

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ÖZDİRENÇ ISITMA SİSTEMİ TASARIMI VE  
FARKLI ÇÖZÜNERİ KONSANTRASYONU İLE  
VOLTAJ UYGULAMASININ ÖZDİRENÇ ISITMAYA ETKİSİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Pınar ERKEK**

**Anabilim Dalı: GIDA MÜHENDİSLİĞİ**

**Programı: GIDA MÜHENDİSLİĞİ**

**ŞUBAT 2006**

**ÖZDİRENÇ ISITMA SİSTEMİ TASARIMI VE  
FARKLI ÇÖZÜNERİ KONSANTRASYONU İLE  
VOLTAJ UYGULAMASININ ÖZDİRENÇ ISITMAYA ETKİSİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Pınar ERKEK  
(506011289)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 19 Aralık 2005  
Tezin Savunulduğu Tarih : 3 Ocak 2006**

**Tez Danışmanı : Prof.Dr. Y.Onur DEVRES  
Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. Özgül EVRANUZ  
Yrd.Doç.Dr. Selçuk PAKER**

**ŞUBAT 2006**

## **ÖNSÖZ**

Tez çalışma konumun belirlenmesinden tamamlanmasına kadar geçen süre içinde desteğini ve katkısını esirgemeyen, fikirleri ile çalışmamın ilerlemesine katkı sağlayan değerli hocam Sayın Prof. Dr. Y.Onur Devres'e, özdirenc ısıtma düzeneğinin kurulumunda ve karşılaştığım teknik sorunlarda çalışmama destek veren Sayın Doç. Dr. Selçuk Parker'e, çalışmam boyunca yardımlarından dolayı Ar. Gör. Gökhan Bingöl'e teşekkürlerimi sunarım.

Eğitim hayatımın tüm aşamalarında maddi, madevi desteğini esirgemeyen ve çalışma konumda karşılaştığım teknik konularda destek sağlayan babama, sevgili anneme ve kardeşime teşekkürü borç bilirim.

**ŞUBAT 2006**

**Pınar ERKEK**

## İÇİNDEKİLER

<b>ÖNSÖZ</b>	<b>ii</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b>	<b>iii</b>
<b>KISALTMALAR</b>	<b>v</b>
<b>TABLO LİSTESİ</b>	<b>vi</b>
<b>ŞEKİL LİSTESİ</b>	<b>vii</b>
<b>SEMBOL LİSTESİ</b>	<b>ix</b>
<b>ÖZET</b>	<b>x</b>
<b>SUMMARY</b>	<b>xiii</b>
<b>1. GİRİŞ</b>	<b>1</b>
<b>2. LİTERATÜR ÖZETİ</b>	<b>4</b>
2.1. Özdirenç Isıtmanın Tanımı ve Çalışma Prensibi	4
2.1.1. Özdirenç Isıtmanın Tanımı	4
2.1.2. Özdirenç Isıtmanın Çalışma Prensibi	4
2.1.2.1. Katı Gıdaların Özdirenç Isıtılması	6
2.1.2.2. Katı-Sıvı Gıdaların Özdirenç Isıtılması	7
2.1.3. Kritik İşlem Parametreleri	10
2.1.3.1. Sıcaklık-Süre	10
2.1.3.2. Frekans ve Dalga Şekli	11
2.1.3.3. Ekipman Tasarımı	12
2.1.3.4. Gıdanın Özellikleri	12
2.2. Gıdalar ve Gıda Bileşenleri Üzerinde Özdirenç Isıtmanın Etkileri	14
2.2.1. Mikroorganizmalar ve Enzimlere Etkileri	14
2.2.2. Duyusal Kaliteye Etkileri	15
2.3. Özdirenç Isıtmanın Uygulama Alanları ve Avantajları	16
2.3.1. Özdirenç Isıtmanın Uygulama Alanları	16
2.3.2. Özdirenç Isıtmanın Avantajları	18
2.3.3. Özdirenç Isıtma ve Elektriksel Isıtma Yöntemlerinin Karşılaştırılması	19
2.3.4. Özdirenç Isıtmanın Dezavantajları	21
<b>3. MATERYAL VE METOD</b>	<b>22</b>
3.1. Materyal	22
3.2. Metod	24
3.2.1. Deney Düzenineğinin Hazırlanması	24
3.2.2. Numunelerin Hazırlanması	26

<b>4. BULGULAR VE TARTIŞMA</b>	<b>27</b>
4.1. Voltajın Özdirenç Isıtmaya Etkisi	27
4.2. Elektriksel İletkenliğin Özdirenç Isıtmaya Etkisi	32
4.3. Katı Miktarının Özdirenç Isıtmaya Etkisi	35
4.4. Elektriksel Ölçümlerle Sıcaklığın Belirlenmesi	38
<b>5. SONUÇ</b>	<b>40</b>
<b>KAYNAKLAR</b>	<b>42</b>
<b>EKLER</b>	<b>45</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ</b>	<b>63</b>

## **KISALTMALAR**

<b>HTST</b>	: High Temperature Short Time
<b>UHT</b>	: Ultra High Temperature
<b>T<sub>h</sub></b>	: Hesaplanan Sıcaklık
<b>T<sub>ö</sub></b>	: Ölçülen Sıcaklık

## TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
<b>Tablo 2.1</b> : Konvansiyonel ve öz direnç ısıtma için <i>Zygosaccharomyces bailii</i> için D ve z Değerleri.....	15
<b>Tablo 2.2</b> : Elektriksel ısıtma frekanslarının karşılaştırılması.....	21

## ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1 : Özdirenç ısıtma işleminin şematik diyagramı.....	5
Şekil 2.2 : Akım ve voltajın çok yüksek değerleri arasında özdirenç ısıtma işlemi için kabul edilebilir iletkenlik bölgeleri.....	5
Şekil 2.3 : Düşük elektriksel iletkenlikte katının etrafındaki sıvıda yüksek ve düşük ısı oluşumu bölgeleri.....	8
Şekil 2.4 : Sıvı içerisinde bulunan gıda taneciklerinin konvansiyonel (a) ve elektriksel (b) ısınma davranışı.....	10
Şekil 3.1 : Özdirenç ısıtma deney düzeneği ekipman yerleşimi.....	23
Şekil 3.2 : Teflon silindir üzerinde K tipi ısıleşlerin yerleşimi.....	24
Şekil 4.1 : 200 V'da %3 tuz çözeltisinde beş noktadan alınan sıcaklık ölçümleri.....	27
Şekil 4.2 : %1 tuz çözeltisinde farklı voltajların ısınma hızına etkisi.....	28
Şekil 4.3 : %3 tuz çözeltisinde farklı voltajların ısınma hızına etkisi.....	28
Şekil 4.4 : %5 tuz çözeltisinde farklı voltajların ısınma hızına etkisi.....	29
Şekil 4.5 : Portakal nektarına uygulanan 130 V ve 200 V'un ısınma hızına etkisi.....	30
Şekil 4.6 : Bozaya uygulanan 130 V ve 200 V'un ısınma hızına etkisi.....	31
Şekil 4.7 : 60 V'da elektriksel iletkenliğin sıcaklığa ve tuzluluğa bağlı değişimi.....	32
Şekil 4.8 : 130 V'da elektriksel iletkenliğin sıcaklığa ve tuzluluğa bağlı değişimi.....	33
Şekil 4.9 : 200 V'da elektriksel iletkenliğin sıcaklığa ve tuzluluğa bağlı değişimi.....	33
Şekil 4.10 : Şeker miktarının ısınma hızına etkisi.....	34
Şekil 4.11 : 130 V'da %1 tuz çözeltisindeki bezelye miktarına bağlı ısınma hızı.....	35
Şekil 4.12 : 200 V'da %1 tuz çözeltisindeki bezelye miktarına bağlı ısınma hızı.....	36
Şekil 4.13 : 130 V'da %3 tuz çözeltisindeki bezelye miktarına bağlı ısınma hızı.....	36
Şekil 4.14 : 200 V'da %3 tuz çözeltisindeki bezelye miktarına bağlı ısınma hızı.....	37
Şekil 4.15 : 60 V'da %1 tuz çözeltisi için ölçülen ve hesaplanan sıcaklık değerleri.....	38
Şekil 4.16 : 200 V'da %5 tuz çözeltisi için ölçülen ve hesaplanan sıcaklık değerleri.....	39
Şekil A.1 : 60 V'da su için elektriksel değişim.....	45
Şekil A.2 : 60 V'da %1 tuz çözeltisindeki elektriksel değişim.....	45
Şekil A.3 : 60 V'da %3 tuz çözeltisindeki elektriksel değişim.....	46
Şekil A.4 : 60 V'da %5 tuz çözeltisindeki elektriksel değişim.....	46
Şekil A.5 : 130 V'da su için elektriksel değişim.....	47



<b>Şekil A.6</b>	: 130 V'da %1 tuz çözeltisindeki elektriksel değişim.....	47
<b>Şekil A.7</b>	: 130 V'da %3 tuz çözeltisindeki elektriksel değişim.....	48
<b>Şekil A.8</b>	: 130 V'da %5 tuz çözeltisindeki elektriksel değişim.....	48
<b>Şekil A.9</b>	: 200 V'da su için elektriksel değişim.....	49
<b>Şekil A.10</b>	: 200 V'da %1 tuz çözeltisindeki elektriksel değişim.....	49
<b>Şekil A.11</b>	: 200 V'da %3 tuz çözeltisindeki elektriksel değişim.....	50
<b>Şekil A.12</b>	: 200 V'da %5 tuz çözeltisindeki elektriksel değişim.....	50
<b>Şekil A.13</b>	: 130 V'da %1 tuz çözeltisi ve %5 w/w bezelye karışımındaki elektriksel değişim.....	51
<b>Şekil A.14</b>	: 130 V'da %1 tuz çözeltisi ve %10 w/w bezelye karışımındaki elektriksel değişim.....	51
<b>Şekil A.15</b>	: 130 V'da %3 tuz çözeltisi ve %5w/w bezelye karışımındaki elektriksel değişim.....	52
<b>Şekil A.16</b>	: 130 V'da %3 tuz çözeltisi ve %10w/w bezelye karışımındaki elektriksel değişim.....	52
<b>Şekil A.17</b>	: 200 V'da %1 tuz çözeltisi ve %5w/w bezelye karışımındaki elektriksel değişim.....	53
<b>Şekil A.18</b>	: 200 V'da %1 tuz çözeltisi ve %10w/w bezelye karışımındaki elektriksel değişim.....	53
<b>Şekil A.19</b>	: 200 V'da %3 tuz çözeltisi ve %5w/w bezelye karışımındaki elektriksel değişim.....	54
<b>Şekil A.20</b>	: 200 V'da %3 tuz çözeltisi ve %10w/w bezelye karışımındaki elektriksel değişim.....	54
<b>Şekil A.21</b>	: 130 V'da portakal nektarındaki elektriksel değişim.....	55
<b>Şekil A.22</b>	: 200 V'da portakal nektarındaki elektriksel değişim.....	55
<b>Şekil A.23</b>	: 130 V'da bozadaki elektriksel değişim.....	56
<b>Şekil A.24</b>	: 200 V'da bozadaki elektriksel değişim.....	56
<b>Şekil B.1</b>	: 60 V'da farklı tuz çözeltilerinin ısınma hızına etkisi.....	57
<b>Şekil B.2</b>	: 130 V'da farklı tuz çözeltilerinin ısınma hızına etkisi.....	57
<b>Şekil B.3</b>	: 200 V'da farklı tuz çözeltilerinin ısınma hızına etkisi.....	58
<b>Şekil C.1</b>	: 60 V'da %3 tuz çözeltisinde ölçülen ve hesaplanan sıcaklık değerleri.....	59
<b>Şekil C.2</b>	: 60 V'da %5 tuz çözeltisinde ölçülen ve hesaplanan sıcaklık değerleri.....	59
<b>Şekil C.3</b>	: 130 V'da %1 tuz çözeltisinde ölçülen ve hesaplanan sıcaklık değerleri.....	60
<b>Şekil C.4</b>	: 130V'da %3 tuz çözeltisinde ölçülen ve hesaplanan sıcaklık değerleri.....	60
<b>Şekil C.5</b>	: 130 V'da %5 tuz çözeltisinde ölçülen ve hesaplanan sıcaklık değerleri.....	61
<b>Şekil C.6</b>	: 200 V'da %1 tuz çözeltisinde ölçülen ve hesaplanan sıcaklık değerleri.....	61
<b>Şekil C.7</b>	: 200 V'da %5 tuz çözeltisinde ölçülen ve hesaplanan sıcaklık değerleri.....	62

## SEMBOL LİSTESİ

<b>A</b>	: Elektrotların yüzey alanı (cm <sup>2</sup> )
<b>C<sub>p</sub></b>	: Spesifik ısı kapasitesi (kJ/kg <sup>-1</sup> °C)
<b>E</b>	: Bölgesel elektrik alan kuvveti (Vm <sup>-1</sup> )
<b>I</b>	: Akım (amper)
<b>L</b>	: Elektrotlar arası uzaklık (cm)
<b>m</b>	: Kütle (kg)
<b>P</b>	: Harcanan güç (W)
<b>V</b>	: Voltaj (V)
<b>T</b>	: Sıcaklık (°C)
<b>η</b>	: Oransal sabit (°C <sup>-1</sup> )
<b>σ</b>	: Elektriksel iletkenlik (S.cm <sup>-1</sup> )
<b>σ<sub>25</sub></b>	: 25 °C'de elektriksel iletkenlik (S.cm <sup>-1</sup> )
<b>σ<sub>T</sub></b>	: T °C'de elektriksel iletkenlik (S.cm <sup>-1</sup> )
<b>Δt</b>	: Zaman aralığı (sn)

# ÖZDİRENÇ ISITMA SİSTEMİ TASARIMI VE FARKLI ÇÖZÜNEN KONSANTRASYONU İLE VOLTAJ UYGULAMASININ ÖZDİRENÇ ISITMAYA ETKİSİ

## ÖZET

Konvansiyonel ısıtma metodlarıyla, tanecik içeren gıdaların istenen kalitede yüksek sıcaklığa kısa sürede ulaşılması mümkün değildir. Her tanecik merkezinin işlendiğinden emin olmak için sıvı faz gereğinden fazla işlenmektedir. Bunun için özdirenç ısıtma etkili bir çözüm sunmaktadır. İletken gıdadan elektrik akımı geçirilerek gıdanın içerisinde hemen ısı üretilebilmektedir. Gıdaya ısının nüfuzu oldukça hızlıdır. Özdirenç ısıtmada, gıdanın besin değeri, tat, aroma ve yapısal bileşimi yüksek seviyede korunmaktadır. Özdirenç ısıtmanın etkinliği gıdanın elektriksel iletkenliğine, uygulanan voltaja, frekansa, tanecik konsantrasyonuna, tanecik boyutuna ve gıdanın bileşimine bağlıdır.

Bu çalışmada özdirenç ısıtma düzeneğinin tasarlanması ve kurulması, özdirenç ısıtma sırasında farklı voltajlarda, farklı tuz konsantrasyonlarında ki sulu çözeltilerin ve bazı gıda ürünlerinin (bezelye-tuz çözeltisi karışımı, portakal nektarı ve boza) sıcaklığının, akımın, voltajın ve elektrik sarfiyatının zamanla değişiminin gözlenmesi ve yorumlanması amaçlanmıştır.

Suda ve %1, %3 ve %5'lik tuz çözeltilerine 60 V, 130 V ve 200V'luk başlangıç gerilim uygulanarak özdirenç ısıtma haznesinde eşit uzaklıktaki beş farklı noktadan sıcaklık ölçümü alınmış ve tekdüze ısınma sağlandığından ortalama sıcaklık değerleri kullanılmıştır. Yapılan ölçümlerde tuz konsantrasyonunun artmasıyla ısınma süresinin kısaldığı görülmüştür. Aynı zamanda voltajın artırılması tuz konsantrasyonunun artışıyla birleşince özdirenç ısıtma süresinin daha da kısaldığı belirlenmiştir. %1 ve %3 tuz çözeltilerinin 80°C'ye ulaşma süreleri arasındaki fark %3 ve %5 tuz çözeltilerinin arasındaki farktan daha fazladır. Gıdanın elektriksel iletkenliği arttıkça ısınma süresi kısılmasına rağmen, bu sonuçlar ısınma süresinin kısılmasının da bir sınırı olduğunun göstergesidir.

130V ve 200 V gerilimde %1 ve %3 tuz çözeltilerinde %0, %5 w/w ve %10 w/w oranında bezelye ilave edilerek yapılan çalışmalarda %1 tuz konsantrasyonundaki çalışmada bezelye miktarı arttıkça ısınma hızının yavaşladığı görülmüştür. Buna karşın tuz konsantrasyonunun yükselmesiyle aradaki fark hemen hemen yok olmuştur. %1 tuz çözeltisinde toplam elektriksel iletkenlik %3 tuz çözeltisine kıyasla daha düşük olduğundan gıda sistemi daha uzun süreye ihtiyaç duymuştur. Tanecik konsantrasyonu arttıkça elektriksel iletkenlik düştüğünden hedef sıcaklığa ulaşma süresi uzamıştır.

200 V gerilimde %1 tuz çözeltisine % 5 şeker ilavesiyle, %1 tuz çözeltisinin ısınma süreleri arasındaki fark gözlenmiş ve şeker ilavesinin ısınma süresinin uzamasına neden olduğu görülmüştür. %5 oranında şeker içeren suda ve %5 şeker, %5w/w elma tanecikleri (5 x 5 x 5 mm) içeren suda yapılan çalışmalarda elektriksel iletkenliklerinin çok düşük olmasından ve işlem sırasında hiç değişmemesinden dolayı oldukça uzun sürmüştür. Elektriksel iletkenliğin yüksek olduğu %1 tuz çözeltisinde akım, şeker taneciklerini atlayıp geçmektedir ve kendini çevreleyen ortamdan daha yavaş ısındığından toplam gıdanın ısınma hızının yavaşlamasına neden olmuştur.

130 V ve 200 V gerilimde portakal nektarı ve bozada yapılan çalışmalarda elektriksel iletkenliğin düşük olduğu ve sıcaklık artışıyla çok yavaş değiştiği görülmüştür. Portakal nektarında, 200 V gerilim uygulaması gıda sisteminin yaklaşık 2.5 kat daha hızlı ısınmasını sağlamıştır. Boza çalışmasında ise 200 V gerilimde yine yaklaşık 2.5 kat daha hızlı ısındığı görülmüştür. Gıda bileşimine bağlı olarak portakal nektarının ısınma hızı, bozadan daha hızlı gerçekleşmiştir.

Özdirenç ısıtma çalışmasında farklı faktörlerin ısınma hızını nasıl etkilediğinin belirlenmesiyle birlikte voltaj, akım ve elektrik tüketiminin nasıl değiştiği grafiksel olarak ortaya konmuştur. Elektriksel iletkenliği yüksek olan gıda sistemlerinde yüksek voltajda (130 V-200V) geçen akımın çok yüksek olduğu ve ısınmayla birlikte hızla yükseldiği görülmüştür. Aynı zamanda ısınma süresinin kısa olması hedef sıcaklığa ulaşmak için harcanan elektrik tüketimini azaltmıştır. Elektriksel verilerle güç hesaplanarak, ısı hesaplanmasından o andaki sıcaklık değerlerine ulaşılmıştır. Ölçülen ve hesaplanan değerlerin kısa süreli işlemlerde birbirine çok yakın olduğu, uzun süreli ısıtma işlemlerinde ise farkın zamanla arttığı belirlenmiştir.

# **OHMIC HEATING SYSTEM DESIGN AND EFFECT OF DIFFERENT SOLUTION CONCENTRATION AND VOLTAGE APPLICATION TO OHMIC HEATING**

## **SUMMARY**

Conventional heating methods have not been implemented for high temperature short time (HTST) processes to achieve desirable quality attributes in food containing particulates. The liquid has been overprocessed to ensure processing of all particle centers. Therefore ohmic heating has proven to be effective solution. By applying electric current through conducting foods, heat is generated instantly inside the food. In the ohmic heating, food nutrition value, taste, flavor and structural composition has been highly protected. The effectiveness of ohmic heating is related to applied voltage, current, particle concentration, particle size, food composition etc.

The aim of this study is to completion of ohmic heating design, observing and explanation of temperature, transmission of current, applying voltage and electrical consumption change in various voltages and various salt concentrations in water solution and some food products (peas-salt solution, orange nectar and boza).

By applying 60, 130 and 200 beginning voltage to water, %1, %3 and %5 salt solutions, temperature measurement has been taken in five different points being equal distance. The heating rate was found to increase as salt concentration increased. In the same time, it is observed that voltage increase with salt quantity increase has decreased heating time. It was shown that the difference of %1 and %3 salt concentrations to reach 80°C is more than the difference of %3 and %5 salt concentrations. When the food electrical conductivity has increased, although heating time decrease, it is observed that there is the limitation of heating time.

In study of 130 and 200 voltage for %0, %5 and %10 w/w peas concentration inside %1 and %3 salt concentration, it is shown that as peas concentration increased, heating time increased. In the contrast, salt concentration has increased difference

has occurred very few. Due to the fact that overall electrical conductivity for %1 salt concentration was lower than %3 salt concentrations, food system has needed more heating time. When particles concentration increased, because of decrease of overall electrical conductivity for all food system, the heating time occurred longer.

In the 200 V, it was observed difference of %1 salt concentration and %1 salt concentration adding %5 sugar. It was showed that sugar addition increased heating time. The studies of %5 sugar concentration and %5 sugar, %5 apple particles (5 x 5 x 5 mm) solutions indicate that heating time was long because overall electrical conductivity values was very low and not change with temperature increase. Electrical current in %1 salt concentration solution that is high electrical conductivity value may bypass the sugar globule. Because it heated slower than its surroundings media, it caused that food heating rate slowed.

The experiments in orange nectar and boza in 130 V and 200 V showed that electrical conductivity was very low and changed little with temperature increase. In orange nectar, applying 200 V maintained higher heating rate that in 130 V. In boza study, same result was obtained. However, heating rate of orange nectar was faster than boza studies because of food composition.

The change of voltage, current, electrical consumption was showed by diagrams. In food system being high electrical conductivity in high voltage (130 V and 200 V), it is found that passing current through food was high and increase fast with temperature increase. In the same time, short heating time decrease electrical consumption. With electrical measurement, consumed power was calculated and with heat equation, at that moment temperature was found. Measured and calculated temperature values were near at short time processes. However, the difference of these values increased with time in the long time heating.

## 1. GİRİŞ

Özdirenç ısıtma, elektriksel direnç görevini üstlenen gıdadan elektrik akımının geçirilmesi ile ısıtılması prensibine dayanmaktadır. Isı gıdanın içinde doğrudan üretilmektedir. Bu uygulama taneciklerin ve sıvının aynı hızda ısınması ile yüksek miktarlardaki katı karışımların çok daha hızlı ısınmasını sağlamaktadır (Sastri ve Barach, 2000).

Tanecikli gıdaların akan bir sistemde ısıl işlenmesinin özdirenç ısıtma uygulamasıyla gerçekleşmesi son yıllarda uygulamada yer bulmaya başlamıştır. Isı gıdanın içerisinde oluşturulduğundan, tanecikli gıdaların HTST ısıl işlemlerine kolaylık sağlamaktadır. Tanecikler sıvıdan ya daha hızlı ya da aynı hızda ısıtılabilir. Böylece katılar istenen kısa sürede en iyi ürün kalitesini elde etmek için başarılı olarak işlenebilmektedirler (Fryer ve diğ., 1993).

Elektrik Konseyi Araştırma Merkezinde (Capenhurst, İngiltere) geliştirilen ve APV Baker tarafından lisanslı olan bu teknik, ticari proseslerde kullanım olanağı da bulmaktadır. Özdirenç ısıtmanın muhtemel kullanım alanları oldukça geniştir. Bunlar arasında fermantasyon, sterilizasyon, pastörizasyon, buharlaştırma, dehidrasyon, ekstraksiyon ve haşlama işlemi gibi uygulama alanları sayılabilir. Japonya ve İngiltere’de meyvelerin işlenmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Amerika’daki ticari uygulamalarından biri, sıvı yumurtaların işlenmesinde özdirenç ısıtmanın kullanılmasıdır (Castro ve diğ., 2003).

Özdirenç ısıtmanın temel avantajı, katı partikülleri içeren gıdanın tekdüze ve hızlı olarak ısıtılması olmaktadır. Konvansiyonel ısıtma işlemleriyle karşılaştırıldığında ürüne verilen toplam ısının gereksiz ve hatalı kullanımının azaltılması sağlanmaktadır. Konvansiyonel sistemlerde katı gıdanın düşük ısıl iletkenliğinden dolayı gıdanın merkezine ısının nüfuzu oldukça yavaştır. Özdirenç ısıtmada ise katı ve sıvıdan oluşan gıda sistemlerinde katı fazın düşük elektriksel direncinden dolayı daha hızlı ısınmaktadır. Böylece taneciğin dış yüzey sıcaklığının fazla yükselmesine ve sıvı fazda ısıl yıkımlara neden olmaksızın UHT koşulları altında tanecikli

gıdaların ısı sterilizasyonunda başarıyla kullanılabilir (Fellows, 2000; Leizeron ve Shimani, 2005).

Özdirenç ısıtma konvansiyonel ısıtma sistemlerine göre daha yeni bir işlem olduğundan konu ile ilgili birçok araştırma yapılmaktadır. Zareifard ve diğ. (2003) iki fazlı gıda sistemlerinin elektriksel iletkenliği ve özdirenç ısınma davranışı üzerine yaptıkları çalışmada, düşük elektriksel iletkenliğe sahip gıda sistemlerinin daha uzun sürede ısındığı görülmüştür. Elektriksel iletkenliğin sıcaklıkla arttığı, tanecik boyutu ve konsantrasyonu arttıkça ise azaldığı sonucuna ulaşılmıştır.

Fryer ve diğ. (1993), katı ve sıvı karışımların özdirenç ısıtılmasıyla ısı oluşumu ve taşınım etkileri üzerine yaptığı çalışmada ısınma hızının elektrik alan dağılımına önemli derecede bağlı olduğu ve elektrik yalıtımının elektrik alanı bozduğu görülmüştür. Sıvıda oluşan sıcaklık farklılığının katı viskozitesinin artmasıyla arttığı, viskozitenin azalmasının sıvıda taşınımı arttırdığı ve sıcaklık farklılığının azaltma davranışında olduğunu ortaya konulmuştur.

Castro ve diğ. (2003), çilek ürünlerinin elektriksel iletkenliği üzerinde şeker, katı miktarı ve elektrik alan kuvvetinin etkisini değerlendirmiştir. Bu çalışmada, elektriksel iletkenliğin sıcaklıkla arttığı, katı miktarıyla azaldığı görülmüştür. Katı miktarıyla elektriksel iletkenlikteki azalma büyük boyutlardaki tanecikli gıdalarda daha önemli miktarlarda olmuştur. Elektriksel iletkenliğin değeri yüksek şeker miktarlarında oldukça düşük bulunmuştur.

Lima ve diğ. (1999), turp dokusundaki elektriksel iletkenlik-sıcaklık profili üzerinde frekans ve dalga şeklinin etkisi üzerine yaptıkları çalışmalarında, turbun elektriksel iletkenliğinin, uygulanan voltajın frekansı ve dalga şeklinin bir fonksiyonu olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Isınma hızı frekans azaldıkça azalmaktadır. Ayrıca kare dalga şekli için elektriksel iletkenlik, testere ve sinüs dalga şeklinde daha düşük olduğu görülmüştür.

Sensoy ve Sastry (2003), mantarların özdirenç ısıtma ile haşlanması üzerine yürüttüğü çalışmada, konvansiyonel sistemlerdeki gibi çok fazla su gerektirmeden daha hızlı ısıtma sağlandığı görülmüştür. Özdirenç ısıtmanın kırkinci saniyesinde %40'lık ağırlık kaybına ulaşılmıştır. Kısa süreli özdirenç ısıtmadan sonra bekleme süresi artması ağırlık kaybını artırmaktadır.



Bu çalışmada, özdirenç ısıtma düzeneğinin tasarlanması ve çalışır hale getirilmesi; farklı voltajda, farklı tuz konsantrasyonundaki sulu çözeltilerin ve gıda ürünlerinin (bezelye, portakal nektarı ve boza) zdiren ısınma davranışının gözlenmesi ve parametrelerin etkisinin incelenmesi amaçlanmaktadır.

