

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Raziye İNCE**

**BAZI YAĞLI TOHUMLARIN İSİSAL ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ  
ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA**

**TARIM MAKİNALARI ANABİLİM DALI**

**ADANA, 2008**

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BAZI YAĞLI TOHUMLARIN İSİSAL ÖZELLİKLERİNİN  
BELİRLENMESİ ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA**

**Raziye İNCE**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
TARIM MAKİNALARI ANA BİLİM DALI**

Bu Tez 22/10/2008 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından Oybirliği ile Kabul Edilmiştir.

İmza:..... İmza:..... İmza:.....  
Prof. Dr. Emin GÜZEL Prof. Dr. M. Tunç ÖZCAN Yrd. Doç. Dr. Türkan KEÇELİ  
DANIŞMAN ÜYE ÜYE

Bu Tez Enstitümüz Tarım Makinaları Anabilim Dalında Hazırlanmıştır.

Kod No:

Prof.Dr. Aziz ERTUNÇ  
Enstitü Müdürü

**Bu çalışma Ç.Ü. Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından desteklenmiştir.  
Proje No: ZF2007YL15**

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğraflarının kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanundaki hükümlere tabidir.

**ÖZ**  
**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**BAZI YAĞLI TOHUMLARIN ISISAL ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ**  
**ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA**

**Raziye İNCE**

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
**TARIM MAKİNALARI ANABİLİM DALI**

Danışman : Prof. Dr. Emin GÜZEL  
Yıl : 2008, Sayfa: 71  
Jüri : Prof. Dr. Emin GÜZEL  
Prof. Dr. M. Tunç ÖZCAN  
Yrd. Doç. Dr. Türkan KEÇELİ

Bu çalışmada, ülkemizde yoğun olarak yetiştirilen bazı yağlı bitkilerden mısır, soya ve ayçiçeğinin özgül ısıları, ısı iletim ve ısı yayılım katsayıları belirlenmiştir. Ürünlerin özgül ısılarının belirlenmesinde karışım yöntemi kullanılmış ve özgül ısı değerlerinin mısırdaki 1.4868-2.4224 kJ/kg°C, soyada 1.3934-3.1976 kJ/kg°C ve ayçiçeğinde 0.8649-1.9302 kJ/kg°C arasında değiştiği belirlenmiştir. Isı yayılım katsayısı çizgi ısı kaynağı yöntemi kullanılarak ölçülmüştür. Isı yayılım katsayısı değerlerinin mısır, soya ve ayçiçeği için sırasıyla 0.1194-0.2474 W/m°C, 0.0980-0.2276 W/m°C, 0.0929-0.2099 W/m°C aralıklarında değiştiği saptanmıştır. Çalışmada elde edilen, özgül ısı, ısı iletim katsayısı ve özgül ağırlıklara göre hesaplanan ısı yayılım katsayısı değerleri ise mısırdaki  $1.111 \times 10^{-7}$ - $1.371 \times 10^{-7}$  m<sup>2</sup>/s, soyada  $8.268 \times 10^{-8}$ - $1.496 \times 10^{-7}$  m<sup>2</sup>/s ve ayçiçeğinde  $2.325 \times 10^{-7}$ - $3.695 \times 10^{-7}$  m<sup>2</sup>/s arasında hesaplanmıştır. Ayrıca çalışmada ele alınan ısısal özelliklerin neme ve sıcaklığa bağlı tahmini için regresyon eşitlikleri geliştirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Özgül ısı, ısı iletim katsayısı, ısı yayılım katsayısı, yağlı tohumlar

**ABSTRACT**  
**MSc THESIS**

**A RESEARCH ON DETERMINATION OF THERMAL PROPERTIES OF  
SOME OILY SEEDS**

**Raziye İNCE**

**DEPARTMENT OF AGRICULTURAL MACHINERY  
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES  
UNIVERSITY OF CUKUROVA**

Supervisor : Prof. Dr. Emin GÜZEL  
Yıl : 2008, Sayfa: 71  
Jury : Prof Dr. Emin GÜZEL  
Prof. Dr. M. Tunç ÖZCAN  
Ass. Prof. Dr. Türkan KEÇELİ

Thermal properties namely, specific heat, thermal conductivity and thermal diffusivity of corn, soybean and sunflower were determined as a function of moisture content (w.b.) and temperature. The specific heat was measured by using mixture method and ranged from 1.4868 to 2.4224 kJ/kg°C, 1.3934 to 3.1976 kJ/kg°C and 0.8649 to 1.9302 kJ/kg°C for corn, soybean and sunflower, respectively. The thermal conductivity was measured by transient technique using line heat source and varied between 0.1194 and 0.2474 W/m°C for corn, 0.0980 and 0.2276 W/m°C for soybean, 0.0929 and 0.2099 W/m°C for sunflower. The average values of thermal diffusivity ranged between  $1.111 \times 10^{-7}$  and  $1.371 \times 10^{-7}$  m<sup>2</sup>/s for corn,  $8.268 \times 10^{-8}$  and  $1.496 \times 10^{-7}$  m<sup>2</sup>/s for soybean,  $2.325 \times 10^{-7}$  and  $3.695 \times 10^{-7}$  m<sup>2</sup>/s for sunflower. Simple empirical models were developed to express thermal properties as a function of moisture content and temperature.

**Key words:** Specific heat, thermal conductivity, thermal diffusivity, oily seeds.

## **TEŞEKKÜR**

Bu çalışmada konu seçiminden araőtırmanın sonuçlanmasına kadar değerli katkılarını esirgemeyen danışman hocam Prof. Dr. Emin GÜZEL'e ve çalışmanın değerlendirilmesinde değerli katkılarından dolayı Jüri üyelerine teőekkürlerimi sunarım. Ayrıca çalışmanın bir bölümünü gerçekleőtirilmesinde kullanılan ısısal özellik analizörünün teminini sağlayan Prof. Dr. Birol Kayışoğlu'na ve emeği geçen herkese teşekkür ederim. Son olarak çalışma süresince benden hiçbir desteğini esirgemeyen eőim Yrd. Doç. Dr. Ahmet İNCE'ye ve bana daima güç kaynağı olan oğullarım Yusuf ve Mehmet Esat'a teşekkür ederim.

<b>İÇİNDEKİLER</b>	<b>SAYFA</b>
ÖZ.....	I
ABSTRACT.....	II
TEŞEKKÜR.....	III
1. GİRİŞ .....	1
1.1. Isı Transferi.....	5
1.1.1. Isı İletimi .....	5
1.1.2. Isı Taşınımı.....	6
1.1.3. Isıl Işıma.....	7
1.2. Isısal Özellikler.....	7
1.3. Özgül Isı.....	8
1.3.1. Ampirik Eşitlikler .....	10
1.3.2. Karışım Yöntemi.....	10
1.3.3. Muhafazalı Plaka Yöntemi.....	12
1.3.4. Karşılaştırmalı Kalorimetre Yöntemi .....	13
1.3.5. Hesaplanmış Özgül Isı Yöntemi .....	15
1.3.6. Adiyabatik Tarımsal Kalorimetre .....	15
1.3.7. Diferansiyel Tarama Yöntemi (DSC).....	17
1.4. Isı İletim Katsayısı .....	19
1.4.1. Isı İletim Katsayısının Ölçüm Yöntemleri .....	20
1.4.1.1. Dengeli Koşul Yöntemleri .....	21
1.4.1.1.(1) Dengeli Uzunluğuna Isı Akış Yöntemi.....	21
1.4.1.1.(2) Dengeli Radyal Isı Akış Yöntemleri .....	22
1.4.1.1.(3) Dengeli Buharlaştırma Isısı Yöntemi.....	24
1.4.1.2. Dengesiz Koşul Yöntemleri.....	24
1.4.1.2.(1) Fitch Yöntemi .....	25
1.4.1.2.(2) Çizgi Isı Kaynaklı Yöntem .....	26
1.4.1.2.(3) Düzlem Isı Kaynaklı Yöntem .....	26
1.4.1.2.(4) İstatiksel Model Yöntemi.....	26

1.4.1.2.(5) Frekans Tepki Yöntemi.....	27
1.4.1.2.(6) Katman Analiz Yöntemi .....	27
1.4.2. Isıl İletkenlik Probu Yöntemi.....	28
1.5. Isı Yayınım Katsayısı.....	29
1.5.1. Isı Yayınım Katsayısı Ölçüm Yöntemleri.....	29
1.5.1.1. Isı İletkenlik Probu Yöntemi.....	30
1.5.1.2. Silindirik Nesne ve Sıcaklık-Zaman Verileri Yöntemi.....	30
1.5.1.3. Küresel Nesne ve Sıcaklık-Zaman Verileri Yöntemi.....	31
1.5.1.4. Çizelge ve Grafikselle Çözüm Yöntemi .....	31
1.6. Çalışmanın Önemi ve Amacı.....	32
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR .....	33
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	37
3.1. Materyal .....	37
3.1.1. Bitkisel Materyal.....	37
3.1.2. Özgül Isı Ölçüm Sistemi .....	37
3.1.3. KD2 Isısal Özellik Analizörü.....	38
3.1.4. Mikrodalga .....	39
3.1.5. Nem İçeriklerinin Belirlenmesinde Kullanılan Cihazlar .....	40
3.2. Yöntem.....	42
3.2.1. Özgül Isının Belirlenmesi.....	42
3.2.2. Isı İletim Katsayısının Belirlenmesi .....	44
3.2.3. Isı Yayınım Katsayısının Belirlenmesi.....	45
3.2.4. Nem İçeriklerinin Sağlanması ve Belirlenmesi .....	46
3.2.5. Denemelerin Düzenlenmesi .....	46
3.2.6. Verilerin Değerlendirilmesi.....	47
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	49
4.1. Özgül Isı.....	49
4.1.1. Nem İçeriğinin Etkisi.....	51
4.1.2. Sıcaklığın Etkisi.....	52

4.1.3. Nem x Sıcaklık İnteraksiyonunun Etkisi.....	54
4.2. Isı İletkenlik Katsayısı .....	55
4.2.1 Nemin Etkisi.....	55
4.2.2. Sıcaklığın Etkisi.....	57
4.2.3. Nem x Sıcaklık İnteraksiyonunun Etkisi.....	59
4.3. Isı Yayınım Katsayısı.....	61
4.3.1. Nemin Etkisi.....	61
4.3.2. Sıcaklığın Etkisi.....	62
4.3.3. Nem x Sıcaklık İnteraksiyonunun Etkisi.....	64
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	67
KAYNAKLAR .....	69



## ÇİZELGELER DİZİNİ

## SAYFA

Çizelge 1.1. Dünya yağlı tohum bitkilerinin ekiliş, üretim ve verim değerleri (FAO, 2008).....	2
Çizelge 1.2. Türkiye yağlı tohum bitkilerinin ekiliş, üretim ve verim değerleri (TUIK, 2008) .....	3
Çizelge 3.1. Çalışmada Kullanılan Ürün Çeşitleri ve Bazı Özellikleri .....	37
Çizelge 3.2. Özgül Isı Denemelerinde Kullanılan Termometreye Ait Bazı Özellikler	38
Çizelge 3.3. KD2 Isısal özellik analizörünün bazı özellikleri .....	39
Çizelge 3.4. Çalışmada Kullanılan Bağımsız Değişkenler .....	47
Çizelge 4.1. Nem İçeriğine Göre Ortalama Özgül Isı Değerleri .....	52
Çizelge 4.2. Sıcaklığa Göre Ortalama Özgül Isı Değerleri.....	53
Çizelge 4.3. Nem İçeriğine Göre Ortalama Özgül Isı Değerleri .....	57
Çizelge 4.4. Sıcaklığa Göre Ortalama Isı İletim Katsayısı Değerleri .....	58
Çizelge 4.5. Nem İçeriğine Göre Ortalama Isı Yayımlı Katsayısı Değerleri .....	62
Çizelge 4.6. Sıcaklığa Göre Ortalama Isı Yayımlı Katsayısı Değerleri.....	63

## ŞEKİLLER DİZİNİ

## SAYFA

Şekil 1.1. Vakum cidarla kalorimetre kabı. ....	11
Şekil 1.2. Muhafazalı plaka yöntemi .....	12
Şekil 1.3. Karşılaştırmalı kalorimetre yöntemi .....	13
Şekil 1.4. Karşılaştırmalı kalorimetre yönteminde kullanılan soğuma eğrisi örneği. 14	
Şekil 1.5. Adiyabatik tarımsal kalorimetre .....	16
Şekil 1.6. Diferansiyel tarama yönteminin şematik görünüşü .....	17
Şekil 1.7. DSC yöntemi ile çizilen sıcaklık grafiği .....	18
Şekil 1.8. Muhafazalı sıcak levha yönteminin şematik görünüşü .....	21
Şekil 1.9. Fitch aparatı.....	25
Şekil 1.10. Isıl iletkenlik probu.....	28
Şekil 1.11. Isıl yayılımının doğrudan ölçülmesinde kullanılan düzenek.....	30
Şekil 3.1. Özgül ısı ölçüm sistemi .....	37
Şekil 3.2. KD2 Isısal özellik analizörü.....	39
Şekil 3.3. Mikrodalga fırın.....	40
Şekil 3.4. Kurutma dolabı .....	41
Şekil 3.5. Seyyar nem ölçer .....	41
Şekil 3.6. Özgül ısı ölçüm işlemi.....	44
Şekil 3.7. Isıl iletim katsayısı ölçümleri.....	45
Şekil 4.1. Ürün bazında sistemin sıcaklık zaman grafikleri.....	50
Şekil 4.2. Özgül ısının nem içeriği ile değişimi.....	51
Şekil 4.3. Özgül ısının sıcaklık ile değişimi .....	53
Şekil 4.4. Özgül ısının sıcaklık ve nem ile değişimi .....	55
Şekil 4.5. Isı iletim katsayısının nem içeriği ile değişimi .....	56
Şekil 4.6. Isı iletim katsayısının sıcaklık ile değişimi .....	58
Şekil 4.7. Isıl iletkenlik katsayısının nem ve sıcaklıkla değişimi.....	60
Şekil 4.8. Isı yayılım katsayısının ürün nem içeriği ile değişimi.....	61
Şekil 4.9. Isı yayılım katsayısının sıcaklıkla değişimi .....	63
Şekil 4.10. Isı yayılım katsayısının nem ve sıcaklıkla değişimi .....	65

## 1. GİRİŞ

Temel besin maddelerinden biri olan ve insan beslenmesinde önemli bir yere sahip olan yağlar, insanların yaşamsal faaliyetlerini sürdürebilmeleri için gerekli olan ana besin maddelerinden biridir. Yetişkin bir insanın gereksinim duyduğu günlük 2000-3000 kalorisinin, dengeli beslenme gereği, 650-900 kalorisinin yağlardan karşılanması gerekmektedir. Buradan hareketle yapılan hesaplamada kişi başına yılda 23 kg yağ tüketilmesi gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Bu ihtiyacın 1/3'ü süt, peynir vb. gibi besinlerden karşılanırken, 2/3 ise bitkisel yağlardan karşılanmaktadır (Kolsarıcı ve ark., 2005).

Hayvansal yağ üretiminin kısıtlı ve pahalı olmasının yanında sağlık açısından önerilmemesi nedeniyle bitkisel yağlar hayvansal yağların yerini almış ve yağlı tohum üretimi büyük bir önem kazanmıştır. Bunun yanında yağ bitkilerinin yağı alındıktan sonra geriye kalan küspenin yüksek oranda protein içermesi nedeniyle hayvan yemi olarak, endüstride ise içerdiği yağ asitlerinin durumuna göre sabun, yağlı boya, krem, ilaç yapımında kullanılması ve son yıllarda biyoyakıt gibi farklı kullanım alanlarının olması da bu önemi daha da artırmaktadır.

Dünya üzerinde yabani ve kültüre alınarak yetiştirilmekte olan birçok bitkinin tohumları yağ içermekte ve dünya yağ üretiminin yaklaşık %86'sı yağ bitkilerinden elde edilmektedir (Atakişi, 1999). Bu bitkilerin başında soya, pamuk, ayçiçeği, yerfıstığı, kolza, aspir, susam, haşhaş ve mısır gelmektedir. Ülkemizde yağ üretiminin yaklaşık % 80'i bitkisel yağlardan karşılanmaktadır. Toplam yağ üretimimizin % 40-45 kadarını ayçiçeği, %30'unu pamuk çiğidi, % 13'ünü soya ve % 5 kadarı ise mısırdan elde edilmektedir.

Dünya yağ bitkilerinin ekim alanı ve üretimini ülkemizle karşılaştıracak olursak ülkemizde dünya genelinden farklı bitkiler ön plana çıkmaktadır. Dünya yağ üretiminde lider bitki soya iken, ülkemizde ilk sırayı pamuk çiğidi almaktadır. Dünyada ve Türkiye'de yağlı tohumlu bitkilerin ekiliş, üretim ve verim değerleri Çizelge 1 ve 2'de görülmektedir.

Çizelge 1.1. Dünya yağlı tohum bitkilerinin ekiliş, üretim ve verim değerleri (FAO, 2008)

Yağ Bitkileri		2002	2003	2004	2005	2006
Ayçiçeği	Ekiliş (1000 ha)	19 536	22 333	21 481	23 365	24 131
	Üretim (1000 ton)	24 173	27 740	26 377	30 692	31 241
	Verim (kg/da)	123.7	124.2	122.0	131.3	129.4
Soya	Ekiliş (1000 ha)	78 842	83 696	91 196	92 434	94 926
	Üretim (1000 ton)	180 729	189 234	206 640	214 244	222 403
	Verim (kg/da)	229.2	226.1	226.4	231.7	234.2
Pamuk	Ekiliş (1000 ha)	30 725	32 168	35 234	34 855	34 287
	Üretim (1000 ton)	52 875	56 097	69 936	69 446	71 455
	Verim (kg/da)	172.1	174.4	198.5	199.2	208.4
Yerfıstığı	Ekiliş (1000 ha)	24 105	26 463	25 058	23 612	22 232
	Üretim (1000 ton)	33 303	35 658	36 436	38 094	34 471
	Verim (kg/da)	138.2	134.8	145.4	161.3	155.0
Susam	Ekiliş (1000 ha)	6 771	6 566	7 427	7 692	7 559
	Üretim (1000 ton)	2 966	2 943	3 276	3 460	3 311
	Verim (kg/da)	43.8	44.8	44.1	44.9	43.8
Kolza	Ekiliş (1000 ha)	22 485	22 944	25 212	27 490	27.971
	Üretim (1000 ton)	34 044	36 146	46 127	49 696	48 916
	Verim (kg/da)	151.4	157.5	182.9	180.7	174.8
Aspir	Ekiliş (1000 ha)	757	743	964	816	761
	Üretim (1000 ton)	572	648	652	595	542
	Verim (kg/da)	75.6	87.2	67.6	72.9	71.3

Çizelge 1.2. Türkiye yağlı tohum bitkilerinin ekiliş, üretim ve verim değerleri (TUIK, 2008)

Yağ Bitkileri		2002	2003	2004	2005	2006
Ayçiçeği	Ekiliş (1000 da)	5 500	5 450	5 500	5 660	5 854
	Üretim (1000 ton)	850	800	900	975	1 118
	Verim (kg/da)	155	147	164	172	191
Soya	Ekiliş (1000 da)	255	270	140	86	119
	Üretim (1000 ton)	75	85	50	29	47
	Verim (kg/da)	294	315	357	337	397
Pamuk	Ekiliş (1000 da)	7 211	6 373	6 400	5 469	5 907
	Üretim (1000 ton)	988	920	936	864	977
	Verim (kg/da)	137	144	146	158	165
Yerfıstığı	Ekiliş (1000 da)	330	280	260	258	227
	Üretim (1000 ton)	90	85	80	85	77.5
	Verim (kg/da)	273	304	308	329	341
Susam	Ekiliş (1000 da)	480	440	430	424.5	399.3
	Üretim (1000 ton)	22	22	23	26	26.5
	Verim (kg/da)	46	50	53	61	66
Mısır	Ekiliş (1000 da)	5 000	5 600	5 450	6 000	5 360
	Üretim (1000 ton)	2 100	2 800	3 000	4 200	3 811
	Verim (kg/da)	420	500	550	700	711
Kolza	Ekiliş (1000 da)	5.5	28	17	7	54
	Üretim (1000 ton)	1.5	6.5	4.5	1.2	12.6
	Verim (kg/da)	273	232	265	171	234
Aspir	Ekiliş (1000 da)	0.4	2.5	1.6	1.7	4.3
	Üretim (1000 ton)	0.025	0.17	0.15	0.22	0.40
	Verim (kg/da)	63	68	91	124	92

Dünya yağ bitkileri üretiminde soya yaklaşık 206 milyon tonla ilk sırada yer alırken, 70 milyon tonla pamuk ikinci sırada, 46 milyon tonla kolza üçüncü sırada yer almaktadır. Bunları 36 milyon tonla yerfıstığı ve 26 milyon tonla ayçiçeği izlemektedir.

