10), 5279, 1994.
- Bhumbla, V.K., Singh, A.K. and Singh, Y., "Prediction of Thermal Conductivity of Fruit Juices by a Thermal Resistance Model". *J. Food Sci.*, 54(4),1007-1012, 1989.
- Buhri, A.B. and Singh, R.P., "Measurement of Food Thermal Conductivity Using Differential Scanning Calorimetry". *J. Food Sci.*, 58(5), 1145-1147, 1993.
- Certel, M.,Tülek, Y., ve Ertugay M.F., Aktaş, N. ve Doğan, Ü., "Bazı Gıda Maddelerinin Isıl Yayımlı Katsayılarının Deneysel Olarak Belirlenmesi". *Standart Ekonomik ve Teknik Dergi*, 35(418), 132-137, 1996.
- Choi, Y and Okos, M.R., "Thermal Properties of Liquid Foods". Review. Presentation at the Winter Meeting of of ASAE. December 13-16. Chicago, Illinois, 1983.
- Constenla, D.T. Lozano, J.E. and Crapiste, G.H., "Thermophysical Properties of Clarified Apple Juice As a Function of Concentration and Temperature". *J. Food Sci.* 54(3), 663-668,1989.
- Cuevas, R. and Cheryan, M., "Thermal Conductivity of Liquid Foods". *J. Food Proc. Eng.*, 2, 283-306, 1978.
- Evcin, M.S., Tavman, Ş. ve Tavman İ.H., "Gıda Maddelerinde Uygulanan Isıl İletkenlik Ölçüm Teknikleri". II. Gıda Mühendisliği Ulusal Sempozyumu.18-18 Eylül 1995. Bildiri Kitabı, Ankara, 234-244, 1995.
- Fernandez-Martin, F. and Montes, F. "Influence of Temperature and Composition on Some Physical Properties of Milk and Milk Concentrations. III. Thermal Conductivity". *Milchwissenschaft*. 27(12), 772-776, 1972.
- Hori, T., "Effect of Rennet Treatment and Water Content on Thermal Conductivity of Skim Milk". *J. Food Sci.*, 48, 1492-1496, 1983.
- Hough, G., Moro, O. And Luna J., "Thermal Conductivity and Heat Capacity of Dulce De Leche, a Typical Argentine Dairy Product". *J. Dairy Sci.*, 69,1518-1522, 1986.
- Konrad, H and Rambke, K., "Physikalische Eigenschaften Flussiger Milchprodukte. 4. Mitt. Wärmeleitfähigkeit von Milch, Rahm und Milchkonzentraten". *Die Nahrung*, 15(3), 269-277, 1971.
- Kurt, A., Çakmakçı, S. ve Çağlar. A., "Süt ve Süt Mamulleri Muayane ve Analiz Metodları Rehberi",Atatürk Üniv. Ziraat Fak. Yayın No:252/D. Erzurum, 46-48, 1993.
- More, G.R. and Prasad, S., "Thermal Conductivity of Consantreted Whole Milk". *J. Food Proc. Eng.*, 10,105-112, 1988.
- Qashou, M.S., Vachon, R.I. and Touloukian Y.S., "Thermal Conductivity of Foods". *ASAE Trans.* 78(Part I), 165-183, 1972.
- Reddy, C.S. and Datta, A.K., "Thermophysical Properties of Reconstituted Milk During Processing". *J. Food Eng.*, 21(1), 31-40, 1994.
- Riedel, L., "Wärmeleitfähigkeitsmessungen An Zuckerlösungen, Fruchtsäften und Milch". *Chem. Ing. Technik*, 21, 340-341, 1949.
- Strecker, T.D., Cavalieri, R.P. and Pomeranz, Y., "Wheat and Glutenin Thermal Conductivity and Diffusivity at Extruder Temperatures". *J. Food Sci.*, 59 (6),1244-1250, 1994.
- Sweat, V.E. and Parmelee, C.E., "Measurement of Thermal Conductivity of Dairy Products and Margarines". *J. Food. Proc. Eng.*, 2, 187-197, 1978.
- Unklesbay, N., Unklesbay, F., Hsieh, F. and Sandık, K., "Thermophysical Properties of Extruded Beef/Corn Blends". *J. Food Sci.*, 57(6), 1282-1284, 1992.
- Wang, J. and Hayakawa, K., "Thermal Conductivities of Starch Gels at High Temperatures Influenced by Moisture". *J. Food Sci.*, 58(4),884-887, 1993.
- Yıldız, N. ve Bircan, H. "Araştırma ve Deneme Metodları" Atatürk Üniv. Ziraat Fak. Yayın No: 305. Erzurum, 266, 1991.
- Ziegler, G.R. and Rizvi, S.S.H., "Thermal Conductivity of Liquid Foods by the Thermal Comparator Method". *J. Food Sci.*, 58, 1458-1462, 1985.