



**T.C.**

**ORDU ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KRİSTALLENMİŞ ÇİÇEK BALI ERİME HIZININ**  
**MEKANİK OLARAK ARTIRILMASI**

**TURGAY ŞAHİN**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
**YENİLENEBİLİR ENERJİ ANABİLİM DALI**

**ORDU 2019**

**T.C.**  
**ORDU ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
**YENİLENEBİLİR ENERJİ ANABİLİM DALI**

**KRİSTALLENMİŞ ÇİÇEK BALI ERİME HIZININ  
MEKANİK OLARAK ARTIRILMASI**

**TURGAY ŞAHİN**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**ORDU 2019**

## TEZ ONAY

**Turgay ŞAHİN** tarafından hazırlanan “**KRİSTALLENMİŞ ÇİÇEK BALIN ERİME HIZININ MEKANİK OLARAK ARTIRILMASI**” adlı tez çalışmasının savunma sınavı 02.12.2019 tarihinde yapılmış ve jüri tarafından oy birliği ile Ordu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **YENİLENEBİLİR ENERJİ ANABİLİM DALI** **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman  
Dr. Öğr. Üyesi Mithat AKGÜN

### Jüri Üyeleri

Danışman  
Dr. Öğr. Üyesi Mithat AKGÜN  
Yenilenebilir Enerji, Ordu Üniversitesi

Üye  
Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Sami GÜLER  
Yenilenebilir Enerji, Ordu Üniversitesi

Üye  
Prof. Dr. Mete AVCI  
Makine Mühendisliği, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi

İmza

*Mithat Akgün*  
*Mehmet Sami Güler*  
*Mete Avci*

08/12/2019 tarihinde enstitüye teslim edilen bu tezin kabulü, Enstitü Yönetim Kurulu'nun 20/12/2019 tarih ve 2019/755 sayılı kararı ile onaylanmıştır.



*Selahattin Maden*  
Enstitü Müdürü  
Prof. Dr. Selahattin MADEN

## TEZ BİLDİRİMİ

Tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan ve kullanılan intihal tespit programının sonuçlarına göre;bu tezin yazılmasında bilimsel ahlak kurallarına uyulduğunu, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezin içerdiği yenilik ve sonuçların başka bir yerden alınmadığını, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, tezin herhangi bir kısmının bu üniversite veya başka bir üniversitedeki başka bir tez çalışması olarak sunulmadığını beyan ederim.

  
TURGAY ŞAHİN

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

## ÖZET

**KRİSTALLENMİŞ ÇİÇEK BALI ERİME HIZININ MEKANİK OLARAK  
ARTIRILMASI  
TURGAY ŞAHİN  
ORDU ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
YENİLENEBİLİR ENERJİ ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ, 64 SAYFA**

**TEZ DANIŞMANI: Dr. Öğr. Üyesi Mithat AKGÜN**

FAO verilerine göre dünya bal üretiminde Türkiye Çin'in ardından ikinci ülke olarak sektörde söz sahibi konumundadır. Üretilen ballar hasat edildikten sonra mekanizasyonla süzme bal olarak teneke kutu veya fiçilerde saklanmaktadır.

Balın kimyasal yapısı, türü ve içerisindeki yabancı maddeler veya deponun bulunduğu yerin sıcaklığına bağlı olarak sıvı süzme bal kristalize olmaktadır. Ülkemizde bal kristalize olarak tüketilmediğinden balın tekrar sıvılaştırılarak paketlenmesi gerekmektedir.

Teneke kutularda depolanan balın sıvılaştırma ortamı olarak genellikle havalı fırın veya su havuzu kullanılmakta olup uygun olmayan sıvılaştırma sıcaklıklarında balda hem kimyasal hemde renk değişimleri olmaktadır. Ayrıca uygun olmayan sıvılaştırma şartları balın sıvılaşma süresini uzatmakta iken zaman, enerji ve işçilik maliyetini de artırmaktadır.