2000-2004 yılları arasında dünyada soya, kolza, aspir ve pamuk ekim alanlarında gözle görülür bir artış vardır (Çizelge 1.1).

Çizelge 1.2 incelendiğinde, ülkemizde, mısır bitkisi doğrudan bir yağ bitkisi olarak düşünülmezse, 1 milyon tondan fazla üretimle ayçiçeği ilk sırada yer almaktadır. Bunu pamuk, yerfıstığı ve soya izlemektedir. Burada dikkat edilmesi gereken diğer bir durum özellikle 2006 yılında ayçiçeği, soya, kolza ve aspirin ekiliş ve üretim miktarlarındaki artıştır. Bu artışın önemli nedenlerinin başında yağ bitkilerinin biyoyakıt üretiminde kullanılması nedeniyle bu bitkilere olan taleple birlikte birim fiyatlarının artışı ve yağ bitkilerine devlet tarafından verilen desteklerin fazlalaşmasıdır. Ülkemizin yağ açığı göz önüne alındığında yağlı tohumların üretimindeki artışın devam edeceği de açıktır.

Üretilen bu tohumlar çoğunluğu özel sektöre ait olan işletmelerde işlenmektedir. Bilindiği gibi ürünler hasat sonrası depolama, kurutma başta olmak üzere amaca bağlı olarak farklı işlemlerden geçirilerek mamul hale getirilirler. Bu işlemler zinciri sırasında ürünlerin nitelik ve niceliklerinin korunabilmesi ve buna uygun teknolojinin tasarımı ve seçimi için bazı temel özelliklerin bilinmesi gereklidir. Bu özellikleri şu ana başlıklar altında toplamak olasıdır:

- Fiziksel özellikler,
- Mekanik özellikler,
- Isısal özellikler,
- Elektriksel özellikler,
- Optik özellikler.

Birçok tarım ürünü tüketiciye ulaşmadan önce genel olarak iki farklı değişikliğe uğrar. Bunlardan birincisi geri dönüşümü olmayan fiziksel değişiklik, ikincisi ise kimyasal değişikliktir. Fiziksel değişiklik boyut küçültme, şekillendirme gibi işlemlerle gerçekleştirilirken, kimyasal değişiklikler ise genelde koruma amaçlı olarak ürüne uygulanan pastörizasyon, sterilizasyon, kavurma, kurutma, soğutma ve dondurma gibi ısısal işlemlerle meydana gelir. Bütün bu işlemlerde ısı transferinin bilinmesi

kaçınılmazdır (Ayık, 1985; Güzel ve ark., 1996). Hangi tip ısısal işlem olursa olsun amaca bağlı olarak iki temel sorun ortaya çıkmaktadır: Isı transferini kolaylaştırmak ve zorlaştırmak. Ürünün depolama ve işleme aşamalarında ortaya çıkan bu problemler sıcaklık ve nem gibi çevresel faktörlerin yanında ürünün ısısal özellikleri ile doğrudan ilgilidir.

### 1.1. Isı Transferi

Gıda teknolojisinin kapsamındaki birçok işlemde ısı alışverişi önemli rol oynamaktadır. Burada amaç, hangi işlem yapılırsa yapılsın ürüne zarar vermeden ne kadar ısıtılacağı veya soğutulacağı olduğundan ürüne ait ısısal özelliklerin bilinmesi gerekmektedir. Ancak ürünlere ait ısısal özellikleri irdelemeden önce ısı transferinin nasıl gerçekleştiği konusu gözden geçirilmelidir.

Isı transferi kısaca ısı durumundaki enerjinin taşınması olarak ifade edilebilir (Tunç, 2000). Isı transferi üç farklı şekilde meydana gelir:

- Isı iletimi (Kondüksiyon),
- Isı taşınımı (Konveksiyon),
- Isıl ışınım (Radyasyon).

Uygulamada bu üç ısı transferi ayrı ayrı değil, birlikte gerçekleşmektedir.

#### 1.1.1. Isı İletimi

Katı, sıvı veya gaz halindeyken her madde sıcaklık farkında ısıyı iletir. Katılar içinde ısı iletimi pratikte en yaygın olan durumdur. Katı cisimler arasında bir sıcaklık farkı olduğunda, yüksek sıcaklıktaki bölgeden düşük sıcaklıktaki bölgeye bir ısı enerjisi transferi olur ve bu durum ısı iletimi (kondüksiyon) olarak adlandırılır. Buna en yaygın örnek olarak sıcak bir bardak çayın içerisinde duran metal kaşığın ısınması verilebilir. Metal bir kaşık iyi bir ısı iletkenidir. Sıcak çaya ait moleküller sıcaklığın etkisi ile

kinetik enerji kazanırlar ve birbirleri ile çarpılarak ısının kaşığı bardağın dışındaki kısmına iletilmesine sebep olurlar.

Fourier yasasına göre, tek katlı, sabit ve homojen yüzeylerde ısı iletiminin temel yasası aşağıdaki gibi yazılabilir (Güzel ve ark., 1996; Tunç, 2000):

$$Q = A \frac{k}{d} (t_i - t_d) \quad (1.1)$$

Eşitlikte,

$Q$  : Isı iletim miktarı (W)

$A$  : Yüzey alanı (m<sup>2</sup>)

$k$  : Isı iletim katsayısı (W/m°C)

$d$  : Yüzey kalınlığı (m)

$t_i$  : İç yüzey sıcaklığı (°C)

$t_d$  : Dış yüzey sıcaklığı (°C)

### 1.1.2. Isı Taşınımı

Durgun bir yüzey ile üzerinden geçen akışkan arasındaki ısı alışverişine ısı taşınımı (konveksiyon) denir. Buradaki akışkan sıvı veya gaz olabilir. Bu tür ısı transferine bir soba veya bir radyatör yüzeyi örnek verilebilir. Sobanın sıcak yüzeyine akın olan durgun hava ısınarak yoğunluğu azaldığı için yükselecek ve yerine soğuk hava gelecektir. Bu tür ısı taşınımına doğal ısı taşınımı denir. Eğer sobanın önüne bir vantilatör koyup havayı sıcak yüzeye yönlendirirsek, hava uygulanan basınçtan dolayı hareket etmiş olur. Bu tür ısı taşınımına zorlanmalı ısı taşınımı adı verilir.

Isı taşınımının hesaplanmasında Eşitlik 2'den yararlanılır (Ayık, 1985; Tunç, 2000).

$$Q = hA(t_a - t_y) \quad (1.2)$$

Burada;

$Q$  : Isı taşınım miktarı (W)



- $A$  : Yüzey alanı ( $m^2$ )  
 $h$  : Isı taşınım katsayısı ( $W/m^2\text{°C}$ )  
 $t_a$  : Akışkan sıcaklığı ( $\text{°C}$ )  
 $t_y$  : Yüzey sıcaklığı ( $\text{°C}$ )

### 1.1.3. Isıl Işıma

Isıl ışıma (radyasyon), sıcak ve soğuk cisimler arasında doğrudan yada dolaylı temas olmaksızın oluşan bir ısı geçiş şeklidir. Bu tür ısı transferinde ısı enerjisi, ışık hızında ilerleyen elektromanyetik dalgalar aracılığı ile yayılır. Bir yüzeyden yayılan ısı ışımasını yüzeyin sıcaklığı ve niteliğine bağlıdır. Siyah cisim mükemmel bir yayıcı ve yutuculardır. Stefan-Boltzmann'a göre sıcak bir cismin yaydığı ısı ışıma aşağıdaki bağıntı ile ifade edilebilir (Tunç, 2000):

$$Q = Ast^4 \quad (1.3)$$

Eşitlikte,

- $Q$  : Isıl ışıma miktarı (W)  
 $A$  : Yüzey alanı ( $m^2$ )  
 $s$  : Isı ışıma katsayısı ( $W/m^2K$ )  
 $t$  : Cismin sıcaklığı (K)

### 1.2. Isısal Özellikler

Tarımsal ürünlere uygulanan ısı işlemlerde, işlemin enerji maliyetinin hesaplanması, bu işlemlerde kullanılacak makine ve ekipmanların tasarlanması ve boyutlarının belirlenmesi ürünlere ait ısısal özelliklerin bilinmesi gerekir. Maddelerin dört önemli ısısal özelliği vardır:

- Özgül ısı (C),

- Isı iletim katsayısı ( $k$ ),
- Isı yayılım katsayısı ( $a$ ),
- Isı taşınım katsayısı ( $h$ ).

Bu özelliklerden ısı taşınım katsayısı, diğer özelliklerden farklıdır. Bölüm 1.1.2’de belirtildiği üzere ısı taşınımının tanımında hareketli bir sistem vardır. Hareketli sistemlerde ise ısı transferi yalnızca akışkanın ısı özelliklerine değil, aynı zamanda akışkanlar dinamiği ve sınır tabaka teorilerine de bağlıdır. Başka bir deyişle ısı taşınım katsayısı katı materyalin bir özelliği olmayıp akışkanla ilgili bir kavramdır (Mohsenin,1980; Güzel ve ark., 1996). Bu nedenle ısı taşınım katsayısı basit olarak hesaplanamaz. Isı taşınım katsayısının tahmin edilmesinde karışım, benzerlik ve geometrik analiz yöntemlerinin yanı sıra ampirik eşitlikler kullanılmaktadır (Mohsenin, 1980).

Bundan sonraki bölümlerde çalışmaya esas özellikler olan özgül ısı, ısı iletim katsayısı ve ısı yayılım katsayısı hakkında daha kapsamlı bilgiler verilecektir.

### 1.3. Özgül Isı

Özgül ısı, birim kütleli maddenin sıcaklığını, belli basınç ve hacim koşullarında bir derece arttırmak için o maddeye verilmesi gereken ısı miktarıdır ve aşağıdaki eşitlikle ifade edilir.

$$C = \frac{Q}{(wV)\Delta t} \quad (1.4)$$

Eşitlikte;

$C$  : Özgül ısı (kJ/kg°C)

$Q$  : Isı miktarı (kJ)

$w$  : Özgül ağırlık (kg/m<sup>3</sup>)

$V$  : Hacim (m<sup>3</sup>)

$Dt$  : Sıcaklık farkı (°C)

Özgül ısı, ısı transferinin sabit basınç veya sabit hacim koşullarında gerçekleşmesine bağlıdır. Bununla birlikte, katı ve sıvılarda basınç aşırı derecede yükselmedikçe özgül ısı değişimi çok küçük miktarlarda kalır. Tarımsal ürünlerin ısı transferi sırasında da basınç değişimleri çok küçük olduğundan, hesaplamalarda basınç sabit olarak kabul edilir.

Özgül ısı, eşitlik 4'te görüldüğü üzere, sıcaklığın bir fonksiyonudur. Ancak normal sıcaklıklarda ve fazla yüksek olmayan sıcaklık aralıklarında sabit bir fiziksel özellik olarak kabul edilebilir. Yalnızca sıfırın altındaki aşırı düşük sıcaklıklarda özgül ısı değeri azalır (Mohsenin, 1980).

Yapılan araştırmalar ürün nem içeriğinin özgül ısı değişimine sıcaklıktan daha fazla etkili olduğunu göstermiştir (Mohsenin, 1980; Stkei, 1986). Herhangi bir maddenin özgül ısısının belirlenmesinde suyun özgül ısısı referans olarak kullanılır. Fizikte, maddenin özgül ısısı ile suyun özgül ısısı arasındaki bu oran özgül ısı olarak tanımlanır. Bu nedenle tarım ürünlerinin belirli bir sıcaklıkta özgül ısısı belirlenirken kuru madde miktarı ile suyun özgül ısısı birlikte hesaplanır.

Tarımsal ürünlerin özgül ısılarının hesaplanması üzerine yapılan çalışmalar 1892 yılına kadar dayanır. Anılan yıldan günümüze kadar yapılan çalışmalar sonucunda farklı özgül ısı hesaplama yöntemleri geliştirilmiştir (Tabil, 1999). Bunlar:

- Ampirik eşitlikler
- Karışım yöntemi
- Muhafazalı plaka yöntemi
- Karşılaştırmalı kalorimetre yöntemi
- Hesaplanmış özgül ısı yöntemi
- Adiyabatik tarımsal kalorimetre yöntemi
- Diferansiyel tarama yöntemi (DSC)

### 1.3.1. Ampirik Eşitlikler

Tabil (1999)'a göre özgül ısı deneysel olarak belirlenmemiş materyallerin özgül ısıları Siebel (1892) eşitliği kullanılarak tahmin edilebilir. Soğutulmuş besin maddelerinin özgül ısıları ( $C$ ) bu eşitlikler referans alınarak belirlenmiştir:

Donma sıcaklığı üzerindeki değerler için:

$$C = 0.837 + 3.348M \quad (1.5)$$

Donma sıcaklığı altındaki değerler için:

$$C = 0.837 + 1.256M \quad (1.6)$$

Burada  $M$  materyalin yüzde olarak yaş baza göre nem içeriğidir.

Choi ve Okos (1986) materyalin besin maddesi içeriğine göre özgül ısının tahmin edilebileceği bir eşitlik geliştirmişlerdir:

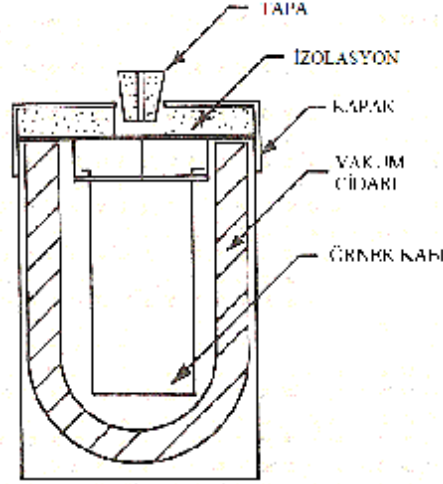
$$C = 4.180X_w + 1.711X_p + 1.928X_f + 1.547X_c + 0.908X_a \quad (1.7)$$

Eşitlikte;  $X$  içeriklerin kütesini ifade ederken,  $w$ ,  $p$ ,  $f$ ,  $c$  ve  $a$  sırasıyla su, protein, yağ, karbonhidrat ve külü simgelemektedir.

Nemli materyalin deneysel olarak belirlenmiş özgül ısı değerleri, kuru maddenin ve su içeriğinin özgül ısı değerleri kullanılarak hesaplanmış değerlerden daima büyüktür (Tabil, 1999).

### 1.3.2. Karışım Yöntemi

Bu yöntemde, kütesi ve sıcaklığı bilinen örnek, özgül ısı bilinen bir kalorimetre kabının (Şekil 1.1) içindeki kütesi ve sıcaklığı belirli suyun içine bırakılır. Belirli bir süre sonunda örnek ve su tarafından kazanılan veya kaybedilen ısı miktarı ısı denge eşitliğinde (Eşitlik 1.8) yerine konularak örneğin özgül ısı değeri hesaplanır. Sistemin su dengesi genellikle kalibrasyon testleri ile saptanır.



Şekil 1.1. Vakum cidarla kalorimetre kabı.

$$C_k W_k (t_{\ddot{o}} - t_d) + C_{\ddot{o}} W_{\ddot{o}} (t_{\ddot{o}} - t_d) = C_s W_s (t_d - t_s) \quad (1.8)$$

Burada;

$C_k$  : Örnek kabının özgül ısısı (kJ/kg°C)

$W_k$  : Örnek kabının ağırlığı (kg)

$C_{\ddot{o}}$  : Örneğin özgül ısısı (kJ/kg°C)

$W_{\ddot{o}}$  : Örneğin ağırlığı (kg)

$C_s$  : Suyun özgül ısısı (kJ/kg°C)

$W_s$  : Suyun ağırlığı(kg)

$t_{\ddot{o}}$  : Örneğin ilk sıcaklığı (°C)

$t_s$  : Suyun ilk sıcaklığı (°C)

$t_d$  : Denge sıcaklığı (°C)

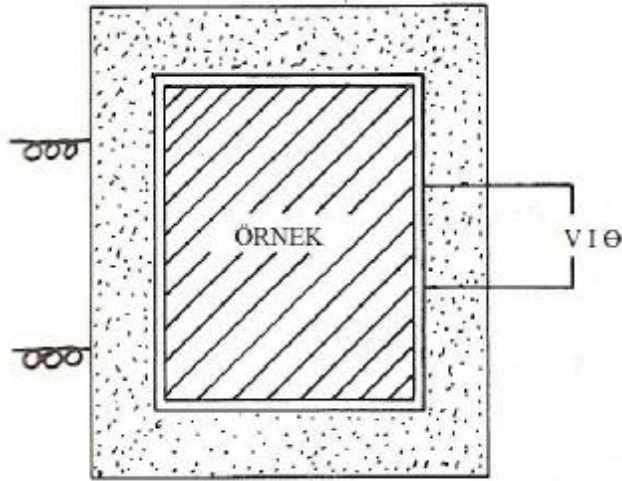
Bu yöntemin doğruluğu sistemdeki ısı kayıplarının göz ardı edilebilir olmasına dayanır. Bu koşulun ilk şartı kalorimetrenin ortam sıcaklığından daha düşük bir sıcaklığa sahip olmasıdır. Böylelikle deneyin ilk kısmında kazanılan ısı, daha sonra kaybedilen ısıyı dengelemiş olur. İkinci olarak “adiyabatik cidar”olarak adlandırılan cidarın

ısıtılması yoludur ki bu durumda cıdarın sıcaklığı kalorimetre ile aynı oranda artacaktır. Eğer her iki sıcaklıkta aynı oranda tutulursa ısı kaybı veya kazanımı meydana gelmeyecektir. Bu iki işlem sayesinde denemeler sırasındaki ısı kayıpları azaltılabilir.

Bu yöntemin diğer bir dezavantajı, yalnızca ölçümlerin yapıldığı sıcaklık aralığındaki ortalama özgül ısı değerlerinin belirlenebilmesidir. Eğer tam bir özgül ısı-sıcaklık ilişkisi isteniyorsa farklı sıcaklık aralıklarında da denemelerin gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Ürün ile kalorimetrik akışkan arasındaki büyük sıcaklık farkları önemli ısı kayıplarına neden olabilir.

### 1.3.3. Muhafazalı Plaka Yöntemi

Bu yöntemde ürün elektrikle ısıtılırken aynı zamanda kendisiyle aynı sıcaklığa ayarlanmış elektrikli ısıtıcılarla çevrelenmiştir (Şekil 1.2). Böylece ısı kaybı önlenmiş olur.