## **2. LİTERATÜR ÖZETİ**

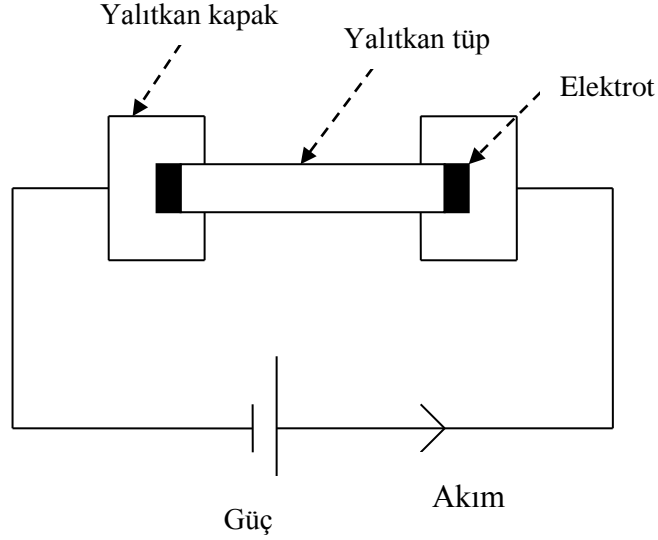
### **2.1. Özdirenç Isıtmanın Tanımı ve Çalışma Prensibi**

#### **2.1.1. Özdirenç Isıtmanın Tanımı**

Özdirenç ısıtma, gıdanın ısıtılması temel amacıyla gıdanın içerisinden elektrik akımının geçirilmesine dayanan bir proses olarak tanımlanmaktadır. Elektrik enerjisinin ısı enerjisiye dönüşümünden dolayı gıdada sıcaklık artışı görülmektedir. Özdirenç ısıtma, direnç ısıtma ve elektriksel ısıtma olarak da adlandırılmaktadır (Castro ve diğ., 2003).

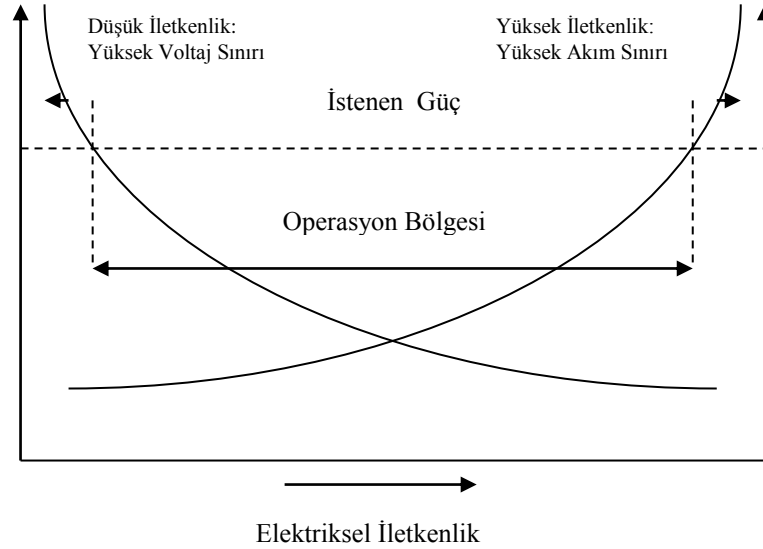
#### **2.1.2. Özdirenç Isıtmanın Çalışma Prensibi**

Özdirenç ısıtmanın çalışma prensibi, Şekil 2.1’de gösterildiği gibi oldukça basittir. Özdirenç ısıtma, elektrik direnci görevini üstlenen sıvı-katı gıda sisteminden alternatif elektrik akımının geçişine dayanmaktadır. Alternatif akım voltajı ürünün her iki ucuna uygulanmaktadır. Isınma hızı, elektrik alanın karesiyle ve elektriksel iletkenlikle doğru orantılıdır. Elektrik alan kuvveti, elektrot boşluğu ve uygulanan voltaj ayarlanarak değiştirilebilmektedir. Buradaki en önemli faktör, ürünün elektriksel iletkenliği ve ürünün sıcaklıkla olan ilişkisidir. Elektriksel iletkenlik sıcaklık arttıkça artmaktadır. Sıcaklığın yükselişiyle özdirenç ısıtma daha etkili olmaktadır. İki faz arasında elektrik direnci ve bunun sıcaklığa göre değişimi farklılaştıkça sistemin ısınma karakteristikleri karmaşık bir hal almaktadır (Richardson, 2001; Field ve Howell, 1989).



**Şekil 2.1:** Özdirenç Isıtma İşleminin Şematik Diyagramı (Rahman, 1999)

Çok düşük elektriksel iletkenlik sınırında gıdanın direnci o kadar yüksek olur ki kabul edilebilir voltajı kullanarak istenen ısınma hızına ulaşmak mümkün olmaz. Buna karşın çok yüksek elektriksel iletkenlikte olası en yüksek akım yetersiz ısınma hızı üretecektir. Şekil 2.2’de maksimum akım ve voltaj ile belirlenen sınır değerleri arasında işlemler için olası bölgeler gösterilmektedir. Operasyon bölgesinin genişliği uygulamalara bağlıdır (De Alwis ve Fryer, 1992).



**Şekil 2.2:** Akım ve Voltajın Çok Yüksek Değerleri Arasında Özdirenç Isıtma İşlemi İçin Kabul Edilebilir İletkenlik Bölgeleri (De Alwis ve Fryer, 1992)

Gerilim gradyanı, özdirenç ısıtma tasarımına bağlı olarak akışa dik veya paralel olabilir. Voltaj, akış eksenine dik olarak uygulandığında merkezdeki ilk hareket eden bölge düşük sıcaklık ve büyük dirençten dolayı düşük akım yoğunluğunda olmaktadır. Bu yüzden bu koşullar altında tekdüze olmayan durum oluşabilir. Voltaj akışa paralel uygulandığında ise merkezdeki madde daha az ısı işlem görmektedir (Rahman, 1999).

### **2.1.2.1.Katı Gıdaların Özdirenç Isıtılması**

Hücre kırılması, doku büzülmesi, membran geçirgenliğinde değişimler, faz değişimi, dehidrasyon özdirenç ısıtma sırasında oluşmaktadır. Bu değişimlerin elektriksel iletkenlik üzerinde etkisi olmaktadır. Isıtma sırasında, hücre duvarı bileşenlerinin çözünmesi, hücre rijitliğinin kaybolmasının sonucu olarak gerçekleşmektedir. Bu değişimler elektriksel iletkenlikte artışa neden olabilmektedir. İç ve dış sıvının elektriksel iletkenliğine bağlı olarak bu yapılar, gıdanın elektriksel iletkenliğini artırmakta ya da azaltmaktadırlar (Palaniappan ve Sastry, 1991).

Patates ve havucun özdirenç ısıtılması için yapılan bir çalışmada gıda numunelerinin distile su, %0.2, %0.4 ve %0.8 NaCl çözeltileri içindeki elektriksel iletkenlik davranışları incelenmiştir. Düşük sıcaklıkta numunelerin elektriksel iletkenliğinin tuz konsantrasyonu ile ilgili olmadığı, ısıtma işlemi devam ettikçe numunelerin elektriksel iletkenliğinin tuz konsantrasyonu ile arttığı görülmüştür. Bu davranışın temel nedeninin test süresince numune ile konsantrasyon değişiminin etkileşimi olduğu belirtilmiştir (Palaniappan ve Sastry, 1991).

60 V/cm voltaj gradyanında katı gıdaların (patates ve havuç) elektriksel iletkenliğinin özdirenç ısıtmaya etkisinin incelendiği deneysel çalışmada, elektriksel iletkenliğin sıcaklıkla lineer arttığı görülmüştür. Su içerisine konulan sebze numunelerinde, tuz miktarının azaltılmasıyla elektriksel iletkenliği azaldığı görülmüştür. Yüksek elektriksel iletkenlikten dolayı gıdanın hızlı ısınması, işlem sırasında ürünün bekleme süresini azaltmak açısından yararlı olmaktadır. Gıdanın bileşimi veya diğer bileşenler önemli miktarda etkilenmeyecekse, elektriksel iletkenliğin ayarlanması düşünülebilmektedir (Palaniappan ve Sastry, 1991).

### 2.1.2.2 Katı-Sıvı Gıdaların Özdirenç Isıtılması

Özdirenç ısıtma, gıdaya doğrudan uygulanan elektriği kullanan bir tekniktir. Elektriği kullanarak yapılan ısıtma işlemi pahalı bir yöntem olmasına rağmen, katı tanecikleri içeren sıvı gıdaların, devamlı olarak ısıtma işleminin gerçekleşmesinin oldukça önemli avantajları vardır. Koşullar doğru olarak ayarlandığında katı ve sıvı faz arasındaki oluşacak farklılıklar azaltılarak aynı hızda ısınması sağlanmaktadır. Üründe elektriğin ısıya direk dönüşümü, mikrodalga ve radyofrekans yöntemlerinden çok daha etkindir (Lewis ve Heppell, 2000).

Saniyede yaklaşık 1°C'lik ısınma hızına sıvıda ulaşılabilir. Her iki fazda 90 saniye içerisinde 50°C'den yaklaşık 140°C olan sterilizasyon sıcaklığına çıkılabilir. Katı faz için ısınma hızı konvansiyonel ısı transferinde ulaşılabilenden çok daha yüksektir (Lewis ve Heppell, 2000).

Tüm gıdalar (katı ve sıvı) özdirenç ısıtmadan sonra steril olmaktadır. Malzemenin bazı kısımlarının gereğinden fazla işlenmesini minimize etmek için gıdanın mümkün olduğunca tekdüze olarak ısıtılması gerekmektedir. Taneciklerin ısınma hızı, tanecik boyutu, şekli ve elektrik alandaki hareketiyle her iki fazın elektriksel iletkenliğinin bir fonksiyonudur. Çok büyük tanecikler için bile oldukça hızlı ısınmanın gerçekleşmesi mümkündür. Uygulamalarda tanecikler sıvılardan daha hızlı ısınabilmektedir. Katı ve sıvı iletkenlikleri arasındaki herhangi bir farklılık her iki fazın ısınma hızı tahminini karmaşık hale sokmaktadır (Fryer ve diğ., 1993). İkili faz karışımı elektriksel olarak ısıtıldığında, her iki faz da aynı elektriksel dirence sahipse aynı hızda ısı üretecektir. Sıvı faz partiküllerden daha yüksek elektriksel iletkenlik gösterirse, statik koşullar altında ısıtma olduğunda partikülleri çevreleyen sıvıda tekdüze olmayan ısınma olmaktadır. Katı faz, sıvı fazdan daha düşük elektriksel iletkenliğe sahipse tanecik konsantrasyonu, hangi fazın daha hızlı ısınacağına kritik rol oynamaktadır. Tanecik konsantrasyonunun fazla olması durumunda katı faz daha hızlı ısınmaktadır. Buna karşın toplam ısınma daha yavaş gerçekleşmektedir (Rahman, 1999; Sastry ve Palaniappan, 1992).

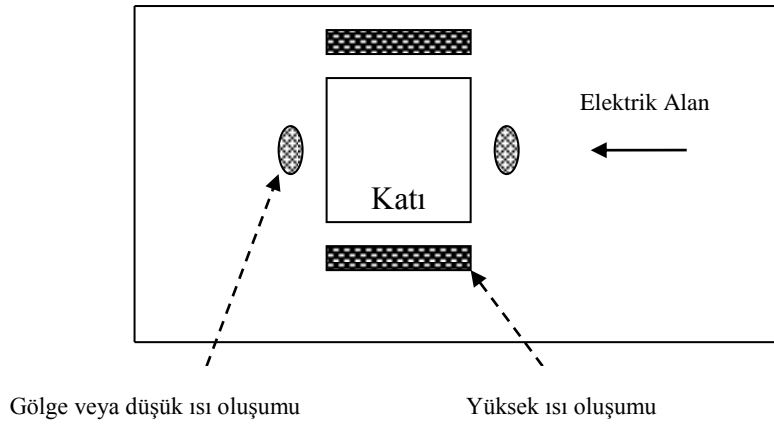
Çok fazla partikül içeren gıdaların özdirenç ısınmasında ısınma hızını etkileyen faktörler aşağıdaki gibidir (Rahman, 1999):

- Sıvı ve partiküllerin elektriksel iletkenliği,
- Tanecik şekli, konsantrasyon ve öz ısı,

- Sıvının viskozitesi,
- Elektrotlara ve diğer taneciklere yönelme.

İki fazlı karışımlarda sıvı fazın özdirenç ısıtılması, katılardaki kadar detaylı çalışılmamıştır. Sıvı tekdüze elektriksel iletkenliğe sahip olsa bile katıların varlığı yüksek ve düşük alan yoğunluğu bölgelerini oluşturmak için alanın yapısını bozmaktadır. Sıvı üzerinde taneciklerin etkisi, çok yüksek ve düşük elektriksel iletkenlikteki taneciklerin etrafında en fazla olmaktadır. Katı-sıvı karışımlarının özdirenç ısıtılması konusunda yapılan bir çalışmada, iki fazın elektriksel iletkenliğinin birbiriyle uyuşmamasının sıcaklık farklılığının oluşmasına neden olduğunu ortaya koymaktadır (Fryer ve diğ, 1993).

Elektrik alanının tekdüze olmayan yapısından dolayı özdirenç ısıtma sırasında tanecikler tekdüze ısınmaz. Düşük elektriksel iletkenliği olan taneciklerin etrafındaki sıvıda yüksek ve düşük ısı oluşum bölgeleri Şekil 2.3’de gösterilmektedir. Akım yoğunluğu, taneciklerin kenarlarında yüksek iken ön ve arka kısımlarında düşüktür. Bunun nedeni akımın katıyı atlayıp geçmek istemesidir (Rahman, 1999).



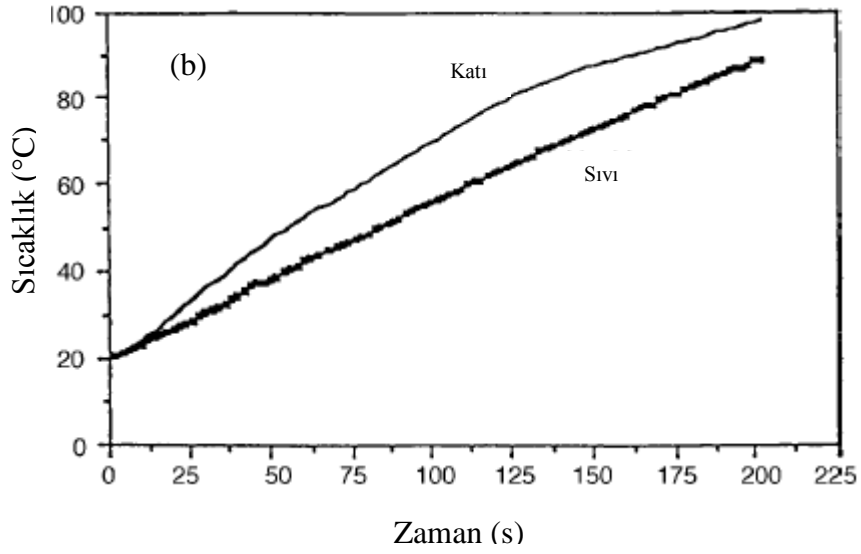
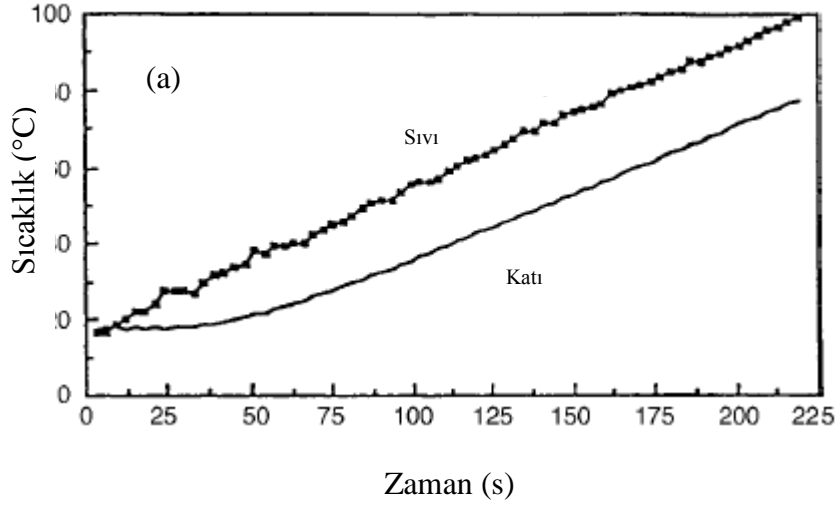
**Şekil 2.3:** Düşük Elektriksel İletkenlikte Katının Etrafındaki Sıvıda Yüksek ve Düşük Isı Oluşumu Bölgeleri (Rahman, 1999)

Tanecik şekli ve taneciklerin elektrik alana yönelimi, partikül içeren gıdaların toplam elektriksel iletkenliğinde önemli rol oynamaktadır. Karışımlar uzun ince tanecikler içerdiğinde elektriksel alana taneciklerin yönelimi, elektriksel özellikler üzerinde önemli bir etkiye sebep olmaktadır (Rahman, 1999).

Statik özdirenç ısıtıcı için yapılan bir çalışmada katı/sıvı oranındaki değişim her faz için ısınma hızında değişimlere neden olmaktadır. Başlangıçta partiküllerin ısınma hızı sıvının ısınma hızından daha yavaştır. Ürün sıcaklığı yükselince katının ısınma

hızı sıvının ısınma hızını geçmektedir. Bu durum düşük iletkenlikteki partikül konsantrasyonu yükselince gözlenmektedir. Yüksek elektriksel iletkenliğe sahip sıvılarda düşük elektriksel iletkenlik gösteren partiküller konsantrasyona bağlı olarak sıvıdan daha hızlı ya da daha yavaş ısınabilmektedir. Katı konsantrasyonunun fazla olması katı fazın daha hızlı ısınmasını garantilemektedir. Düşük elektriksel iletkenlik gösteren tanecikler yüksek elektriksel iletkenliğe sahip sıvılarda bulunduğu anda, akımın tanecikleri atlayıp geçmesinden dolayı sıvı faz taneciklerden daha hızlı ısınacaktır. Katı konsantrasyonu artırıldığında sıvı kısım azalacağından toplam akım önemli oranda katı faza yönelecektir. Böylelikle katılar sıvıdan daha hızlı ısınacaktır (Rahman, 1999).

İki fazlı gıda sistemi elektriksel olarak ısıtıldığında, katı ve sıvı aynı elektriksel dirence sahipse iki faz da aynı hızda ısınır. Şekil 2.4'de, sıvı içerisinde bulunan gıda partiküllerinin konvansiyonel ve elektriksel ısınması gösterilmektedir. Konvansiyonel ısıtmada partiküllerin düşük ısı iletkenliğinden dolayı sıvı fazdan daha yavaş ısınmaktadır. Özdirenç ısıtmada ise partiküller sıvı fazdan daha düşük elektriksel dirence sahip olduklarından daha hızlı ısınmaktadır. Bu durumun konvansiyonel olarak oluşması mümkün değildir. Özdirenç ısıtma teknolojisi kullanılarak katı-sıvı karışımlara HTST teknolojilerini uygulamak mümkün olmaktadır (Fellows, 2000).



**Şekil 2.4:** Sıvı İçerisinde Bulunan Gıda Taneciklerinin (a) Konvansiyonel ve (b) Elektriksel Isınma Davranışı (Fryer ve Li, 1993)

### 2.1.3 Kritik İşlem Parametreleri

#### 2.1.3.1 Sıcaklık-Süre

Özdirenç ısıtma temelde ısıya dayalı bir işlem olduğundan sıcaklık ve zaman kritik işlem parametreleridir. Özdirenç ısıtma iç enerji üretim işlemidir. Bu yüzden teorik olarak işlemden çok yüksek sıcaklık limitleri görülmez. Ürün bekletildiğinde, pastörizasyon sıcaklığının yükselmesi ile kaynamanın olması mümkündür. Konvansiyonel ısıtma işlemlerinde olduğu gibi temel problem minimum sıcaklık bölgelerinin görülmesidir. Temelde en soğuk bölgelerde işlemin sıcaklık ve süre gibi iki kritik faktörü vardır (Sastri ve Barach, 2000).



Isınma hızı elektrik alanın karesiyle ve elektriksel iletkenlikle doğru orantılıdır. Birçok gıdanın elektriksel iletkenliği sıcaklıkla beraber yükselmektedir (Khalaf ve Sastry, 1996).

Elektriksel iletkenliği, dolayısıyla ısınma süresini etkileyen önemli faktörlerden biri iyon miktarıdır. Etkili özdirenç ısıtma için tuz seviyesi ayarlanarak ürün formüle edilebilir. Bölüm 2.1.2’de anlatıldığı gibi elektrik alan kuvveti, elektrot aralığı veya uygulanan voltaj ile değiştirilebilmektedir. Sabit voltaj koşulları altında iletkenliğin artmasından dolayı ısınma hızı zamanla artmaktadır (Sastry ve Barach, 2000; Sastry ve Palaniappan, 1992).

### **2.1.3.2 Frekans ve Dalga Şekli**

Birçok özdirenç ısıtma araştırması 60 Hz veya 50 Hz frekansta çalışmaktadır. Konu ile ilgili yapılan bir çalışmada, gıdaların özdirenç ısıtılması sırasında farklı frekansların olaya etkisi araştırılmıştır. Bu konuda yapılan bir çalışmada 40 V/cm elektrik alan kuvvetinde 50 Hz’den 10.000 Hz’e kadar olan frekanslarda beyaz turbon özdirenç ısıtılması yapılmıştır. Bu çalışma sonucunda frekans yükseldikçe, 80°C’de ki son sıcaklığa ulaşmak için geçen sürenin uzadığı görülmüştür. Alternatif akımın frekansının gıdaların ısınma hızını etkilediği ve frekans yükseldikçe ısınma hızı yavaşladığı görülmüştür (Lima ve diğ., 1999).

Alternatif akımın dalga şekli de önemli bir faktördür. Özdirenç ısıtma sırasında alternatif akımın frekansı ve dalga şekli değiştirildiğinde, gıdaların ısı ve kütle transfer özelliklerinin değiştiği görülmüştür. Elektriksel iletkenlik dalga şekli değiştirildiğinde de etkilenmekte ve bu etkinin frekansın azaltılması ile yükseldiği görülmektedir. 4, 10, 25, 60 Hz frekanslarda yapılan çalışmalarda kare dalga şeklinde ki elektriksel iletkenliğin sinüs ve testere dalga şekillerinden daha düşük olduğu gözlenmiştir. Elektriksel iletkenlikte azalan bir değişim daha yavaş ısınma hızı ile sonuçlanmaktadır (Lima ve diğ., 1999).

4 Hz frekanstaki veri düşük elektrik alan kuvveti için olmasına rağmen, numunenin ilk ısınma hızı yüksektir. Bu durum alternatif akım frekansının numunenin ısınma hızını etkilediğini göstermektedir. 10, 25 ve 60 Hz frekanslar için kritik süre geçene kadar sıcaklıkta çok yavaş artış oluşmakta ve bundan sonra sıcaklık artmaktadır. Kritik süreden sonra ısınma hızı tüm frekanslar için aynıdır ve yaklaşık 60°C’de oluşmaktadır (Lima ve diğ., 1999).

Sonuç olarak frekans azaldıkça ısınma hızı yükselmektedir. Elektriksel iletkenlik üzerinde frekansın ve dalga şeklinin etkisi frekans azaldıkça artmaktadır (Lima ve diğ., 1999).

### **2.1.3.3 Ekipman Tasarımı**

Ekipman dizaynı da bir diğ er kritik faktördür. Elektrotların akışa dik veya paralel olarak yerleştirilmesi tasarım açısından önem taşımaktadır. Akışa paralel tasarımlarda cihaz genellikle yüksek voltaj ve düşük akımda çalışmaktadır. Ürün ısıtıcıdan geçtiğinde ısınmaktadır. Bu yüzden ısıtıcı boyunca elektriksel iletkenlik değişmektedir. Isıtıcıda toplam voltaj düşüşü uygulanan voltaja denk olmalıdır. Akışa dik olarak yerleştirilen elektrotlarda alan kuvveti sistem boyunca devamlıdır. Diğ er ısıl proseslerde olduğu gibi soğuk bölge yerlerinin tanımlanması gereklidir. Daha az iletken olan faz yeteri kadar yüksek konsantrasyondaysa sıvıdan daha hızlı ısınmaktadır (Sastry ve Barach, 2000).

### **2.1.3.4 Gıdanın Özellikleri**

Taneciklerin boyutu ve şeklinin doğru olarak seçimi birçok durumda oluşabilecek problemi çözecektir. Gıdanın bir bileşeninin ısınma hızı yavaşsa, sterilizasyonu garantilemek için gıdanın geri kalanı gereğinden fazla ısınabilir. Bu durumda ürün kalitesini düşürecek olacak ısıtma miktarı ticari sterilizasyon için gerekli olandan çok daha fazladır. Bu yüzden birçok durumda bir bileşenin çok fazla ısıtılması probleme neden olmayacaktır (Halden ve diğ., 1990).

Gıdadaki yağ miktarı da bir başka kritik faktördür. Yağ globülleri elektrik iletkenliğin çok yüksek olduğu bölgede bulunuyorsa akım yağ globüllerini atlayıp geçer. Elektriksel iletkenliğinin olmamasından dolayı kendisini çevreleyen ortamdan daha yavaş ısınır. Bu koşullar altında herhangi bir patojen gıdada bulunabilir. Yağ fazı gıdanın geri kalanından daha az işlenir. Yağ, şeker gibi iletken olmayan gıda bileşenleri için akımın akışı ısının üretimi için yeterli olmayacaktır. Düşük iletkenliği olan sıvıda çok iletken olan katıyı ısıtmak için özdirenç ısıtma çalışılıyorsa problemlerle karşılaşılır ve akım yoğunluğu yüksek olsa bile materyali hızlı ısıtmak için yeterli olmayacaktır. Bu yüzden özdirenç ısıtma tüm gıdalar için uygulanamayabilir (Sastry ve Barach, 2000).

Farklı konsantrasyonlarda NaCl çözeltileri ile hazırlanan farklı hidrokoloit solüsyonlarda (nişasta, pektin, carrageenan ve xanthan) tuzun etkisi üzerine yapılan

bir çalışmada düşük tuz konsantrasyonlarında (<%1) hidrokoloitlerin tipinin elektriksel iletkenlik ve sıcaklık değişimi üzerinde etkili olduğu görülmüştür. %1'den daha yüksek tuz konsantrasyonlarında tuzun etkisinin hidrokoloitlerin tipinden daha önemli olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Aynı çalışmada, sitrik asidin elektriksel iletkenlik ve ısınma davranışı üzerinde etkisinin çok az olduğu görülmüştür (Marcotte ve diğ., 2000).

Haşlama gibi diğer işlemler ile bazı gıdaların elektriksel iletkenliğini yükseltmek mümkün olup, böylelikle özdirenç ısıtma işlemi gerçekleştirilebilir (Halden ve diğ., 1990).

Statik özdirenç ısıtma çalışmalarında, birçok gıdanın elektriksel iletkenliğinin sıcaklıkla arttığı ve hızlı ısıtmanın elektriksel iletkenlikte artışa neden olduğu ortaya konmuştur. Bu durum özellikle devamlı voltaj uygulaması altında, akım ve güç sarfiyatının yükselmesinde görülmektedir (Sastry ve Barach, 2000).

Katı-sıvı karışımların viskozitesi düşük olduğunda sıcaklık farkını azaltmak için doğal taşınım oldukça etkin olarak çalışmaktadır. Viskozite yüksek olduğunda etkinliği kaybolmaktadır. Düşük viskoziteli yapılar için katı sıcaklığı, hızlı ısı transferinden dolayı sıvının sıcaklığına yakındır. Sıvıda oluşan sıcaklık farklılığı çözeltinin viskozitesinin yükselmesiyle artmaktadır. Viskozite azaldığında ise sıvılarda ısı iletimi artmakta ve sıcaklık farklılıkları azalmaktadır (Fryer ve diğ., 1993).