Balın sıvılaştırılması sırasında maliyet artırıcı etkenlerin giderilmesi ve baldaki istenmeyen bozulmaların önlenmesi amacıyla, kristalize olan balın sıvılaşma sürecini hızlandırmak için bu deneysel çalışma yapılmıştır. Sıvılaştırma ortamından bala ısı transferini artırabilmek ve teneke kutu içerisinde gerçekleşen doğal taşınımı zorlanmış taşınımına dönüştürmek için balı titreştirici sistem tasarlanarak imal edilmiştir.

Bu çalışmada 50°C'deki havalı tip kuru fırın içerisindeki teneke bal hem geleneksel yöntem ile hemde mekanik titreştirici ile sıvılaştırılmış, her iki durum için balın x ve y eksenlerinde zamana bağlı sıcaklık değişimi elde edilmiştir. Ayrıca balın analizleri yapılarak içeriğindeki HMF, prolin, diastaz ve nem değişimleri ölçülmüştür.

Deneylerden görülmüştür ki mekanik titreştirici ile bal geleneksel yöntemine göre %25 daha kısa sürede sıvı hale gelmiştir. Yapılan gıda analizi sonucunda mekanik titreştirici ile eritilen balın bal tebliğinde belirtilen değerler içinde kalmış olup gıda güvenilirliği açısından bu yöntemin bir sakıncası yoktur.

**Anahtar Kelimeler:** Çiçek Balı, Kristallenme, Sıvılaşma

## ABSTRACT

**MECHANICALLY INCREASING THE LIQUEFYING RATE OF  
CRYSTALLIZED FLOWER HONEY  
TURGAY ŞAHİN  
ORDU UNIVERSITY INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES  
RENEWABLE ENERGY**

**MASTER THESIS, 64 PAGES  
SUPERVISOR: Dr. Öğr. Üyesi Mithat AKGUN**

According to the FAO of the world honey production sector, Turkey is the second country after China. The honeys produced are stored in cans or barrels as harvested honey after mechanization.

Depending on the chemical structure of the honey, the type of impurities or the temperature of the tank, liquid filtered honey crystallizes. In our country, honey is not consumed in crystalline form, honey needs to be packed again.

As a liquefying medium of honey stored in tin cans, an air furnace or a water pool is used and both chemical and color changes occur in honey at inappropriate liquefying temperatures. In addition, unfavorable liquefying conditions increase the liquefying time of honey and increase both the time and energy and labor costs.

This experimental study was carried out to accelerate the liquefying process of crystallized honey in order to eliminate the cost increasing factors during the liquefying of honey and to prevent undesired deterioration of honey. In order to increase the heat transfer to the honey from the liquefying medium, honey vibrator system has been designed and manufactured in order to convert the natural transport in the can into forced transport.

In this study, the honey in the 50°C air type oven was vibrated both in natural conditions and mechanically, and in both cases, the time and temperature changes of honey in the x and y directions were obtained. In addition, HMF, proline, diastase and moisture changes in the content of honey were analyzed.

From the experiments, it was seen that the honey liquefied by mechanical vibrator liquefied up to 25% in less time than the conventional method. As a result of the food analysis, honey liquefied with mechanical vibrator remained within the values specified in the honey notification and this method has no problems in terms of food safety.

**Keywords:** Flower honey, Crystallization, Liquefying

## TEŞEKKÜR

Tez konunun belirlenmesi, çalıőmanın yürütölmesi ve yazımı esnasında göstermiş olduğu destek ve liderliğinden dolayı danışman hocam sayın Dr. Öğr. Üyesi Mithat AKGÜN'e teşekkür ederim.

Ayrıca tasarım ve üretimi yapılan mekanik titreőtiricininimalat aşamalarında bilgi ve tecrübelerinden her zaman istifade ettiğim Ordu Makina çalıőanlarına, balın gıda analizinin yapılması ve havalı ısıtma fırın kullanımında yardımlarını esirgemeyen Ordu Arıcılık Araştırma Enstitüsü müdürü sayın Feyzullah KONAK'a ve personellerine teşekkür ederim.

Aynı zamanda, bu zorlu ve uzun süreçte göstermiş oldukları anlayıő ve destekleri ileideallerimi gerçekleőtirmemi sağlayan, onlara ayırmam gereken zaman dilimlerinde kendileriden taviz vererek, bu tezin oluőmasında büyük sabır gösteren aileme yürekten teőekkürü bir borç bilirim.