Şekil 1.2. Muhafazalı plaka yöntemi

Belirli bir zamanda ürüne verilen elektrik ısısının, ürün tarafından kazanılan ısıya eşit olduğu düşünülürse, özgül ısı ( $C$ );

$$C = \frac{VIq}{W\Delta t} \quad (1.9)$$

Burada;

$V$  : Voltaj (V)

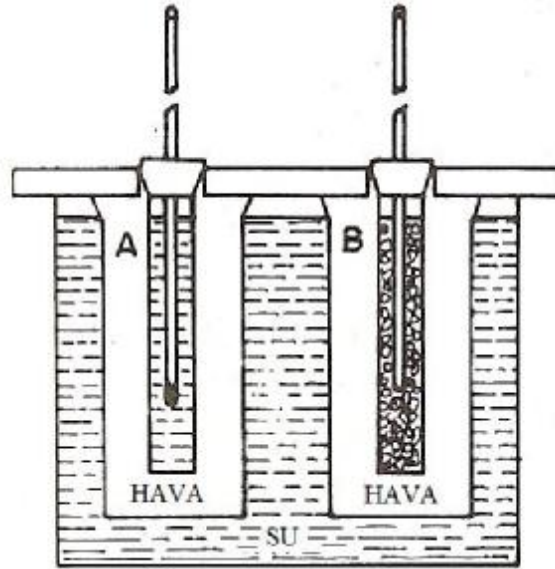
$I$  : Akım (A)

$q$  : Zaman (h)

$Dt$  : Sıcaklık farkı (°C)

### 1.3.4. Karşılaştırmalı Kalorimetre Yöntemi

Bu yöntem genelde sıvıların özgül ısısını ölçmek için kullanılır. Kalorimetre içinde kapların konulacağı iki ayrı bölme vardır. Bu kaplardan birisi saf su veya özgül ısısı bilinen bir sıvıyla doldurulurken, diğerine özgül ısısı ölçülecek sıvı konur (Şekil 1.3). Kapların ikisi de aynı sıcaklığa kadar ısıtıldıktan sonra soğumaları için kalorimetre



Şekil 1.3. Karşılaştırmalı kalorimetre yöntemi

kabındaki bölmelere yerleştirilirler. Eğer kalorimetre içindeki kaplar aynı boyutta, aynı materyalden yapılmış ve eşit kütlelere sahip iseler eş verici olarak düşünülebilirler.

Havanın ve kalorimetreyi saran ortam sıcaklığının sabit olduğu düşünülürse iki kap eşit sıcaklıkta olduğu zaman ısı kayıp oranları eşit olacaktır. Bu durumda;

$$\frac{\Delta Q_a}{\Delta q_a} = \frac{\Delta Q_b}{\Delta q_b} \quad (1.10)$$

Eğer soğuyan maddenin sıcaklık değişimi oldukça küçükse, özgül ısılar sabit kalır ve ısı kayıp oranı sıcaklık değişim oranına eşit olur:

$$(C_a m_a + C_w m_b) \frac{\Delta t}{\Delta q_a} = (C_b m_b + C_s m_s) \frac{\Delta t}{\Delta q_b} \quad (1.11)$$

Eşitlikte;

$C$  : Özgül ısı

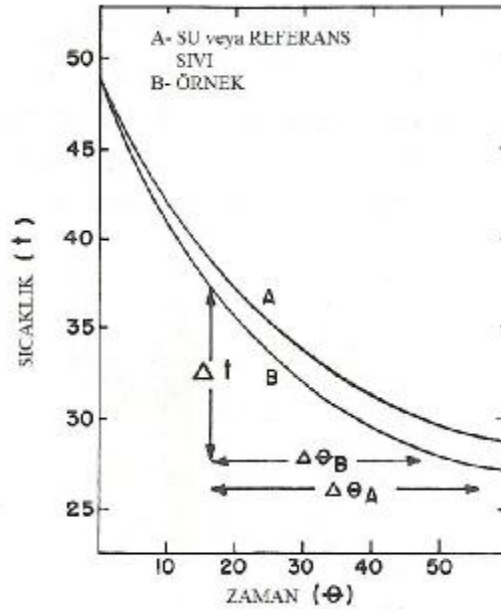
$m$  : Kütle

$\Delta t$  : Sıcaklık farkı

$q_a$  : a kabı için zaman

$q_b$  : b kabı için zaman

Alt indisler  $a$ ,  $b$ ,  $w$  ve  $s$  sırasıyla a kabı, b kabı, su ve örneği temsil etmektedir. Gerekli bütün veriler elde edildikten sonra Şekil 1.4'te görülen soğuma eğrileri çizilebilir.



Şekil 1.4. Karşılaştırmalı kalorimetre yönteminde kullanılan soğuma eğrisi örneği



### 1.3.5. Hesaplanmış Özgül Isı Yöntemi

Tarımsal ürünlerin özgül ısıları ısı iletkenlik ve yayılım gibi diğer ısıl özellikler kullanılarak hesaplanabilir. Diğer durumlarda özgül ısı sabit sıcaklık ısıtma yöntemi kullanılarak belirlenebilir ve sıcaklık dağılım grafiği yardımı ile bir Fourier sayısı saptanabilir. Fourier sayısı kullanılarak, ısı iletkenlik cinsinden özgül ısı hesaplanabilir. Bu yöntemde ilk önce sıcaklık oranı hesaplanır ve daha sonra grafikten Fourier sayısı bulunarak Eşitlik 1.12’de yerine konur.

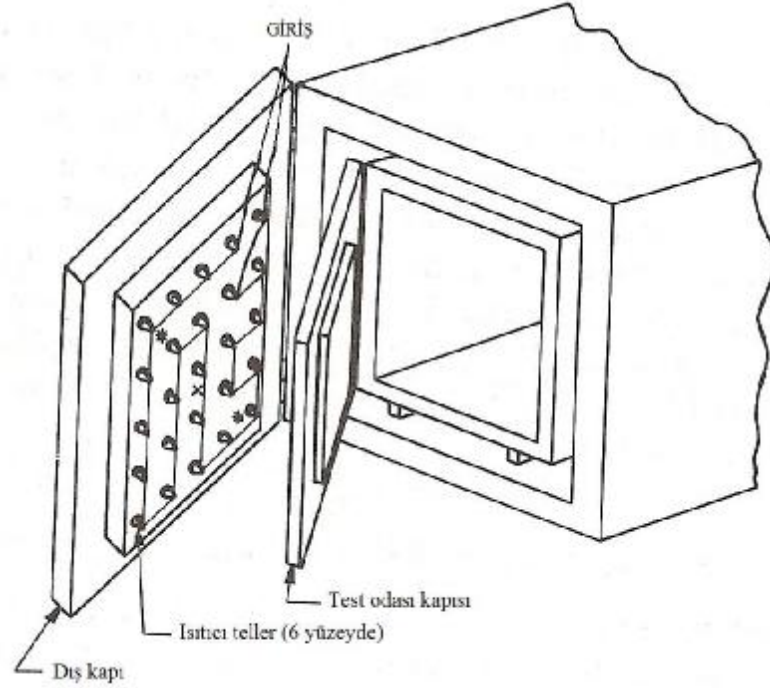
$$F_0 = \frac{kq}{rCr_m^2} \quad (1.12)$$

Burada;

- $F_0$  : Fourier sayısı  
 $k$  : ısı iletim katsayısı (J/ms°C)  
 $q$  : Zaman (s)  
 $r$  : Yoğunluk (kg/m<sup>3</sup>)  
 $C$  : Özgül ısı (J/kg°C)  
 $r$  : kürenin yarıçapı (m)

### 1.3.6. Adiyabatik Tarımsal Kalorimetre

Adiyabatik tarımsal kalorimetre test odası duvarlarından ısı ve nem kaybı olmayacak şekilde tasarlanmıştır. Test odası adiyabatik koşulların sağlanabilmesi için başka bir oda içerisine yerleştirilmiştir (Şekil 1.5).



Şekil 1.5. Adiyabatik tarımsal kalorimetre

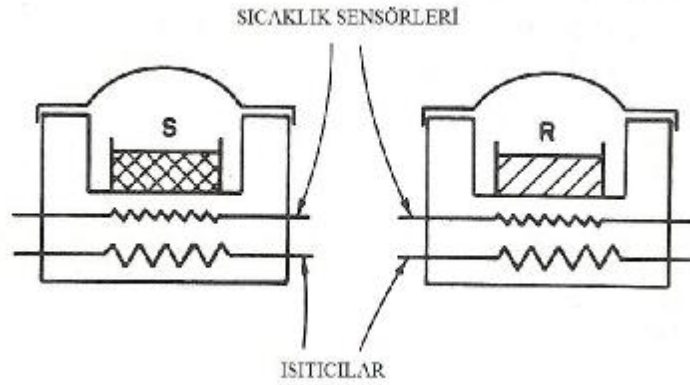
Bu yöntemde belirli miktarda ısı test odası içerisine yerleştirilen kaptaki bulunan test materyaline ısıtıcı teller yardımı ile verilir. Adiyabatik koşullar test odasının dış ve iç duvarlarının sıcaklığının eşit tutulması ile sağlanır ve enerji denge eşitliği kullanılarak özgül ısı hesaplanır. Adiyabatik kalorimetrede kesikli ve sürekli olmak üzere iki ısıtma tekniği kullanılır.

Adiyabatik kalorimetrelerin birçoğunda kesikli ısıtma tekniği kullanılır. Test materyalinin ilk sıcaklığı dikkatli bir şekilde ölçülerek adiyabatik ortamla aynı sıcaklığa gelmesi sağlanır. Isıtıcı sabit güçte ve belirli bir zaman aralığında çalıştırılır. Test materyali ve ortam arasında adiyabatik koşul olduğu kabul edilerek, ısıtma periyodu boyunca materyalle test odasının aynı sıcaklığa ayarlanır. Isıtma periyodu sonunda test odasının ve materyalin denge sıcaklığına gelmesi beklenerek sıcaklık ölçülür. Materyalin entalpi-sıcaklık ilişkisi sıcaklık değişiminden hesaplanır. Sıcaklığın ölçülmesi için duvarların iç ve dış tarafına sıcaklık sensörleri yerleştirilmiştir.

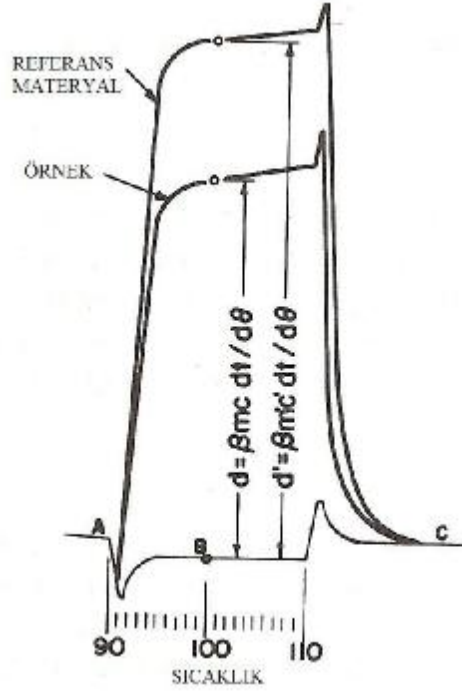
Sürekli ısıtma tekniğinde ısıtıcılar sürekli çalıştırılır ve sıcaklık ve verilen ısı zamana bağlı olarak kaydedilir. Bu teknik kesikli ısıtma tekniği ile kıyaslandığında daha kısa zamanda, daha geniş sıcaklık aralığında sıcaklık-entalpi ilişkisi verir. Bu tekniğin en önemli dezavantajı, örnek hücresinin ısı tasarımına yeterince dikkat edilmemişse, örneğin ısı gradient girişi önemli bir kaynak hatası olarak ortaya çıkar.

### 1.3.7. Diferansiyel Tarama Yöntemi (DSC)

Bu yöntem ısıl işlemdeki çok küçük ısı etkilerini ölçme ilkesine dayanır. Sistem bir örnek kabı, referans materyal kabı, sıcaklık programı ve ısıtma veya soğutma düzeneğinden oluşur (Şekil 1.6). Ölçüm cihazı seçilen bir sıcaklık aralığından belirli bir oranda yüksek değerleri tarayarak bir kazanılan veya verilen ısıyı gösteren sıcaklık grafiği çizer (Şekil 1.7). Bu grafik altında kalan alan ısıtma veya soğutma periyodu boyunca kazanılan veya kaybedilen ısı enerjisi ile orantılıdır. Denemeler sırasında, biyolojik materyalin nem içeriği nedeni ile örnek kabının sarılması gerekir.



Şekil 1.6. Diferansiyel tarama yönteminin şematik görünüşü



Şekil 1.7. DSC yöntemi ile çizilen sıcaklık grafiği

Şekilde görüldüğü üzere, grafiğin ordinatı ısı oranını ( $dQ/dq$ ) gösterirken, apsis eksenini birim zamandaki sıcaklık değişimini ifade eder. Şekilde  $d$  yer değiştirme miktarı olarak alınır;

$$d = b \frac{dQ}{dq} \quad (1.13)$$

Eşitlikte  $b$  oransal sabite olarak alınırsa eşitlik aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$d = b \frac{dQ}{dt} \frac{dt}{dq} \quad (1.14)$$

Özgül ısı aşağıdaki şekilde tanımlanıp;

$$C = \frac{1}{m} \frac{dQ}{dt} \quad (1.15)$$

Eşitlikte ( $dQ/dt$ ) yerine konulursa;

$$d = bmC \frac{dt}{dq} \quad (1.15)$$

Eşitlikte sıcaklık değişim oranı ( $dt/dq$ ), oransal sabite ( $b$ ) ve örneğin kütlesi ( $m$ ) biliniyorsa özgül ısı ( $C$ ) hesaplanabilir. Özgül ısı bilinen referans materyal için eşitlik 1.15'i tekrar yazarsak;

$$d' = bm'C' \frac{dt}{dq} \quad (1.16)$$

elde edilir. Ölçme periyodu boyunca meydana gelen her türlü yer değiştirme örneğin ısı kapasitesi ile orantılıdır. Bu nedenle oransal sabiteyi göz ardı edersek, örneğin özgül ısı  $C$  aşağıdaki eşitlik yardımı ile hesaplanabilir.

$$C = \left( \frac{d}{d'} \right) \left( \frac{m'}{m} \right) C' \quad (1.17)$$

#### 1.4. Isı İletim Katsayısı

Isı iletimi (kondüksiyonu) genellikle kinetik enerjinin moleküler değişimi veya elektron sürüklenmesi olarak yorumlanır. Katılardaki ısı iletimi kinetik enerjinin moleküler değişimi sonucudur. Sıvılardaki ısı transferi ise, ses yayılımında olduğu gibi boyuna titreşimle ilgilidir. Gazlar ve buharlarda ise ısı iletimi düşük geçirgenlikle sonuçlanan kinetik enerjinin moleküler yayılımı ile gerçekleşir. Maddeye bağlı geçirgenliğin bu bağımlılığı homojen olmayan materyallerin düşük geçirgenliğinin nedenini açıklar. Hava kabarcıklarına sahip katılarda, örneğin hücreli boşluklu materyallerde aynı yoğunluktaki materyallere göre daha az iletkenlik vardır. Bununla birlikte bu hava hücreleri ısının serbest iletimini sağlar.

Maddelerin ısı iletimi “ısı iletim katsayısı” ile karakterize edilir. Herhangi bir materyalin ısıtma veya soğutma oranı ya da geliştirilecek sıcaklık profili için ısı iletim katsayısının bilinmesi gerekir. Isı iletim katsayısı materyalin kimyasal bileşimine, fiziksel yapısına, su içeriğine ve sıcaklığına göre değişim gösterir (Mohsenin, 1980).

Birçok yapısal materyal, özellikle bazı metaller için ısı iletkenliği ve sıcaklık arasında belirli bir ilişki vardır. Biyolojik materyaller içinse hücresel yapı, yoğunluk ve nem ısı iletkenliğine sıcaklıktan daha etkilidir. Mühendislik materyalleri için geniş bir sıcaklık aralığı belirlenebilirken biyolojik materyaller için ısı işlemlerde bu aralık oldukça dardır. Bununla beraber mühendislik materyallerinde eğer  $k$  sıcaklıkla birlikte doğrusal olarak değişiyorsa sıcaklığın etkisi tahmini sıcaklık değerleri sınırları içerisinde belirli değerlerin ortalaması alınarak göz önünde bulundurulabilir, ancak  $k$  ile sıcaklık arasında doğrusal bir ilişki yok ise ortalama iletkenlik aşağıdaki formülle bulunabilir:

$$k = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} k_t dt \quad (1.18)$$

Burada  $k_t$  sıcaklığa göre iletkenliği doğrusal olmayan fonksiyondur.

Kütlesel nem taşınımı yalnızca sıcaklık farkı belirli bir nem düzeyinde meydana gelirse gerçekleşir. Birçok durumda bu etki ılık bölgedeki su buharının buharlaşarak soğuk bölgeye transferi ve bu bölgede yoğunlaşmasıyla meydana gelir. Bu gibi durumlarda ısı, gizli ısı şeklinde olup ısı iletimine ek olarak bu yolla taşınır. Nem transferinin bu durumu test altındaki materyalin ısı iletkenliğini değiştirir. Bu nedenle belirli bir nem içeriğindeki nem alışverişini içeren ısı iletkenliğinin anlık değişiminin belirlenmesine gerek vardır.

Nem taşınımı nedeniyle teoride açıklanan ısı transferi koşullarına ulaşmak için biyolojik materyaller için uygun olmayan dengeli koşullarda gerçekleşen uzun zamanlı iletkenlik belirleme yöntemlerine gerek vardır. Eğer örnek kuru veya yüksek derecede doymuşsa, nem transferi ile meydana gelen hatalar orta derecede nem içeren örnekler kadar önemli olmayacaktır.

#### 1.4.1. Isı İletim Katsayısının Ölçüm Yöntemleri

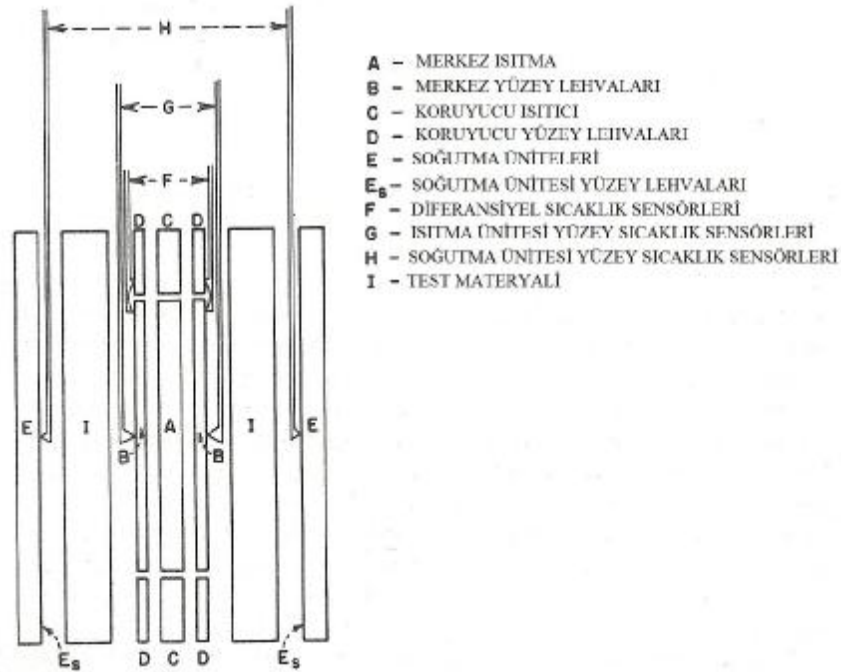
Isıl iletkenliği ölçme yöntemleri iki ana başlık altında incelenebilir. Bunlardan birincisi ısı transferinin dengeli koşullarını kullanan bir diğeri ise dengesiz koşulları

kullanan yöntemlerdir. Bu iki yöntem altında ölçümleri gerçekleştirmek için birçok deneysel teknikler vardır. Bu tekniklerin bazılarında ısı iletkenlik ölçülürken aynı zamanda ısı yayılım ( $\alpha$ ) ve yüzey iletkenliği doğrudan ölçülebilir ya da hesaplanabilir.

#### 1.4.1.1. Dengeli Koşul Yöntemleri

##### 1.4.1.1.(1) Dengeli Uzunluğuna Isı Akış Yöntemi

Muhafazalı Sıcak Levha: Bu yöntem ısı iletkenlikleri kötü materyallerin ısı iletkenliklerinin ölçümünde en yaygın kullanılan ve en güvenilir yöntemdir. Dilim formundaki örnekler için en uygun yöntem olup dengeli eş yönlü ısı akış tekniği kullanılır. Bu tekniğin ayrıntıları ASTM Standard C-177 (1970) de verilmiştir. Şekil 1.8’de bu yöntemin bir uygulaması görünmektedir.