Yüksek viskoziteli sıvılar, düşük iletkenlikteki tanecikli yapıya enerjilerini hemen transfer edemezler. Bu sıvı içerisinde sıcaklık artışına neden olmaktadır. Sıvıda sıcaklık yükselişinin artması, sonuçta katı ve sıvı arasında sıcaklık farkının oluşmasına ve bunun sonucunda düşük ısı transferine neden olmaktadır. Yüksek ısı transfer katsayısına sahip düşük viskoziteli sıvılar, tanecikli faz ile hemen ısıyı değiştirmeye yönelmektedirler. Statik özdirenç ısıtma koşullarında ise sıvı ve partiküllerin ısınma hızı, sıvının viskozitesinden önemli miktarda etkilenmemektedir. Bunun nedeni sözkonusu koşullar altında oldukça sınırlı sıvı akışının olmasıdır (Khalaf ve Sastry, 1996).

## 2.2. Gıdalar ve Gıda Bileşenleri Üzerinde Özdirenç Isıtmanın Etkileri

### 2.2.1. Mikroorganizmalar ve Enzimlere Etkileri

Özdirenç ısıtmanın mikroorganizmaların yıkımını sağladığı düşünülmektedir. Gıdanın içerisinden geçen elektrikten dolayı üründe çok yüksek sıcaklıklardaki öldürücü etkiler görülmektedir. Bazı araştırmalar, bakteriyel ölümler üzerinde elektrik akımıyla ısı oluşumundan başka elektriğin ilave etkisinin olmadığını göstermiştir. Mikroorganizmalar ısı olarak inaktive edilmektedirler. Mikroorganizmaların ısı inaktivasyonundaki veriler özdirenç ısıtma için de geçerlidir (Sastry ve Barach, 2000).

Yüksek voltaj, mikroorganizmaların hücre duvarında gözenek oluşuma (elektroporasyon) neden olarak yıkımını sağlamaktadır. Düşük şiddetteki elektrik alanında *Lactobacillus acidophilus* fermentasyonu üzerinde yapılan çalışmalarda fermentasyonun lag fazı, elektrik alanının varlığından dolayı önemli oranda azaltılabilmektedir. Bunun nedeni, fermentasyonun ilk safhalarında substratların taşınmasını iyileştiren elektroporasyonun varlığıdır. Sonraki aşamalarda elektroporasyonun etkisi hücrelerin içine metabolitlerin transferini kolaylaştırır ve fermentasyon inhibe edilmiş olur. Özdirenç ısıtma işlemi gözenek oluşturmak (elektroporasyon mekanizması) için düşük frekansta (50-60 Hz) kullanılabilir. Özdirenç ısıtmanın iki kademeli olması (ikinci ısıtma işleminden önce özdirenç ısıtmayı takiben bekleme süresinin olması) yıkım hızını hızlandırmaktadır. Bazı çalışmalarda, konvansiyonel ısıtmayla karşılaştırıldığında *Saccharomyces cerevisiae*'nin hücre içi yapısındaki bozulmaların özdirenç ısıtmada arttığı görülmüştür (Sastry ve Barach, 2000; Guillou ve El Murr, 2002 ).

Düşük voltaj uygulaması, öldürücü sıcaklıklara ısıtmaksızın, uzun sürede mikrobiyel yükü azaltmaktadır. Düşük voltajda yapılan bir çalışmada, *Escherichia Coli* üzerinde bakteriyel etkinin süspansiyondan geçen akıma bağlı olduğu ve işlemden sonra ortamda hücreler kaldığı gözlenmiştir. Bu çalışmada 50 Hz, 10-200 mA alternatif akım ve paslanmaz çelik elektrotlar kullanılmıştır. Tüm deneylerde işlemden sonra ölçülen sıcaklık 40°C'nin altındadır. *E. coli* gelişimi açısından değerlendirildiğinde düşük voltaj elektrik akımının uyarıcı etkisi yoktur. Özdirenç ısıtma koşulları, ne elektroporasyona neden olacak kadar yüksek voltaj ne de düşük voltaj etkileri sonucu olarak bekleme süresinin uzun olması olarak algılanmamalıdır. Sadece özdirenç

ısıtmanın ısı etkisi ve hızlılığı mikrobiyal ölümlere neden olmaktadır (Rahman, 1999).

Maya hücrelerinin (*Zygosaccharomyces bailii*) inaktivasyon kinetiği için konvansiyonel ve özdirenç ısıtma arasında bir fark olmadığı görülmüştür. Tablo 2.1'de *Zygosaccharomyces bailii* için D ve z değeri konvansiyonel ve özdirenç ısıtma için verilmiştir (Rahman, 1999).

**Tablo 2.1:** Konvansiyonel ve özdirenç ısıtma için *Zygosaccharomyces bailii* için D ve z Değerleri (Rahman, 1999)

Farklı Sıcaklıklarda D (s) değeri					
İşlem	45.75 °C	52.30 °C	55.80 °C	58.80 °C	z değeri(°C)
Konvansiyonel	294.6	149.7	47.2	16.9	7.19
Özdirenç	274.0	113.0	43.1	17.8	7.68

### 2.2.2. Duyusal Kaliteye Etkileri

Özdirenç ısıtma, birçok ürünün pastörizasyonu ve sterilizasyonu için kullanılmaktadır. Özdirenç ısıtma yönteminde gıdanın yapısı, rengi, besin değerleri konvansiyonel yöntemlere (dondurma, aseptik işlemler, vb) oranla çok daha iyi korunmaktadır. Gıdanın boyutları 15 cm<sup>3</sup> ile sınırlanmıştır. Bunun nedeni:

- Elektrotların yeterince temizlendiğinden emin olmak,
- Aseptik dolumda ürün yıkımı olmaksızın yaklaşık 15 cm<sup>3</sup>'e kadar dolum yapılabilir,
- 15 cm'den daha büyük yapılar tüketimden önce kesme işlemini gerektirir ve bu durum uygunluğu azaltmaktadır.

Birçok özdirenç ısıtma formülasyonunda partikül konsantrasyonu %20-70 arasında değişmektedir. Çok fazla ya da çok az konsantrasyonlar, boyut, şekil ve yapı üzerinde düşünülmesini gerektirmektedir. Partikül yoğunluğu, taşıyıcı ortam viskozitesi, ortamın elektriksel iletkenliği formülasyonda göz önüne alınmalıdır. Ürün formülasyonu ve özdirenç işlem dizaynı için iyonik konsantrasyonun kontrolü, ürün ısınma hızını arttırmak için kullanılmaktadır (Rahman, 1999).

Yapılan bir çalışmada bir ürün 95°C'de sıcak suda ısıtılırken diğer ürün her iki ürünün merkezi 90°C'ye gelene kadar 50 Hz ve 40 V/cm'de özdirenç ısıtma yöntemiyle ısıtılmaktadır. Sıcak suda pişirilen numune tamamıyla yumuşamışken (özellikle dış yüzey) özdirenç ısıtma yöntemiyle çalışılan numunede başlangıçtaki dış yüzeyde değişim gözlenmemiştir. Fakat iç bölge yumuşamıştır. Bu yüzden düşük frekansta özdirenç ısıtma yapmayı iyileştirmek için tarımsal ürünlerin hızlı ısıtılmasında çok etkili bir teknolojidir (Rahman, 1999).

Özdirenç ısıtmayla, tanecikler direk olarak ısıtılmakta ve sterilizasyon sıcaklığı sıvı fazı gereğinden fazla etkilemeden 140°C'ye ulaşabilmektedir. Besin değeri, vitamin kaybı ve ısı transfer yüzeylerinde yanıklar ile birleşen mekanik yıkımlar olmaksızın tanecikleri tekdüze olarak ısıtma yeteneği, büyük tanecikler içeren aseptik gıda ürünlerinin yükselen taleplerini karşılamada önemli bir rol üstlendiğini garantilemektedir (Parrott, 1992).

Gıdanın duyuşal özellikleri özdirenç ısıtmayla işlenen gıdalarda, konvansiyonel yöntemlerle işlenen gıdalara göre çok daha iyi korunmaktadır. Özdirenç ısıtmada, gıda ürünlerinin ısınma hızı ürün formülasyonuna bağlıdır. Uygun kontrollerle proses dizaynı ve duyuşal kalite üzerinde formülasyon değişimlerinin etkisini belirlemek gerekmektedir. Ürünün kimyasal ve fiziksel özellikleri, ne kadar öldürücü sıcaklık gerektiğine karar vermede önemli rol oynar. Kritik faktörler, boyut, şekil, nem miktarı, viskozite, pH, özgül ısı, katı/sıvı oranı ve elektriksel iletkenliktir (Rahman, 1999).

## **2.3 Özdirenç Isıtmanın Uygulama Alanları ve Avantajları**

### **2.3.1 Özdirenç Isıtmanın Uygulama Alanları**

Özdirenç ısıtma, APV Baker firması tarafından ticari bir proses olarak (EA Teknoloji tarafından lisanslı tasarım) geliştirilmiştir. APV özdirenç sistemi, bir çok gıda ürününün sterilizasyonu ve pastörizasyonu için tasarlanmaktadır. Bu uygulamaların çoğu meyve ürünlerinin üretimi için Japonya'da bulunmaktadır. Ayrıca İngiltere'de de hazır gıdalar için kurulmuş tesisler mevcuttur. Özdirenç ısıtma sisteminde, mekanik çalkalama olmadığından çapı yaklaşık 2 cm kadar olan tanecikler için tanecik bütünlüğünün korunduğu görülmüştür (Ohlsson ve Bengtsson, 2002).

Avrupa, ABD ve Japonya'da ticari kullanımlar şöyle sıralanabilir:

- Çevre sıcaklığında depolanan hazır gıdaların aseptik işlenmesi,
- Sıcak dolum için tanecikli gıdaların pastörizasyonu,
- Konserve yapımından önce ön ısıtılan ürünler,
- Dondurma sıcaklığında dağıtılan yüksek katkılı hazırlanan gıdalar.

Özdirenç ısıtmadan endüstriyel pişirme operasyonları sırasında da yararlanılmaktadır. Örnek olarak hazır gıdalar pişirilmesinde ve patates ve sebzelerin hızlı olarak haşlanarak pişirilmesinde kullanılabilir. Bu uygulamalarda en büyük problemlerden biri elektrot malzemesinin inert olmasının sağlanması ve sonuçta iletkenin solüsyon içine ve sonuçta gıdaya metal iyonlarını yaymasının önüne geçilmesidir. Bir başka problem de gıda ürününün tüm bileşenlerinin elektriksel iletkenliğini etkin olarak kontrol etmeye olan ihtiyaçtır. Çünkü bu farklı bileşenler ısınma hızını belirlemektedir (Ohlsson ve Bengtsson, 2002; Zhang ve Fryer, 1994).

Özdirenç ısıtma uygulamaları Avrupa, Japonya ve ABD'de endüstriyel kullanıma sunulmaktadır. Bu sistemlerin en başarılı olanları Japonya'da çilek ve diğer meyvelerle yapılan yoğurt ve ABD'de düşük asitli hazır yemeklerin işlenmesi için olanlardır. Ayrıca özdirenç ısıtma çalışması yapılmış ve ticari uygulama potansiyeli olan surimi ve balık ürünlerinde de hızlı ısınmanın gerçekleşmesi avantaj sağlamaktadır. Özdirenç ısıtma ekipmanlarının iki ticari üreticisi vardır. APV Baker Ltd. (Crawley, İngiltere) ve Raztek Corp. (Sunnyvale, CA, ABD). ABD'de endüstriden (gıda üreticileri, ekipman üreticileri ve hammadde tedarikçileri), akademiden (gıda bilimi, mühendislik, mikrobiyoloji) ve yönetimden 25 ortak, ürün geliştirmek ve özdirenç ısıtma sisteminin etkinliğini değerlendirmek için 1992'de birleşmiştir. APV Baker Ltd. tarafından üretilen pilot ölçekli sürekli özdirenç ısıtma sistemi 1992'den 1994'e kadar Land-O'Lakes, Arden Hills, Minnesota'da birlik tarafından değerlendirilmiştir. Raf ömrü uzun, düşük ve yüksek asitli ürünler geniş aralıkta geliştirilmiştir. Dondurma ve aseptik işlemler gibi geleneksel işleme yöntemlerinden daha iyi veya aynı tektüre, renk, tat, besin değerlerinin korunduğu bulunmuştur. Teknolojik değerlendirmelere ek olarak ekonomik çalışmalarda yapılmıştır. Özdirenç işleme maliyetinin, düşük asitli ürünlerin dondurulması ve çözündürülmesi için yapılan harcamalara eşdeğer olduğu görülmüştür (Ohlsson ve Bengtsson, 2002; Mizrahi ve diğ., 1975).

Bu uygulamalara ek olarak özdirenç ısıtma, ürün kalitesinin korunmasıyla sıcak dolundan önce domates sosu gibi yüksek asitli gıdaların ısıtılması için kullanılabilir. Sıvı yumurta için pıhtılaşma ve proteinlerin denatürasyonu olmaksızın ısınmanın hemen gerçekleşmesi, yüksek pastörizasyon sıcaklığına ulaşılmasını sağlamaktadır (Parrott, 1992).

### 2.3.2 Özdirenç Isıtmanın Avantajları

Özdirenç ısıtma ile işlenen gıdaların besin değerleri, vitamin, tat ve aroma gibi duyuşal özellikleri korunmaktadır. Ayrıca ısı işlemlerle gerçekleştirilen pastörizasyon/sterilizasyon işlemlerini önemli derecede iyileştiren kendine has karakteristik özellikleri mevcuttur (Skudder, 1992) .

Bu karakteristikler ve avantajlar şu şekilde sıralanabilir (Reuter, 1993; De Alwis ve Fryer, 1990 ):

- Katı ve sıvının elektriksel direnci aynı ise katı-sıvı gıda karışımları aynı hızda hemen ısıtılabilir ( $1^{\circ}\text{Cs}^{-1}$ ) ve işlem sıcaklık değişimi olmadan sonuçlanır.
- Konvansiyonel ısı işlemlerde ısı transfer sınırlamaları veya dielektrik nüfuz sınırından dolayı mikrodalga ısıtma ile ilgili tekdüze olmayan durumlarla karşılaştırıldığında hacimsel iç ısı üretimiyle gıda materyalinin ısıtılması sağlanır.
- Yüksek mikrobiyolojik güvenlik sağlamaktadır.
- Isı transfer katsayısı ısının yayılım hızını sınırlandırmamaktadır.
- UHT işlemleri için sıcaklık yeterliliği başarılıdır.
- Konvansiyonel sistemlerde olduğu gibi ısı transferi sırasında yüzey ısınması problemiyle karşılaşmaz. Ürünün yanması ve yüzey kirlenmesi riski yoktur. Böylelikle minimum mekanik yıkım ve besin öğelerinin ve vitaminlerin daha iyi korunumu sağlanmaktadır.
- Isıya duyarlı gıdaların ve gıda bileşenlerinin, bölgesel ısınmalardan kaynaklanan yıkımı oluşmamaktadır.
- Tanecik içeren sıvılar işlenebilir.
- Isı tekdüze olduğundan ve zayıf taşınım ısı aktarımı ile ilgili problemlerle karşılaşmadığından viskoz sıvılar için de uygundur.
- Enerji dönüşümü oldukça yüksektir (>%90).
- Sürekli işlemler için uygundur.



- Prosesin kontrolü ve hemen açılıp kapanabilme özelliği ile işlem kontrolü daha kolaydır.
- Bakım maliyeti düşüktür. Sistem sessiz çalışır ve çevre dostudur.

### 2.3.3 Özdirenç Isıtma ve Elektriksel Isıtma Yöntemlerinin Karşılaştırılması

Gıda endüstrisinde elektriksel ısıtmayı kullanan ısıtma yöntemleri gıdada sıcaklık artışını oluşturmak için elektromanyetik enerji uygulanarak yapılmaktadır. Elektriksel ısıtma yöntemlerinde ısı, transfer yüzeylerini ısıtmaksızın elektromanyetik kaynaktan gıdaya doğrudan transfer edilir. Bu doğrudan enerji transferi, yüksek enerji kullanımı için önemli bir fırsat verdiğinden oldukça önemli bir avantaj sunmaktadır. Elektromanyetik spektruma bakıldığında gıdanın direk ısıtılması için endüstride çalışılan üç frekans alanı tanımlanmaktadır. Bunlar aşağıda sunulmuştur (Ohlsson ve Bengtsson, 2002; Oliveira ve Oliveira 1999):

- Özdirenç ısıtma olarak adlandırılan elektrik direnç ısıtma için 50/60 Hz frekans kullanılmaktadır. Bu uygulamada elektrotlar arasında gıda bir iletken gibi davranmaktadır (220 V veya 380 V).
- 10-60 MHz frekanslarda, gıda elektrotlar arasına yerleştirilir ve enerji elektrotlar arasına yerleştirilmiş gıdaya transfer edilmektedir.
- 1-3 GHz mikrodalga bölgesinde jeneratör olarak adlandırılan elektromanyetik dalga üreten araçlar ile hava yoluyla gıdaya enerji transfer edilmektedir.

Bu üç frekans alanına dayanan teknolojiler aşağıda tanımlanmaktadır:

- Özdirenç ısıtma
- Yüksek frekans/radyo frekansı ısıtma
- Mikrodalga ısıtma

Dielektrik enerji (mikrodalga ve radyo frekansı) ve kızıl ötesi enerji elektromanyetik enerjinin iki şeklidir. Bu uygulamalar gıdaya nüfuz eden dalga olarak gönderilmekte ve ardından da absorblanıp ısıya dönüşmektedir. Özdirenç ısıtmada ise direk olarak elektrik enerjisini ısıya dönüştürmek için gıdanın elektrik direnci kullanılmaktadır. Gıdalar doğrudan ve dolaylı uygulamalarla ısıtılabilir. Dielektrik ve özdirenç ısıtma, gıda ile ısıyı oluşturan doğrudan bir metot iken kızıl ötesi ısıtma genelde ışınlama yoluyla veya taşınım (veya daha az yaygın olan iletim) ile gıdanın yüzeyine

uygulanarak oluşturulan ısıya dayanan dolaylı bir yöntemdir. Dielektrik, öz direnç ve kızıl ötesi enerji arasındaki temel farklılıklar şöyle özetlenebilir (Fellows, 2000):

Dielektrik enerji ısı oluşturmak için su molekülünde moleküler sürtünmeye sebep olurken, öz direnç ısıtma (gıdanın elektriksel direncinden dolayı) ve kızıl ötesi enerji kolayca absorplanıp, ısıya dönüşmektedir.

Dielektrik ısıtma gıdanın nem miktarıyla belirlenirken, ısı yayılım enerjisinin ısıtma ölçüsü gıdanın yüzey karakteristiklerine, rengine bağlıdır. Öz direnç ısıtmada ise gıdanın enerjisine bağlıdır.

Dielektrik ve öz direnç ısıtma gıdayı korumak için kullanılırken kızıl ötesi enerji genelde yüzey rengini, tat ve aromayı değiştirerek gıdanın duyu kalitesini değiştirmek için kullanılmaktadır.

Ticari olarak mikrodalga ve radyo frekans enerjisi belirli frekans aralıklarında oluşturulurken, öz direnç ısıtmada standart frekanstaki elektrik kullanılmaktadır.

Gıdanın ısı iletkenliği kızıl ötesi enerjide sınırlanmıştır. Dielektrik ve öz direnç ısıtmada bu önemli değildir.

Öz direnç ısıtmada enerjinin tamamı ısı olarak gıdaya nüfuz ettiğinden mikrodalga ısıtmadan çok daha verimlidir. Mikrodalga ve radyo frekans ısıtmanın gıda içerisine nüfuz etme derinliği sınırlıyken, öz direnç ısıtmada benzer bir sınırlama yoktur. Mikrodalga gıda ile teması gerektirmez. Öz direnç ısıtmada ise gıda ile temasta elektrotlara ihtiyaç duyulmaktadır (Fellows, 2000).

Tablo 2.2’de öz direnç ısıtma, radyo frekans ısıtma ve mikrodalganın ticari uygulamalarında bazı avantajları ve dezavantajları özetlenmektedir. Tüm elektriksel ısıtma yöntemlerinde, frekansta elektromanyetik alan ve enerjiye maruz kalan malzeme arasındaki etkileşimi anlamak oldukça önemlidir (Ohlsson ve Bengtsson, 2002).

Isıtıcı ekipmanda gıdanın ve diğer malzemenin elektrik ve dielektrik özelliklerini bilmek, gıdanın ısıtılması için elektrik enerjisi uygulamasının daha iyi kontrol edilmesinde ve anlaşılmasında önemli bir faktördür. Gıda endüstrisinde elektriksel ısıtma ekipmanlarının ulusal ve uluslar arası güvenlik standartlarına göre dizayn edilmesi ve yürütülmesi gerekmektedir (Ohlsson ve Bengtsson, 2002).

**Tablo 2.2:** Elektriksel Isıtma Frekanslarının Karşılaştırılması (Ohlsson ve Bengtsson, 2002).

Özdirenç ve Radyo Frekanslı Isıtma		Mikrodalga Isıtma	
Avantaj	Dezavantaj	Avantaj	Dezavantaj
<ul style="list-style-type: none"><li>• Büyük, kalın gıdalarda daha iyi sonuç verir</li><li>• Düşük yatırım maliyeti</li><li>• Anlaşılması ve kontrolü kolay</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Yüksek frekansta ark kontağı riski</li><li>• Daha büyük yüzey alanı</li><li>• Dar frekans aralığı</li><li>• Sınırlı Ar-Ge desteği</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Hızlı ısıtma hızı</li><li>• Özgür dizayn olanağı</li><li>• Homojen olmayan gıdalara daha az hassas</li><li>• Ar-Ge olanağı fazla</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Sınırlı nüfuz etme</li><li>• Yüksek yatırım maliyeti</li><li>• Çok fazla mühendislik ihtiyacı</li></ul>

#### 2.3.4 Özdirenç Isıtmanın Dezavantajları

Özdirenç ısıtmanın dezavantajı, kendine özgü elektriksel ısıtma mekanizması ile ilgilidir. Isı oluşum hızı, taneciğin elektriksel heterojenliği, sıcaklık ve elektrik alan dağılımı arasındaki kompleks ilişkisi, tanecik şekli ve yöneliminden etkilenmektedir. Tüm bunlar prosesi karmaşık yapmakta ve gözlenmesi, kontrol edilmesi zor olabilecek sıcaklıklarda tekdüze olmayan durumlara neden olmaktadır. Özdirenç ısıtmanın ticari kullanımını sınırlayan üç önemli faktör şöyledir (Ohlsson ve Bengtsson, 2002):

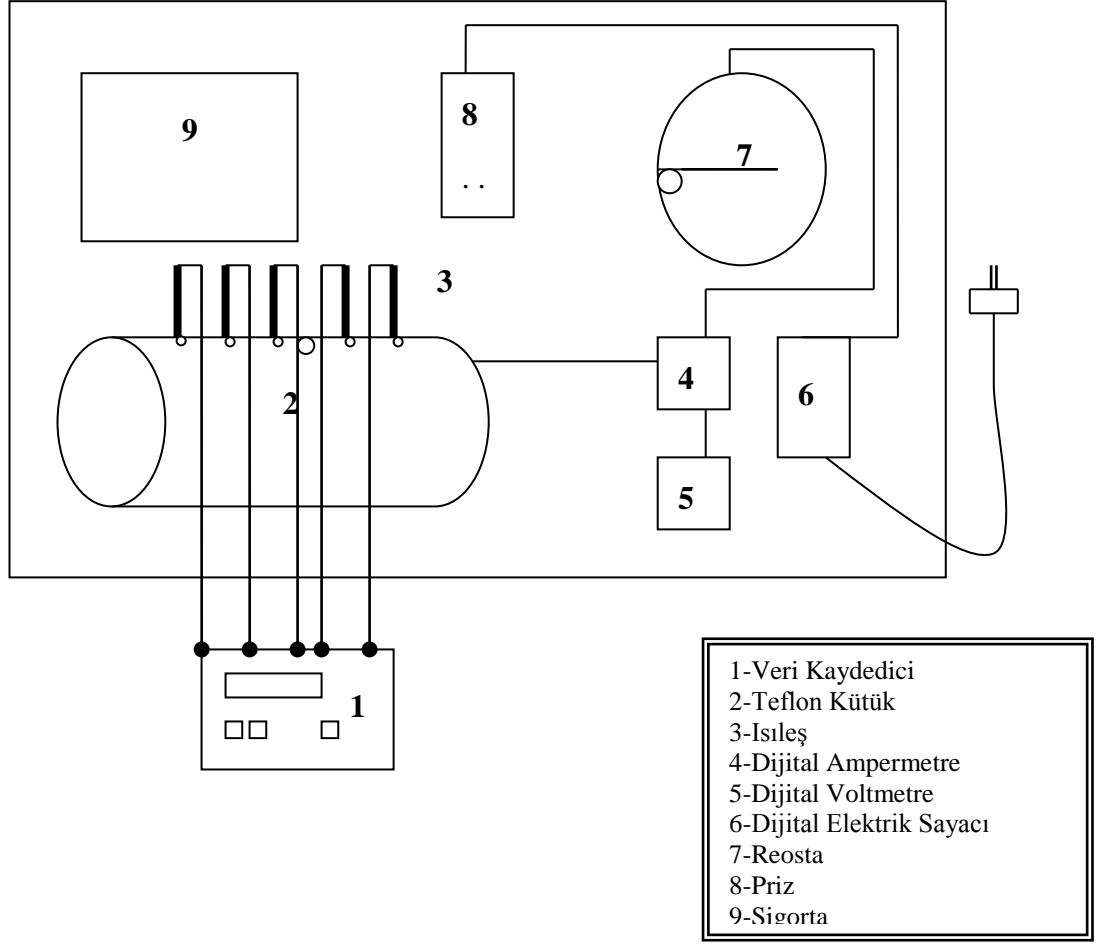
- Katı ve sıvı faz arasında elektriksel iletkenlik farklarını, ısınma hızını ve dağılımını etkileyen sıcaklık değişimlerinde her iki fazın cevabını hesaba katan tam bir modelin olmayışı,
- Bekleme süresi, yükleme seviyesi gibi faktörleri içeren sıcaklığı etkileyen kritik faktörleri içeren verilerin olmayışı,
- Bölgesel sıcak/soğuk noktalar için uygulanabilir sıcaklık validasyon tekniklerinin olmayışı olarak tanımlanmaktadır.

### **3. MATERYAL VE METOT**

#### **3.1. Materyal**

Bu çalışmada ilk olarak 1.9 litrelik statik özdirenç ısıtma düzeneği tasarlanmış ve kurulumu tamamlanmıştır. Deneysel çalışmaların gerçekleşeceği hazne, yalıtkan özellikte olan teflon malzemeden seçilmiştir. Teflon silindirin iç çapı 9 cm, dış çapı 13 cm olarak belirlenmiştir. Elektrik iletimini sağlamak için teflon silindirin her iki ucunda 2 mm kalınlığında bakır levhalar kullanılmıştır. Bakır levhalar 13 cm x 13 cm boyutundadır. Levhalar arası mesafe 30 cm'dir. Deney düzeneğinin her deney sonrası açılıp kapanabilmesi için levhalar teflon silindire 3 adet işkence kullanılarak sabitlenmiştir. Bakır levhalara işkence temasında kısa devre oluşmasını önlemek ve elektriksel yalıtımı sağlamak için 3 mm kalınlığında bakır levhalar ile aynı boyutta lastik kullanılmıştır. Deney sırasında sistemden geçen voltaj dijital voltmetre; akım dijital ampermetre ile takip edilmiştir. Gerilim ayarlaması reosta ile yapılmıştır. Elektrik sarfiyatı dijital elektrik sayacından (Alfatech tek fazlı dijital elektrik sayacı) okunup kayıt edilmiştir. Deney düzeneğinden elektrik geçişinin açılıp kapanması otomatik sigorta (Siemens), güvenlik ise kaçak sigortası (Siemens) ile sağlanmıştır. Böylelikle özdirenç ısıtma düzeneği 1 adet teflon silindir, 2 adet bakır levha, 1 adet reosta, 1 adet dijital voltmetre, 1 adet dijital ampermetre, 1 adet dijital elektrik sayacı, 1 adet sigorta kutusu, 3 adet işkence, 1 adet elektrik prizinden oluşmuştur. Tüm bu ekipmanlar, 80x60 cm boyutlarındaki sunta üzerine yerleştirilmiştir.

Sıcaklık 5 adet K tipi ısıleş (Ordell, Tip: OMO4-K115-20 2K) ile ölçülmüştür. Her bir ısıleşden elektrik geçişini önlemek için teflon bantlar ile elektriksel yalıtım sağlanmıştır. Sıcaklık kayıtları veri kaydedici (İngiliz malı, Grant 1250 Series-Remote Squirrel Meter/Logger) ile alınmıştır.