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
<b>TEZ BİLDİRİMİ</b> .....	I
<b>ÖZET</b> .....	II
<b>ABSTRACT</b> .....	III
<b>TEŞEKKÜR</b> .....	IV
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	V
<b>ŞEKİL LİSTESİ</b> .....	VI
<b>ÇİZELGE LİSTESİ</b> .....	VIII
<b>SİMGELER ve KISALTMALAR LİSTESİ</b> .....	IX
<b>1. GİRİŞ</b> .....	1
1.1 Yenilenebilir Enerji Kaynakları.....	1
1.2 Enerji Kaynaklarının Verimli Kullanımı.....	2
1.3 Bal.....	3
1.3.1 Balın Özellikleri.....	3
1.3.2 Isıtılan Balın Yapısında Meydana Gelen Değişiklikler.....	6
1.3.3 Balın Kristalizasyonu ve Donma Problemi.....	6
1.4 Bal Sıvılaştırma Yöntemleri.....	7
1.4.1 Kuru Isıtma Fırını.....	8
1.4.2 Benmari Su Havuzu.....	9
1.4.3 Melitherm Isıtıcı.....	10
1.4.4 Mikrodalga Isıtıcı.....	11
1.4.4 Kızılötesi Isıtma.....	11
1.4.5 Ultrasonik Dalga.....	11
1.5 Enerji Gereksinimi.....	12
1.5.1 Duyulur Isı.....	13
1.5.2 Gizli Isı.....	13
1.5.3 İletimle Isı Transferi (Kondüksiyon).....	14
1.5.4 Taşınım ile Isı Transferi (Konveksiyon).....	15
1.5.5 Işınım ile Isı Transferi (Radyasyon).....	16
<b>2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR</b> .....	20
<b>3. MATERYAL ve YÖNTEM</b> .....	22
<b>4. BULGULAR ve TARTIŞMA</b> .....	34
4.1 Geleneksel Sıvılaştırma Yerel Sıcaklık Değişimleri.....	34
4.1.1 X Eksenindeki Yerel Sıcaklık Değişimleri.....	34
4.1.2 Y Eksenindeki Yerel Sıcaklık Değişimleri.....	38
4.2 Mekanik Tirezitirici ile Sıvılaştırmada Yerel Sıcaklık Değişimleri.....	42
4.2.1 X Eksenindeki Yerel Sıcaklık Değişimleri.....	42
4.2.2 Y Eksenindeki Yerel Sıcaklık Değişimleri.....	46
4.3 Yerel Sıcaklık Değişimi Karşılaştırmaları.....	50
4.3.1 Y Eksenini I. Doğrultu Yerel Sıcaklık Değişimleri Karşılaştırmaları.....	50
4.3.2 Y Eksenini IV. Doğrultu Yerel Sıcaklık Değişimleri Karşılaştırmaları.....	54
4.4 Bal Analizleri.....	58
<b>5. SONUÇ ve ÖNERİLER</b> .....	61
<b>6. KAYNAKLAR</b> .....	62
<b>ÖZGEÇMİŞ</b> .....	64



## ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 1.1 Bal.....	3
Şekil 1.2 Homojen Bir Şekilde Kristalize Olmuş Bal .....	7
Şekil 1.3 Mobil Bal Sıvılaştırma Fırını.....	8
Şekil 1.4 Bal Sıvılaştırma Havuzu .....	9
Şekil 1.5 Melitherm Isıtıcı .....	10
Şekil 1.6 Bal Hal Değişim Grafiği.....	12
Şekil 1.7 İletimle Isı Transferi .....	14
Şekil 1.8 Taşınım ile Isı Transferi.....	15
Şekil 1.9 Işınım ile Isı Transferi .....	16
Şekil 1.11 Ergimenin Zamanla Değişimi .....	18
Şekil 1.12 Taşınımın Baskın Olduğu Ergimedeki Katı-Sıvı Ara Yüzeyin Gelişimi .	19
Şekil 3.1 Mekanik Titreşim Mekanizması 3 Boyutlu Modellemesi .....	23
Şekil 3.2 Termoelemanların Yerleşimi .....	24
Şekil 3.3 Teneke Yüzeylerinde Bulunan Termoeleman Yerleşimi .....	25
Şekil 3.4 Ahşap Çubuk Üzerinde Bulunan Termoeleman Yerleşimi .....	26
Şekil 3.5 Data Logger Devre Kartı Bağlanmış Termoelemanlar.....	27
Şekil 3.6 Termoelemanların Numaralandırılması.....	28
Şekil 3.7 Data Logger Programı Ekran Görüntüsü.....	29
Şekil 3.8 Teneke İçinde Kristalize Olan Bal.....	30
Şekil 3.9 Geleneksel Yöntem ile Havalı Kuru Fırın İçerisinde Sıvılaşmış Bal.....	30
Şekil 3.10 Kristalize Bal ve Sıvılaşmış Bal Numuneleri .....	31
Şekil 3.11 Titreştirici Mekanizma ile Sıvılaştırılacak Olan.....	32
Şekil 3.12 Titreştirici Mekanizma ile Sıvılaşmış Olan Bal .....	33
Şekil 3.13 Kristalize Olmuş ve Titreştirici Yardımı ile Sıvılaşmış Bal Numuneleri.	33
Şekil 4.1 Geleneksel Sıvılaştırmada X Eksenine I. Doğrultuda Zamana Bağlı Sıcaklık Değişimi .....	34
Şekil 4.2 Geleneksel Sıvılaştırmada X Eksenine II. Doğrultuda Zamana Bağlı Sıcaklık Değişimi .....	35
Şekil 4.3 Geleneksel Sıvılaştırmada X Eksenine III. Doğrultuda Zamana Bağlı Sıcaklık Değişimi .....	36
Şekil 4.4 Geleneksel Sıvılaştırmada X Eksenine IV. Doğrultuda Zamana Bağlı Sıcaklık Değişimi .....	37
Şekil 4.5 Geleneksel Sıvılaştırmada Y Eksenine I. Doğrultuda Zamana Bağlı Sıcaklık Değişimi .....	38
Şekil 4.6 Geleneksel Sıvılaştırmada Y Eksenine II. Doğrultuda Zamana Bağlı Sıcaklık Değişimi .....	39
Şekil 4.7 Geleneksel Sıvılaştırmada Y Eksenine III. Doğrultuda Zamana Bağlı Sıcaklık Değişimi .....	40
Şekil 4.8 Geleneksel Sıvılaştırmada Y Eksenine IV. Doğrultuda Zamana Bağlı Sıcaklık Değişimi .....	41
Şekil 4.9 Mekanik Titreşim ile Sıvılaştırmada X Eksenine I. Doğrultuda Zamana Bağlı Sıcaklık Değişimi .....	42
Şekil 4.10 Mekanik Titreşim ile Sıvılaştırmada X Eksenine II. Doğrultuda Zamana Bağlı Sıcaklık Değişimi .....	43
Şekil 4.11 Mekanik Titreşim ile Sıvılaştırmada X Eksenine III. Doğrultuda Zamana Bağlı Sıcaklık Değişimi .....	44
Şekil 4.12 Mekanik Titreşim ile Sıvılaştırmada X Eksenine IV. Doğrultuda Zamana	