Bu yöntemde ısı kaynağı, örnek ve ısı alıcı birbirleriyle temas halinde yerleştirirler ve bir ısı muhafazası elektrikle ısıtılır. Isı muhafaza lehvaları aynı sıcaklıkta bitişik yüzeyler şeklinde yerleştirirler. Böylece kaynak, örnek ve alıcı sınırlarında ısı kaybı önlenmiş olur. Bu yöntemde örneğe giren bütün ısının örnek tarafından aktarıldığı kabul edilir. Isıl iletkenlik katsayısı ( $k$ ) ısı giriş miktarının ölçülmesiyle hesaplanır. Aşağıdaki eşitlik kullanılır:

$$k = \frac{qd}{2A\Delta t} \quad (1.19)$$

Burada,

- $d$  : Örnek kalınlığı  
 $q$  : Ölçülen ısı giriş transfer oranı  
 $A$  : Örnek alanı  
 $\Delta t$  : Örnek yüzeyleri arasındaki sıcaklık farkı

Bu yöntemle iletkenlik örnek dengeli duruma geldikten sonra ölçüldüğünden oldukça zaman alır. Yüksek nem içerikli örnekler için bu yöntemin kullanımı ölçüm doğruluğunu azaltır. Bununla birlikte birçok araştırmacı özellikle kuru veya dondurulmuş besinlerin ısıl iletkenliklerinin ölçülmesinde bu yöntemi kullanmışlardır.

#### 1.4.1.1.(2) Dengeli Radyal Isı Akış Yöntemleri

Gevşek, toz ve granül yapıdaki materyallerin iletkenlik ölçümleri için radyal ısı akış yöntemleri kullanılır. Bu yöntemler aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir.

Sonsuz Silindir Yöntemi: Örnek, uzunluğu sonsuz kabul edilen bir silindir içerisine konulur. Böylece uç etkileri göz ardı edilmiş olur. Merkez ısıtma kaynağı aşağıdaki formülle hesaplanacak bir ısı iletkenlik katsayısı ile transfer edilecek ısıyı verir:

$$k = \frac{p \ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2pL(t_2 - t_1)} \quad (1.20)$$



Burada:

$p$  : Merkez ısı kaynağı tarafından kullanılan güç

$L$  : Silindir uzunluğu

$t_1$  ve  $t_2$  :  $r_1$  ve  $r_2$  çaplardaki örnek sıcaklığı

Sonlu Silindir Yöntemi: Bu yöntemde ısı akışı nedeniyle meydana gelen hataları en aza indirmek için uç muhafaza ısıtıcıları kullanılır. Bu yöntem genellikle boru yalıtkanlığının değerlendirilmesi için kullanılır. 1.20'deki formül kullanılarak ısı iletkenlik katsayısı hesaplanır.

Merkez Isı Kaynaklı Küre: Bu yöntemde uç kayıplarını önlemek için örnek ısı kaynağını tamamen kuşatır.  $r_1$  uzaklıkta merkez ısı kaynağının ve  $r_2$  uzaklıktaki dış örnek sıcaklığı dengeli duruma geldikten sonra aynı sıcaklığa ulaştıkları kabul edilir. Bu durumda ısı akışı radyal olacaktır. Isıl iletkenliğin hesaplanmasında aşağıdaki formül kullanılır.

$$k = \frac{p \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)}{4p(t_2 - t_1)} \quad (1.21)$$

Eş merkezli Silindir Karşılaştırmalı Yöntem: Bu yöntemde merkez ısıtıcı, silindirik örnek ve silindirik standart bir malzeme sırasıyla birbirini izler. Isı transferinin radyal olduğu kabul edilerek örneğin  $r_1$  ve  $r_2$  çaplarındaki  $t_1$  ve  $t_2$  sıcaklıkları ve silindirik malzemenin  $r_3$  ve  $r_4$  çaplarındaki  $t_3$  ve  $t_4$  sıcaklıkları ölçülür ve aşağıdaki formülde yerine konulur.

$$k = \frac{k_s(t_3 - t_4) \ln \left( \frac{r_2}{r_1} \right)}{(t_2 - t_1) \ln \left( \frac{r_4}{r_3} \right)} \quad (1.22)$$

Burada  $k_s$  standart malzemenin ısıl iletkenlik katsayısıdır.

### 1.4.1.1.(3) Dengeli Buharlaşma Isısı Yöntemi

Bu yöntemde küçük bir örnek iki gümüş plaka arasına yerleştirilir. Bu plakalardan biri kaynama noktasındaki A sıvısıyla diğeri ise kaynama noktası düşük B sıvısıyla temas halindedir. Transfer edilen sıvı B sıvısının birazını buharlaştırır. Birim hacimdeki B sıvısının buharlaşması için geçen süre bilirse ısı iletkenlik katsayısı 1.23 nolu eşitlik yardımı ile hesaplanır.

$$k = \frac{Q}{q} (t_A - t_B) \frac{L}{A} \quad (1.23)$$

Burada;

$Q$  : Düşük kaynama noktalı sıvının buharlaşma ısısı

$q$  : B sıvısının birim hacminin buharlaşması için geçen süre

$t_A$  ve  $t_B$  : A ve B sıvılarının kaynama noktaları

$L$  ve  $A$  : Örneğin kalınlık ve alanıdır

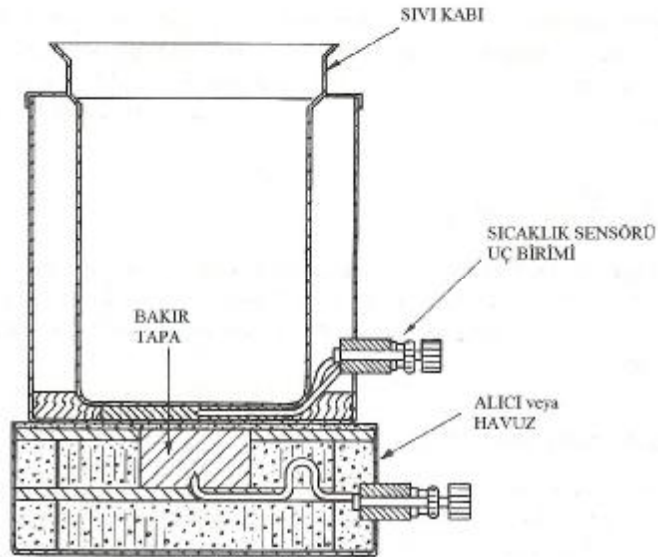
### 1.4.1.2. Dengesiz Koşul Yöntemleri

Dengesiz koşul yöntemleri ile ısı iletkenliğinin ölçümü bir çizgi ısı kaynağı veya bir veya daha fazla düzlem ısı kaynağı kullanılarak yapılabilir. Her iki yöntemde de genel işlem başlangıçta ısı dengede bulunan örneğe dengeli bir ısı akışı sağlamak ve bu ısı akışı sonunda örneğin herhangi bir noktasındaki sıcaklık yükselişini ölçmektir. Sıcaklık değişimini ifade eden eşitlik göz ardı edilebilecek birçok üssel faktörün etkisindedir. Böylece başlangıç periyodu bir kenara konularak örneğin boyut ve malzemesine bağlı olarak kabul edilebilir basit bir sıcaklık zaman ilişkisi kullanılabilir.

Bu yöntemlerin altında kullanılan teknikler dengeli yöntemlerden daha basittir. Ancak doğrulukları dengeli yöntemler kadar iyi değildir. Birçok besin maddesi belirli miktarlarda nem içerdiğinden ve dengeli yöntemlerin kullanımı sırasında bu durum sorun yarattığından biyolojik materyaller için dengesiz koşul yöntemlerinin avantajları dezavantajlarından daha fazladır.

### 1.4.1.2.(1) Fitch Yöntemi

Bu yöntem kötü iletkenlerin ısıl iletkenliğinin hesaplanmasında kullanılan en yaygın dengesiz koşul yöntemlerinden biridir. Bu yöntemde kullanılan cihaz iki kısımdan oluşmaktadır: Kaynak veya sıvıyı sabit sıcaklıkta tutan kap ve alıcı ya da ısı izoleli bakır tapa (Şekil 1.9). Test örneği kalınlığı hataları azaltmak için minimumda tutulur.



Şekil 1.9. Fitch aparatı

Bu yöntemde zamana bağlı sıcaklık değerleri kaydedildikten sonra aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplama yapılır.

$$k = 2,303 \frac{MCL}{A} \frac{\log(I_1 / I_2)}{q} \quad (1.24)$$

$M$  : Isıtma lavabosunun kütlesi

$C$  : Isıtma lavabosunun özgül ısısı

$I_1$  ve  $I_2$  : Başlangıç ve sondaki sıcaklık farkı

$q$  : Zaman

$A$  ve  $L$  : Test örneğinin alanı ve kalınlığı

#### 1.4.1.2.(2) Çizgi Isı Kaynaklı Yöntem

Bu yöntem granül materyaller için kullanılır. Bu yöntemin gelişmiş şekli, sonraki bölümde ayrıntılı bir şekilde anlatılacak olan ısı iletkenlik probudur.

Çizgi ısı kaynak tekniği ince bir direnç teline benzeyen sabit bir ısı kaynağından oluşur. Isı kaynağı geçirgenliği ölçülecek materyal içerisine daldırılır. Kısa bir zaman aralığında kaynaktan belli bir uzaklıktaki sıcaklık ölçülür. Sıcaklık artış oranı örneğin ısı iletkenliğinin bir fonksiyonudur ve aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanır.

$$k = \frac{Q}{4p(t_2 - t_1)} \ln \frac{q_2}{q_1} \quad (1.24)$$

#### 1.4.1.2.(3) Düzlem Isı Kaynaklı Yöntem

Bu yöntemde düzgün dilimlenmiş örneğin bir yüzü yalıtılmış diğer yüzü ise sabit bir ısı girişine maruz bırakılmıştır. Burada örnek üzerindeki noktalardan alınan verilerle belirlenen sıcaklık-zaman grafiği ısısal özelliklerin belirlenmesinde kullanılır.

#### 1.4.1.2.(4) İstatiksel Model Yöntemi

Besin maddelerinin içerdiği su miktarının fazla olması nedeniyle, ısı iletkenliğinin su içeriğine bağlı olarak bulunması pratik uygulamalarda kullanılan diğer bir yöntemdir. Mohsenin, (1980)'nin bildirdiğine göre Anderson (1950) tarafından suyun ( $k_w$ ) ve katıların ( $k_s$ ) ısı iletkenliğine bağlı olarak geliştirilen ampirik formül, bilinmeyen ısı iletkenlik katsayısının ( $k$ ) hesaplanmasında kullanılır:

$$k = Mk_w + (1 - M)k_s \quad (1.25)$$

Formülde  $M$  materyalin desimal olarak nem içeriğidir. Katıların ısı iletkenlik katsayısı 0.15 W/m K olarak kabul edilebilir.

**1.4.1.2.(5) Frekans Tepki Yöntemi**

Bu yöntem dinamikteki dalga hareketi teorisi göz önünde bulundurularak katı katmanı boyunca sıcaklık değişimi döngüsü ilkesine dayandırılır. Sıcaklık dalgası katı içerisinden geçerken, hareket eden akışkan ve durağan katı arasında ısı transferi olur. Döngünün ilk yarısında sıcaklık akışkandan katıya transfer edilir ve ikinci yarısında katmanın her noktasındaki akışkan ve katı arasındaki sıcaklık değişimi ile belirlenen transfer yönünde akışkana geri döner. Isı alışverişi ve akışkan yayılımı, sıcaklık dalgası katman içinden geçerken faz açısının genliğinde ve yer değişiminde azalmaya neden olur. Faz değişiminin büyüklüğü akış şartlarına, geometrisine ve katmandaki ısı transfer mekanizmasına bağlıdır. Bu durumda genlik ve faz değişiminin ölçülmesinin yanında parametrelerin geometrisi ve akış koşulları biliniyorsa, ısı iletim ve ısı yayılım katsayıları hesaplanabilir. Bununla birlikte bu yöntem yardımıyla ısı transfer katsayısı da hesaplanabilir.

Ancak bu yöntemin bazı dezavantajları da vardır. Bunlardan birincisi, saniyede bir döngüden daha büyük frekanslarda sinüzoidal sıcaklık dalgası ve ölçülebilecek büyüklükte genlik oluşturmaktır. İkincisi, sıcaklık değişim döngüsü oda sıcaklığında meydana geldiğinden, ısı transfer değişimini sıcaklığın bir fonksiyonu olarak belirlemek imkânsızdır. Son olarak, teori küre şeklindeki parçacıklar üzerine kurulduğundan, geometrisi küreden farklı parçacıkların eşdeğer yarıçapının ne olarak alınacağı belirsizliğidir.

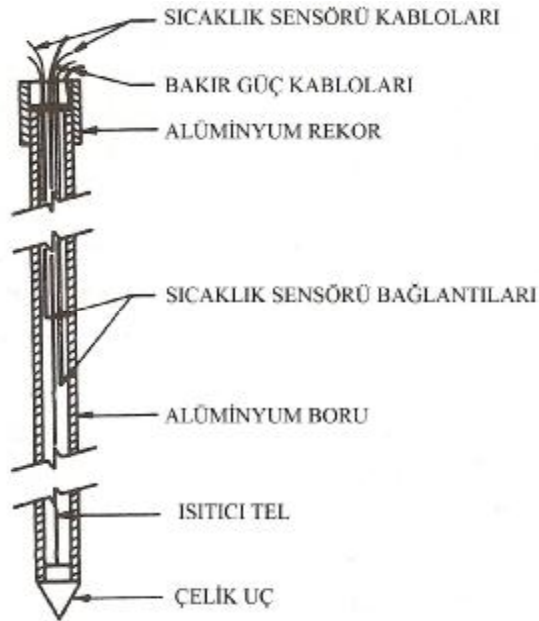
**1.4.1.2.(6) Katman Analiz Yöntemi**

Tahıllar gibi granül materyaller ısı özelliklerinin tek tek ölçülmesi için oldukça küçüktürler ve deneysel anlamda zorluğa neden olurlar. Bu nedenle birçok araştırmacı bu tür materyallerin ısı özelliklerini yığın halinde ölçme yoluna gitmişlerdir.

Granül materyaller homojen ve izotropik değillerdir. Bu nedenle katman halindeki materyallerin ısı transfer teorileri birçok kabullenme ve sistemin fiziksel yapısının ve özelliklerinin bilinmesine dayandırılır.

### 1.4.2. Isıl İletkenlik Probu Yöntemi

Isıl iletkenlik probu iyi bir iletkenliğe sahip silindirik bir parçadır. Prop küçük çaplı bir örgü şişi veya ince bir duvara sahip içi boş bir parça olabilir ki bu durum prop içindeki radyal ısı farklarını göz ardı edilebilir hale getirir. Uzunluğu boyunca bir tel ısıtıcı ile donatılmış prop orta noktasındaki sıcaklıkları ölçer (Şekil 1.10).



Şekil 1.10. Isıl iletkenlik probu.

Bir materyalin ısı iletkenliğinin ölçümünde prob granül materyalde olduğu gibi materyalin merkezine gömülür ya da katı materyalde olduğu gibi merkeze yerleştirilir.

Isıl iletkenlik probu teorisi çizgi ısı kaynağı yöntemine dayanır. Teori, üniform bir başlangıç sıcaklığında sonsuz homojen bir yapı içindeki sabit dirençli çizgi ısı kaynağını ele alır. Bu şartlar altında yapı içindeki herhangi bir noktadaki sıcaklık, zaman ve ısı iletkenliğinin bir fonksiyonu olacaktır. Bu durumda  $q_1$  ve  $q_2$  zamanları arasında ısı kaynağına yakın bir yerdeki sıcaklık değişimi aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$(t_2 - t_1) = \frac{q'}{4pk} (q_2 / q_1) \quad (1.26)$$

Burada;  $q'$  ısı kaynağının birim uzunluğu başına ısı girişi olup,  $q' = I^2 R$ 'ye eşittir.  $I$  amper cinsinden akım miktarı ve  $R$  ohm cinsinden ısıtıcı telin direncini ifade eder.

Bununla beraber bu teoremin uygulanabilmesi için birçok düzeltme faktörü gereklidir. Bunlar; belirli bir prob çapı için zaman düzeltme katsayısı, minimum uzunluk çap oranı için aksiyal akış hata faktörü ve örnek sınırlarındaki sıcaklık değişiminden sakınmak için örnek boyut faktörüdür.

### 1.5. Isı Yayınım Katsayısı

Isı yayınım katsayısı, materyalin dışarıya verdiği ısı oranı olarak tanımlanmaktadır. Dengesiz koşullarda bir cisim içindeki sıcaklık dağılımı Fourier'in genel ısı taşınım kanununda kısmi diferansiyel eşitlik şeklinde verilmiştir (Eşitlik 1.27).

$$\frac{dt}{dq} = a \left( \frac{d^2t}{dx^2} + \frac{d^2t}{dy^2} + \frac{d^2t}{dz^2} \right) \quad (1.27)$$

Eşitlikte  $t$ ;  $x$ ,  $y$  ve  $z$  koordinatları verilen herhangi bir noktadaki sıcaklık,  $q$ , saat cinsinden zaman ve  $a$ ,  $m^2/s$  cinsinden ısı yayınım katsayısını ifade etmektedir. Isı yayınım katsayısı diğer ısıl özellikler kullanılarak, ısı iletkenliğinin ( $k$ ) hacimsel ısı kapasitesine ( $C_w$ ) oranı olarak da ifade edilebilir (Eşitlik 1.28).

$$a = \frac{k}{C_w} \quad (1.28)$$

#### 1.5.1. Isı Yayınım Katsayısı Ölçüm Yöntemleri

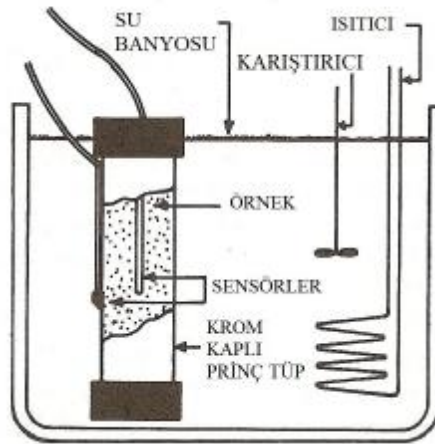
Isı yayınım katsayısı genelde Eşitlik 1.28 kullanılarak ölçülür. Bununla birlikte literatürde kullanılan bazı ölçüm yöntemleri aşağıda açıklanmıştır.

### 1.5.1.1. Isı İletkenlik Probu Yöntemi

Nix ve ark. (1968) ve McCurry (1968) ısı yayılımı ölçmek için bir ısı iletkenlik probunun içine merkez sıcaklık sensöründen bilinen bir yatay uzaklıkta iki adet daha sıcaklık sensörü yerleştirmişlerdir. Her denemede yatay uzaklığı değiştirerek deneme yanılma yöntemiyle bir program geliştirmişlerdir. Kabullenilmiş bir ısı yayılım katsayısı, zaman ve yatay uzaklığa bağlı olarak bir sıcaklık değeri elde etmişlerdir. Elde ettikleri bu sıcaklık değerini belirli bir zamanda ölçtükleri sıcaklık değeri ile karşılaştırarak bu sıcaklıklar arasındaki farka bağlı olarak yeni ısı yayılım katsayıları bulmuşlardır. Bu tekniğin avantajlarından bir tanesi deneme sürelerinin beş dakika gibi kısa bir sürede gerçekleşmesidir.