**Şekil 3.1:** Özdirenç Isıtma Deney Düzeneği Ekipman Yerleşimi

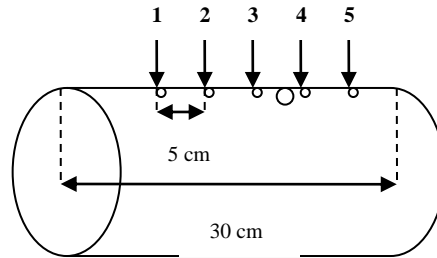
Deneysel çalışmada kullanılan tuz, sofr tuzudur. Deneyle sırasında kullanılan bezelye Superfresh Kerevitaş Gıda Sanayi ve Ticaret A.Ş.'den; portakal nektarı Dimes Gıda Sanayi ve Ticaret A.Ş.'den ve boza Vefa Boza'dan temin edilmiştir.

Portakal nektarının içindekiler, su, portakal konsantresi, şeker (fruktoz şurubu/sakkaroz), asitliğı düzenleyici (limon suyu konsantresi) ve antioksidan olarak belirtilmiştir. Bozanın içindekiler ise darı irmiğı, su, şeker ve maya şeklinde etikette belirtilmiştir.

## 3.2. Metot

### 3.2.1. Deney Düzenine Hazırlanması

Özdirenç ısıtma sisteminde, deneysel çalışmalara başlamadan önce ilk olarak özdirenç ısıtma düzeni hazırlanmıştır. Bunun için başlangıçta bakır elektrotların teflon silindire işkenceler ile bağlantısı yapılmıştır. Bakır elektrotlar ile işkence arasında lastik kullanılarak kısa devre oluşumu önlenmiş ve elektriksel yalıtım sağlanmıştır. Bakır levha ile teflon silindir arasında oluşacak sızıntıyı önlemek için teflon salmastra kullanılmıştır. Deney başlangıcında çalışılacak voltaj reostadan ayarlanmıştır. Sistemdeki elektriksel güç kaynağı 220 V'luk alternatif akımdır. Frekans, 50 Hz'dir. Çalışılan tuz çözeltileri, tuz çözeltisi-bezelye karışımı, portakal nektarı ve bozanın dolumu teflon silindirin üzerinde bulunan 15 mm'lik delikten huni yardımıyla yapılmıştır. Teflon silindirin üzerinde bulunan 5 cm ara ile 5 adet 4 mm'lik deliklerden K tipi ısıleş yerleştirilmiştir. K tipi ısıleş teflon silindirin merkezine gelecek şekilde sabitlenmesi için strafor kullanılmıştır. Bu işlemin ardından K tipi ısıleşlerin veri kaydediciye bağlantısı yapılmıştır. Devreden elektriğin geçişi sigortanın açılması ile başlamış ve o andan ( $\sim 20^{\circ}\text{C}$ ) itibaren  $80^{\circ}\text{C}$ 'ye ulaşana kadar sıcaklık kayıtları veri kaydedici ile alınmıştır. K tipi ısıleşler teflon silindirin üzerine Şekil 3.2'deki gibi yerleştirilmiş ve deneysel çalışmalarda aynı noktada aynı ısıleş kullanılmıştır. Aynı zamanda voltaj, amper ve elektrik tüketimi (kWh) her 30 sn'de bir dijital voltmetre ampermetre ve elektrik sayacı okunarak kayıt edilmiştir. Veri kaydedicide sıcaklık  $80^{\circ}\text{C}$ 'ye ulaştığında veri alımı durdurularak sigortalar kapatılmıştır.



Şekil 3.2: Teflon Silindir Üzerinde K tipi Isıleşlerin Yerleşimi

İşlem tamamlandıktan sonra ilk olarak ısıtışler çıkarılarak teflon silindirin içerisindeki numune boşaltılmış ve bakır levhalar açılmıştır. Deney sırasında iç yüzeyi ısınan teflon silindirin soğuması ( $\leq 20^{\circ}\text{C}$ ) için akan musluk altında yaklaşık 15 dakika bekletilmiştir. Birbirini takip eden deneyler sırasında bu işlemler tekrarlanmıştır. Statik özdirenç ısıtma düzeneğinde, deney sırasında bakır elektrotların yüzeyinde oluşan korozyon, 0 numara metal yüzeyler için kullanılan su zımparasıyla temizlenmiştir. Bakır elektrotların yüzeyinde oluşan korozyon elektrik geçişine engel olduğundan mutlaka bu işlemler her bir çalışma öncesi tekrarlanmıştır.

Veri kaydedici ile alınan sıcaklık kayıtları bilgisayar bağlantısı yapılarak Grant programı (Grant software for squirrel data loggers/squirrel view version 1.01) ile bilgisayara aktarımı yapılmıştır. Sıcaklık, voltaj, amper ve harcanan elektrik sarfiyatının zamana göre değişimi Excel (Microsoft Office XP) programında grafikleri hazırlanmıştır. Ayrıca tuz çözeltilerinin deneysel çalışmalarında okunan voltaj ve akım değerleri kullanılarak elektriksel iletkenliğin sıcaklığa bağlı olarak zamanla değişimi belirlenmiştir. Bununla birlikte, ölçülen elektriksel parametreler ile beklenen sıcaklık değerleri hesaplanarak, ölçülen sıcaklık değerleri ile karşılaştırması yapılmıştır. Elektriksel iletkenlik ve harcanan güç değerlerinin hesaplanması için aşağıdaki denklemler kullanılmıştır.

Özdirenç ısıtmada kilit nokta, ısı üretim hızı ve ıdanın elektriksel iletkenliğidir. Özdirenç ısınmada harcanan güç (De Alwis ve Fryer, 1992):

$$P = V \cdot I = I^2 \cdot R \quad (3.1)$$

Ohm kanunundan elektrik direnci şöyle hesaplanabilir (Zareifard ve diğ, 2003):

$$R = \frac{V}{I} \quad (3.2)$$

Elektrik direnci ise aşağıdaki şekilde tanımlanabilir (Zareifard ve diğ, 2003):

$$\sigma = \left( \frac{1}{R} \right) \left( \frac{L}{A} \right) \quad (3.3)$$

Genel bir ifade ile elektriksel iletkenlik ve sıcaklık arasındaki lineer ilişki aşağıdaki denkleme göre ifade edilebilir (Field ve Howell, 1989):

$$\sigma_T = \sigma_{25} \cdot [1 + \eta \cdot (T - 25)] \quad (3.4)$$

Özdirenç ısıtmada ısınma hızı (Fryer ve Li, 1993):

$$Q = \sigma \cdot E^2 \quad (3.5)$$

olarak tanımlanabilir.

### 3.2.2. Numunelerin Hazırlanması

Deneysel çalışmalarda, ilk olarak 1900 g'lık %0, %1, %3 ve %5 tuz çözeltileri hazırlanmıştır. Bu çözeltiler için 60 V, 130 V ve 200 V başlangıç voltajları ayarlanarak sistemden elektrik geçirilmiştir.

İkinci olarak, 1800 g %1 ve %3'lük tuz çözeltilerinin içerisine 100 g bezelye (~%5 w/w) ilave edilip karıştırılmıştır. Bu katı-sıvı gıda karışımlarında 130 V ve 200 V başlangıç voltajlarında çalışılmıştır.

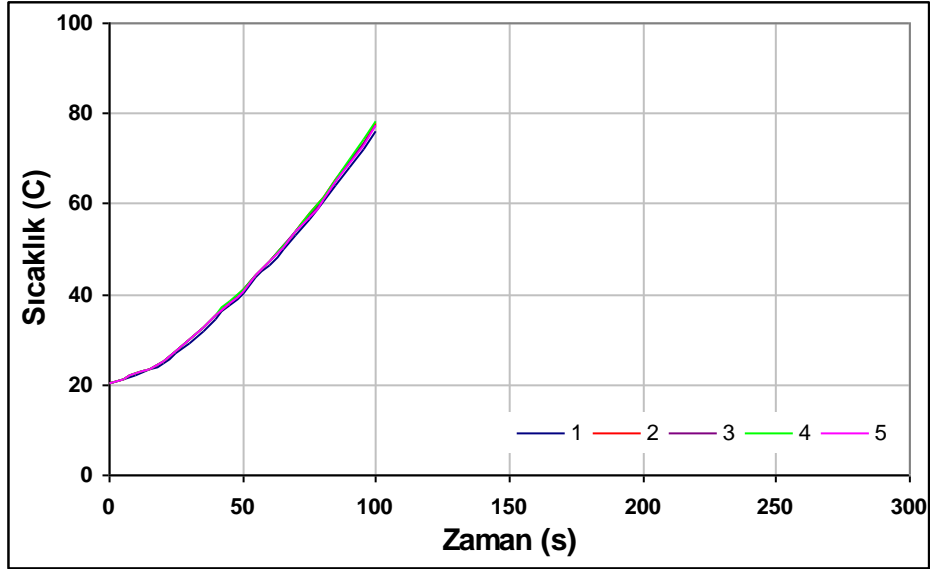
Üçüncü olarak, 1700 g %1 ve %3'lük tuz çözeltilerinin içerisine 200 g bezelye (~10 w/w) ilave edilip karıştırılmıştır. Çalışan başlangıç voltajı 130 V ve 200 V olarak seçilmiştir. Deneysel çalışmada kullanılan dondurulmuş bezelyeler su içerisinde oda sıcaklığında çözündürüldükten sonra tuz çözeltisine ilave edilmiştir. Bezelyelerin sıcaklığı 20°C'ye ayarlanmıştır.

Dördüncü çalışmada, temin edilen portakal nektarı ve boza için 130 V ve 200V başlangıç voltajında özdirenç ısınma davranışı gözlenmiştir.



#### 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Tüm deneysel çalışmalarda, beş farklı noktadan alınan sıcaklık ölçümlerinde sıcaklıkların birbirine çok yakın olduğu gözlemlendiğinden, sıcaklık-zaman grafiklerinde ortalama sıcaklık değerleri kullanılmıştır. Örnek olarak 200 V'da %3 tuz çözeltisinde sıcaklık değişimi verilmiş olup ölçülen noktalarındaki sıcaklıklar arasında çok az fark görülmüştür.

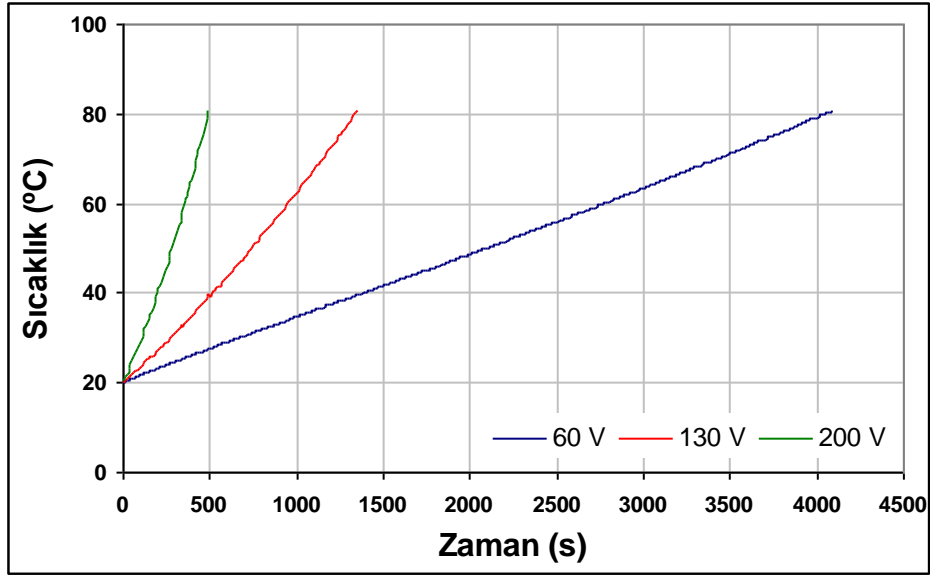


Şekil 4.1: 200 V'da %3 Tuz Çözeltisinde Beş Noktadan Alınan Sıcaklık Ölçümleri

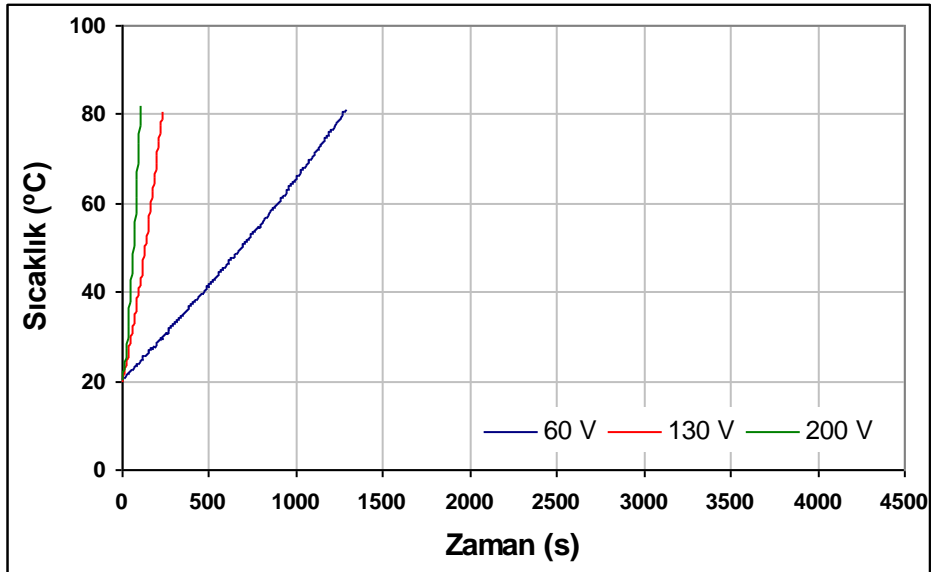
##### 4.1. Voltajın Özdirenç Isıtmaya Etkisi

Tuz çözeltilerinde elektriksel iletkenlik yüksek olduğundan özdirenç ısıtma işlemi hızlı gerçekleşmiştir. Deneysel çalışmalarda, uygulanan voltaj yükseldiğinde ısınma hızının arttığı görülmüştür. Şekil 4.2, Şekil 4.3 ve Şekil 4.4'de, 60 V, 130 V ve 200 V başlangıç voltajlarında sırasıyla %1, %3 ve %5'lik tuz çözeltilerinin özdirenç ısınma hızı görülmektedir. Tuzluluğun artmasıyla birlikte voltajın yükselmesi 20°C'de başlayan deneylerin 80°C'ye ulaşma süresini çok daha kısalttığını göstermiştir.

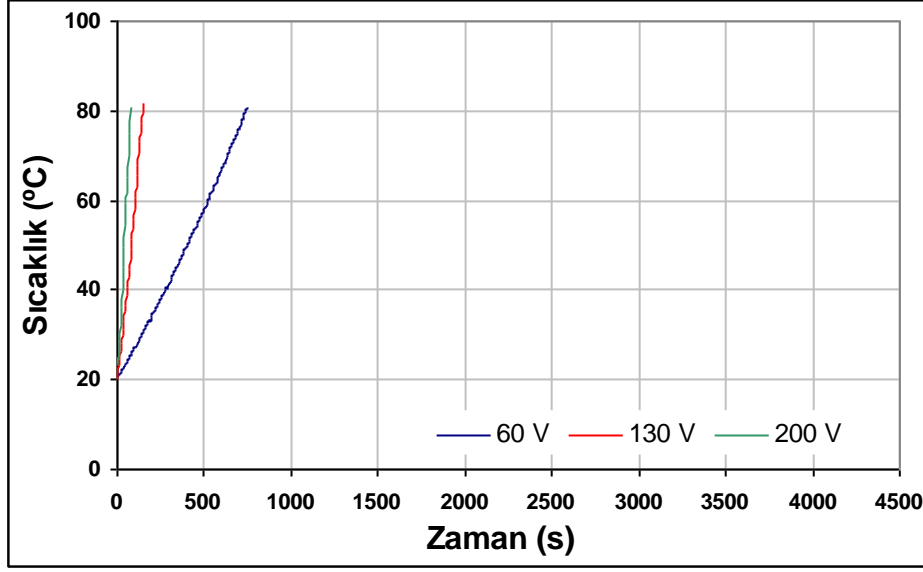
Sudaki %1 tuz çözeltisi, 60 V, 130 V ve 200 V'da ısınma hızı farklılık göstermektedir. Tuzluluğun yükselmesiyle ısınma hızının arttığı ve tuzluluğun etkisinin voltajdan daha etkin olduğu görülmüştür. Şekil 4.3 ve Şekil 4.4'de 130 V ve 200 V'da ısınma hızları birbirine oldukça yakındır. Bu çalışmada, tuzluluğa bağlı olarak elektriksel iletkenliğin yükselmesinin yüksek voltajlarda, hedef sıcaklığa (80°C) ulaşma süresinin çok daha kısa sürede gerçekleştiği ve voltajlar arasındaki farkın azaldığı belirlenmiştir.



Şekil 4.2: %1 Tuz Çözeltisinde Farklı Voltajların Isınma Hızına Etkisi



Şekil 4.3: %3 Tuz Çözeltisinde Farklı Voltajların Isınma Hızına Etkisi



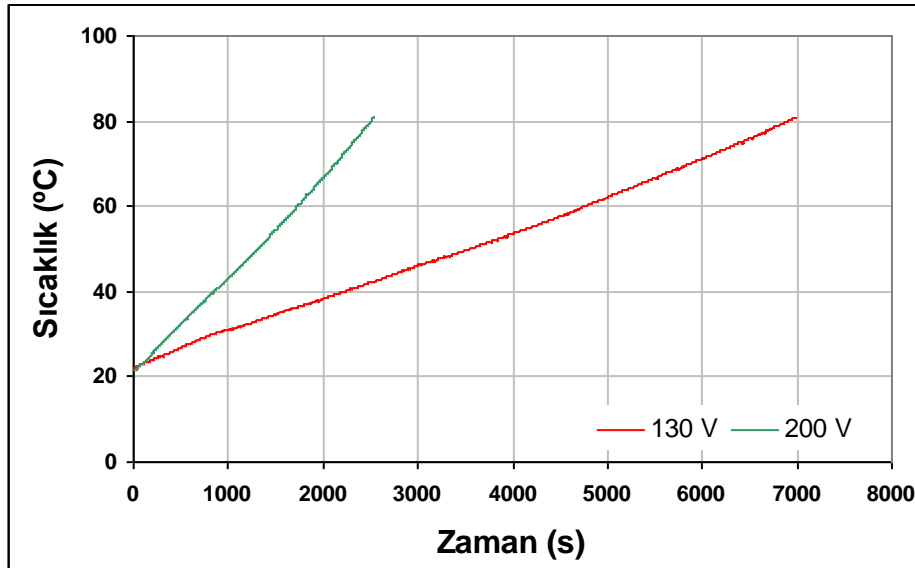
**Şekil 4.4:** %5'lik Tuz Çözeltisinde Farklı Voltajların Isınma Hızına Etkisi

De Alwis ve Fryer (1992), uygulanan voltajın ve elektriksel iletkenliğin etkisi üzerine yaptığı bir çalışmada yüksek elektriksel iletkenlikte sistemden geçen elektrik akım yüksek olduğunda gerilimin düşeceği ve yetersiz ısınma hızı oluşacağı ifade edilmiştir. Bu çalışmada elektriksel iletkenliğin yüksek olduğu denemelerde (%3, %5 tuz çözeltileri), sistemden geçen akım hızla artarken başlangıç voltajının hızla düştüğü görülmüştür. Bu durumda ısınma hızında istenilen farklı sonuca ulaşılamamıştır.

Özdirenç ısıtma işlemi sırasında 60 V'da suda ve %1, %3 ve %5 tuz çözeltilerinde gerilim, akım ve elektrik tüketiminin zamanla değişimi sırasıyla Şekil A.1, Şekil A.2, Şekil A.3 ve Şekil A.4'de gösterilmiştir. Düşük voltajdaki çalışmada gerilim çok fazla değişmemekle birlikte tuz miktarının yükselmesiyle gıdadan geçen akımın yükseldiği ve deneysel çalışma süresinin kısılmasından dolayı elektrik tüketiminin azaldığı görülmüştür. Tuz içermeyen suda yaklaşık 3.5 saatlik deneysel çalışma sonunda 24 °C'ye ulaşılmıştır. Bu süre boyunca, voltajın ve akımın hiç değişmediği görülmüştür. Şekil A.5, Şekil A.6, Şekil A.7 ve Şekil A.8, 130 V gerilimde sırasıyla su ve %1, %3, %5 tuz çözeltisi, Şekil A.9, Şekil A.10, Şekil A.11 ve Şekil A.12, 200 V gerilimde sırasıyla su ve %1, %3 ve %5 tuz çözeltileri için akım, gerilim ve elektrik tüketiminin zamanla değişimini gösterilmektedir. 60 V gerilimde gözlemlenen tuz miktarının artışıyla 80 °C'ye ulaşma süresinin kısılması ve bunun sonucunda elektrik tüketiminin azalması 130 V ve 200 V gerilimdeki çalışmalarda da gözlenmiştir. 200 V gerilimdeki deneysel çalışmalarda, 60 V ve 130 V gerilimdeki

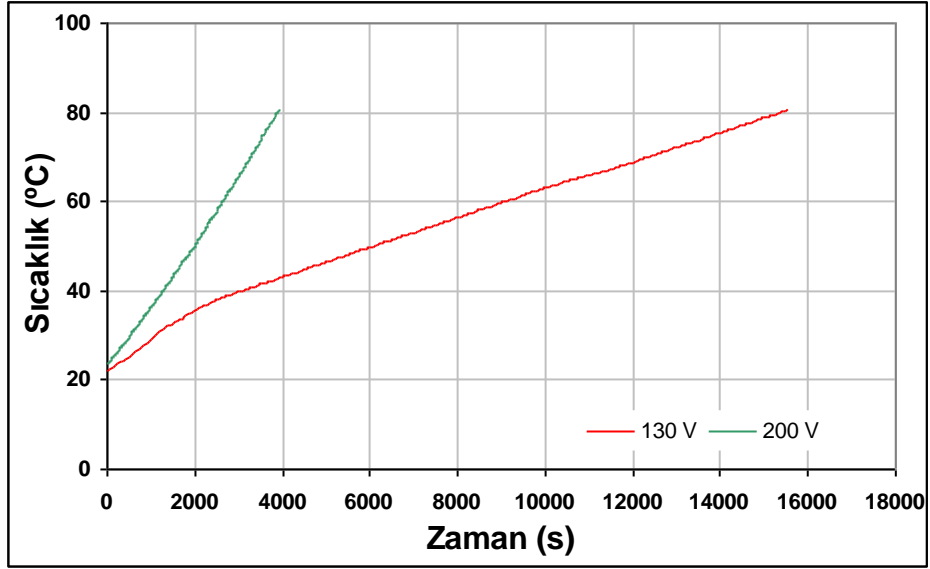
çalışmalarına göre akımın çok daha hızlı yükseldiği, gerilimin daha hızlı düştüğü görülmüştür. Tuz miktarına bağlı olarak elektrik tüketiminin, 60 V gerilimdeki çalışmalarla karşılaştırıldığında yaklaşık 1,5-2 kat azaldığı belirlenmiştir.

Portakal nektarı için yapılan çalışmada, elektriksel iletkenlik düşük olduğu için 130 V ve 200 V değerlerinde gerilim uygulanmasına rağmen ısınma hızının çok yavaş gerçekleştiği görülmüştür. Gıdanın elektriksel direnci yüksek olduğundan elektriksel iletkenliği düşüktür. Şekil A.21 ve Şekil A.22’de portakal nektarı için 130 V ve 200 V’luk çalışmalarda gıdadan geçen akımın oldukça düşük olduğu ve zamanla çok yavaş arttığı görülmüştür. Gerilim çok fazla değişmemesiyle birlikte deney süresinin uzun olmasından dolayı özellikle 130 V’luk uygulamada elektrik tüketimi çok yüksektir. Şekil 4.5’te 130 V ve 200 V’da portakal nektarı için ısınma süresi görülmektedir.



**Şekil 4.5:** Portakal Nektarına Uygulanan 130 V ve 200 V’un Isınma Hızına Etkisi

Boza çalışmasında ise gıdanın elektriksel iletkenliği çok düşük olduğundan çok yavaş ilerlemiştir. Bozanın elektriksel iletkenliğinin düşük olmasının bir nedeni iyonik özellikte olmayan şeker içermesinden kaynaklanmaktadır. 130 V ve 200 V’luk çalışmalarda, gıdanın elektriksel iletkenliğinin düşük olmasına bağlı olarak voltaj değişiminin ve akım değişiminin çok yavaş gerçekleştiği görülmüştür (Şekil 4.6).



**Şekil 4.6:** Bozaya Uygulanan 130 V ve 200 V'un Isınma Hızına Etkisi

Boza çalışması için gerilim, akım ve elektrik tüketimi Şekil A.23 ve Şekil A.24'de görülmektedir. Gıdanın elektriksel iletkenliğinin düşük olduğunun göstergesi sistemden geçen akımın düşük olmasıdır. Boza çalışmasında da hem 130 V'luk hem de 200 V'luk çalışmada gıdadan geçen akım ( $I < 1$  A) oldukça düşüktür. 130 V gerilimde, akım deneysel çalışma süresince sadece üç kez değişmiştir. Boza için yapılan çalışma, portakal nektarındaki çalışmadan daha uzun sürede 80°C'ye ulaşmasına rağmen harcanan elektrik sarfiyatı portakal nektarından düşüktür. Bu durum, bozadan daha düşük alternatif akımın geçmesiyle açıklanmaktadır.

Çözünen tuz miktarının aynı olduğu çözeltiler, portakal nektarı ve boza gibi elektriksel iletkenliğin değiştirilmediği denemelerde, gıdanın daha hızlı ısınmasından uygulanan voltaj ve dolayısıyla akımın sorumlu olduğu görülmüştür. Çözünen tuz miktarı değiştiğinde ise ısınma hızındaki değişimde, elektriksel iletkenlik önem kazanmaktadır.

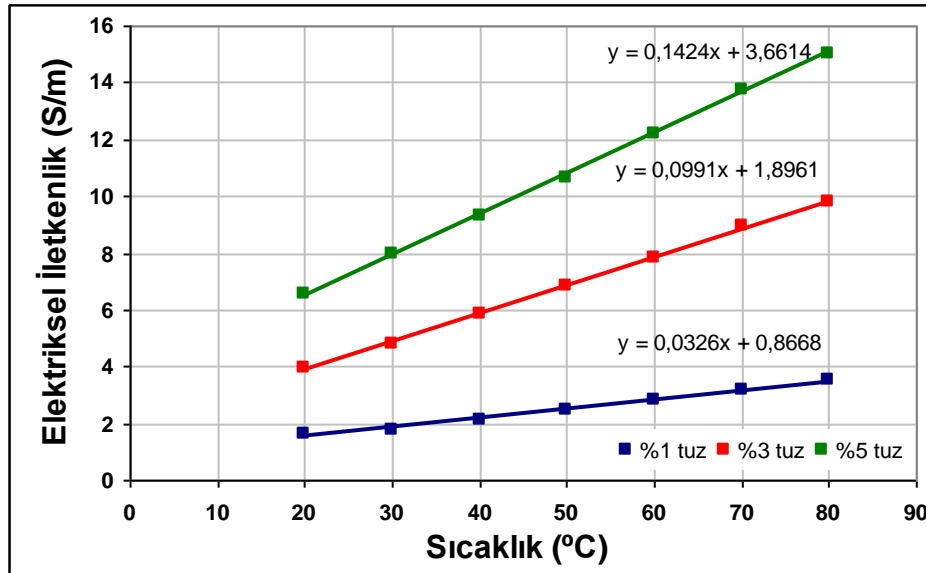
Hedef sıcaklığa (80°C) ulaşmak için ısınma süresinin kısa olmasıyla gerilim yüksek olsa bile deneysel çalışmalar sonunda toplam harcanan elektrik tüketiminin azaldığı (Wh) belirlenmiştir. Diğer bir ifade ile elektriksel iletkenliği yüksek olan gıdalar daha az elektrik tüketmektedir. Bununla birlikte, daha kısa sürede istenen sıcaklığa ulaşabilmektedir.