Bağlı Sıcaklık Değişimi .....	45
<b>Şekil 4.13</b> Mekanik Titreşim ile Sıvılaştırmada Y Eksenini I. Doğrultuda Zamana Bağlı Sıcaklık Değişimi .....	46
<b>Şekil 4.14</b> Mekanik Titreşim ile Sıvılaştırmada Y Eksenini II. Doğrultuda Zamana Bağlı Sıcaklık Değişimi .....	47
<b>Şekil 4.15</b> Mekanik Titreşim ile Sıvılaştırmada Y Eksenini III. Doğrultuda Zamana Bağlı Sıcaklık Değişimi .....	48
<b>Şekil 4.16</b> Mekanik Titreşim ile Sıvılaştırmada Y Eksenini IV. Doğrultuda Zamana Bağlı Sıcaklık Değişimi .....	49
<b>Şekil 4.17</b> T(1,1) Noktası Zamana Bağlı Sıcaklık Karşılaştırma Grafiği .....	50
<b>Şekil 4.18</b> T(2,1) Noktası Zamana Bağlı Sıcaklık Karşılaştırma Grafiği .....	51
<b>Şekil 4.19</b> T(3,1) Noktası Zamana Bağlı Sıcaklık Karşılaştırma Grafiği .....	52
<b>Şekil 4.20</b> T(4,1) Noktası Zamana Bağlı Sıcaklık Karşılaştırma Grafiği .....	53
<b>Şekil 4.21</b> T(1,4) Noktası Zamana Bağlı Sıcaklık Karşılaştırma Grafiği .....	54
<b>Şekil 4.22</b> T(2,4) Noktası Zamana Bağlı Sıcaklık Karşılaştırma Grafiği .....	55
<b>Şekil 4.23</b> T(3,4) Noktası Zamana Bağlı Sıcaklık Karşılaştırma Grafiği .....	56
<b>Şekil 4.24</b> T(4,4) Noktası Zamana Bağlı Sıcaklık Karşılaştırma Grafiği .....	57

## ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
<b>Çizelge 1.1</b> Bal Tebliği .....	4
<b>Çizelge 4.1</b> Geleneksel Yöntem ile Sıvılaştırılmış Olan Balın Sıvılaşma Öncesi ve Sonrası Gıda Analizi Sonuçları .....	58
<b>Çizelge 4.2</b> Mekanik Titreştirici ile Sıvılaştırılmış Olan Balın Sıvılaşma Öncesi ve Sonrası Gıda Analizi Sonuçları .....	59



## SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

---

<b>HMF</b>	:	Hidroksi metil furfural
<b><math>Q_d</math></b>	:	Duyulur Isı
<b><math>m</math></b>	:	Kütle
<b><math>\Delta T</math></b>	:	Sıcaklık Farkı
<b><math>C_p</math></b>	:	Özgül Isı
<b><math>Q_g</math></b>	:	Gizli Isı
<b><math>h_{erime}</math></b>	:	Erime Entalpisi
<b>FDM</b>	:	Faz Değişiren Maddeler
<b><math>k</math></b>	:	Isı iletim katsayısı
<b><math>A</math></b>	:	Isı geçişine dik yüzey alanı
<b><math>\Delta X</math></b>	:	Kalınlık
<b><math>h_t</math></b>	:	Isı taşınım katsayısı
<b><math>T_y</math></b>	:	Yüzey Sıcaklığı

---

## 1. GİRİŞ

Günümüzde ihtiyaçların karşılanmasında ve hayatımızın içine girmiş olan bir çok aletin hareketine olanak sağlayan güç enerjidir.

Sanayi devrimiyle birlikte dünyada enerji ihtiyacı artmış olup, bu ihtiyaçlar petrol, kömür ve doğalgaz gibi yakıtlardan karşılanmaktadır. Bu kaynakların kullanımını sonucunda ise hava, toprak ve su kirliliği oluşmaktadır. Modern yaşantının gereği olarak enerji ihtiyacı çok hızlı artmaktadır. Artan ihtiyacın karşılanması için büyük maliyetler ödenmektedir.

Günümüzde kullanılan geleneksel enerji kaynaklarının yerine çevre ile dost olan yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması gerektiği bilinmektedir. Kullanılan bu fosil yakıtlar enerji tüketiminin artmasıyla birlikte yetersiz kalabileceği ve çevreye zararlı etkileri bulunduğu için doğada sürekli var olan ve çevre ile dost yenilenebilir enerji kaynaklarının önemi artmaktadır.

### 1.1 Yenilenebilir Enerji Kaynakları

Yenilenebilir enerji devam eden doğal süreçlerdeki var olan enerji akışından elde edilen enerjidir. Yenilenebilir enerji kaynakları fosil kaynaklar gibi ihtiyaç halinde kullanımıyla sınırlanmayan ve kendini hızlı bir şekilde yenileyen kaynaklardır. Bu kaynaklar rüzgar, hidrolik, jeotermal, güneş, hidrojen, dalga ve biyokütle enerjisidir.