### 1.5.1.2. Silindirik Nesne ve Sıcaklık-Zaman Verileri Yöntemi

Mohsenin (1980) bildirdiğine göre Dickerson (1965) dengesiz ısı transfer koşulları ilkesine göre çalışan bir test düzeneği geliştirmiştir. Düzenek karıştırıcılı bir su havuzu ve içerisine batırılan yüksek ısı iletkenliğe sahip içine test materyalinin konduğu silindirik bir tüpten oluşmaktadır (Şekil 1.11).



Şekil 1.11. Isıl yayılımın doğrudan ölçülmesinde kullanılan düzenek.



Şekilde görüldüğü üzere örneğin sıcaklığını  $R$  kadar uzaklıkta ve tam merkezde ölçen iki sensör bulunmaktadır. Örneğin içine konulduğu silindir alttan ve üstten ısı yayılım katsayısı bilinen teflonla sarılmış ve su havuzunun içine yerleştirilmiştir. Daha sonra sıcaklık-zaman değişimi iç ve dış sensörlerdeki sabit bir sıcaklık yükselişine kadar kaydedilmiş aşağıdaki eşitlik yardımıyla ısı yayılım katsayısı hesaplanmıştır.

$$a = \frac{AR^2}{4(t_s - t_c)} \quad (1.29)$$

Eşitlikte;  $A$  sıcaklık yükselişinin sabit değeridir.

### 1.5.1.3. Küresel Nesne ve Sıcaklık-Zaman Verileri Yöntemi

Bu yöntem ısı yayılım katsayısının hesaplanmasında kullanılan ilk yöntemlerden biridir. Homojen küre olarak kabul edilen örnek bilinen sabit başlangıç sıcaklığı kaydedildikten sonra dış ortamda soğumaya bırakılarak soğuma oranı belirlenmektedir. Sıcaklık-zaman grafiği yarı logaritmik olarak çizilerek grafik üzerinden eğrinin  $M_1$  açısı değeri bulunmaktadır. Örneğin eşdeğer küresel yarıçapı  $r_m$  olarak ve  $m$  soğuma oranı olarak kabul edilerek ısı yayılım katsayısı Eşitlik 1.30 kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$a = \frac{mr_m^2}{M_1} \quad (1.30)$$

### 1.5.1.4. Çizelge ve Grafikselle Çözüm Yöntemi

Belirli karakteristik özelliklere sahip materyallerin ısı yayılım katsayıları çizelge ve grafikler kullanılarak bulunabilir. Bu yöntemde test materyali orijinal geometrik şeklinde verilebilir veya yüksek iletkenliğe sahip ince bir materyale sarılarak soğutma veya ısıtma işlemine tabi tutulur. Bu koşulda sıcaklığın bir fonksiyonu olarak Fourier sayısı ( $F_0$ ) verilerek grafikselle çözüme gidilir. Sıcaklık ve materyalin boyutları

bilindiğinde sayısı tablodan bulunur ve aşağıdaki eşitlikte yerine konularak ısı yayılım katsayısı ( $\alpha$ ) hesaplanır:

$$a = \frac{F_o(r_m^2)}{q} \quad (1.31)$$

Eşitlikte;

$r_m$  : Ortalama çap

$q$  : Zaman

### 1.6. Çalışmanın Önemi ve Amacı

Tarımsal ürünler, önceki bölümlerde belirtildiği üzere, hasat sonrasında depolama, kurutma ve işleme süreçleri boyunca birçok ısıl işleme maruz kalırlar. Bu işlemler sırasında özellikle ısıya daha fazla duyarlı olan yağlı bitkiler nem içeriklerine ve dış ve iç sıcaklık değişimlerine bağlı olarak nitelik ve nicelik açısından kayba uğrarlar. Bu nedenle, ısıl işlemlerin zamanında ve en uygun yöntemler kullanılarak yapılması gerekmektedir. Bu koşul ancak, ürünlere ait ısısal özelliklerin bilinmesi ile gerçekleşebilir. Elde edilen bu veriler aynı zamanda bu işlemleri gerçekleştirebilecek yeni cihaz ve makinaların tasarımına da temel oluşturmaktadır.

Bu çalışmada ülkemizde yetiştirilen yağlı tohumların başında gelen ayçiçeği, mısır, soyanın özgül ısı, ısıl iletkenlik ve ısıl yayılım gibi bazı temel ısısal özelliklerinin neme ve sıcaklığa göre değişimlerinin belirlenmesi ve bu özelliklerin nem ve sıcaklığa bağlı olarak tahmin edilebilmesi için matematiksel modeller geliştirilmesi amaçlanmıştır.

## 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Literatürde ürünlerin ısısal özelliklerinin belirlenmesine yönelik birçok çalışma bulunmakla birlikte bu bölümde yalnızca konuya yönelik son yıllarda yapılan çalışmalara yer verilmiştir.

**Fang ve ark. (2000)** çalışmalarında 20, 50 ve 80 °C sıcaklıklarda, %4, 20 ve 40 nem içeriklerinde ve 600 ve 800 kg/ m<sup>3</sup> özgül ağırlığa sahip dört farklı granül pirinç nişastasının ısı iletkenliğini ısı iletkenlik probu kullanarak ölçmüşlerdir. Isıl iletkenliğin özgül ağırlık, sıcaklık ve nem içeriğinden önemli derecede etkilendiğini vurgulamışlardır.

**Singh ve Goswami (2000)** yaptıkları çalışmada kimyon tohumunun özgül ısı, ısı iletkenlik ve ısı yayılım değerlerini sıcaklık ve nem içeriği değişimine göre saptamışlardır. Özgül ısıyı diferansiyel tarama kalorimetresi yöntemini kullanan bir ısı analizörü (Stanton Redcroft STA-625) yardımıyla ölçmüşlerdir. Isıl iletkenliği ise örnek merkezine yerleştirilen tel ısı kaynağının belirli bir oranda ısıtılmasından sonra örneğin zamana bağlı ısı değişimini ölçülmesiyle belirlenmiştir. Isıl yayılım ise ürün yoğunluğu, özgül ısı ve ısı iletkenlik değerlerine bağlı olarak hesaplanmıştır. Denemelerde ürün nem içeriği %1.8 ile 20.25 arasında değişmiştir. Kimyon tohumunun özgül ısı sıcaklığın -70 °C'den 50 °C sıcaklığa yükselmesiyle 1330 J/kg K'den 3090 J/kg K'e çıkmıştır. Isıl iletkenliğin ise -50 C ile 50 C sıcaklık aralığında 0.046-0.223 W/m K değerleri arasında değiştiğini belirlemişlerdir. Ayrıca ürünün ısı yayılımının % 7.8 nem içeriğinde ve yukarıda anılan sıcaklık değerleri arasında  $6.53 \times 10^{-8}$  m<sup>2</sup>/s'den  $16.64 \times 10^{-8}$  m<sup>2</sup>/s'ye çıktığını bildirmişlerdir.

**Aviara ve Haque (2001)** araştırmalarında bir yağ bitkisi olan sheanut'ın ısısal özelliklerini nem içeriği değişimine bağlı olarak incelemişlerdir. Özgül ısının belirlenmesinde karışım yöntemini kullanmışlardır. Bu amaçla bakır bir kalorimetre kabından yararlanmışlardır. Ürünün özgül ısısının nem içeriğine ve sıcaklığa bağlı olarak değiştiğini vurgulayarak %3.32-20.70 nem içeriği ve 303-363 K sıcaklık

aralığında 1791-3172 J/kg K arasında değiştiğini bulmuşlardır. Isıl iletkenlik katsayısını ise dengeli ısı akış yöntemlerinden muhafazalı sıcak levha aparatı kullanarak saptamışlardır. Isıl iletkenlik katsayısı aynı nem içeriği aralığında ve 347.5-349.5 K sıcaklık aralığında 0.094 ve 0.1285 W/mK arasında değişmiştir. Isıl yayınım katsayısını ise özgül ısı ve ısı iletkenlik katsayısı değerleri kullanarak hesaplamışlardır. Isıl yayınım katsayısının nem içeriği artışı ile arttığını ve  $6.94 \times 10^{-8}$  ile  $8.1 \times 10^{-8}$  m<sup>2</sup>/s arasında değiştiğini bildirmişlerdir.

**Yang ve ark. (2002)** borage tohumlarının, özgül ısı, ısı iletkenlik ve ısı yayınım katsayılarını 6-20 °C sıcaklık ve %1.2 ve %30.3 nem içeriği aralıklarında belirlemişlerdir. Isıl iletkenlik katsayısını çizgi ısı kaynağı yöntemi ile belirlemişler ve verileri değerlendirmek için maksimum eğim yöntemini kullanmışlardır. Isıl iletkenlik katsayısının ele alınan çalışma parametrelerinde 0.11 ile 0.28 W/mK arasında değiştiğini saptamışlardır. Araştırmacılar DSC yöntemi kullanarak belirledikleri özgül ısı değerlerini ise 0.77-1.99 kJ/kg K arasında bulmuşlardır. Isıl yayınım katsayısının ise  $2.32 \times 10^{-7}$  ile  $3.18 \times 10^{-7}$  arasında değiştiğini bildirmişlerdir.

**Kayısoğlu ve ark. (2004)** KD2 ısısal özellik analizörü kullanarak arpa, buğday, mısır ve ayçiçeğinin ısı iletkenlik katsayılarını nem içeriğine bağlı olarak ölçmüşlerdir ve matematiksel modeller geliştirmişlerdir. Isıl iletkenlik katsayısının nem içeriği arttıkça arttığını ve bu ilişkinin üssel fonksiyonlarla ifade edilebileceğini vurgulamışlardır.

**Sabapathy ve Tabil (2004)** çalışmalarında Kabuli çeşidi nohutun ısısal özelliklerini belirlemişlerdir. Isı iletim katsayısını 25 ile 98 °C sıcaklık ve %7 ile 25 nem içeriği aralığında ısı iletkenlik probu kullanarak saptamışlardır. Isıl iletkenlik katsayısı değerlerinin 0.1535 ile 0.3257 W/m K arasında değiştiğini belirlemiş ve sıcaklık ve nem içeriği artışı ile arttığını bildirmişlerdir. Özgül ısı değerlerini ise hem kalorimetre kabı kullanarak hem de diferansiyel tarama kalorimetresi (DSC) yöntemi kullanarak belirlemişlerdir. Bu denemelerde ürünün sıcaklığı 30 ile 80 °C, nem içeriği ise %9.86 ile 65.24 aralığında değişmiştir. Ürünün DSC yöntemi ile belirlenen özgül ısı değerlerinin

1.154 ile 2.568 kJ/kg K arasında değiştiğini bildirmişlerdir. Isı yayılım katsayısını ise saptanılan özgül ısı ve ısı iletim katsayıları kullanılarak hesaplamışlardır. Hesaplanan ısı yayılım katsayısı değerleri  $9.11 \times 10^{-8}$  ile  $25.05 \times 10^{-8}$  m<sup>2</sup>/s arasında değişim göstermiştir. Ayrıca nohudun özgül ısısının ve ısı iletim katsayısının nem içeriği ve sıcaklık artışı ile arttığını, ısı yayılım katsayısının ise nem içeriği artışı ile arttığını sıcaklık artışı ile azaldığını vurgulamışlardır. Buna ek olarak araştırmacılar, ısıl özellikleri nem içeriğinin ve sıcaklığın fonksiyonu olarak ifade eden basit ampirik modeller geliştirmişlerdir.

**Kocabiyik ve Tezer (2007)** yaptıkları çalışmada farklı nem içeriklerine sahip kolza tohumlarının özgül ısı, ısı iletim katsayısı ve ısı yayılım katsayılarını bulmuşlardır. Özgül ısının belirlenmesinde karışım yöntemini kullanırken, ısı iletkenlik katsayısının belirlenmesinde ısı iletkenlik probundan yararlanmışlardır. Denemeler %7.31 ve %37.6 nem içeriği aralığında yürütülmüştür. Çalışma sonunda kolza tohumunun özgül ısısının 2.10 ile 3.12 kJ/kg K; ısı iletim katsayısının 0.214 ile 0.292 W/m K ve ısı yayılım katsayısının  $1.486 \times 10^{-7}$  ile  $1.633 \times 10^{-7}$  m<sup>2</sup>/s aralığında değiştiğini saptamışlardır. Ayrıca özgül ısı ile ısı iletim katsayılarının nem oranı ile birlikte arttığını, ısı yayılım katsayısı ile nem oranı arasında ise önemli bir ilişki bulunamadığını bildirmişlerdir.

**Mahapatra ve ark. (2006)** çalışmalarında dört çeşit pirinç ununun ısı iletkenlik ve ısı yayılım katsayılarını sıcaklık, nem ve özgül ağırlıklarına bağlı olarak belirlemişleridir. Çalışmalarında KD2 ısıl özellik analizörü kullanmışlardır. Isıl iletkenliğin sıcaklık nem ve özgül ağırlık arttıkça arttığını, ısı yayılımının ise nem içeriği arttıkça azalırken, sıcaklık ve özgül ağırlığın artmasıyla arttığını bildirmişlerdir.

**Tansakul ve Chaisawang (2006)** hindistan cevizi sütünün ısıl özelliklerinin belirlenmesi üzerine çalışmışlardır. Isıl iletkenliği ve özgül ısının belirlenmesi için sırasıyla ısı iletkenlik probu ve diferansiyel tarama kalorimetresi (DSC) yöntemini kullanmışlardır. Isıl yayılım katsayısını ise deneysel verileri kullanarak hesaplamışlardır. Denemeler sonucunda yağ oranı %25-30 ve sıcaklıkları 60 ile 80 °C

arasında değişen hindistan cevizi sütü örneklerinin ısı iletkenlik katsayısı, özgül ısı ve ısı ı yayınım katsayılarını sırasıyla 0.425-0,590 W/m C, 3.277-3.711 kJ/kg °C ve 1.325-1.634×10<sup>-7</sup> aralığında bulmuşlardır.

**Razavi ve Taghizadeh (2007)** İran fıstığının özgül ısını karışım yöntemini kullanarak bulmuşlardır. Çalışmalarını 4 farklı çeşidin üç farklı nem içeriği ve dört farklı sıcaklık değerlerinde yürütmüşlerdir. İran fıstığının özgül ısı değerlerini 0.419-2.930 kJ/kg K aralığında bulmuşlar ve nem içeriği ve sıcaklık değerlerinin artışı ile arttığını bildirmişlerdir. Ayrıca nem içeriğinin özgül ısı üzerine diğer iki değişkenden daha etkili olduğunu vurgulamışlardır. Ek olarak, her bir çeşit için nem içeriğine ve sıcaklığa bağlı olarak matematiksel modeller geliştirmişlerdir.

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1. Materyal

##### 3.1.1. Bitkisel Materyal

Çalışmada bölgemizde yoğun olarak yetiştirilen yağlı bitkilerden mısır, soya ve ayçiçeği tohumları kullanılmıştır. Ürünler bölgedeki işletmelerden temin edilmiştir. Denemelerde kullanılan ürün çeşitleri ve bazı özellikleri Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Çalışmada Kullanılan Ürün Çeşitleri ve Bazı Özellikleri

Ürün	Çeşit	Nem içeriği (%)	Özgül ağırlığı (kg/m <sup>3</sup> )
Mısır	Pioneer	6.8	808
Soya	A3127	6.2	730
Ayçiçeği	Sanbro	5.8	464

##### 3.1.2. Özgül Isı Ölçüm Sistemi

Özgül ısı ölçüm sistemi, bir kalorimetre kabı, bir test kapsülü ve çift kanallı bir dijital termometreden oluşmaktadır (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Özgül ısı ölçüm sistemi

Kalorimetre kabı, 750 ml hacimli bir termoflusk kabın, 136 mm çapında ve 215 mm yüksekliğinde 13 mm et kalınlığına sahip sert plastikten yapılmış bir parçanın içine yerleştirilmesiyle oluşturulmuştur. Kabın alt kısmı strafor malzemeye kapatılmış ve üstten termoflusk kap ile plastik malzeme arasına iyi bir sızdırmazlık sağlanması için conta konulmuştur. Kalorimetre kabı ayrıca yine strafor malzemedan yapılmış bir kapağa sahiptir. Test kapsülü uzunluğu 100 mm ve çapı 15.7 mm olan 1 mm et kalınlığına sahip cam bir tüptür.

Özgül ısı denemelerinde sıcaklık TES 1307 marka K/J tipi sıcaklık sensorlu, çift kanallı bir termometre kullanılarak ölçülmüştür. Termometreye ait bazı özellikler Çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Özgül Isı Denemelerinde Kullanılan Termometreye Ait Bazı Özellikler

Özellik	Değer
Ekran	Dual LCD
Ölçüm aralığı	K tipi: -190 °C - 1333 °C J tipi: -190 °C – 760 °C
Ölçüm oranı	1 ölçüm/saniye
Hassasiyet	0.1 °C
Doğruluk	±%0.5
Çalışma sıcaklığı ve nemi	-10°C - 40°C % 10 - %80

### 3.1.3. KD2 Isısal Özellik Analizörü

Isıl iletkenliğin ölçülmesinde KD2 ısısal özellik analizörü (Decagon Devices, Inc.) kullanılmıştır. KD2 ısısal özellik analizörü Bölüm 1.4.2’de anlatılan çizgi ısı kaynağı yöntemine göre çalışan bir ölçüm cihazıdır (Şekil 3.2) analizöre ait özellikler Çizelge 3.3’de verilmiştir.





Şekil 3.2. KD2 Isısal özellik analizörü

Çizelge 3.3. KD2 Isısal özellik analizörünün bazı özellikleri

Özellikler	Değerler
Ölçüm hızı	1.5 min
Hassasiyet	5%
Çalışma Koşulları	-20 to 60 °C
Ölçüm sınırları	0.02-2 W/m°C (İletkenlik) 0.5-50 m°C/W (Direnc)
Prop uzunluğu	60 mm
Prop çapı	1.28 mm
Kablo uzunluğu	72 cm

### 3.1.4. Mikrodalga

Ürünlerin sıcaklık derecelerinin ayarlanmasında 180 W, 360 W, 540 W, 720 W ve 900 W olmak üzere toplam 5 güç seviyesinde çalışabilen Arçelik MD 594 model

mikrodalga fırın kullanılmıştır (Şekil 3.3). Kullanılan mikrodalga fırın, fan ve ızgara pişirme özelliklerinin de bulunduğu çok fonksiyonlu bir fırındır. Fırının başlıca parçaları, mikrodalga enerjisini sağlayan magnetron, ısıtıcı, döner tabla motoru, yüksek gerilim trafosu, güç kartı, yüksek gerilim kapasitörü, yüksek gerilim diyodu, parazit filtresi, fan motoru, kontrol panosu, kılıf (dış gövde), fırın alt ve üst plaka, switch ünitesi, kapak camı, grill termostatu, güç kartı sigortası, quartz tüpü reflektörü, fırın termostatu, fırın lambası ve magnetron termostatıdır.



Şekil 3.3. Mikrodalga fırın

### 3.1.5. Nem İçeriklerinin Belirlenmesinde Kullanılan Cihazlar

Ürünlerin nem içeriklerinin belirlenmesinde Nüve marka FN032 tip kurutma dolabı kullanılmıştır. Kurutma dolabı +5°C / 250°C sıcaklık aralıklarında çalışabilen, üçlü izolasyon ve hava ceketine sahip dijital göstergeli, programlanabilir PID mikroişlemcili kontrol sistemine sahip bir cihazdır (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. Kurutma dolabı

Ürünlerin nem içeriklerinin ayarlanmasında ortalama nem içeriklerinin belirlenmesi için GANN G86 marka nem ölçer kullanılmıştır (Şekil 3.5).



Şekil 3.5. Seyyar nem ölçer

### 3.2. Yöntem

#### 3.2.1. Özgül Isının Belirlenmesi

Özgül ısının belirlenmesinde literatürde tarımsal ürünlerin özgül ısılarının belirlenmesinde en uygun yöntem olarak belirtilen karışım metodu kullanılmıştır (Mohsenin, 1980; Kocabıyık ve Tezer, 2007; Razavi and Taghizadeh, 2007). Bu yöntem Bölüm 1.3.2’de belirtildiği üzere, adiyabatik ortamlarda sıcak ısı kaynağının kaybettiği ısının soğuk kaynak tarafından kazanılan ısıya eşit olduğu varsayımına dayanır.