## 4.2. Elektriksel İletkenliğin Özdirenç Isıtmaya Etkisi

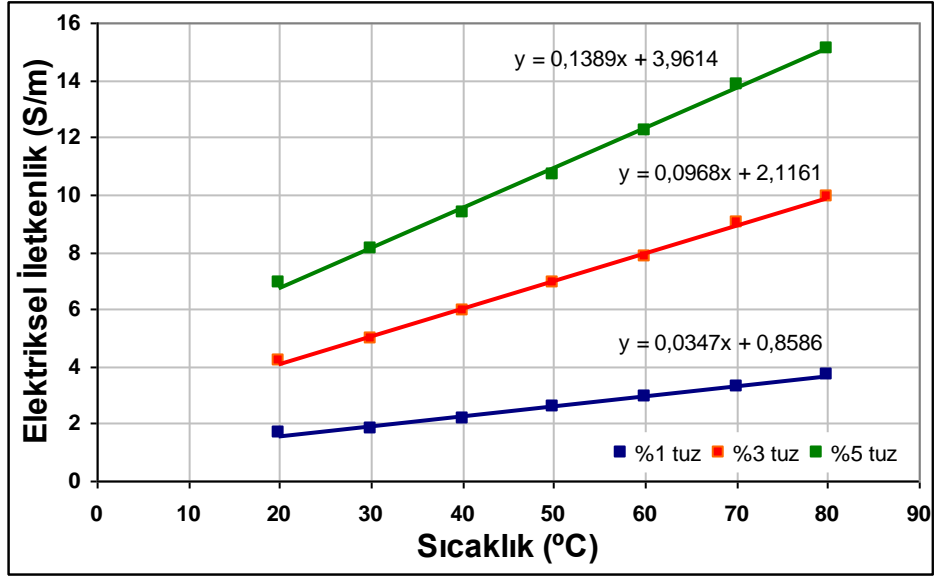
Birçok gıda, tuz ve asit gibi iyonik madde içerdiğinden özdirenç ısıtma işleminde, elektrik akımı gıdadan geçmekte ve gıdanın içerisinde ısı üretilmektedir. Literatürde, distile su içerisine konulan patates ve havuç numunelerinde düşük elektriksel iletkenlikte olduğu gözlenmiştir. Tuz çözeltilerinde ısıtılan sebzelerde ise elektriksel iletkenliğin yükseldiği belirlenmiştir (Palaniappan ve Sastry, 1991).

Farklı voltajlarda farklı çözünen konsantrasyonlarında yapılan çalışmalarda tuz konsantrasyonunun artmasıyla özdirenç ısıtma işleminin hızlandığı görülmüştür. Hazırlanan %1, %3 ve %5'lik tuz çözeltileriyle su karşılaştırıldığında ısınma süresinin suda çok yavaş gerçekleştiği görülmüştür. Şekil B.1, Şekil B.2 ve Şekil B.3 aynı voltajda tuzluluktaki değişimin ısınma hızına etkisi görülmektedir.

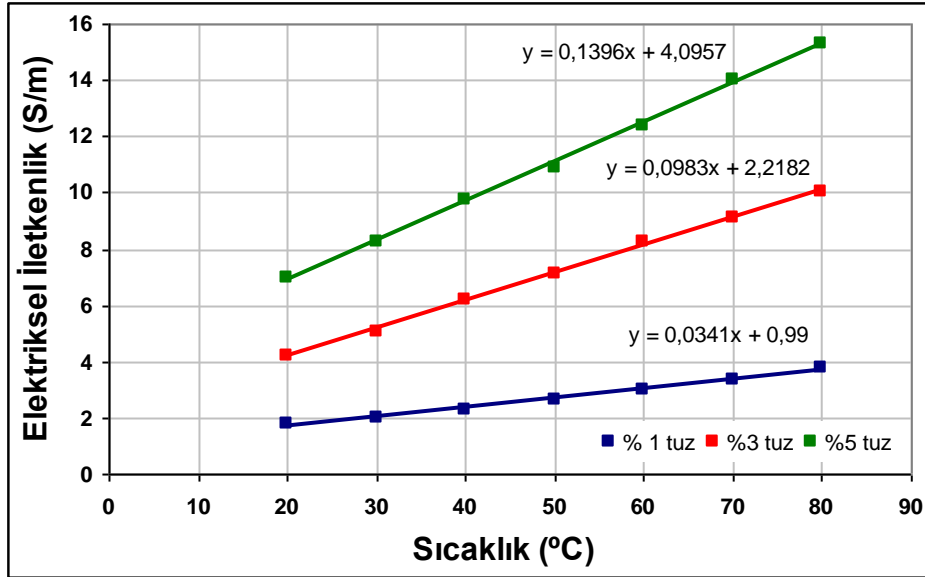
Özdirenç ısıtma ile işlenen gıdalarda elektriksel iletkenlik kritik bir proses parametresidir. Bu çalışmada, elektriksel iletkenliğin sıcaklıkla arttığı ve yüksek sıcaklıklarda ısınma hızının artmasına neden olduğu görülmüştür. Gıdanın özellikleri ve bileşimi önemli miktarda etkilenmeyecekse elektriksel iletkenlik ayarlanarak ısınma süresinin kısaltılması düşünülebilmektedir. Tuzluluğun artmasıyla ısınma süresinin kısalmasının nedeninin elektriksel iletkenliğin artmasıyla gerçekleştiği Şekil 4.7, Şekil 4.8 ve Şekil 4.9'de görülmektedir.



Şekil 4.7: 60 V'da Elektriksel İletkenliğin Sıcaklığa ve Tuzluluğa Bağlı Değişimi



Şekil 4.8: 130 V'da Elektriksel İletkenliğin Sıcaklığa ve Tuzluluğa Bağlı Değişimi



Şekil 4.9: 200 V'da Elektriksel İletkenliğin Sıcaklığa ve Tuzluluğa Bağlı Değişimi

Elektriksel iletkenlik hesaplamalarında, voltaj ve akım değerleri okunarak, denklem 3.2 ve denklem 3.3 kullanılmıştır. %1, %3 ve %5 tuzluluk değerlerinde uygulanan voltajların elektriksel iletkenlikte çok az değişim gösterdiği görülmüştür. Tek fazlı gıda sistemlerinin işlenmesi literatürde çok yaygın olarak çalışılmıştır. Fakat katı-sıvı gıda karışımları oldukça karmaşıktır. Katı ve sıvı fazın elektriksel iletkenliğinin eşitlenmesi genelde mümkün değildir. Sonuçta her iki fazın ısınma hızı farklılık göstermektedir. Bu amaçla yapılan bir çalışmada, havuç tanecik boyutu ve konsantrasyonunun ısınma süresini ve her iki fazın toplam elektriksel iletkenliğini etkilediği bulunmuştur. Uzun ısınma süresinin ise düşük elektriksel iletkenliğe sahip

gıdalarla ilgili olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca söz konusu çalışmada elektriksel iletkenliğin sıcaklıkla lineer arttığı gözlenmiştir (Zareifard ve diğ., 2003). Katı-sıvı karışımların elektriksel iletkenlik değişiminin gözlemlendiği bir başka çalışmada, sıvıya göre daha düşük elektriksel iletkenlik gösteren taneciklerin sıvıdan daha hızlı ısındığı belirlenmiştir. Fakat karışımın ısınma hızının daha yavaş gerçekleştiği görülmüştür (Sastry, 1992).

Literatürde şeker, yağ gibi iyonik olmayan gıda bileşenlerinin öz direnç ısıtma süresinin uzamasına neden olduğu belirtilmektedir (Fellows, 2000). Bu amaçla yapılan çalışmada 200 V gerilimde %1 tuz çözeltisine %5 şeker ilave edildiğinde hedef sıcaklığa ulaşma süresinin %1 tuz çözeltisine göre daha uzun olduğu görülmüştür. Fakat 200 V'da %5 oranında şeker içeren çözeltiden çok daha hızlı gerçekleştiği belirlenmiştir. %5 şeker çözeltisine elma tanecikleri (5 x 5 x 5 mm) %5 w/w oranında ilave edildiğinde ısınma hızında çok fazla değişim gözlenmemiştir (Şekil 4.10). İyonik madde içermeyen gıdaların elektriksel iletkenliği düşük olduğundan ısınma hızı yavaş gerçekleşmektedir. Bununla birlikte iyonik madde içeren gıdalara iyonik madde olmayan bileşenler ilave edildiğinde ısınma süresinin uzadığı görülmüştür.



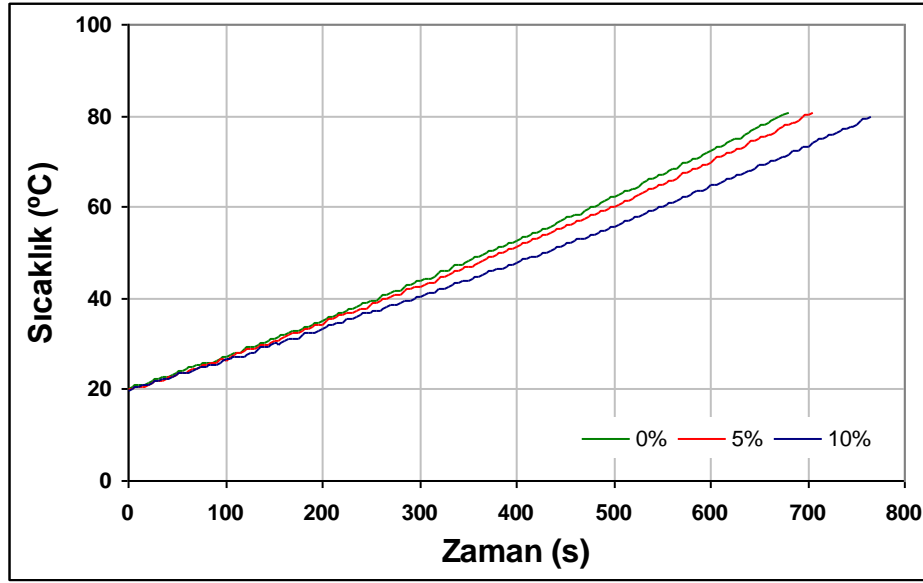
Şekil 4.10: 200 V'da Şeker Miktarının Isınma Hızına Etkisi

Farklı şeker yüzdelerinde çilek küspesinin elektriksel iletkenliğinin sıcaklığa göre değişiminin yürütüldüğü bir çalışmada, şeker miktarı fazla olan çilek küspesinde elektriksel iletkenliğin en düşük değerde olduğu görülmüştür (Castro ve diğ., 2003).

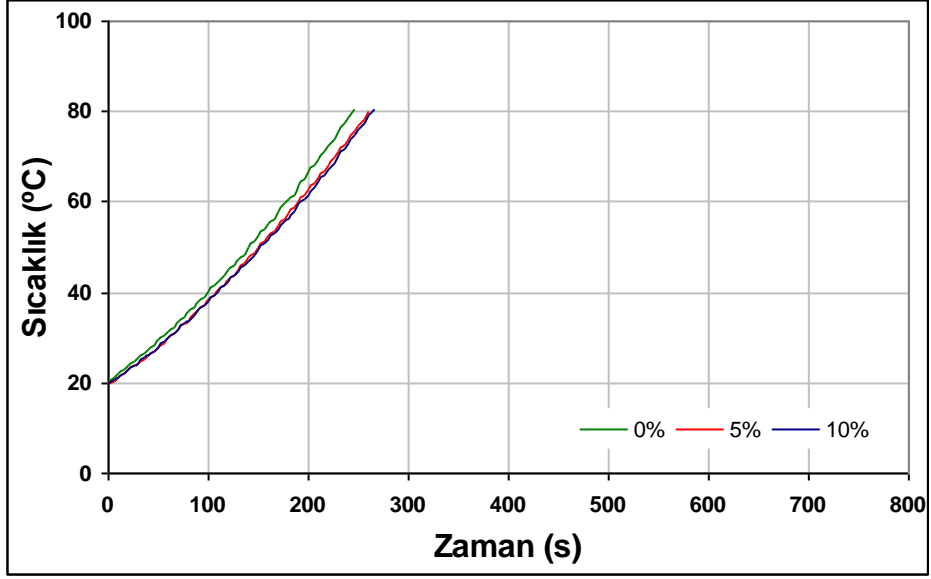


### 4.3. Katı Miktarının Özdirenç Isıtmaya Etkisi

Su içerisinde %1 ve % 3 oranında tuz içeren çözeltilerin sıcaklık-zaman değişimi Şekil 4.3 ve Şekil 4.4’de gösterilmiştir. Katı miktarını arttırmanın ısınma hızına etkisini belirlemek amacıyla %5 ve %10 w/w oranında bezelye %1 ve %3’lük tuz çözeltilerine ilave edilmiştir. Bu çalışmada 130 V ve 200 V’deki ısınma hızındaki değişim belirlenmiştir. Bunun sonucunda katı miktarının artmasının ısınma süresini uzattığı sonucuna ulaşılmıştır. Şekil 4.11, Şekil 4.12, Şekil 4.13 ve Şekil 4.14’de sırasıyla 130 V ve 200 V için %1 veya %3 tuz çözeltisindeki %0w/w, %5w/w ve %10w/w bezelye karışımındaki ısınma hızlarının karşılaştırılması yapılmaktadır. Şekil 4.11 ve Şekil 4.12’de görüldüğü gibi bezelye miktarı arttıkça ısınma süresinin uzadığı görülmektedir. Fakat gerilim 130 V’dan 200 V’a yükseltildiğinde ısınma süresinde oluşan farklılıkta azalma görülmüştür.

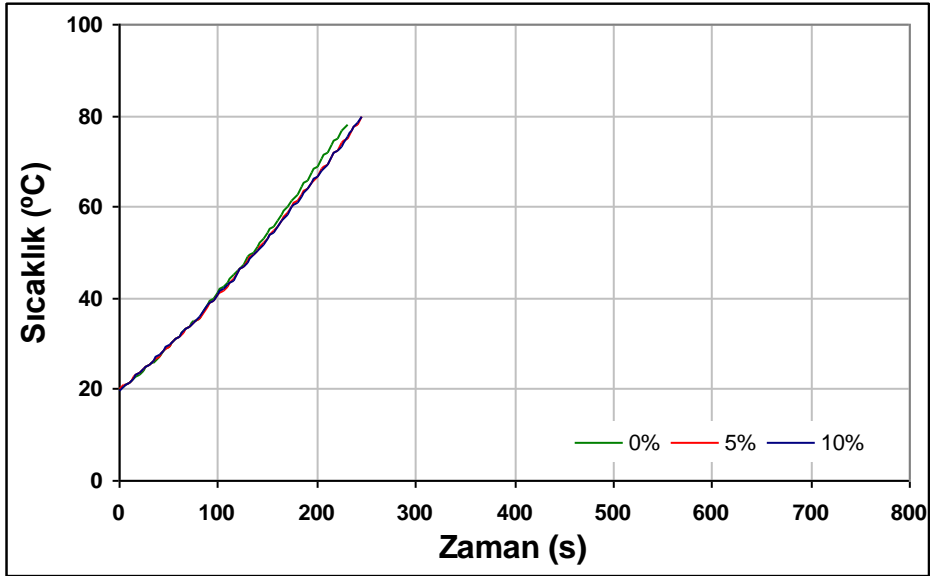


Şekil 4.11: 130 V’da %1 Tuz Çözeltisindeki Bezelye Miktarına Bağlı Isınma Hızı

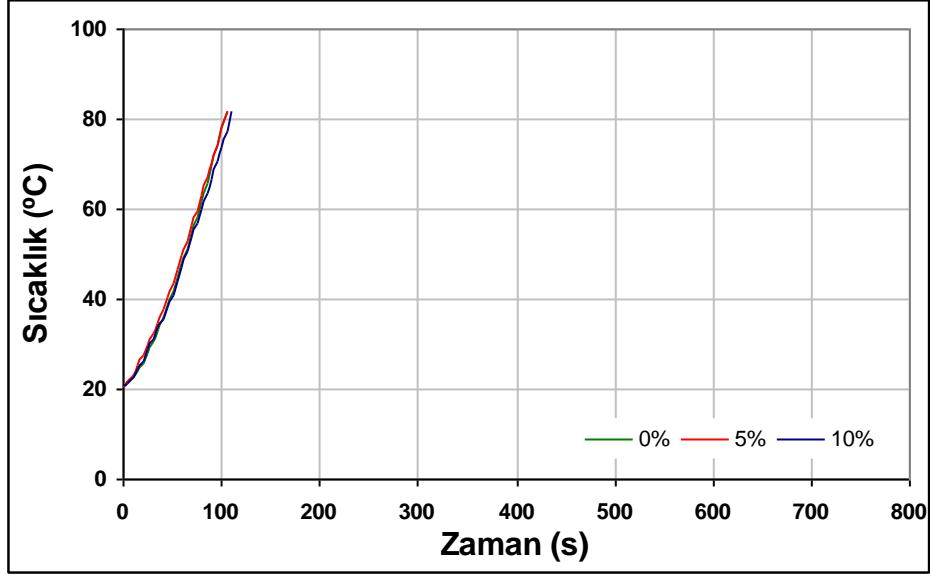


**Şekil 4.12:** 200 V'da % 1 Tuz Çözeltisindeki Bezelye Miktarına Bağlı Isınma Hızı

Şekil 4.13 ve Şekil 4.14'de tuz konsantrasyonu %3'e yükseldiğinden bezelye miktarındaki artışın ısınma hızına etkisi azalmıştır.



**Şekil 4.13:** 130 V'da %3 Tuz Çözeltisindeki Bezelye Miktarına Bağlı Isınma Hızı



**Şekil 4.14:** 200V'da %3 Tuz Çözeltisindeki Bezelye Miktarına Bağlı Isınma Hızı

Bu çalışmadan, düşük tuz konsantrasyonunda, bezelye miktarının artmasının ısınma süresinin uzamasına neden olduğu, yüksek tuz konsantrasyonunda ise katı miktarının ısınma süresini çok az etkilediği sonucuna ulaşılmıştır. Gerilim artışı ısınma sürelerinde oluşan farklılığı daha da azaltmıştır. Gerilim ve tuz miktarı ayarlanarak istenilen ısınma süresine ulaşılabilmektedir.

Benzer bir çalışmada, 250 V gerilim için %0'dan %60'a kadar değişen farklı havuç miktarlarında havuç-nişasta karışımı çözeltisindeki tanecik konsantrasyonu artırıldığında elektriksel iletkenlik değeri azaldığından ısınma süresinin uzadığı belirlenmiştir. Bezelye için yapılan bu çalışmada da benzer sonuca ulaşılmıştır (Zareifard ve diğ.,2003).

Bezelye miktarını, 130 V gerilimde %1 ve %3 tuz çözeltisi içerisinde arttırmanın akım, gerilim ve elektrik tüketimine etkisi Şekil A.13, Şekil A.14, Şekil A.15 ve Şekil A.16'da gösterilmektedir. Sabit tuz konsantrasyonunda, bezelye miktarının artışıyla gıdadan geçen akımın azaldığı ve bunun sonucunda deney süresi uzamasına rağmen elektrik sarfiyatının azaldığı görülmüştür. Örneğin, 130 V gerilimde, %1 tuz konsantrasyonu için bezelye miktarını %0 w/w'den %10 w/w'e yükseltildiğinde 80 °C'ye ulaşmak için geçen süre maksimum 1.5 dk uzamaktadır. Bununla birlikte gıdadan geçen akım, bezelye miktarının artışıyla azaldığından elektrik tüketimi daha düşük bulunmuştur. 200 V gerilimde %1 ve % 3 tuz konsantrasyonu için bezelye

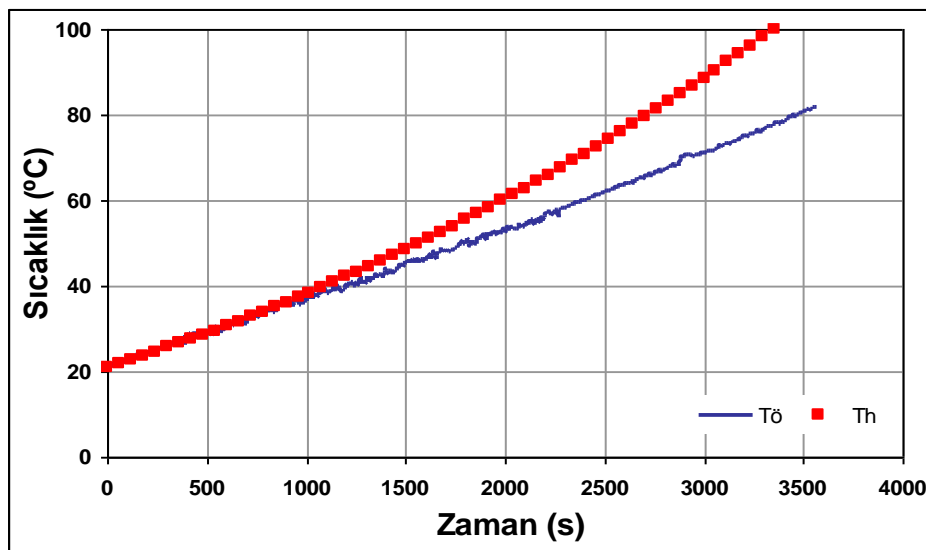
miktarındaki artışın gerilim, akım ve elektrik tüketimine etkisi Şekil A.17, Şekil A.18, Şekil A.19 ve Şekil A.20’de gösterilmiştir. 200 V bağlangıç geriliminde yapılan çalışmalarda görüldüğü gibi bezelye miktarının artışıyla gıdadan geçen akım düşmüş ve elektrik tüketimi bir miktar azalmıştır.

#### 4.4. Elektriksel Ölçümlerle Sıcaklığın Belirlenmesi

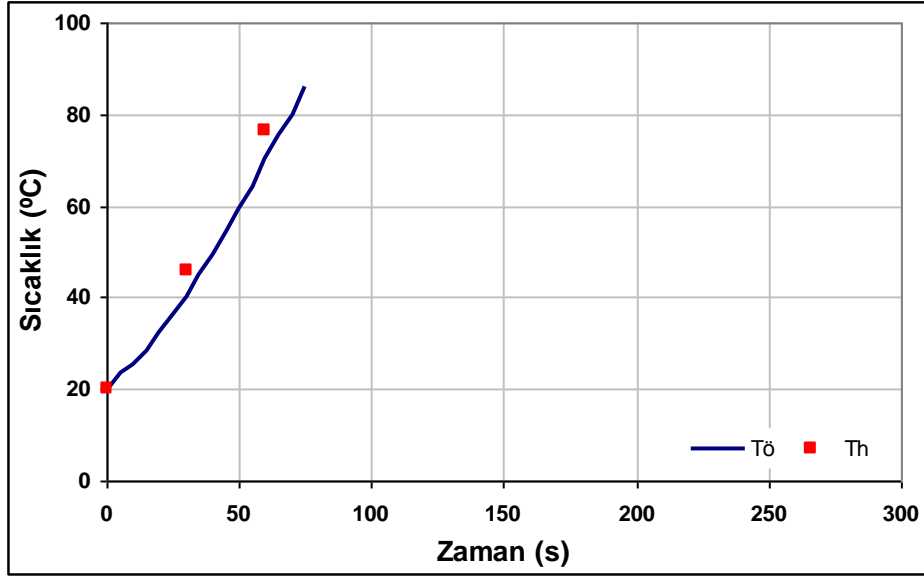
Dijital ampermetre ve voltmetreden ölçülen akım ve voltaj değerleriyle harcanan güç denklem 3.1’e göre hesaplanmıştır. Harcanan güç değeri;

$$P \cdot \Delta t = m \cdot C_p \cdot (T_2 - T_1) \quad (4.1)$$

denkleminde yerine konularak 60 saniyede bir oluşacak sıcaklık değerleri hesaplanmıştır. Ölçülen gerilim ve akım değerlerine göre hesaplanan sıcaklık değeri, kısa süreli çalışmalarda ölçülen sıcaklık değerine oldukça yakın olduğu görülmüştür. Isınma süresi uzun olan çalışmalarda teflon kütük ısındığından dolayı deneysel çalışmanın sonuna doğru ölçülen ve hesaplanan sıcaklık değerlerinde farklılık görülmüştür. Bu amaçla, ölçülen ve hesaplanan sıcaklık değerleri arasındaki en fazla ve en az farkın olduğu 60 V’da %1 tuz çözeltisi ve 200 V’da %5 tuz çözeltisindeki sıcaklık-zaman grafikleri sırasıyla Şekil 4.15 ve Şekil 4.16’da gösterilmektedir. Diğer çalışılan gerilim ve tuz çözeltilerindeki ölçülen ve hesaplanan sıcaklık değerleri Ek C’de verilmiştir.



Şekil 4.15: 60 V’da %1 Tuz Çözeltisi için Ölçülen ve Hesaplanan Sıcaklık Değerleri



Şekil 4.16: 200 V'da %5 Tuz Çözeltisindeki Ölçülen ve Hesaplanan Sıcaklık Değerleri

## 5. SONUÇ

Bu çalışma kapsamında gıdadan elektrik akımı geçirilerek gıdanın ısınmasını sağlayan öz direnç ısıtma düzeneğinin tasarımı ve kurulumu tamamlanmıştır. Öz direnç ısıtma düzeneğinde 60 V, 130 V ve 200 V için su ve %1, %3, %5 tuz çözeltilerinde; 130 V ve 200 V gerilimde %1 tuz ve %3 tuz çözeltileri içinde %5 w/w ve %10 w/w oranında bezelye içeren katı-sıvı karışımlarında; portakal nektarı ve bozada çalışmalar yürütülmüştür. Sıcaklık ölçümleri teflon silindirin birbirine eşit uzaklıktaki beş ayrı noktasından alınmış ve sıcaklık değerlerinin birbirine çok yakın olduğu görüldüğünden ortalama sıcaklık değerleri grafiklerde kullanılmıştır. Ayrıca gerilim, akım, elektrik tüketimi okunarak grafiksel olarak değişim görülmüştür.

Tuz çözeltilerinde çözünen tuz miktarı arttıkça ısınma hızının arttığı ortaya konmuştur. Uygulanan başlangıç voltajı yükseldiğinde ise oluşan elektrik alanından dolayı ısınma işleminin daha da hızlandığı görülmüştür. Düşük tuz konsantrasyonlarında (%1 tuz çözeltisi) uygulanan voltaj artırıldığında ısınma hızları arasındaki fark, yüksek tuz konsantrasyonundan (%3-%5 tuz çözeltisi) çok daha fazladır. %1 ve %3 tuz çözeltilerine %5 ve %10 w/w oranında bezelye ilave edildiğinde 130 V'da tanecik miktarının artması ısınma süresinde uzamasına neden olduğu görülmüştür. %3 tuz konsantrasyonunda, 200 V'da oluşan elektriksel alana ve elektriksel iletkenliğe bağlı olarak ısınma hızları arasındaki fark hemen hemen yok olmuştur.

Portakal nektarı ve boza için yapılan çalışmalarda, gıdalar iyonik özellikte olmayan şeker içerdiklerinden ve elektriksel iletkenliklerinin düşük olmasından dolayı hazırlanan düzenekte 20°C'den 80°C'ye ulaşma süresi uzamıştır. Şekerin elektriksel iletkenlik ve ısınma hızındaki etkisini incelemek amacıyla 200 V başlangıç geriliminde %1 tuz çözeltisine %5 oranında şeker ilave edilmiştir ve sadece %1 tuz içeren çözeltiliye kıyasla çok daha uzun sürede hedef sıcaklığa (80°C) ulaşılmıştır. Bu çalışma iyonik özellikte olmayan şeker miktarının, ısınma hızını yavaşlattığını göstermektedir. %1, %3 ve %5 tuz çözeltileri için 60 V, 130 V ve 200 V gerilimde

sıcaklık değerlerine karşılık gelen elektriksel iletkenlik değerlerinin oldukça yakın olduğu görülmüştür.

Sabit tuz konsantrasyonunda (%1 veya %3) bezelye miktarının artırıldığı çalışmalarda gıdadan geçen akım azaldığından ve deneysel çalışma süresi çok az uzadığından diğer çalışmaların tersine elektrik tüketiminin bir miktar azaldığı görülmüştür. Uygulanan başlangıç voltajı ve gıdanın elektriksel iletkenliği yükseltildiğinde gıdadan geçen akımın hızla yükseldiği ve çok daha kısa sürede ısındığı görülmüştür. Hedef sıcaklığa ulaşmak için ısınma süresinin kısalmasıyla harcanan elektrik tüketiminin azaldığı belirlenmiştir. Özdirenç ısıtma düzeneğinde gıdanın yapısını bozmayacak şekilde elektriksel iletkenliği ve uygulanan voltajı arttırmak, hem ısınma hızının artmasını ve hem de elektriksel tasarrufu sağlayacağı bu çalışmayla ortaya konmuştur.