Rüzgar enerjisi, rüzgara neden olan ve güneş açılarının dünya üzerine farklı açılarla gelmesiyle birlikte ortaya çıkan basınç farkından veya dünyanın dönmesinden kaynaklı ortaya çıkan rüzgar sayesinde elde edilen enerji türüdür.

Hidroelektrik enerji, suyun akış gücünde var olan potansiyel enerjinin kinetik enerjiye dönüşümü yapılarak elde edilen enerji türüdür. Dünyada üretilen enerjinin yaklaşık %17 si hidroelektrik enerjiden elde edilmektedir.

Jeotermal enerji, yerin derinliklerinde birikmiş olan ısının oluşturduğu ve bu ısının akışkanlarca yeryüzüne sıcak su ve buhar olarak gelmesi ile elde edilen enerji türüdür.

Güneş enerjisi, çekirdeğindeki hidrojen gazının helyum gazına dönüşümünde füzyon sürecinde ortaya çıkan enerjidir.

Hidrojen enerjisi, hidrojenin moleküllerine ayrıştırılması sonrasında ortaya çıkan kimyasal enerjidir. Hidrojen doğada serbest halde bulunmadığından dolayı doğal enerji

kaynağı değildir. Isınma, elektrik gibi çeşitli alanlarda kullanılabilen bir yenilenebilir enerji türüdür. Gaz veya sıvı halde bulunduğu için kolaylıkla yer değiştirebilir ve iletim esnasında kayıp yaşanmaz.

Dalga enerjisi, diğer enerji kaynaklarına göre daha az masraflı, temiz, çevreci ve daha büyük potansiyelli bir enerji türüdür. Ülkemizde üzerinde daha fazla durulması gereken bir enerji türüdür. Dalga enerjisinin temeli rüzgar enerjisine dayandırılmaktadır. Dalga enerjisinde gelgit ve deniz akıntısı enerjisinden yararlanılmaktadır.

Biyokütle enerjisi, bitkiler fotosentez esnasında güneşten yararlandıkları enerjiyi kimyasal enerjiye dönüştürürler. Dünya’da biyokütle enerjisi ısınma, elektrik üretme ve yakıt üretme gibi alanlarda kullanılır. Biyokütle enerjisi içerisinde kükürt ve kanserojen madde bulunmamaktadır. Evreniçerisinde güneş olduğu müddetçe devam edecek enerji kaynağıdır. Klasik biyokütle enerjisi ısınma, yakma gibi işlemlerde kullanılırken modern biyokütle enerjisi sanayi, denizcilik ve ulaşırmada kullanılır (Anonim, 2019).

## **1.2 Enerji Kaynaklarının Verimli Kullanımı**

Yenilenebilir enerji kaynakları fosil yakıtlara olan bağımlılığı azaltmakta en önemli rolü üstlenirken aynı zamanda mevcut kaynakların verimli kullanımını da içermektedir.

Dünya’da ki enerji arzının değişiklik göstermesi, fosil yakıtlarının fiyatlarının beklenenden daha fazla zamlanması ve bunlarla birlikte Dünya’da enerji ihtiyacının sürekli olarak artması enerjinin verimli kullanımı ile ilgili çalışmaları zorunlu hale getirmektedir.

Teknolojinin gelişmesi ile birlikte aynı performansta daha az enerji tüketen cihazlar üretilmeye başlanmıştır. Enerji tüketimini azaltan bu makine veya sistemleruşağıda verilen önemli faydaları sağlar.

- 1) Enerji giderlerinin azaltılması,
- 2) Enerji tüketiminin azaltılması,
- 3) Kapalı alanlarda daha temiz bir hava sağlanması,
- 4) İşlem kolaylığının artması,
- 5) Tesis kurma ve işletme maliyetlerinin düşmesi,
- 6) Kullanılan ekipman boyutlarının azalması; daha verimli ve daha etkin ekipmanlar.
- 7) Fosil yakıtların tüketiminin azaltılması,

- 8) Hava kirliliğinin azalması,
- 9) Atık enerji israfının önlenmesi,
- 10) Süreksiz doğal enerji kaynaklarından maksimum faydalanmak.