Özgül ısının belirlenmesi denemelerine başlanmadan önce öncelikli olarak kalorimetre kabı ve test kapsülünün ısı kapasiteleri hesaplanmıştır. Kalorimetre kabının ısı kapasitesinin hesaplanması amacıyla, içinde bilinen miktarda sıcak su bulunan kalorimetre kabının içine yine daha düşük sıcaklıkta belirli miktarda su eklenmiştir. Kalorimetre kabının ağzı kapatılmış ve her 5 dakikada bir sallanarak sıcaklığın dengeye gelmesi beklenmiştir. Veriler aşağıdaki formülde yerine konularak kalorimetre kabının ısı kapasitesi hesaplanmıştır (Shrivastava and Datta, 1999; Razavi and Taghizadeh, 2007):

$$H_f = \frac{M_{cw} C_w (T_e - T_{cw}) - M_{hw} C_w (T_{hw} - T_e)}{(T_{hw} - T_e)} \quad (3.1)$$

Burada;

$H_f$  : Kalorimetrenin ısı kapasitesi (kJ/°C)

$M_{cw}$  : soğuk suyun kütlesi (kg),

$C_w$  : Suyun özgül ısısı (kJ/kg°C)

$T_e$  : Denge sıcaklığı in (°C)

$T_{cw}$  : Soğuk suyun sıcaklığı (°C)

$M_{hw}$  : Soğuk suyun kütlesi (kg)

$T_{hw}$  : Sıcak suyun sıcaklığı (°C)

Test kapsülünün belirlenmesi için boş kapsül mikrodalgada yüksek sıcaklığa kadar ısıtılmış e içinde soğuk su bulunan kalorimetre kabının içine bırakılmıştır. Kapsül ve suyun sıcaklıkları termometre yardımıyla ayrı ayrı ölçülerek denge sıcaklığı tespit edilmiş ve değerler aşağıdaki formülde yerine koyularak test kapsülünün ısı kapasitesi hesaplanmıştır (Shrivastava and Datta, 1999; Razavi and Taghizadeh, 2007):

$$H_c = \frac{(H_f + M_{cw}C_w)(T_e - T_{cw})}{(T_c - T_e)} \quad (3.2)$$

Eşitlikte;

$H_c$  : Test kapsülünün ısı kapasitesi (kJ/°C)

$T_c$  : Kapsülün sıcaklığı in (°C)

Kalorimetre kabı ve test kapsülünün ısı kapasiteleri belirlendikten sonra ürünlerin özgül ısılarının belirlenmesine yönelik deneyler yapılmıştır. Bu amaçla, test kapsülünün içine konulan ürünler mikrodalgada istenilen sıcaklık derecesine kadar ısıtılarak kalorimetre kabındaki miktarı belirli soğuk suyun içerisine bırakılmış ve ürün ve soğuk suyun denge sıcaklığına gelmesi sağlanmıştır. Deney sırasında sıcaklık değişimleri biri test kapsülündeki ürün sıcaklığını diğeri ise suyun sıcaklığını ölçen iki adet termokupla sahip dijital termometre ile kaydedilmiştir (Şekil 3.6). Elde edilen verilen Eşitlik 3.3'te yerine konularak ürünlerin özgül ısıları hesaplanmıştır (Mohsenin, 1980; Shrivastava and Datta, 1999).

$$C_p = \frac{(H_f + M_{cw}C_w)(T_e - T_{cw}) - H_c(T_s - T_e)}{M_s(T_m - T_e)} \quad (3.3)$$

Burada;

$C_p$  : Ürünün özgül ısı (kJ/kg°C)

$T_s$  : Ürünün sıcaklığı (°C)

$M_s$  : Ürünün kütlesi (kg)



Şekil 3.6. Özgül ısı ölçüm işlemi

Gerçek ölçümlere geçilmeden önce, özgül ısı ölçüm seti kalibre edilmiştir. Burada önemli olan ürün kütlesi ile suyun kütlesi arasındaki orandır. Yapılan ön denemeler sonucunda yaklaşık 10 g'lık ürün kütlesi ile 175-200 g'lık su kütlesinin en uygun değerleri verdiği belirlenmiş ve gerçek denemelerde bu değerler esas alınmıştır.

### 3.2.2. Isı İletim Katsayısının Belirlenmesi

Isı iletim katsayısının belirlenmesinde Bölüm 1.4.2'de açıklanan ısıl iletkenlik probu yöntemi kullanılmıştır (Kayışoğlu ve ark., 2004; Sabapathy ve Tabil, 2004).. Denemelerde nem içeriği belirli ürün mikrodalgada istenilen sıcaklığa kadar ısıtıldıktan sonra bir termos içerisine konulmuştur. Daha sonra KD2 ısıl özellik analizörünün probu ürün kitlesinin ortasına yerleştirilerek ölçüm yapılmıştır (Şekil 3.7). Granüle tarımsal ürünlerin ısı iletim katsayılarının düşük olması nedeniyle cihazla daha hassas ölçümler alınması için ısıl direnç katsayıları ölçülmüş ( $R$ ), daha sonra bu değerler;

$$k = \frac{1}{R} \quad (3.4)$$

eşitliğinde yerine konularak ters çevrilmiş ve ısı iletim katsayıları hesaplanmıştır.



Şekil 3.7. Isıl iletim katsayısı ölçümleri

### 3.2.3. Isı Yayınım Katsayısının Belirlenmesi

Isıl yayınım katsayısı Bölüm 1.5.1’de anlatıldığı üzere birçok yöntem kullanılarak belirlenmesine rağmen, literatürde en yaygın yöntemin ısı iletkenliğin özgül ısı ve hacim ağırlığına oranlanarak hesaplanması olduğu bildirilmiştir (Singh and Goswami, 2000; Irtwange and Igbeka, 2003). Bu çalışmada da daha önce hesaplanan ısı iletkenlik katsayısı ve özgül ısı değerleri kullanılarak hesaplanmıştır (Eşitlik 3.5).

$$a = \frac{k}{C_w} \quad (3.5)$$

Burada;

$a$  :Isıl yayınım katsayısı ( $m^2/s$ )

$k$  :Isıl iletim katsayısı ( $W/m^{\circ}C$ )

$r$  :Özgül ağırlık ( $kg/m^3$ )

### 3.2.4. Nem İçeriklerinin Sağlanması ve Belirlenmesi

Çalışmadaki yüksek nem içeriklerinin sağlanması için koşullu nemlendirme yapılmıştır. Koşullu nemlendirme için ürünler saf su içinde belirli bir süre bekletilmiş ve poşetlenmiştir. Daha sonra nemin homojen dağılımı için buzdolabında 3 gün süreyle tutulmuştur. Ürünler denemelerden önce dolaptan çıkarılarak oda koşullarında bekletilmiş ve serbest nemin uzaklaşması sağlanmıştır.

Denemelere başlanmadan önce ürünler nem içeriklerinin belirlenmesi kurutma dolabında 105 C'de 24 saat bekletilmiştir. Aşağıdaki formül kullanılarak yaş baza göre ürün nem içerikleri hesaplanmıştır.

$$W = \frac{W_b - W_s}{W_b} \times 100 \quad (3.6)$$

### 3.2.5. Denemelerin Düzenlenmesi

Çalışmada ele alınan ürünlerin özgül ısı, ısı iletkenlik ve ısı yayılım katsayısı farklı nem ve sıcaklık değerlerinde belirlenmiştir. Denemeler üç tekrarlı olarak gerçekleştirilmiştir. Çalışmada kullanılan bağımsız değişkenler Çizelge 3.4'te verilmiştir.



Çizelge 3.4. Çalışmada Kullanılan Bağımsız Değişkenler

Ürün	Özgül ağırlık (kg/m <sup>3</sup> )	Nem içeriği, w.b. (%)			Sıcaklık (°C)		
		Özgül ısı	Isı iletkenlik katsayısı	Isı yayının katsayısı	Özgül ısı	Isı iletkenlik katsayısı	Isı yayınım katsayısı
Mısır	808	6.8	6.3	6.5	35	20	35
	793	11.6	12.1	11.9	50	35	50
	782	20.3	18.5	19.4	65	50	65
	775	27.5	24.5	26.0	80	65	80
Soya	730	6.2	5.6	6.2	35	20	35
	725	13.4	10.4	13.4	50	35	50
	716	21.2	19.7	21.2	65	50	65
	670	30.4	31.5	30.4	80	65	80
Ayçiçeği	464	5.8	6.2	5.8	35	20	35
	440	12.8	13.8	12.8	50	35	50
	428	22.6	20.3	22.6	65	50	65
	420	30.7	29.7	30.7	80	65	80

### 3.2.6. Verilerin Değerlendirilmesi

Elde edilen veriler, Excel paket programına girilerek hesaplamalar yapılmıştır. Daha sonra sonuçlar arasındaki ilişkilerin saptanabilmesi ve daha güvenli yorum yapabilmek amacı ile bağımsız değişkenlere bağlı olarak tüm bağımlı değişkenler için varyans analizi yapılmıştır. Varyans analizi için MSTATC paket programı kullanılmıştır. Analizler iki faktörlü tesadüf blokları deneme desenine göre yapılmıştır. Grafikler

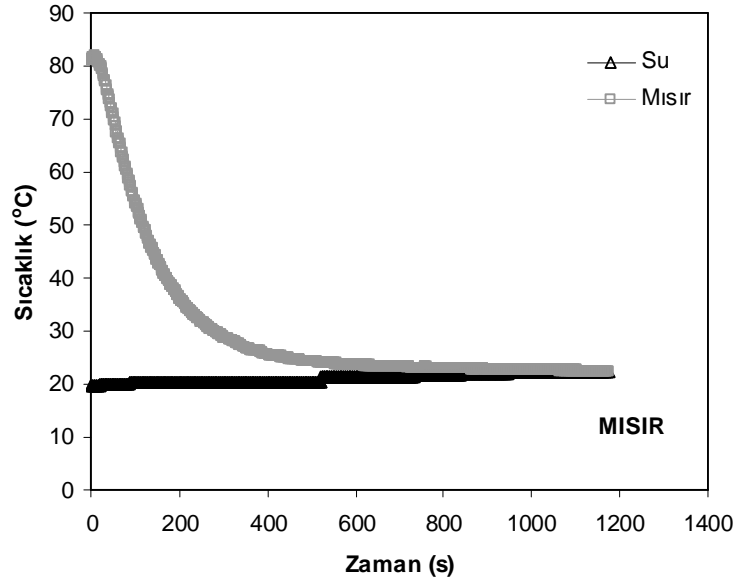
varyans analizi sonucunda elde edilen değerlere göre çizilmiştir. Analizler sonucunda önemli çıkan değişkenlerin farklılarının belirlenmesi için Duncan testi uygulanmıştır. Son olarak, değişkenler arasındaki ilişkileri ve etkilerini daha açık ortaya koymak için çoklu regresyon analizi yapılarak, regresyon eşitlikleri oluşturulmuş ve bu eşitlikler katsayıları ile birlikte verilmiştir. Bu amaçla SigmaPlot paket programı kullanılmıştır.

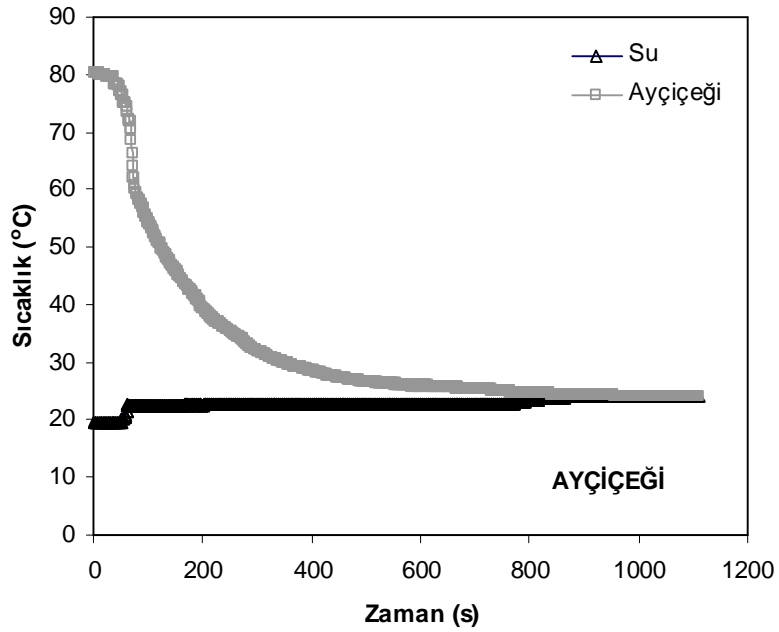
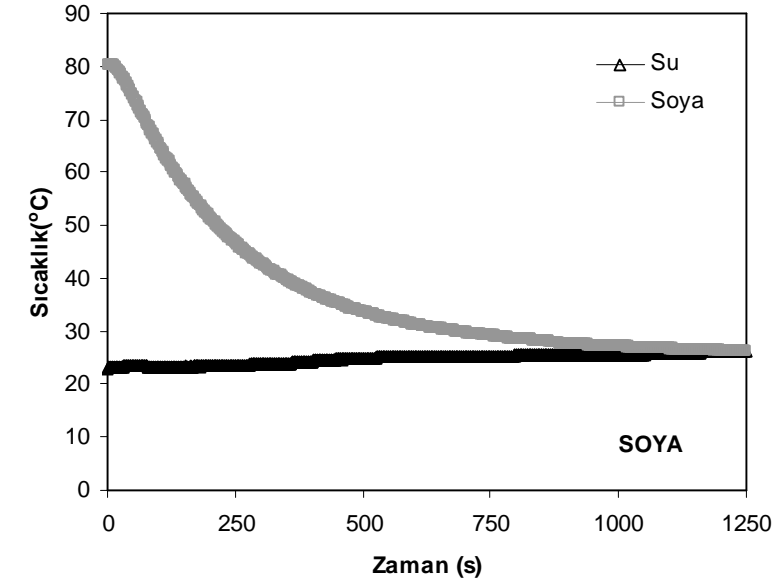
#### 4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Bu bölümde araştırma bulguları çalışmada ele alınan ısısal özelliklerin alt başlıkları altında bütün ürünler ele alınarak verilmiştir.

##### 4.1. Özgül Isı

Özgül ısı denemelerinde kullanılan kalorimetre kabı ve test kapsülünün ısı kapasiteleri sırasıyla 0.2690 ve 0.2609 kJ/°C olarak bulunmuştur. Denemeler sırasında sistemin denge sıcaklığına ulaşma zamanını karakterize eden sıcaklık zaman grafikleri Şekil 4.1’de verilmiştir. Görüldüğü üzere her üç ürünle de çalışmada sistem denge sıcaklığına 1000 ile 1200 s (ortalama 20 dk) arasında ulaşmıştır.

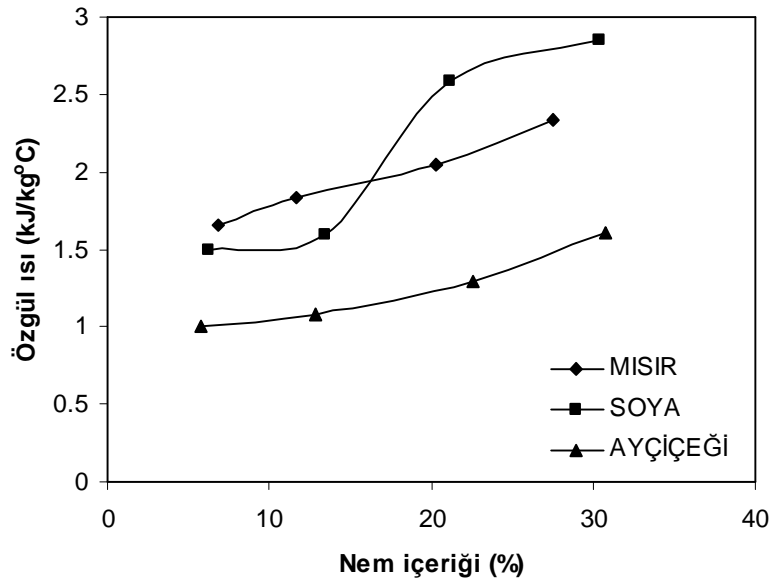




Şekil 4.1. Ürün bazında sistemin sıcaklık zaman grafikleri

#### 4.1.1. Nem İçeriğinin Etkisi

Yapılan denemelerde bütün ürünler için özgül ısının ürün nem içeriği arttıkça arttığı belirlenmiştir (Şekil 4.2). Denemelerde ele alınan nem içeriği aralıklarında ortalama özgül ısı değerleri; mısırdaki 1.6519-2.3401 kJ/kg°C, soyada 1.4949-2.8520 kJ/kg°C ve ayçiçeğinde 0.9992-1.6043 kJ/kg°C arasında değişmiştir.



Şekil 4.2. Özgül ısının nem içeriği ile değişimi

Grafiklerden görüldüğü üzere bütün ürünler için özgül ısı ile denemelere alınan nem içeriği arasında doğrusal bir ilişkiden bahsetmek mümkündür. Bu ilişki aşağıdaki eşitliklerle ifade edilmiştir:

Mısır	$C=1.4397+0.032M$	$R^2=0.98$
Soya	$C=1.016+0.0627M$	$R^2=0.90$
Ayçiçeği	$C=0.7683+0.0253M$	$R^2=0.91$

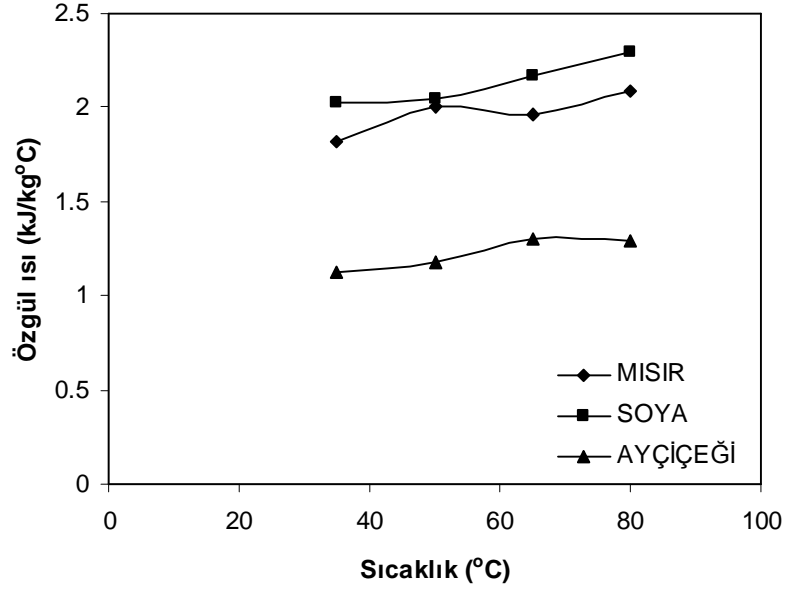
Yapılan varyans analizi sonucunda nem içeriğinin bütün ürünler için özgül ısı üzerine etkisinin %1 önem seviyesinde olduğu bulunmuştur. Duncan çoklu karşılaştırma testi sonucunda denemeye alınan nem içeriklerinin ürüne göre değişmekle birlikte, birbirlerinden farklılıklar gösterdikleri belirlenmiştir (Çizelge 4.1). Çizelgeden görüldüğü üzere bütün ürünlerde en yüksek özgül ısı değeri denemede ele alınan en yüksek nem içeriği değerinde elde edilmiştir.