## **KAYNAKLAR**

- Castro, I., Teixeira, J.A. and Salengke, S.,** 2003. The Influence of Field Strength, Sugar and Solid Content on Electrical Conductivity of Strawberry Products, *Journal of Food Process Engineering*, **26**, 17-29.
- De Alwis, A.A.P. and Fryer, P.J.,** 1990. The Use of Direct Resistance Heating Techniques in The Food Industry, *Journal of Food Engineering*, **11**, 3-27.
- De Alwis, A.A.P. and Fryer, P.J.,** 1992. Operability of Ohmic Heating Process: Electrical Conductivity Effects, *Journal of Food Engineering*, **15**, 21-48.
- Fellows, P.,** 2000. Food Processing Technology Principles and Practices, CRC Press, USA.
- Field, R.W. and Howell, J.A.,** 1989. Process Engineering in The Food Industry, Elsevier Science Publishers Ltd., New York.
- Fryer, P.J., De Alwis, A.A.P., Koury, E., Stapley, A.G.F. and Zhang, L.,** 1993. Ohmic Processing of Solid-Liquid Mixtures: Heat Generation and Convection Effects, *Journal of Food Engineering*, **18**, 101-125.
- Fryer, P.J. and Li, Z.,** 1993. Electrical Resistance Heating of Foods, *Trends in Food Science and Technology*, **4**, 364-369.
- Guillou, S. and El Murr, N.,** 2002. Inactivation of *Saccharomyces cerevisiae* in Solution Low-Amperage Electric Treatment, *Journal of Applied Microbiology*, **92**, 860-865.
- Halden, K., De Alwis, A.A.P. and Fryer, P.J.,** 1990. Changes in The Electrical Conductivity of foods During Ohmic Heating, *International Journal of Food Science and Technology*, **25**, 9-25.

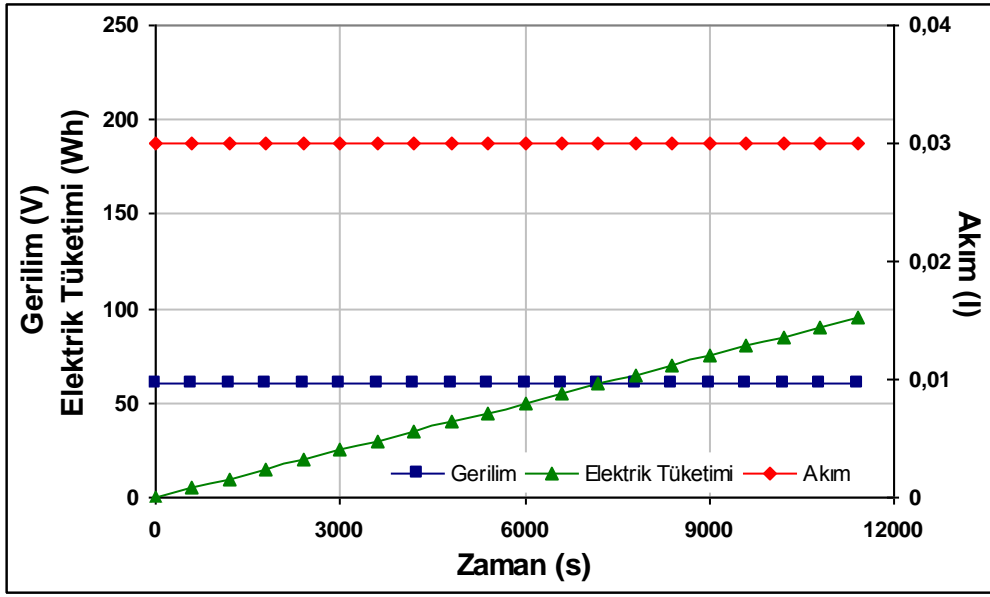


- Khalaf, W.G. and Sastry, S.K.**, 1996. Effect of Fluid Viscosity on The Ohmic Heating Rate of Solid-Liquid Mixture, *Journal of Food Engineering*, **27**, 145-158.
- Leizeron, S. and Shimani, E.** 2005. Stability and Sensory Shelf Life of Orange Juice Pasteurized by Continuous Ohmic Heating”, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **53**, 4012-4018.
- Lewis, M. and Heppell, N.**, 2000. Continuous Thermal Processing of Foods, Aspen Publication, USA.
- Lima, M., Heskitt, B.F. and Sastry, S.K.**, 1999. The Effect of Frequency and Wave Form on The Electrical Conductivity-Temperature Profiles of Turnip Tissue, *Journal of Food Process Engineering*, **22**, 41-54.
- Marcotte, M., Trigui, M. and Ramaswamy, H.S.**, 2000. Effect of Salt and Citric Acid on Electrical Conductivities and Ohmic Heating of Viscous Liquids, *Journal of Food Processing and Preservation*, **24**, 389-406.
- Mizrahi, S., Kopelman, I.J. and Pelman, J.**, 1975. Blanching by Electroconductivite Heating, *Journal of Food Technology*, **10**, 281-288.
- Ohlsson, T. and Bengtsson, N.**, 2002. Minimal Processing Technologies in The Food Industry, CRC Press, New York.
- Oliveira, F.A.R. and Oliveira, J.C.**, 1999. Quality Optimization and Process Assessment, CRC Press, USA.
- Palaniappan, S. and Sastry, S.K.**, 1991. Electrical Conductivities of Selected Solid Foods During Ohmic Heating, *Journal of Food Process Engineering*, **14**, 221-236.
- Parrott, D.L.**, 1992. Use of Ohmic Heating for Aseptic Processing of Food Particulates, *Food Technology*, **46**, 68-72.
- Rahman, M.S.**, 1999. Handbook of Food Preservation, Marcel Dekker, New York.
- Reuter, H.**, 1993. Aseptic Processing of Foods, Behr’s Verlag GmbH and Co., USA.
- Richardson, P.**, 2001. Thermal Technologies in Food Processing, CRC Press, New York.

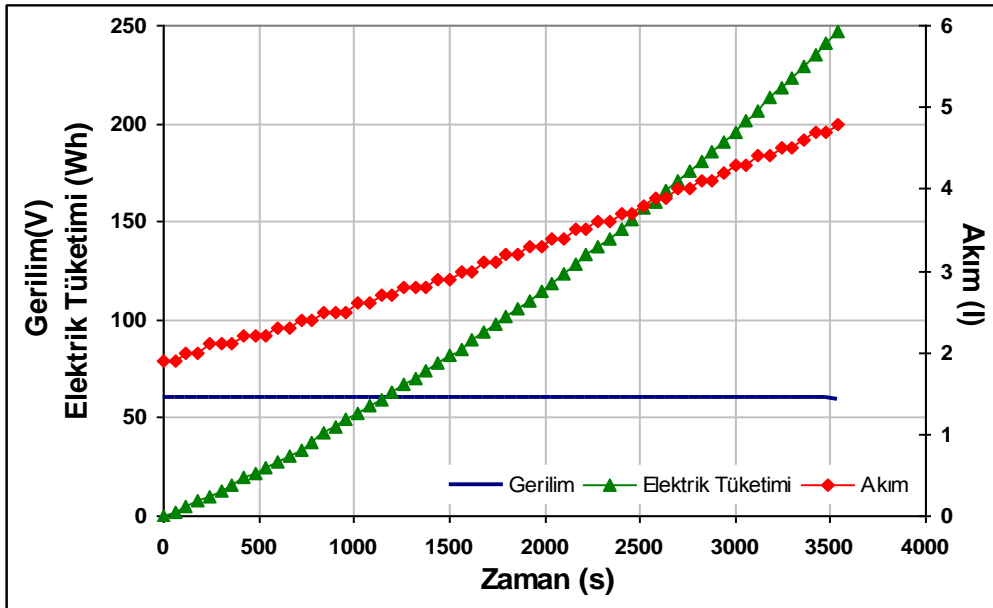
- Sastry, S.K.**, 1992. A Model for Heating of Liquid-Particle Mixtures in a Continuous Flow Ohmic Heater, *Journal of food Engineering*, **15**, 263-278.
- Sastry, S.K. and Barach, J.T.**, 2000. Ohmic and Inductive Heating, *Journal of Food Science*, **65**, 42-46.
- Sastry, S.K. and Palaniappan, S.**, 1992. Ohmic Heating of Liquid-Particle Mixtures, *Food Technology*, **46**, 64-67.
- Sensoy, I. and Sastry, S.K.**, 2003. Ohmic Blaching of Mushrooms, *Journal of Food Process Engineering*, **27**, 1-15.
- Skudder, P.J.**, 1992. Ohmic Heating in Food Processing, *Asean Food Journal*, **4**, 1547-1559.
- Zareifard, M.R., Ramaswamy, H.S., Trigui, M. and Marcotte, M.**, 2003. Ohmic Heating Behaviour and Electrical Conductivity of Two-Phase Food Systems, *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, **4**, 45-55.
- Zhang, L. and Fryer, P.J.**, 1994. Food Sterilization by Electrical Heating: Sensitivity to Process Parameters, *AIChE Journal*, **40**, 888-897.

## EKLER

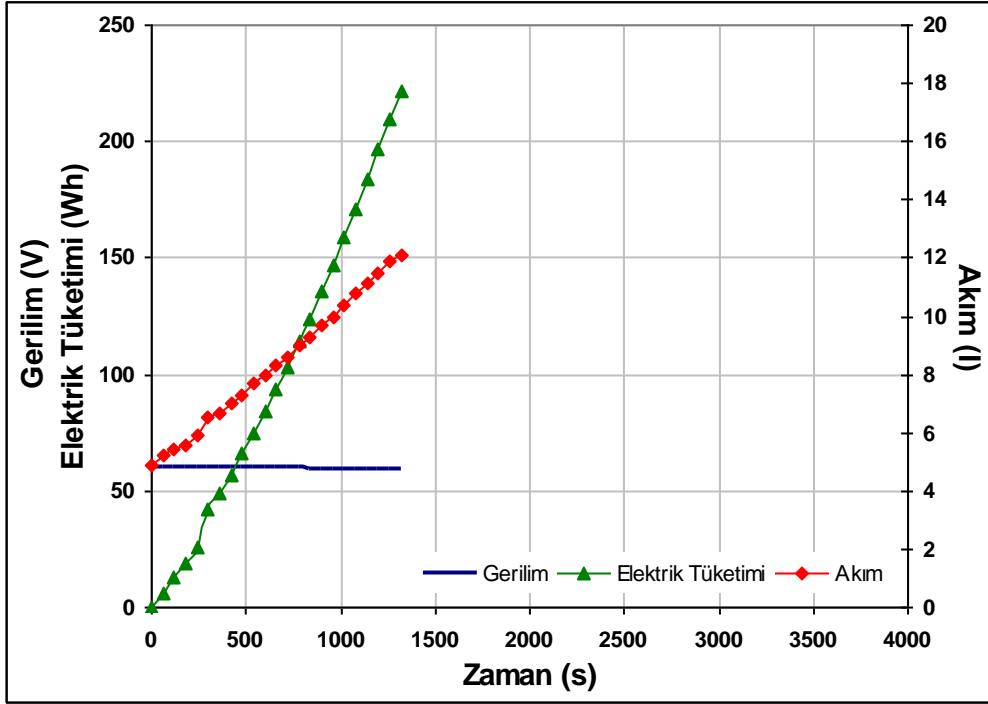
### EK A. Deneysel Çalışmalarda Gerilim, Akım, Elektrik Tüketimi Sonuçları



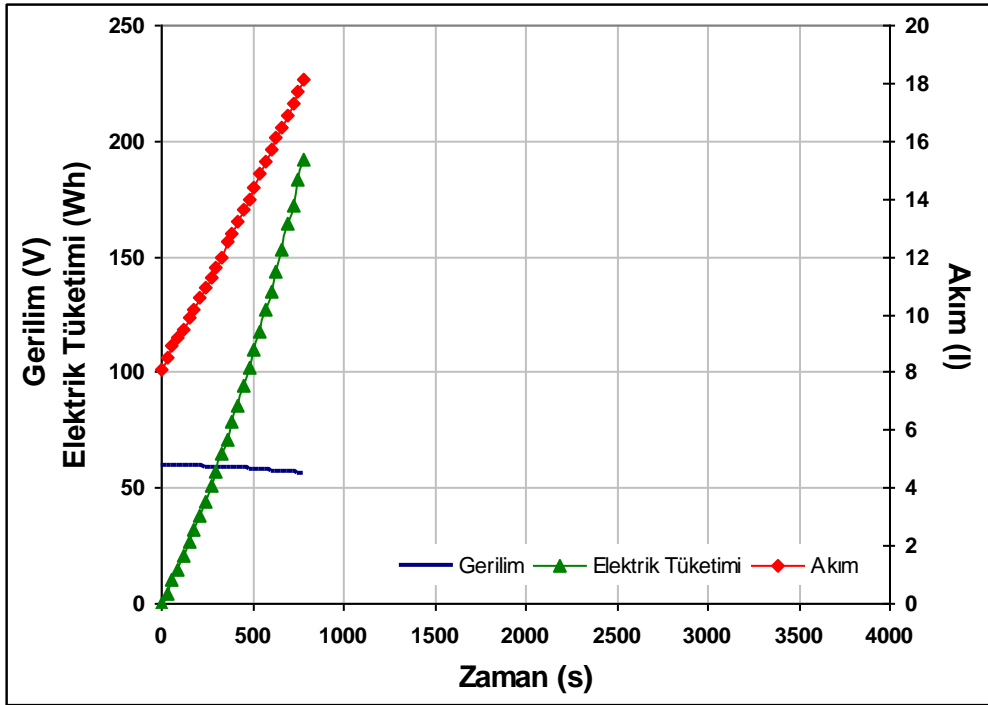
Şekil A.1: 60 V'da Su için Elektriksel Değişim



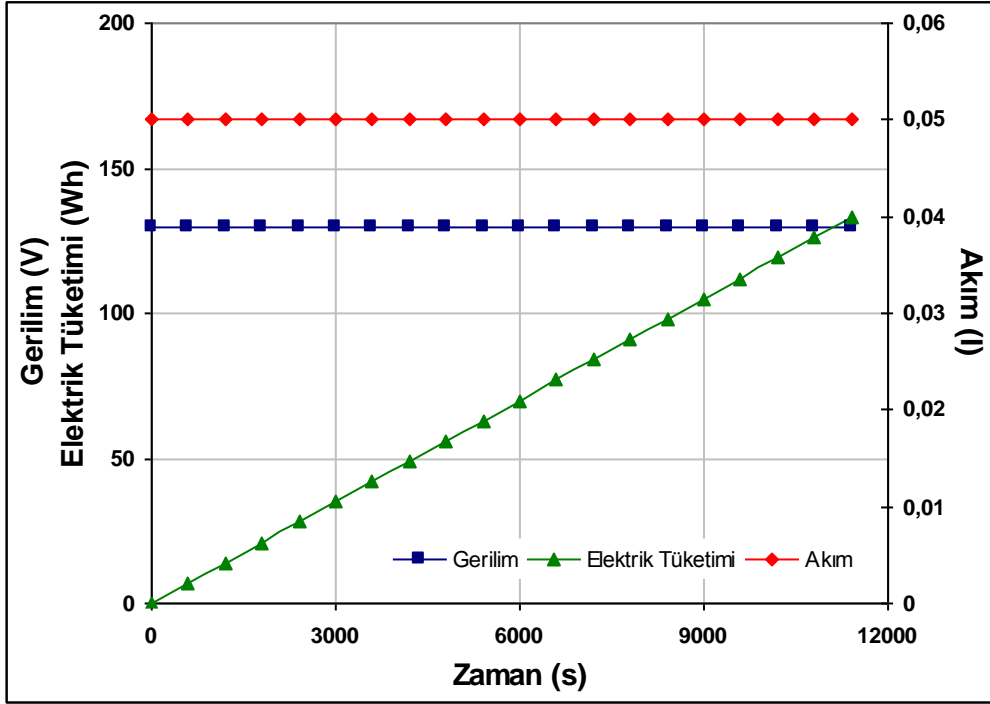
Şekil A.2: 60 V'da %1 Tuz Çözeltisindeki Elektriksel Değişim



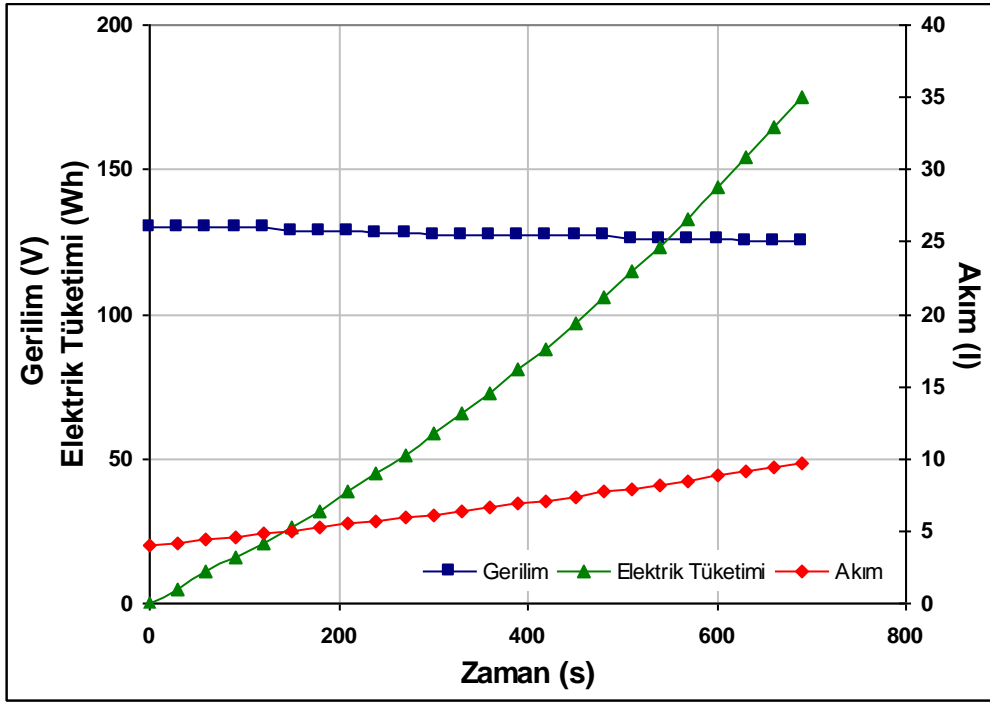
Şekil A.3: 60 V'da %3 Tuz Çözeltisindeki Elektriksel Değişim



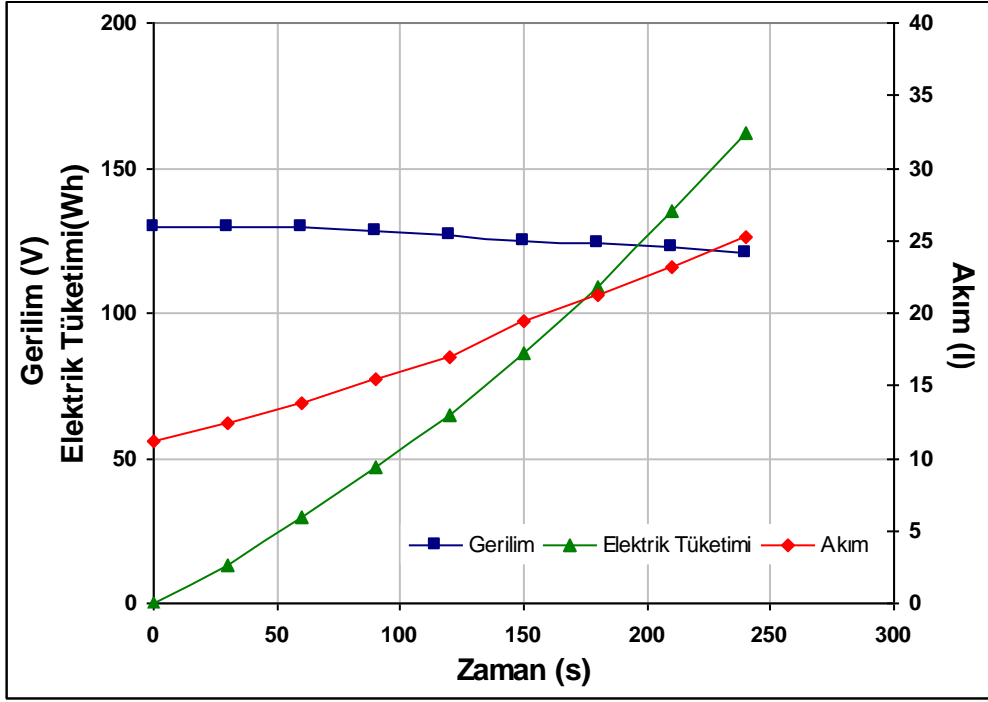
Şekil A.4: 60 V'da %5 Tuz Çözeltisindeki Elektriksel Değişim



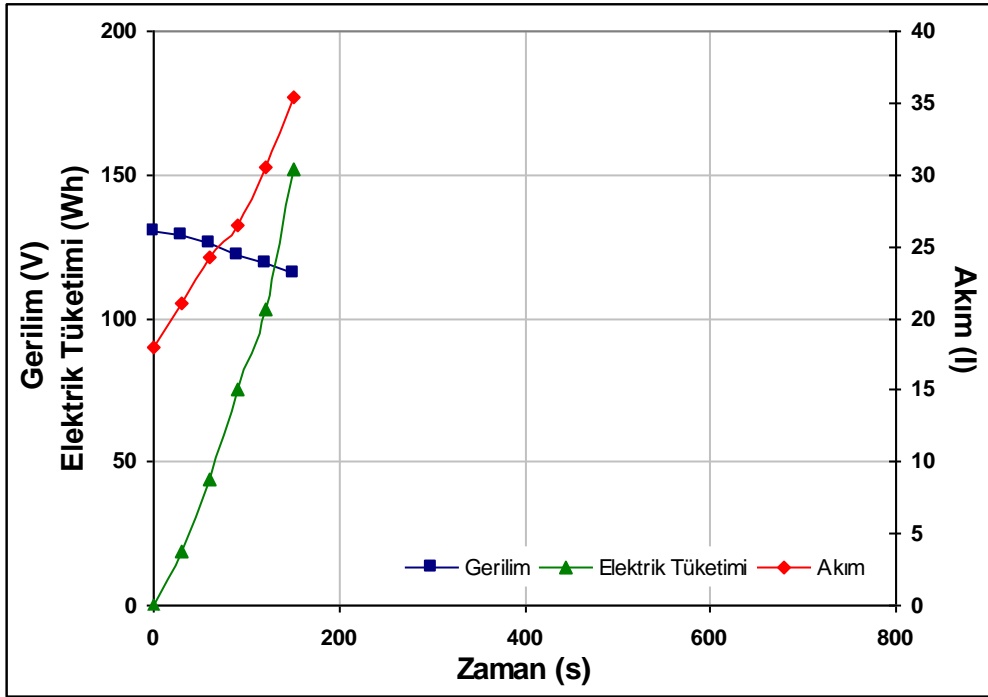
Şekil A.5: 130 V'da Su için Elektriksel Değişim



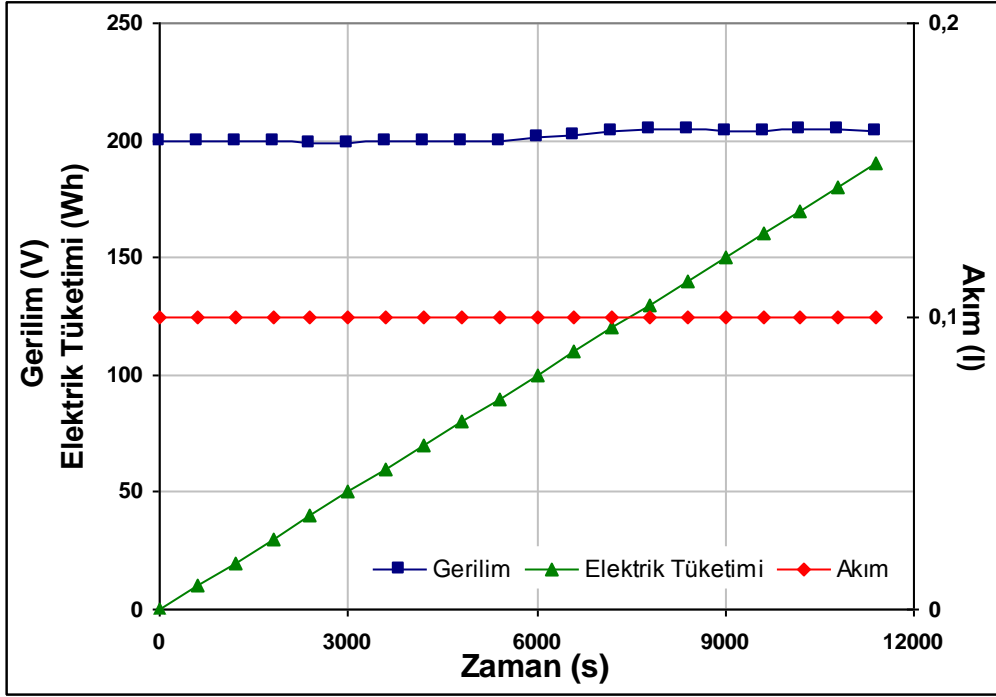
Şekil A.6: 130 V'da %1 Tuz Çözeltisindeki Elektriksel Değişim



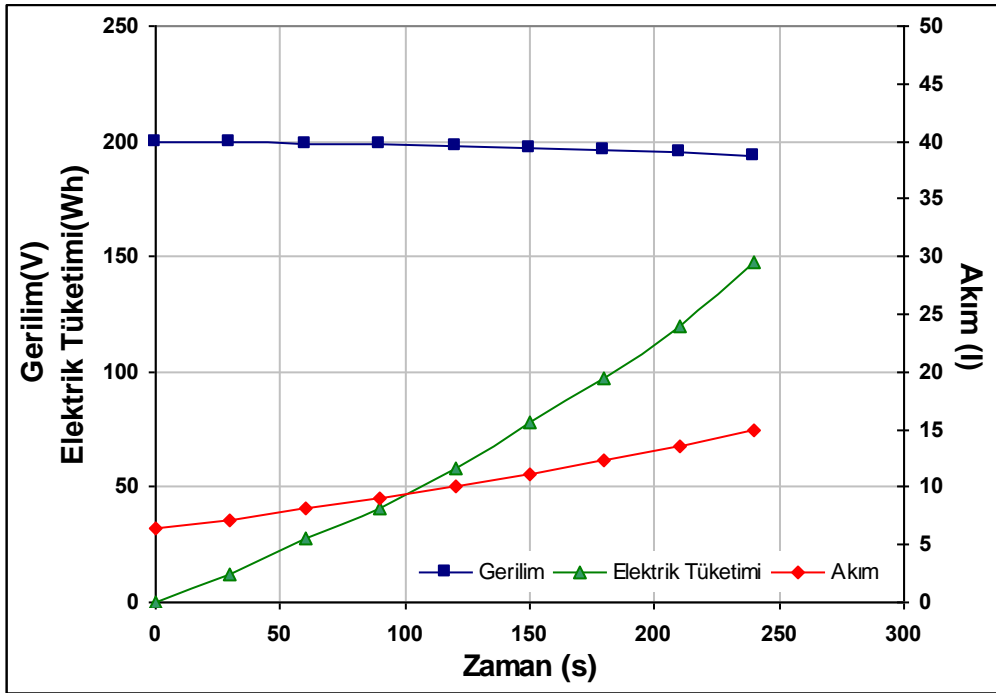
Şekil A.7: 130 V'da %3 Tuz Çözeltisindeki Elektriksel Değişim