Bu faydaların yanı sıra enerji kullanıcıları daha az enerji tüketen makinaların kullanımına yönelmeli, bilim adamları ve araştırmacılarda daha az enerji tüketen makina, cihaz üretimi üzerine çalışmalarını yoğunlaştırmalıdır. Bu hem daha yaşanabilir bir dünya hemde gelecekteki iklim değişikliği problemi için gereklidir (Anonim, 2019a).

### 1.3 Bal

Bal; arılar tarafından çiçeklerin özünde bulunan nektarlardan üretilen farklı renklerdeki tatlı ve kıvamlı bir sıvıdır. Bal arıları topladıkları nektarları kendi enzimleri ile birleştirerek değişikliğe uğratar ve bala dönüştürdüğü ürünlerini peteklere doldurur. Peteklere doldurduğu balın nemi, rengi ve diğer bileşenleri topladıkları çiçeklerin cinsine ve bölgenin iklim koşullarına bağlıdır.



Şekil 1.1 Bal (Anonim, 2019b)

#### 1.3.1 Balın Özellikleri

Balın temel özelliklerini şekerler belirler. İçeriğinde genel olarak %16-23 su, %80-85 oranında şeker ve %0.5-1 oranında vitaminler, mineraller, proteinler ve aminoasitler bulunmaktadır. 27 Temmuz 2012 tarihinde Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı tarafından resmi gazetede bal tebliği yayınlanmıştır. Bu tebliğin amacı, balın tekniğe uygun ve hijyenik şekilde üretilmesi, hazırlanması, işlenmesi, depolanması, nakledilmesi, piyasaya arz edilmesi aşamalarında taşınması gereken özellikleri belirlemektir. Çizelge 1.1 'deki bu tebliğ bize gıda açısından güvenilir balın özellikleri hakkında bilgi vermektedir. Arılar çiçekten alarak peteğe koydukları balın ilk nemi %25-45 iken kovan içerisinde bu nem arılar tarafından %16-23 aralığına düşürülür.

**Çizelge 1.1** Bal Tebliği (Anonim, 2012)

	Çiçek Balı	Salgı Balı	Çiçek ve Salgı Balı Karışımı	Fırıncılık Balı
<b>Nem (en fazla)</b>	% 20	% 20	% 20	% 23
	% 23 Püren ( <i>Calluna</i> ) ballarında			% 25 Püren ( <i>Calluna</i> ) kaynaklı fırıncılık ballarında
<b>Sakaroz (en fazla)</b>	5 g/100 g	5 g/100 g	5 g/100 g	5 g/100 g
	10g/100g (Yalancı akasya ( <i>Robinia pseudoacacia</i> ) Adi yonca ( <i>Medicago sativa</i> ) Menzies Banksia ( <i>Banksia mezeisii</i> ) Tatlı yonca ( <i>Hedysarum</i> ) Kırmızı okaliptüs ( <i>Eucalyptus camadulensis</i> ) Meşin ağacı ( <i>Eucryphia lucida</i> , <i>Eucyrphia milliganii</i> ) ve Narenciye ballarında)	10g/100g (Kızıl çam ( <i>Pinus brutia</i> ) ve Fıstık çamlarından ( <i>Pinus pinea</i> ) elde edilen salgı ballarında)		
	15 g/100 g Lavanta çiçeği ( <i>Lavandula spp.</i> , <i>Boraga officinalis</i> ) ballarında			
<b>Fruktoz +Glukoz (en az)</b>	100 g'da 60 g	100 g'da 45 g	100 g'da 45 g	-
<b>Fruktoz / Glukoz</b>	0,9 - 1,4	1,0-1,4	1,0-1,4	-
	1,0-1,85 Kestane ( <i>Castanea sativa</i> )			
	1,2-1,85 Akasya ( <i>Robinia pseudoacacia</i> )			
	1,0-1,65 Kekik ( <i>Thymus spp.</i> )			
<b>Suda çözünmeyen madde (en fazla)*</b>	0,1 g/100 g	0,1 g/100 g	0,1 g/100 g	0,1 g/100 g
<b>Serbest asitlik (en fazla)</b>	50 meq/kg	50 meq/kg	50 meq/kg	80 meq/kg
<b>Elektrik iletkenliği</b>	En fazla 0,8 mS/cm (Kocayemiş ( <i>Arbutus unedo</i> ), Çanotu ( <i>Erica</i> ), Okaliptus, Ihlamur ( <i>Tilia spp.</i> ), Süprügeçalı ( <i>Calluna vulgaris</i> ), Okyanus mersini ( <i>leptospermum</i> ) Çay ağacı ( <i>Melaleuca spp.</i> ), ve Pamuk ( <i>Gossipium spp.</i> 'dan elde edilenler hariç )	En az 0,8 mS/cm	En fazla 0,8 mS/cm	En fazla 0,8 mS/cm