Çizelge 4.1. Nem İçeriğine Göre Ortalama Özgül Isı Değerleri

Ürün	Nem içeriği (%)	Ortalama özgül ısı değeri (kJ/kg°C)
Mısır	6.8	1.6519d
	11.6	1.8357bc
	20.3	2.0460b
	27.5	2.3401a
Soya	6.2	1.4949b
	13.4	1.6004b
	21.2	2.5808a
	30.4	2.8520a
Ayçiçeği	5.8	0.9992b
	12.8	1.0802b
	22.6	1.2925ab
	30.7	1.6043a

#### 4.1.2. Sıcaklığın Etkisi

Bütün ürünlerde sıcaklık arttıkça özgül ısıda da artış saptanmıştır (Şekil 4.3). Ancak bu artış ele alınan sıcaklık aralıklarında istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. Şekil 4.3’de görüldüğü üzere sıcaklıktan en fazla etkilenen ürün soyadır. Deneme sıcaklıklarında elde edilen ortalama özgül ısı değerleri Çizelge 4.2’de verilmiştir.



Şekil 4.3. Özgül ısının sıcaklık ile değişimi

Çizelge 4.2. Sıcaklığa Göre Ortalama Özgül Isı Değerleri

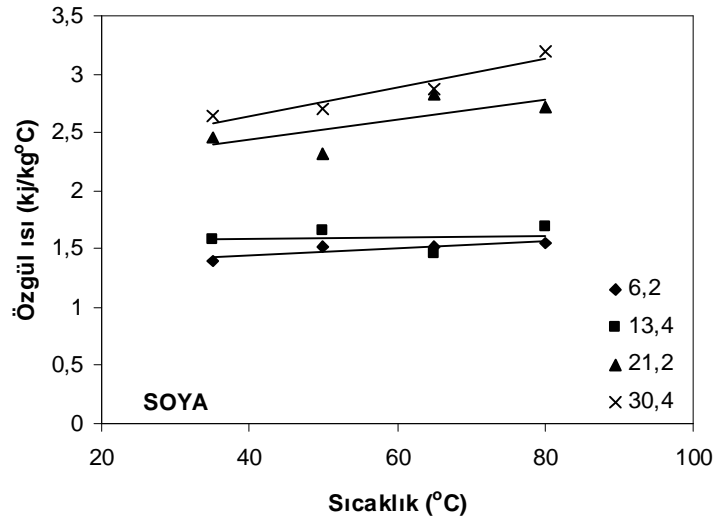
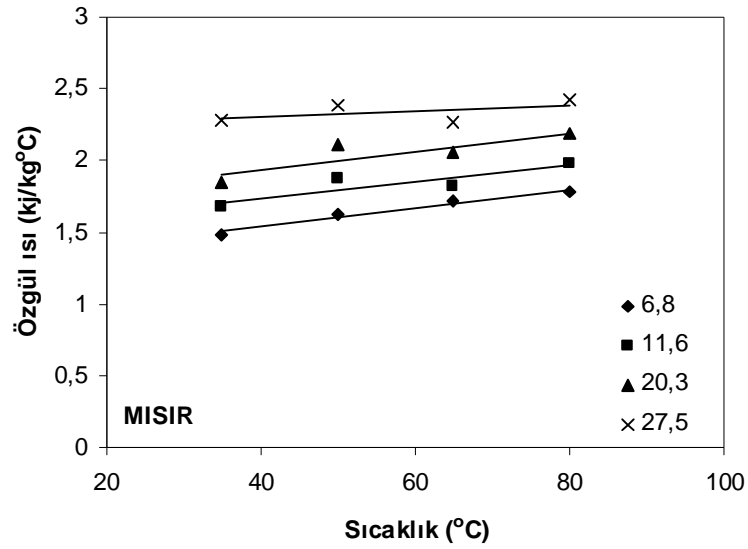
Sıcaklık (°C)	Ortalama özgül ısı değeri (kJ/kg°C)		
	Mısır	Soya	Ayçiçeği
35	1.8209	2.0213	1.1219
50	1.9996	2.0466	1.2566
65	1.9637	2.1713	1.3019
80	2.0895	2.2888	1.2958

Şekil 4.2 incelendiğinde bütün ürünler için özgül ısı ile sıcaklık değerleri arasında ilişkinin doğrusal olduğu kabul edilebilir. Bu ilişki aşağıdaki eşitliklerle ifade edilmiştir:

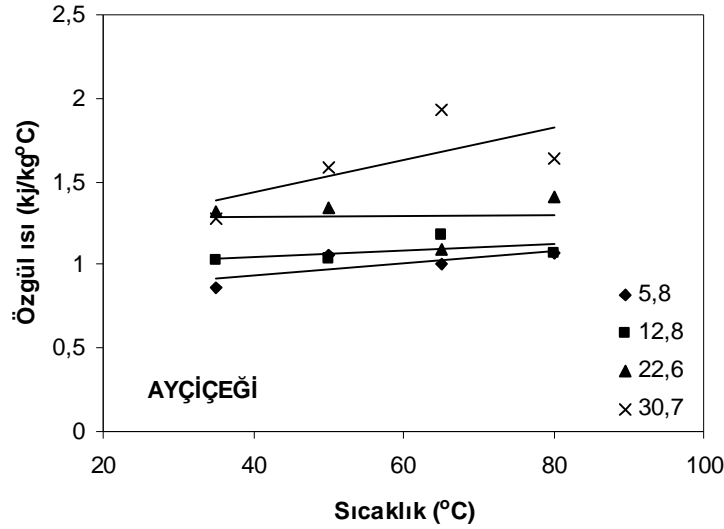
Mısır	$C=1.6732+0.0051T$	$R^2=0.79$
Soya	$C=1.7763+0.062T$	$R^2=0.94$
Ayçiçeği	$C=0.9737+0.043T$	$R^2=0.87$

#### 4.1.3. Nem x Sıcaklık İnteraksiyonunun Etkisi

Yapılan varyans analizi sonucunda nem x sıcaklık interaksiyonunun etkisi çalışmada ele alınan nem ve sıcaklık aralıklarında önemsiz bulunmuştur. Şekil 4.4 ürün bazında özgül ısının nem ve sıcaklıkla değişimini göstermektedir.







Şekil 4.4. Özgül ısının sıcaklık ve nem ile değişimi

Deneysel verilere dayanarak özgül ısının nem ve sıcaklıkla değişimi aşağıdaki gibi modellenmiştir:

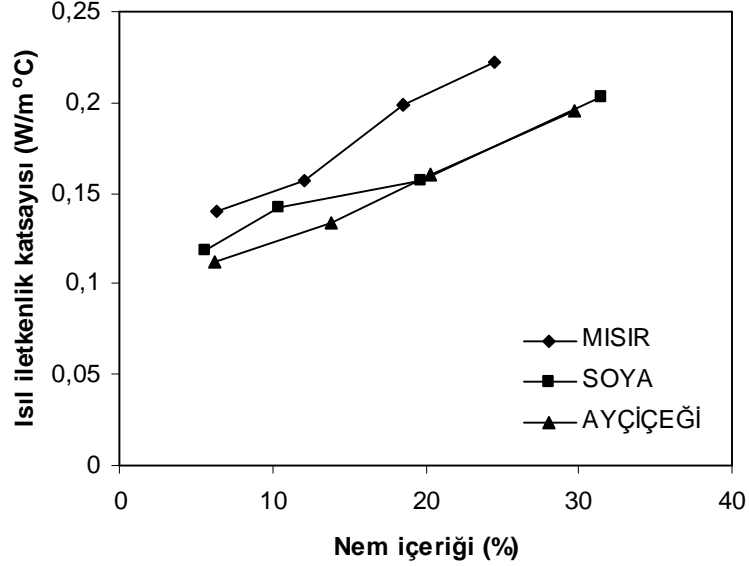
Mısır	$C=1.1444+0.0320M+0.0051T$	$R^2=0.98$
Soya	$C=0.6607+0.0627M+0.0062T$	$R^2=0.97$
Ayçiçeği	$C=0.5934+0.0241M+0.0038T$	$R^2=0.96$

Elde edilen veriler bir bütün olarak ele alındığında ortalama özgül ısı değerleri mısırdaki 1.4868-2.4224 kJ/kg°C, soyada 1.3934-3.1976 kJ/kg°C ve ayçiçeğinde 0.8649-1.9302 kJ/kg°C aralıklarında değişmiştir.

## 4.2. Isı İletkenlik Katsayısı

### 4.2.1 Nemin Etkisi

Yapılan varyans analizi sonucunda ısı iletkenlik katsayısının bütün ürünlerde nem içeriğinin artışı ile artış gösterdiği saptanmış ve %1 seviyesinde önemli olduğu bulunmuştur (Şekil 4.5.).



Şekil 4.5. Isı iletim katsayısının nem içeriği ile değişimi

Şekil 4.5’de görüldüğü üzere bütün ürünler için ısı iletim katsayısı ile denemelere alınan nem içerikleri arasında doğrusal bir ilişki vardır. Bu ilişki aşağıdaki eşitliklerle ifade edilmiştir:

Mısır	$k=0.1068+0.0047M$	$R^2=0.98$
Soya	$k=0.1038+0.0031M$	$R^2=0.97$
Ayçiçeği	$k=0.0872+0.0036M$	$R^2=0.99$

Şekilden görüldüğü üzere ele alınan çalışma aralıklarında en yüksek ısı iletim katsayısı mısırdaki çıkmıştır. Düşük nemlerde soyanın ısı iletim katsayısı ayçiçeğinden yüksek iken nem yükseldikçe bu fark aradan kalkmıştır. Varyans analizi sonucunda farklı nem içeriklerinde elde edilen ortalama ısı iletim katsayısı değerleri ve Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları Çizelge 4.3’te verilmiştir.

Çizelge 4.3. Nem İçeriğine Göre Ortalama Özgül Isı Değerleri

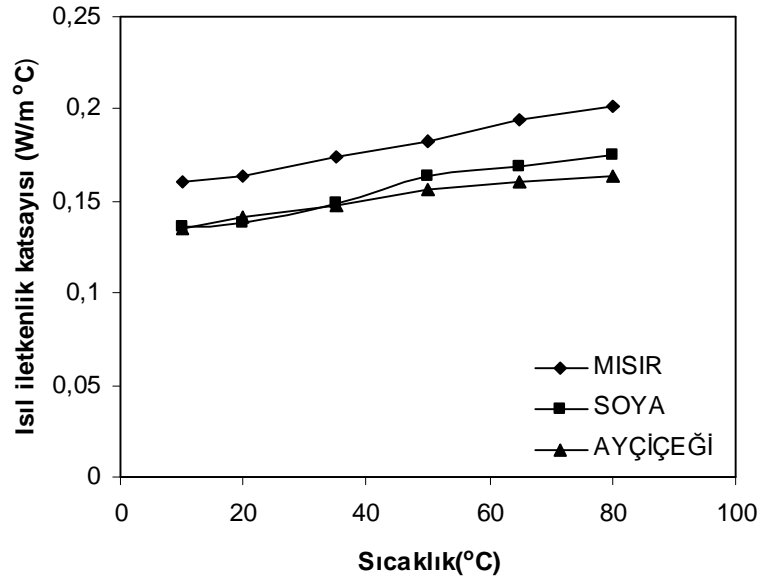
Ürün	Nem içeriği (%)	Ortalama ısı iletkenlik katsayısı (W/m°C)
Mısır	6.3	0.1397d
	12.1	0.1566c
	18.5	0.1990b
	24.5	0.2220a
Soya	5.6	0.1188d
	10.4	0.1416c
	19.7	0.1571b
	31.5	0.2029a
Ayçiçeği	6.2	0.1115c
	13.8	0.1336bc
	20.3	0.1602b
	29.7	0.1958a

Çizelge 4.3 incelendiğinde mısır ve soyada çalışılan nem içeriklerinin hepsinin istatistiksel olarak birbirinden farklı olduğu görülmektedir. Ayçiçeğinde ise en yüksek nem içeriği diğer nem içeriklerinden farklılık gösterirken %13.8 ve 20.3'lük nem içerikleri farkı istatistiksel olarak önemli çıkmamıştır. Bunun yanında %6.2'lik en düşük nem içeriği ile %13.8'lik nem içeriği arasında da fark bulunmamıştır. Bu aynı zamanda ayçiçeğinin ısı iletkenlik katsayısı düşünüldüğünde nem içeriği değişiminden en az etkilenen ürün olduğunu göstermektedir.

#### 4.2.2. Sıcaklığın Etkisi

Bütün ürünlerde ısı iletim katsayısı ile sıcaklık arasında artan doğrusal bir ilişki bulunmuştur. Mısır tohumlarının ısı iletim katsayısı sıcaklık değişiminden en fazla etkilenmiştir. Düşük sıcaklıklarda soya ve ayçiçeğinin ısı iletim katsayısı artışında belirgin bir fark gözlenmezken, bu fark yüksek sıcaklıklarda gözlemlenebilir bir hal

almıştır (Şekil 4.6). Yapılan varyans analizi sonucunda bütün ürünlerde sıcaklığın ısı iletim katsayısı üzerine %1 önem seviyesinde etkili olduğu saptanmıştır.



Şekil 4.6. Isı iletim katsayısının sıcaklık ile değişimi

Ortalama ısı iletim katsayısı değerleri sıcaklık derecelerine göre Çizelge 4.4'te verilmiştir. Çizelgedeki değerler incelendiğinde çalışmada ele alınan sıcaklık değerleri arasında ayçiçeğinde bir fark gözlenmezken, mısır ve soyada farklılıklar belirlenmiştir. Mısır ve soyada 80 ve 60 °C, 50 ve 35 °C ve 20 ve 10 °C sıcaklıklar arasında istatistiksel olarak bir fark saptanamamıştır.

Çizelge 4.4. Sıcaklığa Göre Ortalama Isı İletim Katsayısı Değerleri

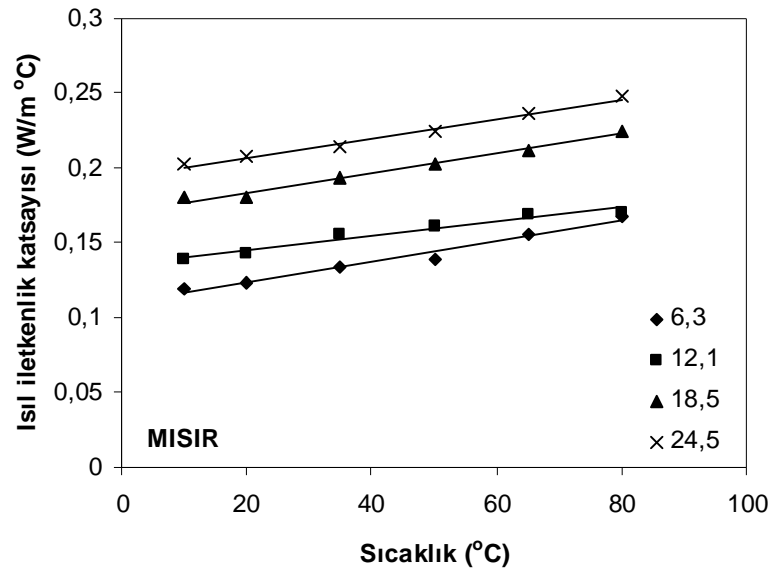
Sıcaklık (°C)	Ortalama ısı iletim katsayısı değeri (W/m°C)		
	Mısır	Soya	Ayçiçeği
10	0.1603d	0.1360c	0.1346a
20	0.1619cd	0.1378bc	0.1399a
35	0.1743bc	0.1485b	0.1482a
50	0.1817b	0.1637a	0.1559a
65	0.1935a	0.1690a	0.1591a
80	0.2024a	0.1750a	0.1627a

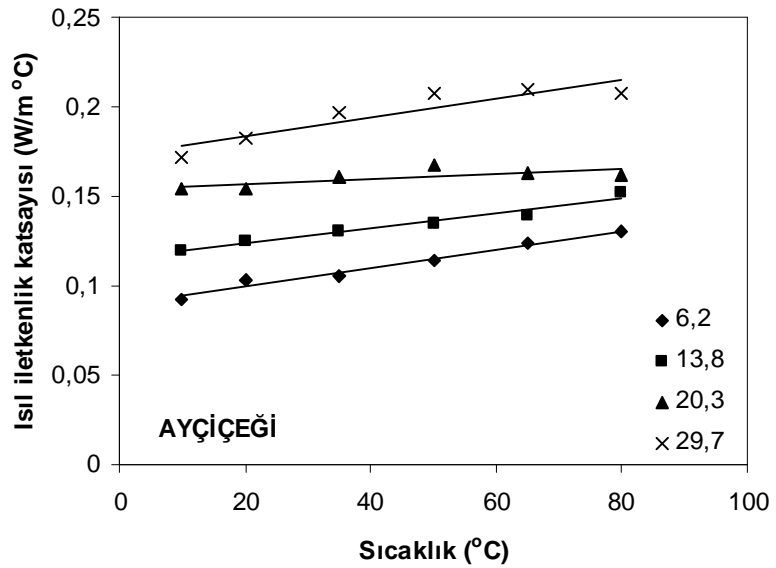
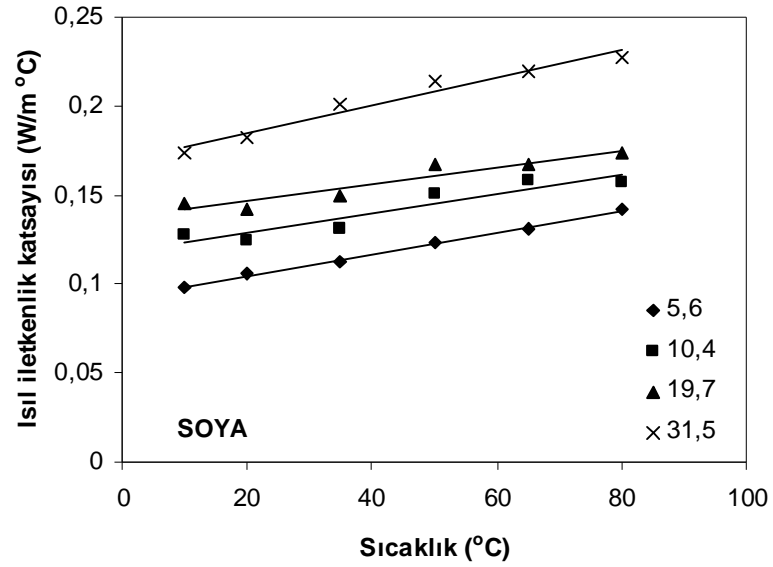
Şekil 4.2 incelendiğinde bütün ürünler için özgül ısı ile sıcaklık değerleri arasında doğrusal bir ilişki olduğu görülebilir. Bu ilişki aşağıdaki eşitliklerle ifade edilmiştir:

Mısır	$k=0.1526+0.0006T$	$R^2=0.99$
Soya	$k=0.1288+0.0006T$	$R^2=0.97$
Ayçiçeği	$k=0.1328+0.0004T$	$R^2=0.96$

#### 4.2.3. Nem x Sıcaklık İnteraksiyonunun Etkisi

Nem x sıcaklık interaksiyonu ısı iletim katsayısı üzerine soya ve ayçiçeğinde %1 önem seviyesinde etkili bulunurken, mısırdaki önemsiz bulunmuştur. Şekil 4.7 çalışmada ele alınan ürünlerde ısı iletim katsayısı ile nem-sıcaklık interaksiyonu arasındaki ilişkiyi göstermektedir.





Şekil 4.7. Isıl iletkenlik katsayısının nem ve sıcaklıkla değişimi

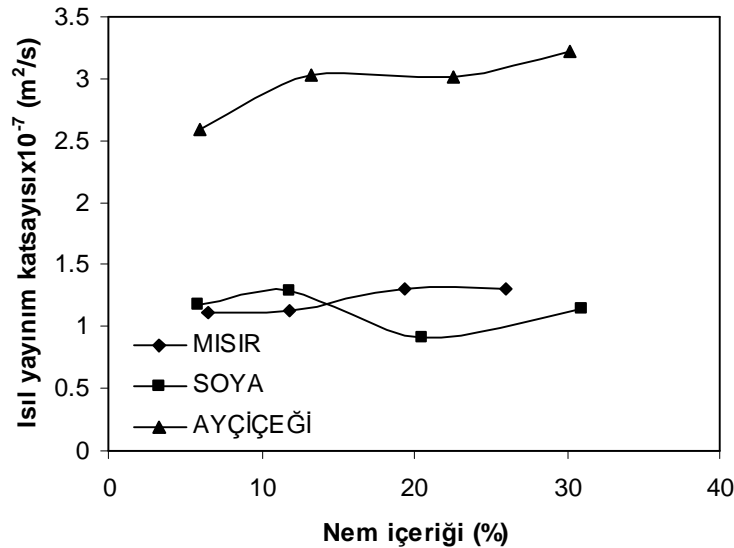
Ortalama ısı iletim katsayısı değerleri mısır için 0.1194-0.2474 W/m°C, soya için 0.0980-0.2276 W/m°C ve ayçiçeği için 0.0929-0.2099 W/m°C arasında ölçülmüştür. Bu verilere dayanarak ilişki aşağıdaki regresyon eşitlikleri ile ifade edilmiştir.