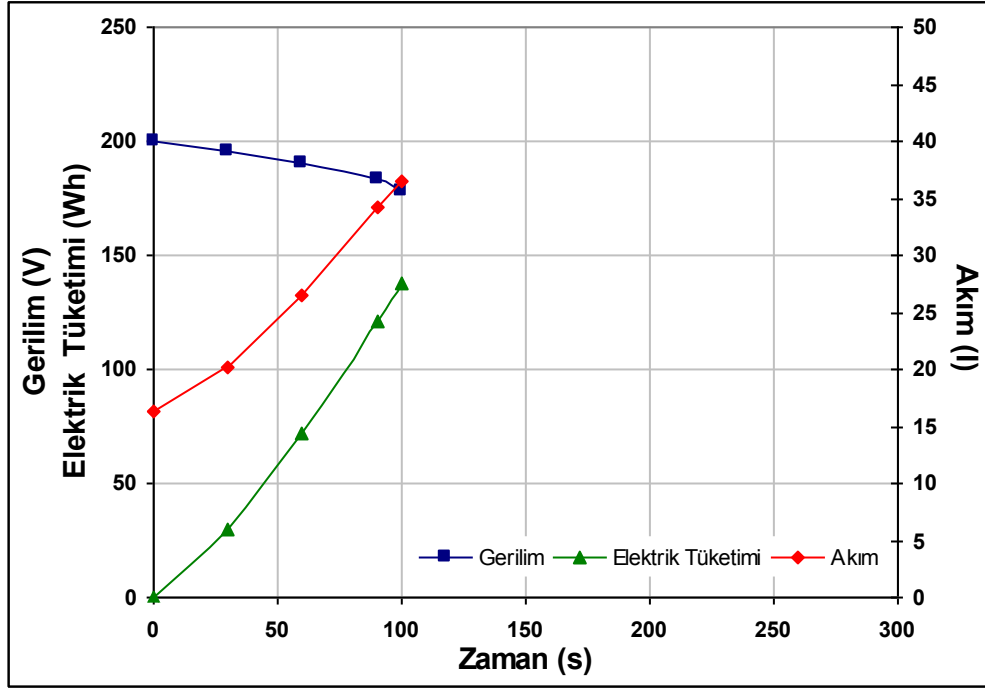
Şekil A.8: 130 V'da %5 Tuz Çözeltisindeki Elektriksel Değişim



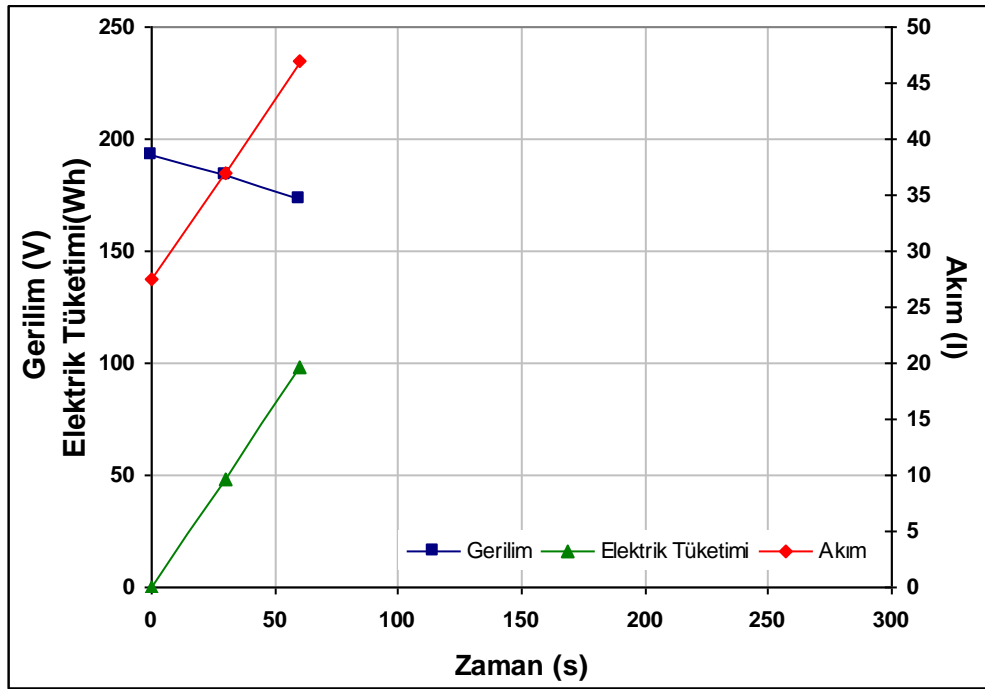
Şekil A.9: 200 V'da Su için Elektriksel Değişim



Şekil A.10: 200 V'da %1 Tuz Çözeltisindeki Elektriksel Değişim

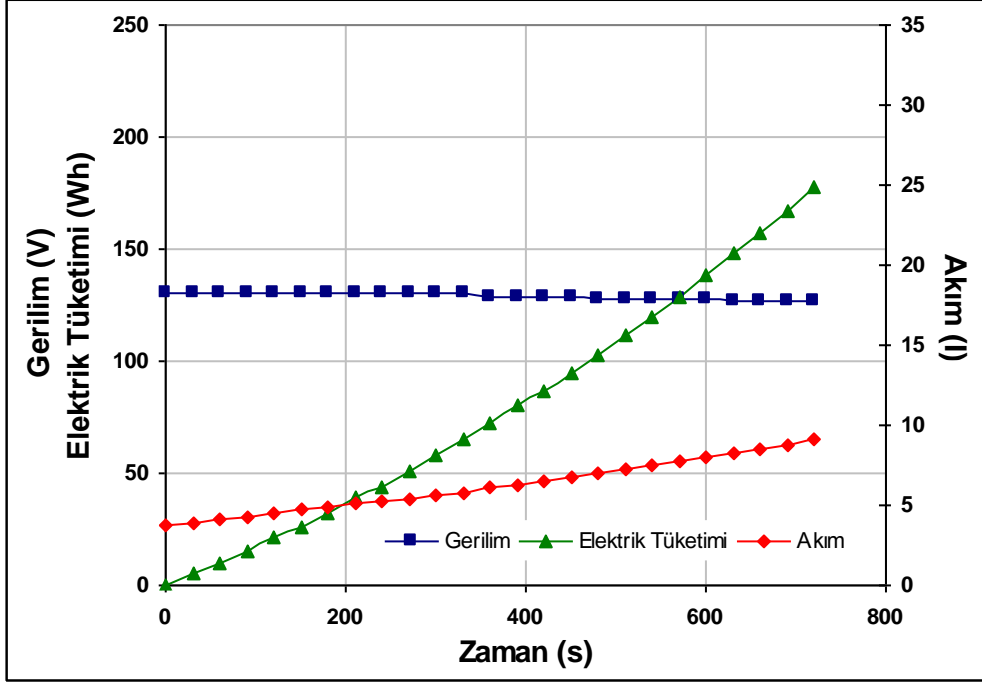


Şekil A.11: 200 V'da %3 tuz Çözeltisindeki Elektriksel Değişim

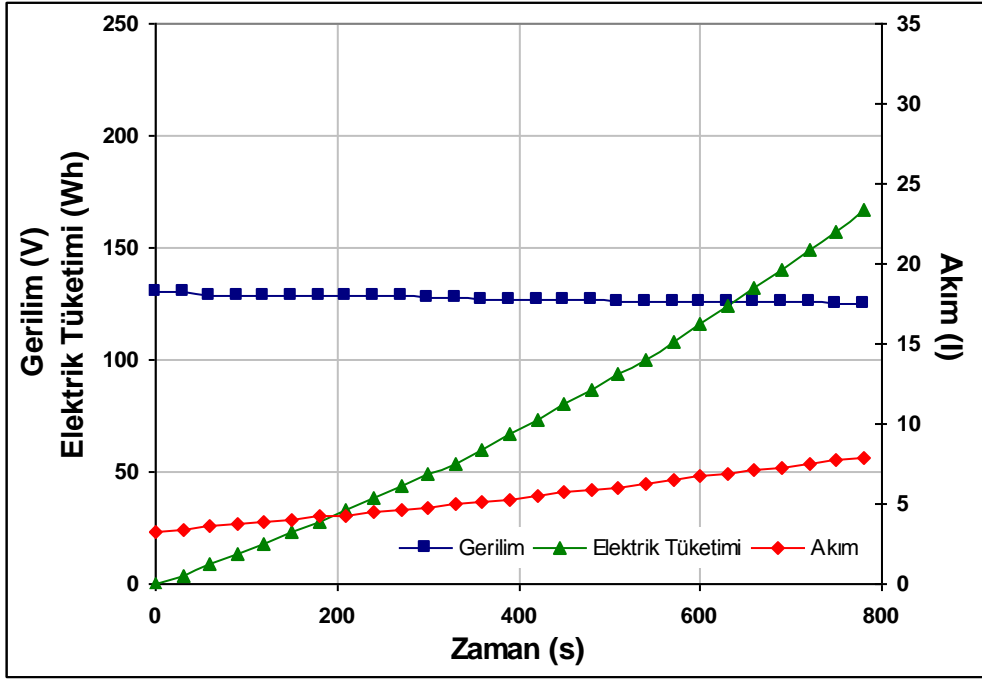


Şekil A.12: 200 V'da %5 Tuz Çözeltisindeki Elektriksel Değişim

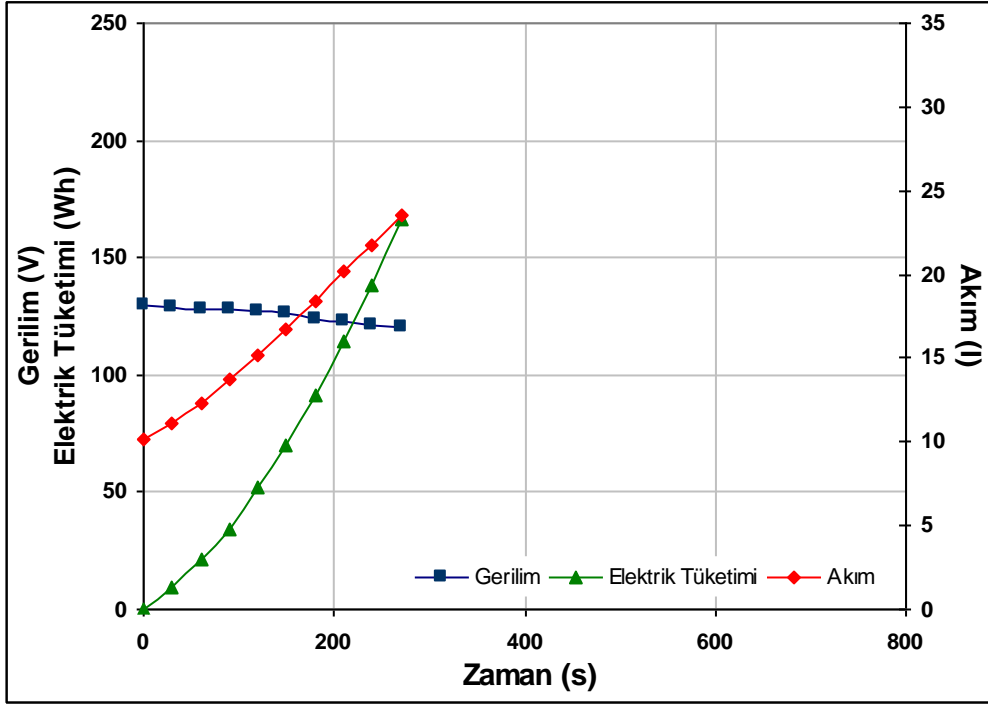




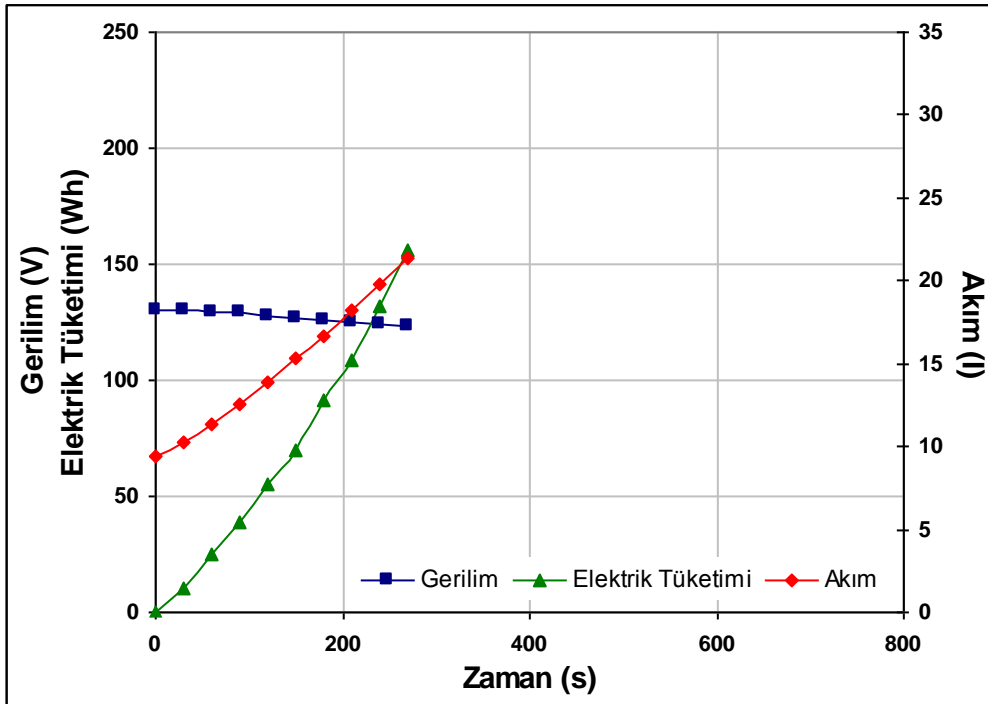
Şekil A.13: 130 V'da %1 Tuz Çözeltisi ve %5w/w Bezelye Karışımında Elektriksel Değişim



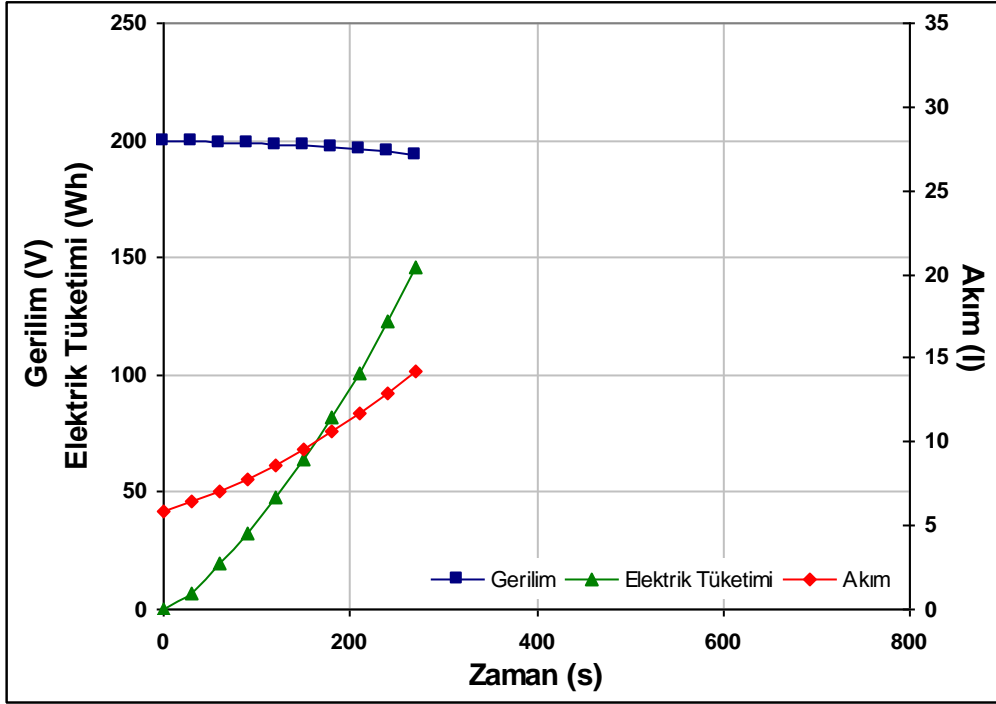
Şekil A.14: 130 V'da %1 Tuz Çözeltisi ve %10w/w Bezelye Karışımında Elektriksel Değişim



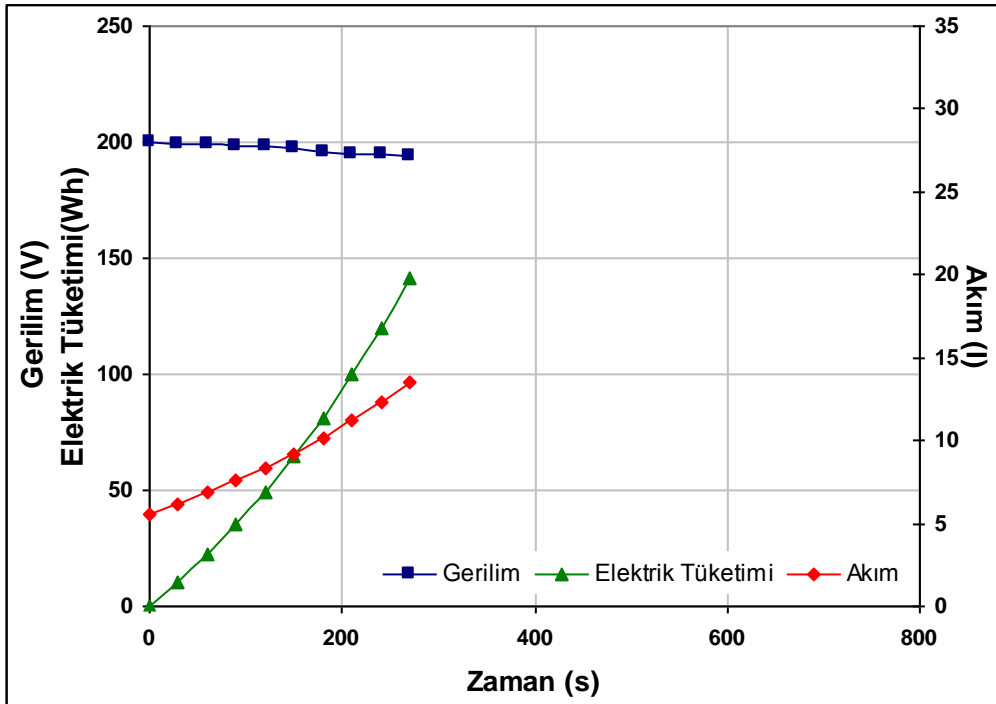
Şekil A.15: 130 V'da %3 Tuz Çözeltisi ve %5w/w Bezelye Karışımında Elektriksel Değişim



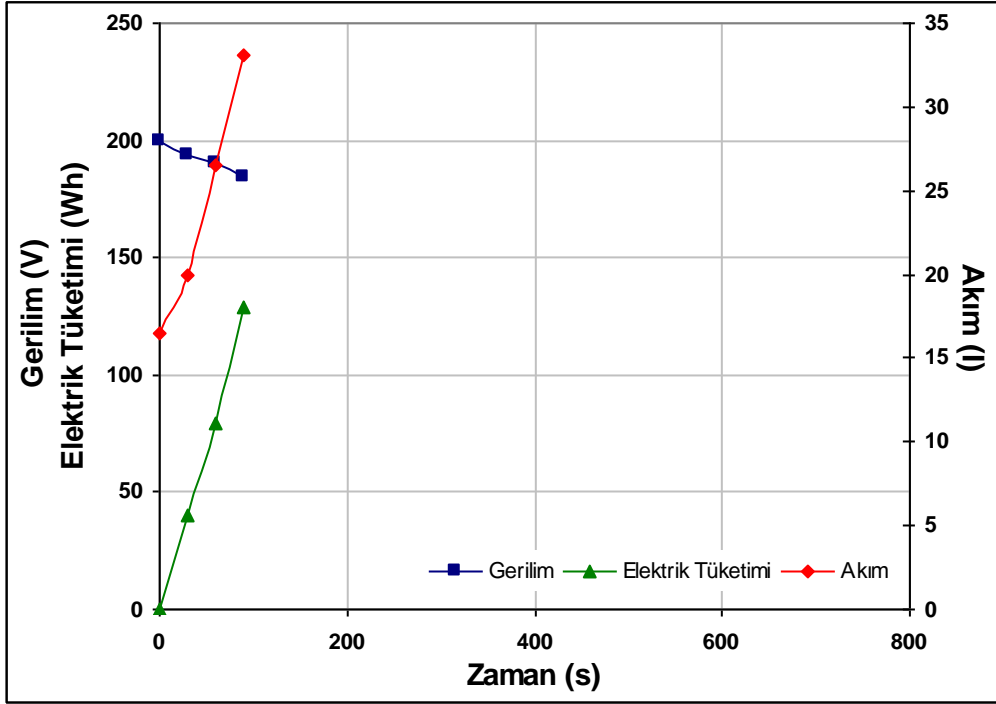
Şekil A.16: 130 V'da %3 Tuz Çözeltisi ve %10w/w Bezelye Karışımında Elektriksel Değişim



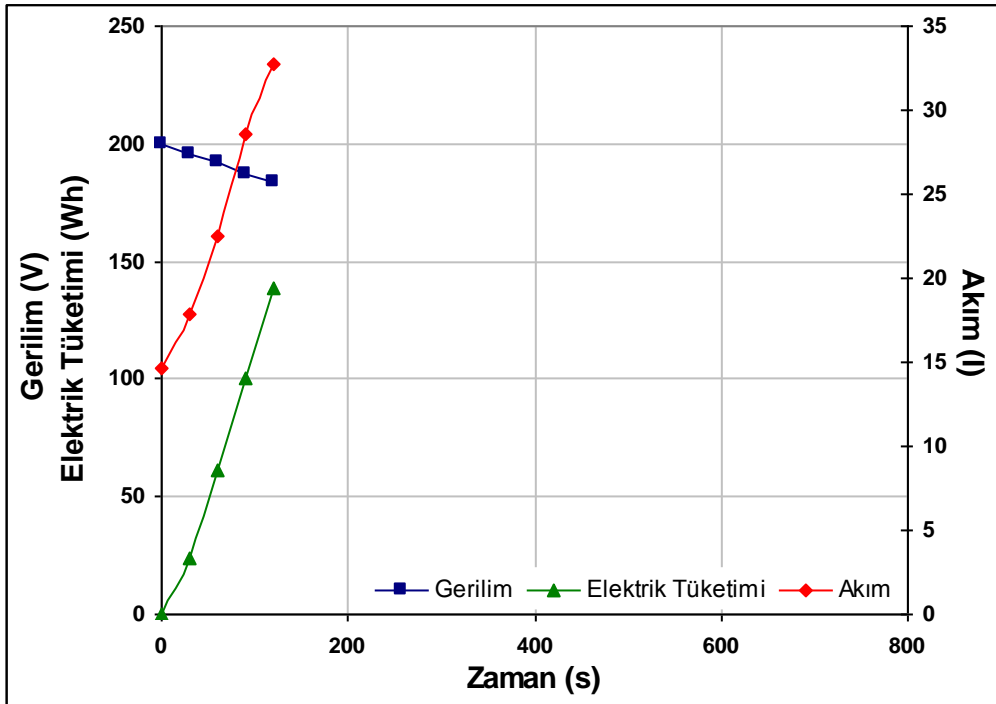
Şekil A.17: 200 V'da %1 Tuz Çözeltisi ve %5w/w Bezelye Karışımında Elektriksel Değişim



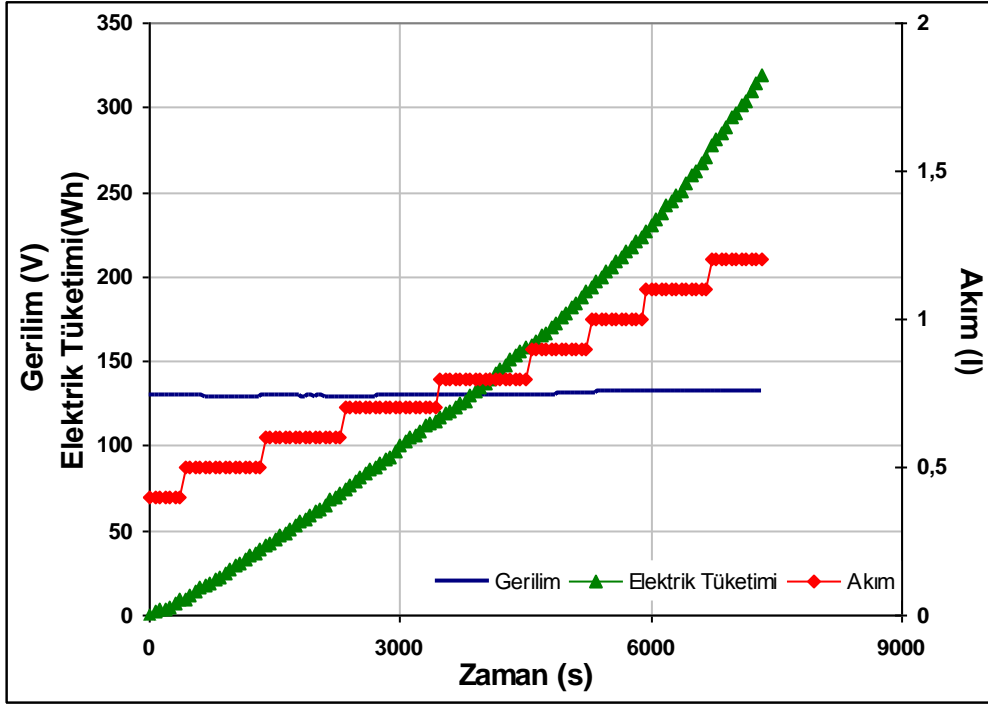
Şekil A.18: 200 V'da %1 Tuz Çözeltisi ve %10w/w Bezelye Karışımında Elektriksel Değişim



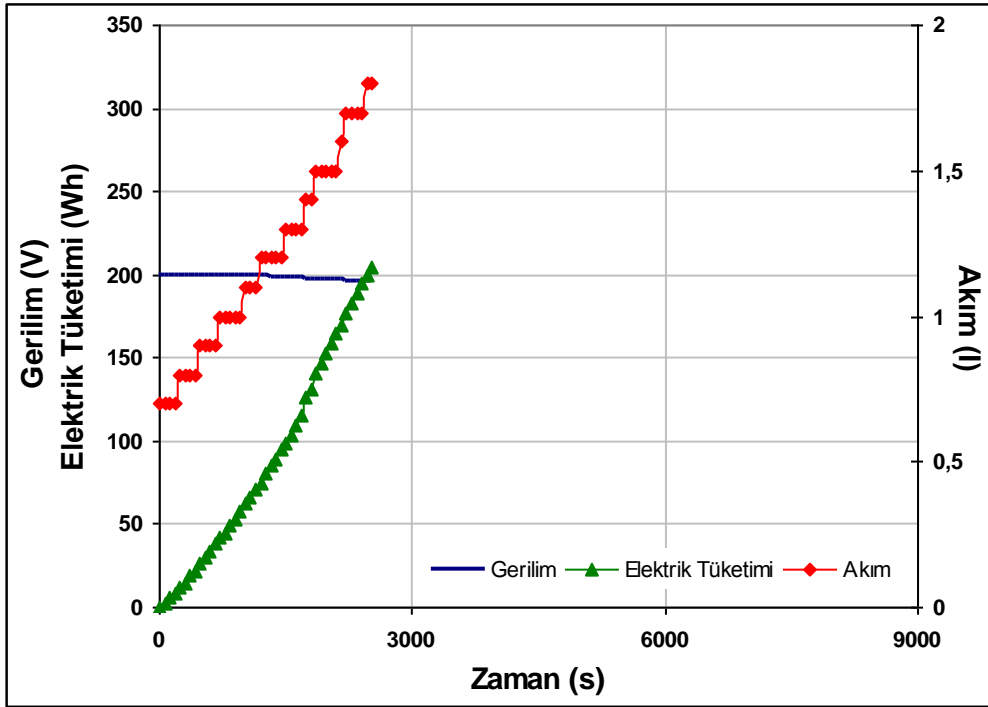
Şekil A.19: 200 V'da %3 Tuz Çözeltisi ve %5w/w Bezelye Karışımında Elektriksel Değişim