Mısır	$k=0.0797+0.0048M+0.0006T$	$R^2=0.99$
Soya	$k=0.0773+0.0031M+0.0006T$	$R^2=0.99$
Ayçiçeği	$k=0.0694+0.0036M+0.0004T$	$R^2=0.99$

### 4.3. Isı Yayınım Katsayısı

#### 4.3.1. Nemin Etkisi

Denemeler sonucunda nem içeriğindeki artışın ısı yayınım katsayısındaki artışı da beraberinde getirdiği saptanmıştır. Isı yayınım katsayısı ile nem içeriği arasındaki ilişki Şekil 4.8’de verilmiştir. Şekilden görüldüğü üzere en yüksek ısı yayınım katsayısı değerleri ayçiçeğinde bulunmuştur. Nem içeriğinin ısı yayınım katsayısı üzerine %1 önem seviyesinde etkili olduğu saptanmıştır. Çalışmada ele alınan nem içeriklerindeki ortalama ısı yayınım katsayısı değerleri Çizelge 4.5’te verilmiştir..



Şekil 4.8. Isı yayınım katsayısının ürün nem içeriği ile değişimi

Çizelge 4.5. Nem İçeriğine Göre Ortalama Isı Yayınım Katsayısı Değerleri

Ürün	Nem içeriği (%)	Ortalama ısı yayınım katsayısı (m <sup>2</sup> /s)
Mısır	6.5	1.1146×10 <sup>-7</sup> a
	11.9	1.1308×10 <sup>-7</sup> a
	19.4	1.3073×10 <sup>-7</sup> a
	26.0	1.3058×10 <sup>-7</sup> a
Soya	6.2	1.1780×10 <sup>-7</sup> a
	13.4	1.2947×10 <sup>-7</sup> a
	21.2	0.9109×10 <sup>-7</sup> a
	30.4	1.1531×10 <sup>-7</sup> a
Ayçiçeği	5.8	2.5924×10 <sup>-7</sup> a
	12.8	3.0272×10 <sup>-7</sup> a
	22.6	3.0145×10 <sup>-7</sup> a
	30.7	3.2156×10 <sup>-7</sup> a

Çizelgeden görüldüğü üzere yapılan Duncan çoklu karşılaştırma testleri sonucunda ele alınan nem içeriklerinin arasında bütün ürünler için istatistiksel olarak bir fark bulunmamıştır.

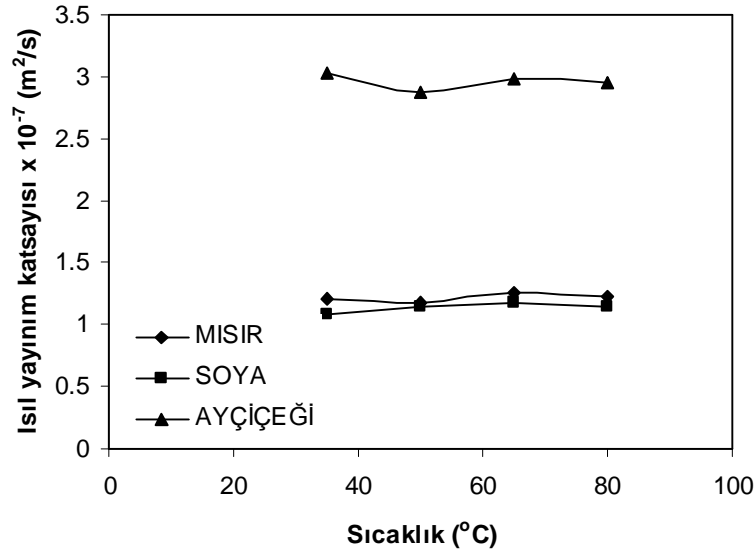
Mısır	$a=1.0307+0.0115M$	$R^2=0.85$
Soya	$a=1.2226-0.0051M$	$R^2=0.12$
Ayçiçeği	$a=2.5621+0.0222M$	$R^2=0.79$

#### 4.3.2. Sıcaklığın Etkisi

Çalışmada ele alınan sıcaklık değerleri ile ısı yayınım katsayısı arasında bütün ürünlerde belirgin bir ilişki bulunamamıştır. Bununla beraber Şekil 4.9'dan görüleceği



üzere mısır ve soyanın ısı yayılım katsayısı değerleri arasında önemli bir fark yokken bu katsayı ayçiçeğinde en yüksek bulunmuştur.



Şekil 4.9. Isıl yayılım katsayısının sıcaklıkla değişimi

Isıl yayılım katsayısının çalışmada kullanılan sıcaklıklardaki ortalama değerleri Çizelge 4.6'da verilmiştir.

Çizelge 4.6. Sıcaklığa Göre Ortalama Isıl Yayılım Katsayısı Değerleri

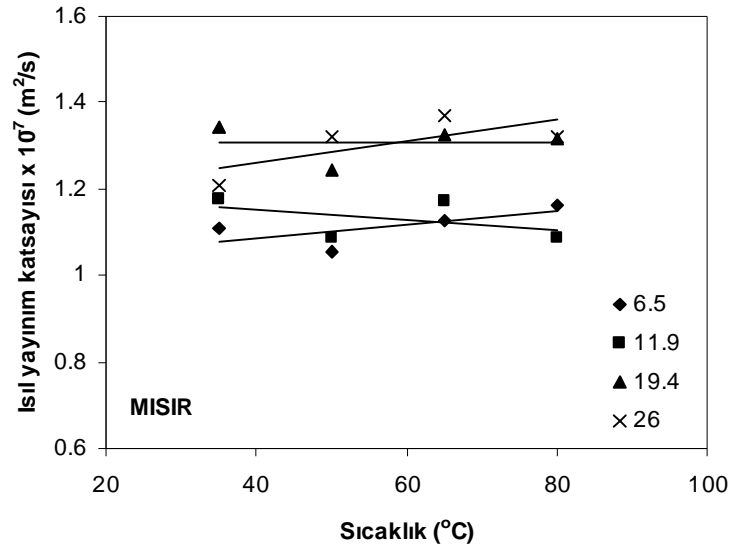
Sıcaklık (°C)	Ortalama ısı yayılım katsayısı değerleri (m <sup>2</sup> /s)		
	Mısır	Soya	Ayçiçeği
35	1.21×10 <sup>-7</sup>	1.08×10 <sup>-7</sup>	3.03×10 <sup>-7</sup>
50	1.17×10 <sup>-7</sup>	1.15×10 <sup>-7</sup>	2.88×10 <sup>-7</sup>
65	1.24×10 <sup>-7</sup>	1.17×10 <sup>-7</sup>	2.98×10 <sup>-7</sup>
80	1.22×10 <sup>-7</sup>	1.14×10 <sup>-7</sup>	2.95×10 <sup>-7</sup>

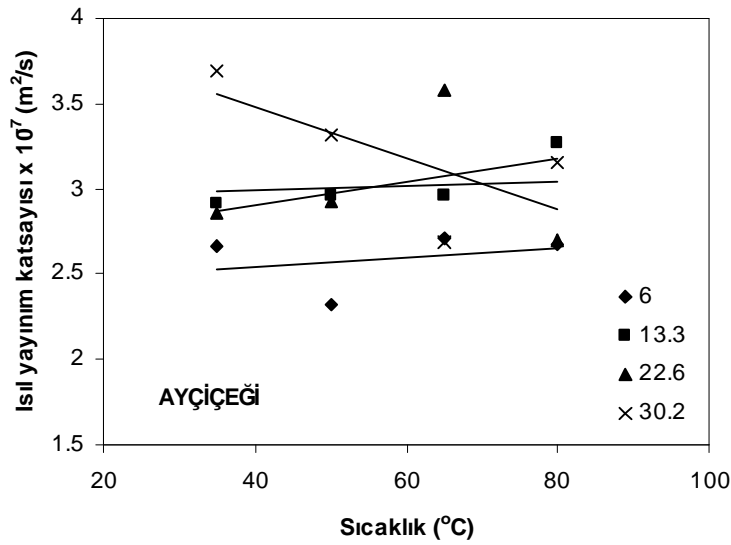
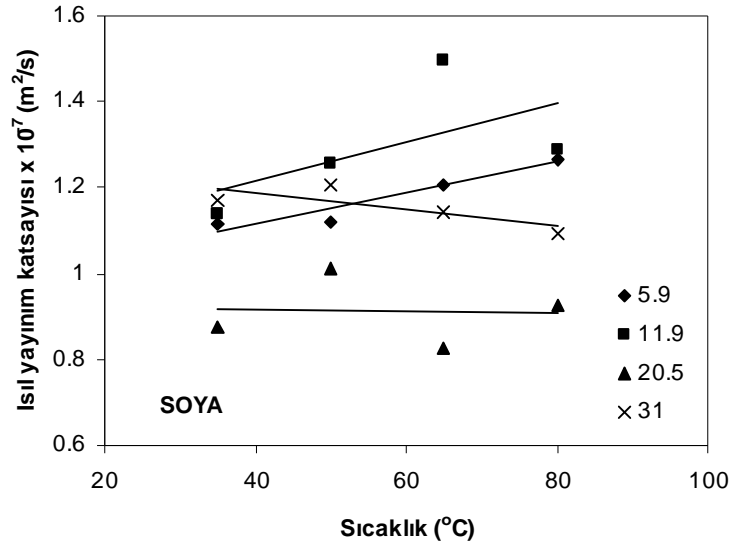
Isıl yayılım katsayısının nem içeriğine tahmin edilmesinde kullanılacak regresyon eşitlikleri aşağıda görülmektedir.

Mısır	$a=1.1733+0.0007M$	$R^2=0.22$
Soya	$a=1.0583+0.0013M$	$R^2=0.44$
Ayçiçeği	$a=3.0197-0.0009M$	$R^2=0.83$

#### 4.3.3. Nem x Sıcaklık İnteraksiyonunun Etkisi

Nem-sıcaklık interaksiyonunun ısı yayılım katsayısı üzerine herhangi bir etkisi bulunamamıştır. Şekil 4.10 ısı yayılım katsayısının nem ve sıcaklıkla değişimini göstermektedir.





Şekil 4.10. Isı yayılım katsayısının nem ve sıcaklıkla değişimi.

Ortalama ısı yayılım katsayıları, mısırdaki  $1.111 \times 10^{-7}$  ve  $1.371 \times 10^{-7}$  m<sup>2</sup>/s, soyada  $8.268 \times 10^{-8}$  ve  $1.496 \times 10^{-7}$  m<sup>2</sup>/s ve ayçiçeğinde  $2.325 \times 10^{-7}$  and  $3.695 \times 10^{-7}$  m<sup>2</sup>/s arasında

değişmiştir. Nem ve sıcaklığa göre oluşturulan ısı yayılım katsayısına ait regresyon eşitlikleri aşağıda verilmiştir.

Mısır	$a=9.893 \times 10^{-008} + 1.15 \times 10^{-009} M + 7.196 \times 10^{-011} T$	$R^2=0.98$
Soya	$a=1.893 \times 10^{-007} - 5.100 \times 10^{-010} M + 1.511 \times 10^{-010} T$	$R^2=0.96$
Ayçiçeği	$a=2.615 \times 10^{-007} + 2.265 \times 10^{-009} M - 9.169 \times 10^{-011} T$	$R^2=0.96$

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada ülkemizde yağ eldesi için yetiştirilen mısır, soya ve ayçiçeğinin özgül ısı, ısı iletim katsayısı ve ısı yayılım katsayısı gibi önemli ısıl özellikleri belirlenmiştir.

Araştırma sonuçları ürünlerin ısıl özelliklerinin sıcaklığa oranla nem içeriğinden daha fazla etkilendiğini göstermiştir. Bu sonuç literatürde Shivastava ve Data (1999) tarafından mantarlar için, Singh ve Goswami (2000) tarafından kimyon tohumu için bildirilmiştir.

Çalışmada ele alınan bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişki çalışmada kullanılan nem içeriği ve sıcaklık değerleri aralığında doğrusal olarak bulunmuştur. Bu ilişki literatürde Hsu ve ark. (1991), Chandrasekar ve Viswanathan, (1999), Aviara ve Haque, (2001); Kocabıyık ve Tezer, (2007) tarafından da bildirilmiştir.

Çalışılan nem ve sıcaklık aralıklarında ısıl özelliklerin ortalaması aşağıdaki gibi bulunmuştur (Çizelge 5.1).

Çizelge 5.1. Isıl Özelliklerin Ortalama Değerleri

Ürün	Isıl Özellik		
	Özgül ısı (kJ/kg°C)	Isı iletim katsayısı (W/m°C)	Isı yayılım katsayısı (m <sup>2</sup> /s)
Mısır	1.9684	0.1793	1.214x10 <sup>-7</sup>
Soya	2.1320	0.1551	1.134x10 <sup>-7</sup>
Ayçiçeği	1.2440	0.1503	2.962x10 <sup>-7</sup>

Çizelgeden de görüldüğü üzere en yüksek özgül ısı değeri soyada, ısı iletim katsayısı değeri mısırdaki ve ısı yayılım katsayısı değeri ise ayçiçeğinde saptanmıştır.

Ürünlerin özgül ısı değerleri özellikle yüksek nem içeriklerinde sıcaklık arttıkça hızla artmıştır. Bu durum ısı iletkenlik katsayısı içinde gözlemlenmiştir. Isı yayılım katsayısı nem içeriğinin artmasıyla artış göstermesine rağmen, sıcaklıkla ısı yayılım katsayısı arasında açık bir ilişki bulunamamıştır.

Elde edilen verilere bağlı olarak geliştirilen matematiksel modeller yüksek korelasyon katsayıları nedeniyle anılan nem ve sıcaklık aralıklarında ısıl özelliklerin tahmini için kullanılabilirler.

## KAYNAKLAR

- ATAKİŞİ, A., 1999. Yağ Bitkileri YetiŐtirme ve Islahı. Trakya Üniversitesi Tekirdağ Ziraat Fakóltesi, Yayın No:148, Tekirdağ.
- AVAIRA, N. A. ve HAQUE, M. A., 2001. Moisture Dependence of Thermal Properties of Sheanut Kernel. *Journal of Food Engineering*, 47:109-113.
- AYIK, M., 1985. Ürün İşleme Tekniği ve Makinaları. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakóltesi Yayınları, Yayın No: 957, Ankara.
- CHANDRASEKAR, V. ve VISWANATHAN, R., 1999. Physical and Thermal Properties of Coffee. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 73:227-234.
- CHOI, Y. ve OKOS, M., 1986. Thermal Properties of Liquid Foods-Review. In *Physical and Chemical Properties of Food*. St. Joseph, MI: American Society of Agricultural Engineers.
- FANG, Q., LAN, Y.B., KOCHER, M.F. ve HANNA, M.A., 2000. Thermal Conductivity of Granular Rice Starches. *International Journal of Food Properties*, 3:283-293.
- FAO, 2008. Crop Production. ([www.fao.org](http://www.fao.org))
- GÜZEL, E., ÜLGER, P. ve KAYIŞOĞLU B., 1996. Ürün İşleme ve Deđerlendirme Tekniği. Ç.Ü. Ziraat Fakóltesi Yayınları, Yayın No: 145, Adana.
- IRTWANGE, S. V. ve IGBEKA, J. C., 2003. Influence of Moisture Content on Thermal Diffusivity and Specific Heat of African Yam Bean (*Sphenostylis stenocarpa*). *Transactions of the ASAE*, 46(6):1633-1636.
- KAYIŞOĞLU, B., KOCABIYIK, H. Ve AKDEMİR, B., 2004. The Effect of Moisture Content on Thermal Conductivities of Some Cereal Grains. *Journal of Cereal Science*, 39: 147-150.
- KOCABIYIK, H. ve TEZER, D., 2007. Kolzanın Isısal Özelliklerinin Belirlenmesi. *Tekirdağ Ziraat Fakóltesi Dergisi*, 4(1):65-70.
- KOLSARICI, Ö., GÜR, A., BAŐALMA, D., KAYA, M. D. ve İŐLER, M., 2005. Yağlı Tohumlu Bitkiler Üretimi. VI. Türkiye Ziraat Mühendisliği Teknik Kongresi Kitabı, I. cilt, Ankara.

- MAHAPATRA, A.K, LAN, Y. ve NGUYEN, C., 2006. Thermal Properties of Rice Flours. ASABE Meeting Presentation, Paper Number: 066112, Oregon, USA.
- McCURY, T. A., 1968. The Development of a Numerical Technique for Determining Thermal Diffusivity Utilizing Data Obtained Through the use of a Refined Line Source Method. Advanced Project Report. Auburn University.
- MOHSENIN, N. N., 1980. Thermal properties of Food and Agricultural Materials. Gordon and Breach Science Publishers Inc. ISBN 0 677054505. New York. 407s
- NIX, G.H., LOWERY, G. W., VACHON, R.I. ve TANGER, G. E., 1967. Direct Determination of Thermal Diffusivity and Conductivity with a Refined Line-Source Technique. Progress in Aeronautics and Astronautics: Thermophysics of Spacecraft and Planetary Bodies, 20:865-878. Academic Pres, NewYork.
- RAZAVI, S. M. A. ve TAGHIZADEH, M., 2007. The Specific Heat of Pistachio Nuts as Affected by Moisture Content, Temperature and Variety. Journal of Food Engineering, 79:158-167.
- SABAPATHY, N. D. ve TABİL, L. G., 2004. Thermal Properties of Kabuli Type Chickpea. ASAE/CSAE Meeting Presentation, Paper Number:046128, 1-4 August, Ontario, Canada.
- SHRIVASTAVA, M. ve DATTA, A.K., 1999. Determination of Specific Heat and Thermal Conductivity of Mushrooms. Journal of Food Engineering, 39:255-260.
- SINGH, K. K. ve GOSWAMI, T. K., 2000. Thermal Properties of Cumin Seed. Journal of Food Engineering, 45:181-187.
- STKEI, G., 1986. Mechanics of Agricultural Materials. Elsevier, ISBN 0-444-99523-4, Amsterdam. 486s.
- TABİL, L., 1999. Specific Heat of Agricultural and Food Materials. Resarch report, Department of Agricultural and Biosource Enginnering, University of Saskatchewan, Canada.
- TANSAKUL, A. ve CHAISAWANG, P., 2006. Thermophysical Properties of Coconut Milk. Journal of Food Engineering, 73:276-280.
- TUİK, 2008. Tarımsal Üretim. Türkiye İstatistik Kurumu. ([www.tuik.gov.tr](http://www.tuik.gov.tr))



TUNÇ, M., 2000. Isı Transferi. Doğa yayıncılık, Teknik Kitaplar No:1, İstanbul.  
321s.

YANG, W., SOKHANSANJ, S., TANG, J. ve WINTER, P., 2002. Determination of  
Thermal Conductivity, Specific Heat and Thermal Diffusivity of Borage Seeds.  
Biosystems Engineering, 82(2), 169-176.

## **ÖZGEÇMİŞ**

1970 yılında Adana'da doğdum. İlk, orta ve lise öğrenimimi Adana'da tamamladım. 1988 yılında Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Gıda Teknolojisi Bölümünü kazanarak lisans eğitimime başladım. 1992 yılında lisans eğitimimi tamamladım. 1995 yılından bu yana sınıf öğretmeni olarak görev yapmaktayım. Evli ve iki çocuk annesiyim.