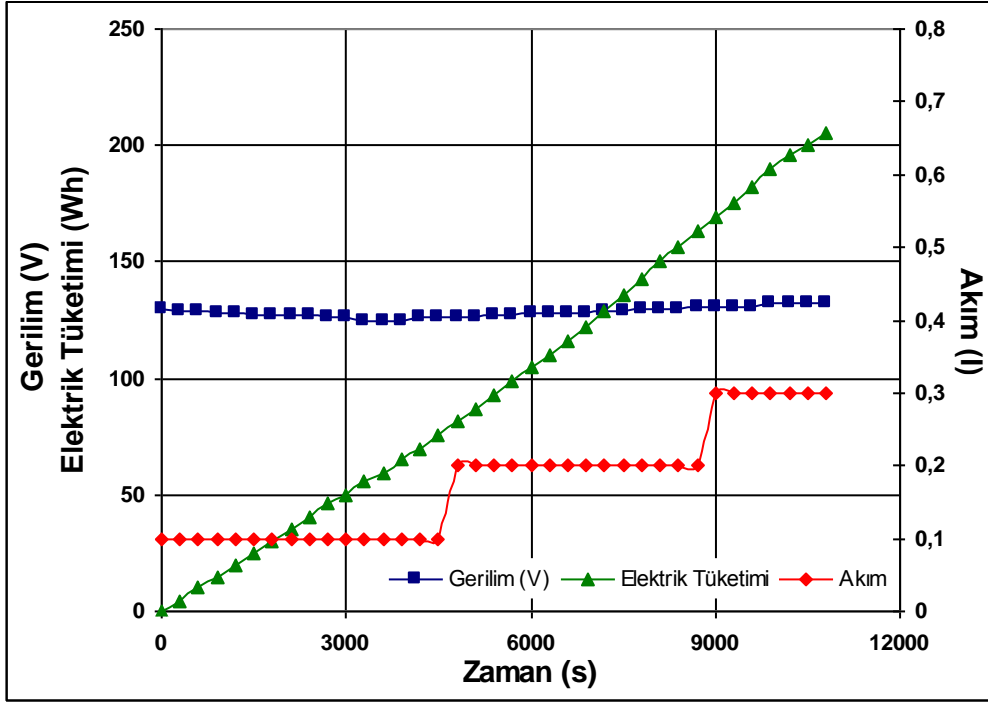
Şekil A.20: 200 V'da %3 Tuz Çözeltisi ve %10w/w Bezelye Karışımında Elektriksel Değişim



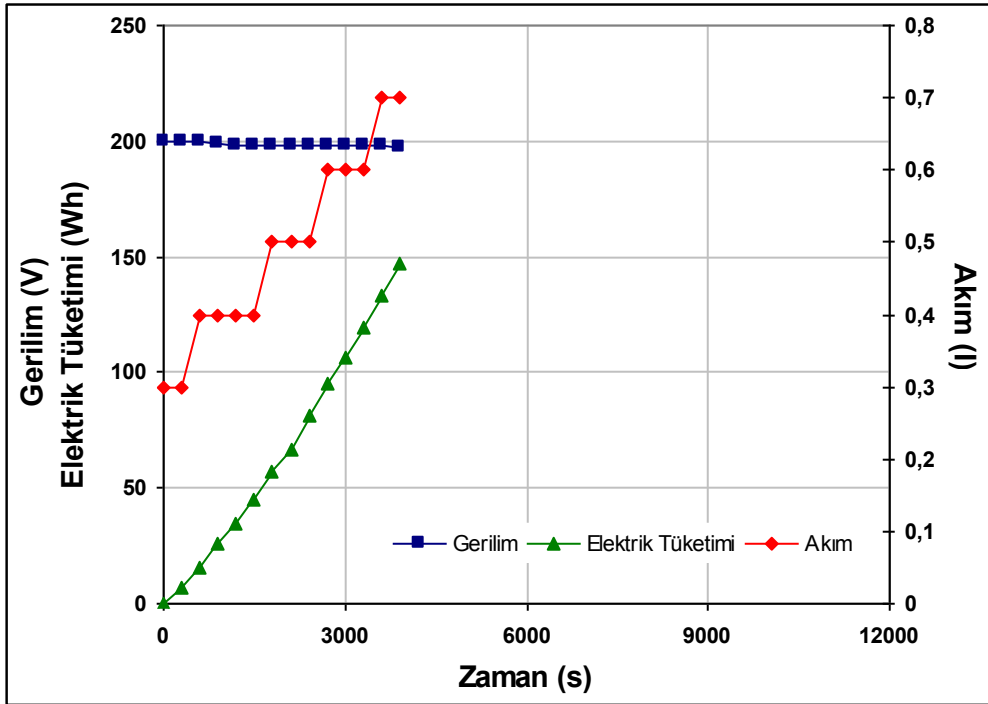
Şekil A.21: 130 V’da Portakal Nektarındaki Elektriksel Değişim



Şekil A.22: 200 V’da Portakal Nektarındaki Elektriksel Değişim

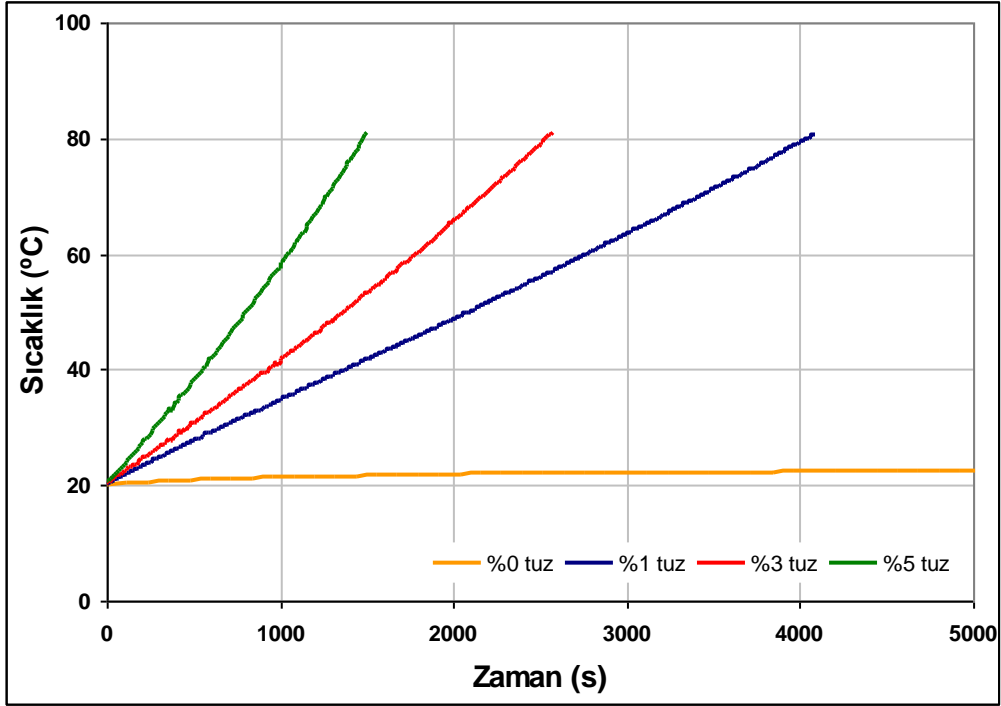


Şekil A.23: 130 V'da Bozadaki Elektriksel Değişim

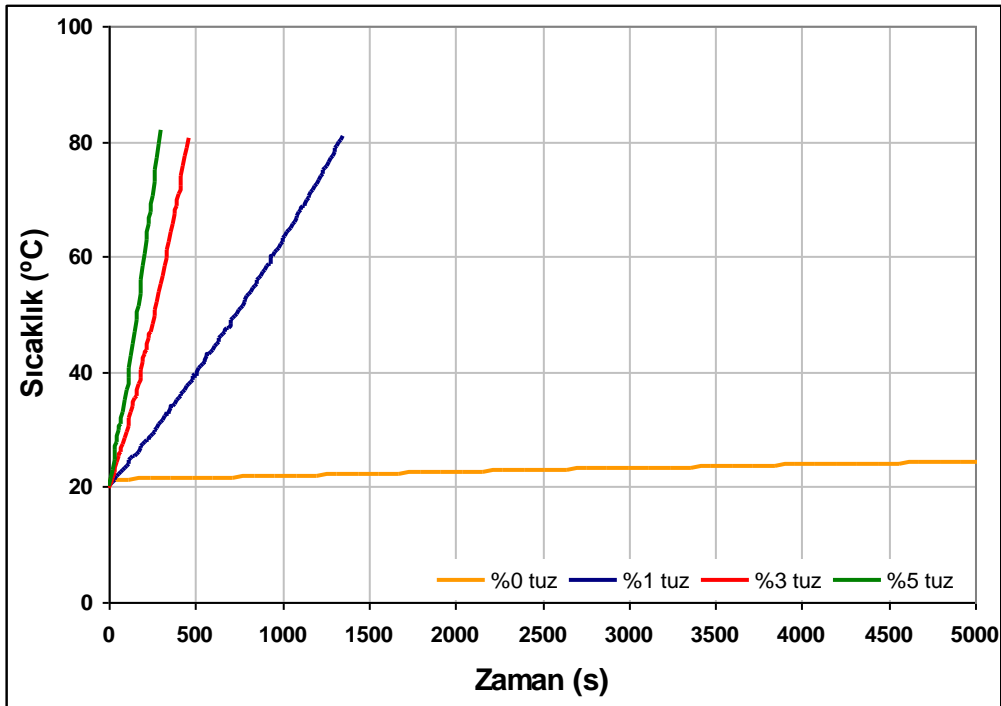


Şekil A.24: 200 V'da Bozadaki Elektriksel Değişim

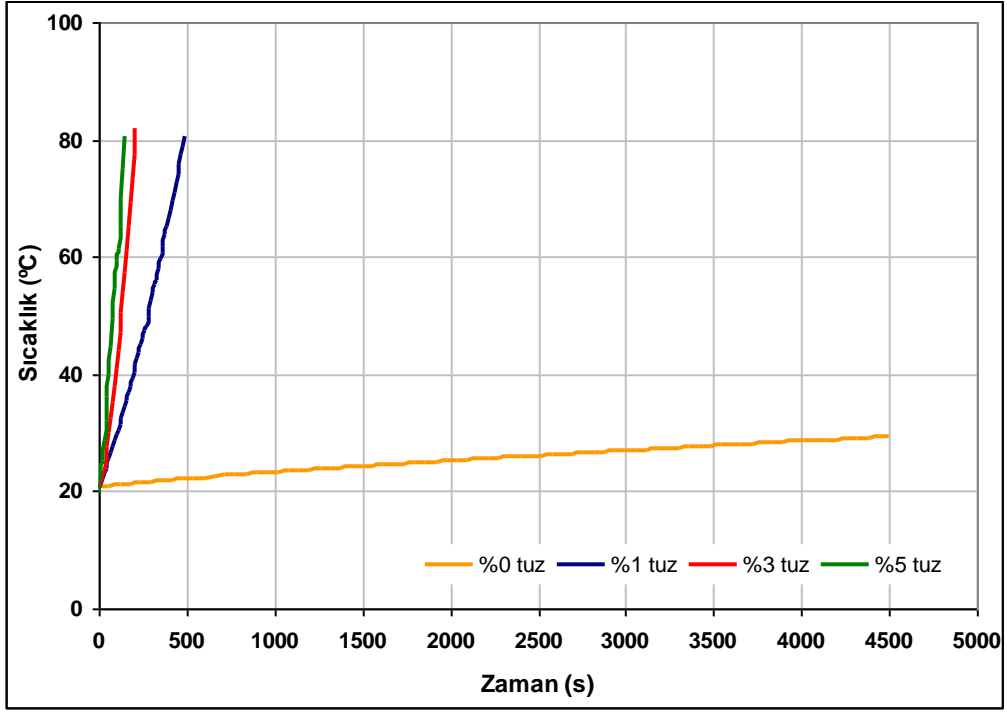
## EK B. Tuzluluğun Isınma Hızına Etkisi



Şekil B.1: 60 V'da Farklı Tuz Çözeltilerinin Isınma Hızına Etkisi



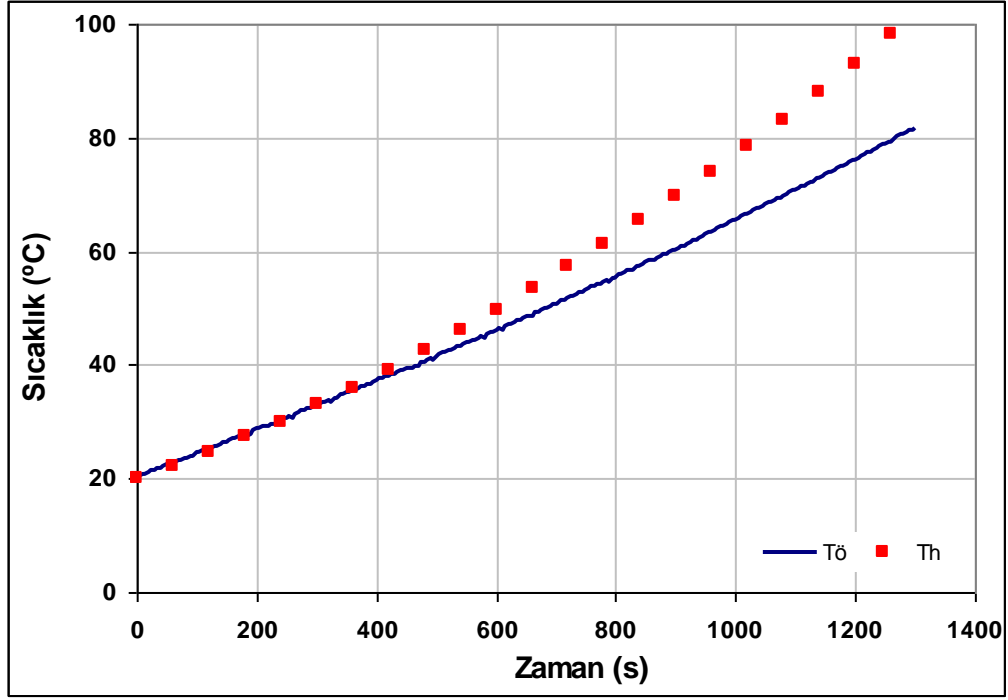
Şekil B.2: 130 V'da Farklı Tuz Çözeltilerinin Isınma Hızına Etkisi



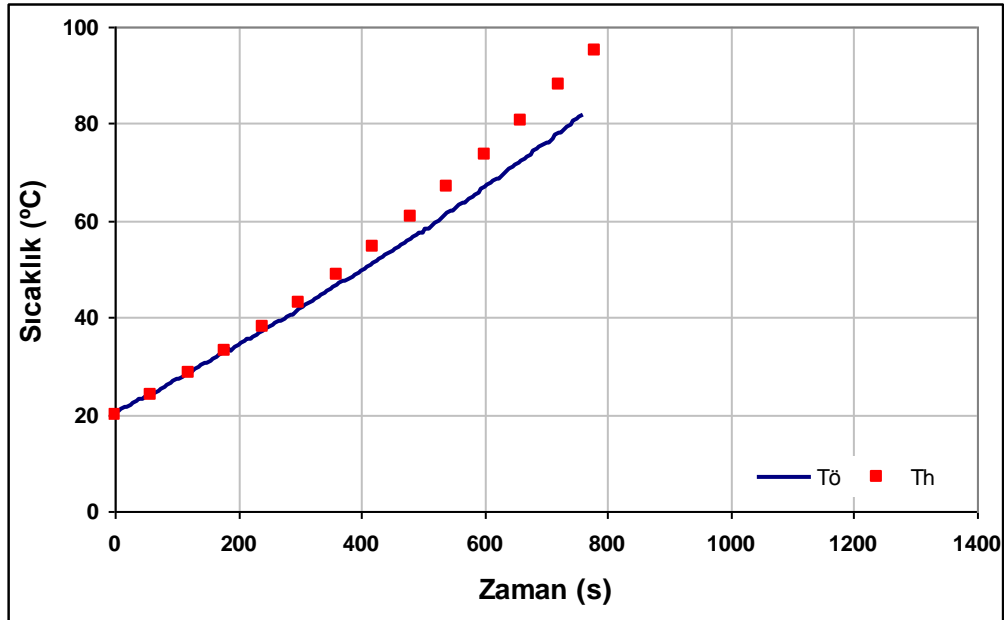
Şekil B.3: 200 V'da Farklı Tuz Çözeltilerinin Isınma Hızına Etkisi



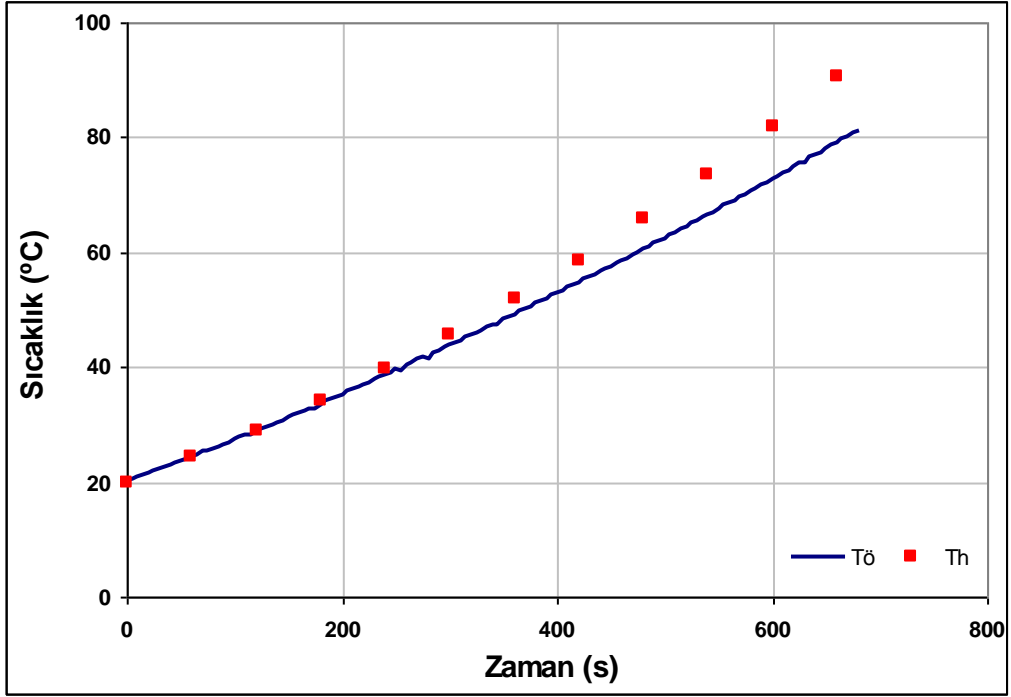
EK C. Tuz Çözeltilerinde Ölçülen ve Hesaplanan Sıcaklık Değerlerinin Karşılaştırılması



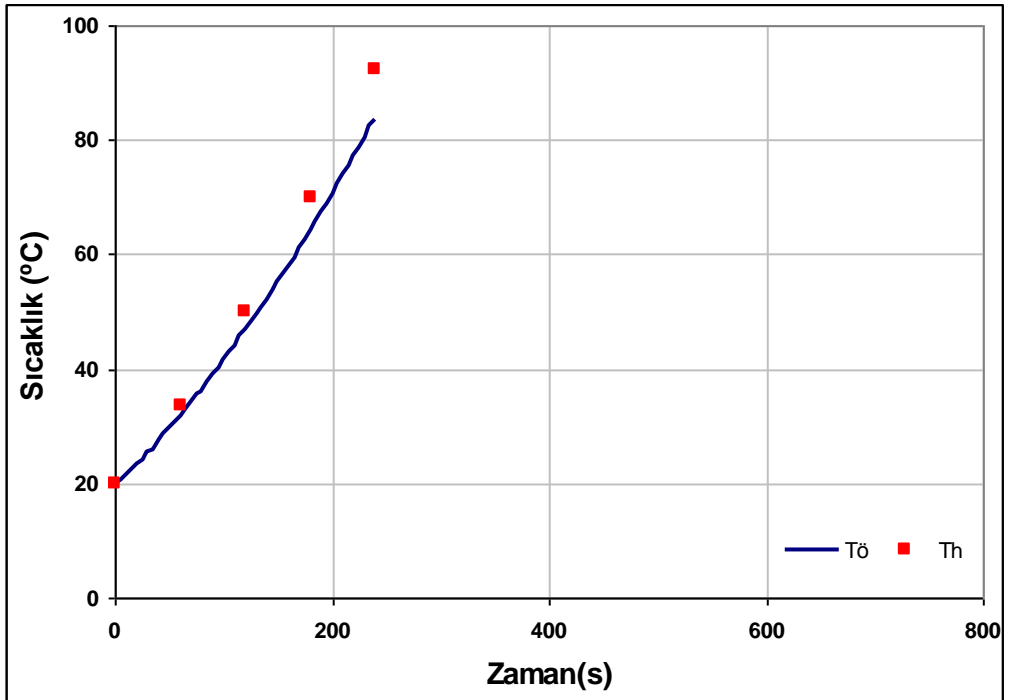
Şekil C.1: 60 V'da %3 Tuz Çözeltisinde Ölçülen ve Hesaplanan Sıcaklık Değerleri



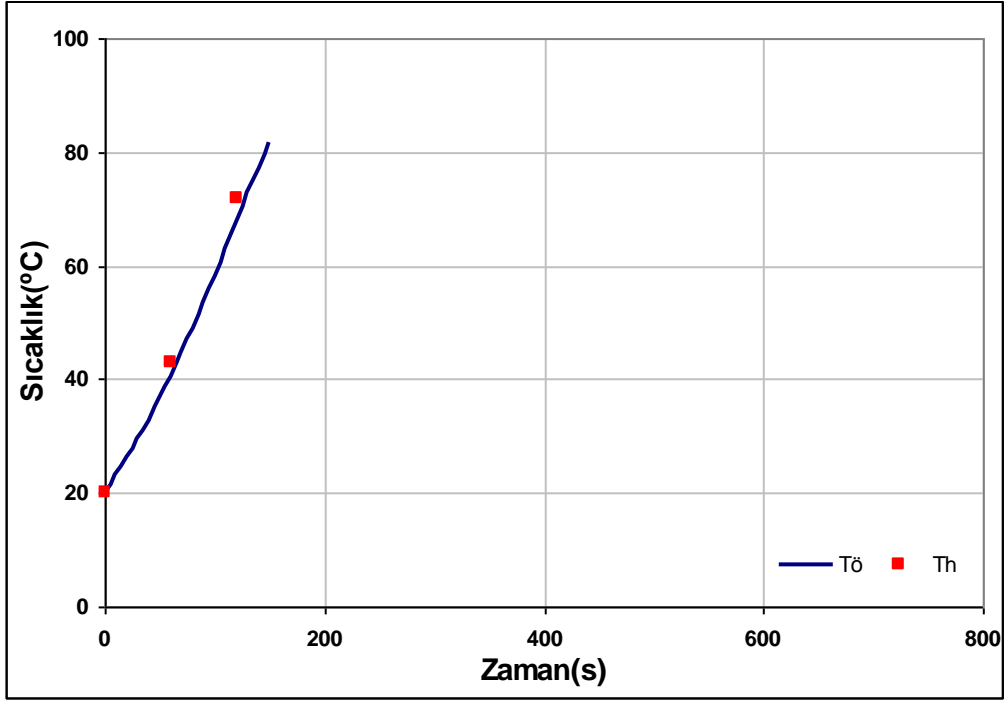
Şekil C.2: 60 V'da %5 Tuz Çözeltisinde Ölçülen ve Hesaplanan Sıcaklık Değerleri



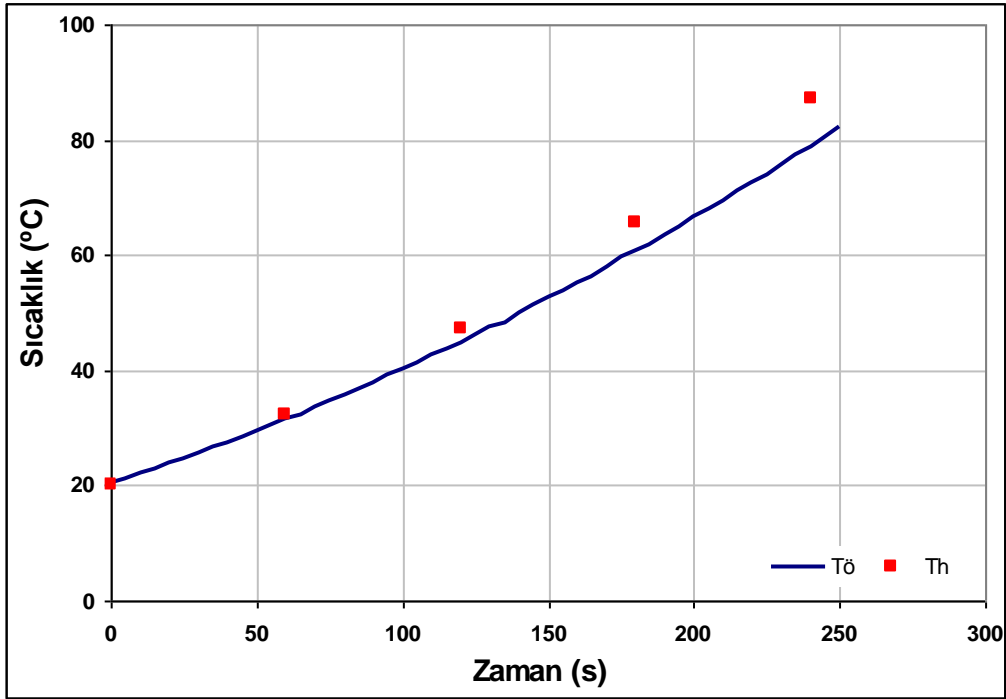
Şekil C.3: 130 V'da %1 Tuz Çözeltisinde Ölçülen ve Hesaplanan Sıcaklık Değerleri



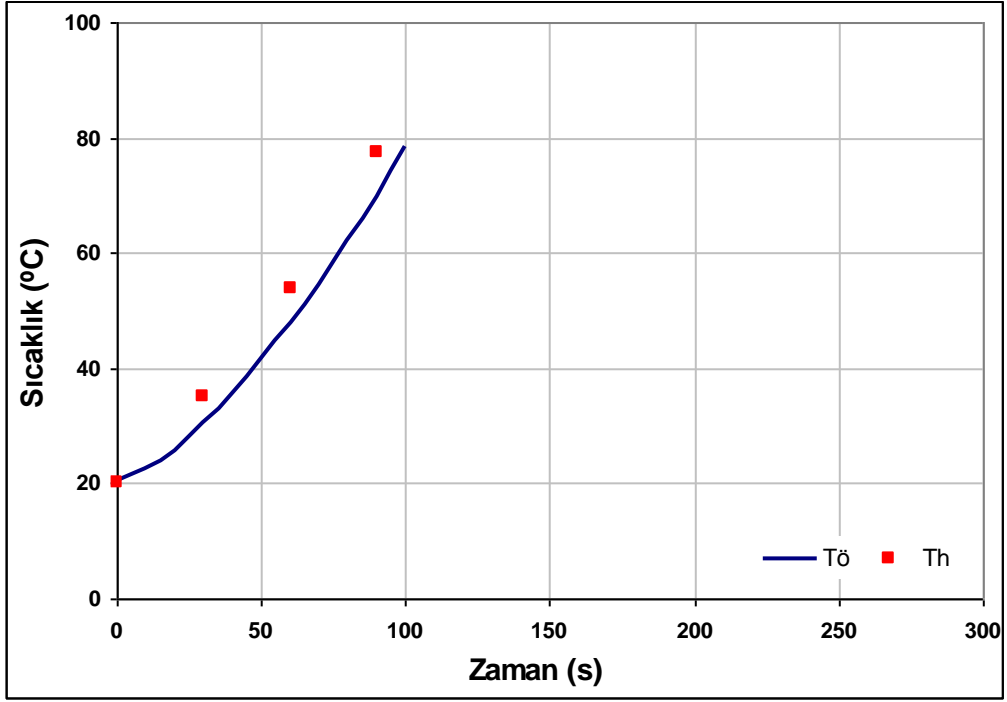
Şekil C.4: 130 V'da %3 Tuz Çözeltisinde Ölçülen ve Hesaplanan Sıcaklık Değerleri



Şekil C.5: 130 V'da %5 Tuz Çözeltisinde Ölçülen ve Hesaplanan Sıcaklık Değerleri



Şekil C.6: 200 V'da %1 Tuz Çözeltisinde Ölçülen ve Hesaplanan Sıcaklık Değerleri



Şekil C.7: 200 V'da %3 Tuz Çözeltisinde Ölçülen ve Hesaplanan Sıcaklık Değerleri

## **ÖZGEÇMİŞ**

Pınar Erkek 1979 yılında İstanbul'da dünyaya gelmiştir. Orta öğretimini İstanbul'da Erenköy Kız Lisesi'nde tamamlamıştır. Yıldız Teknik Üniversitesi, Kimya Metalurji Fakültesi, Kimya Mühendisliği bölümünde lisans eğitimini 2001 yılında bitirmiştir. Aynı yıl İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Programında lisans üstü programına kabul edilmiş ve 2005 yılında yüksek lisans tez çalışmalarına başlamıştır.