**Çizelge 1.1 Bal Tebliği (devam)**

	Çiçek Balı	Salgı Balı	Çiçek ve Salgı Balı Karışımı	Fırıncılık Balı
<b>Nem (en fazla)</b>	% 20	% 20	% 20	% 23
	% 23			% 25
	Püren ( <i>Calluna</i> ) ballarında		En az 0,8 mS/cm (Kestane balında)	Püren ( <i>Calluna</i> ) kaynaklı fırıncılık ballarında
	En az 0,8 mS/cm (Kestane balında)			
<b>Diastaz sayısı (en az)</b>	8	8	8	-
	3 (Narenciye balı gibi yapısında doğal olarak düşük miktarda enzim bulunan ve doğal olarak HMF miktarı 15 mg/kg'dan fazla olmayan balda)			
<b>HMF (en fazla)**</b>	40 mg/kg	40 mg/kg	40 mg/kg	-
<b>Balda protein ve ham bal delta C13 değerleri arasındaki fark</b>	-1,0 veya daha pozitif	-1,0 veya daha pozitif	-1,0 veya daha pozitif	-1,0 veya daha pozitif
<b>Balda protein ve ham bal delta C13 değerlerinden hesaplanan C4 şekerleri oranı (en fazla)</b>	%7	%7	%7	%7
<b>Prolin miktarı (en az)</b>	300 mg/kg	300 mg/kg	300 mg/kg	180 mg/kg
	180 mg/kg (Kanola, ıhlamur, narenciye, lavanta, okaliptüs ballarında)			
	120 mg/kg (Biberiye, akasya ballarında)			
<b>Naftalin miktarı (en fazla)***</b>	10 ppb	10 ppb	10 ppb	10 ppb

\* Pres balında suda çözünmeyen madde miktarı 0, 5 g/100 g'ı geçemez.

\*\* Üretildiği bölge etiketinde belirtilmek koşulu ile tropikal ülke kaynaklı ballarda HMF miktarı en çok 80 mg/kg olur.

### **1.3.2 Isıtılan Balın Yapısında Meydana Gelen Değişiklikler**

Balda ısıtma ve pastörizasyongenel olarak bal eldesi sırasında balın kristal yapısının kaybolarak sıvı hale gelmesi ve kristalleşmeyi engellemek için kullanılmaktadır. Balın içerdiği su oranı %18 üzerinde olduğunda fermantasyona uğramaması ve kristalize olmasını engellemek için ısıtma işlemi uygulanması gerekmektedir. Isıtma işleminin doğru uygulanması balda bulunan mikro organizmaların öldürülmesi sonucunda fermantasyonu durdurmakta, içerdiği su miktarını azaltmakta, akışkanlığını artırmakta ve aynı zamanda balın pazarlama kalitesini artırmaktadır.

Uygulanan ısıtma veya pastörizasyon doğru şekilde ve kontrollü uygulanmadığında ise balın kalitesi ve besin değeri düşmektedir. Balın yüksek ısıda veya çok uzun süreli ısıtılması halinde balın tadı ve aroması değişir, rengi koyulaşır. Diastaz, invertaz ve glükoz oksidaz enzimlerinin kayba uğraması sonucu kalite kayıpları meydana gelir. Diastaz enziminin kayba uğramasıyla fruktoz parçalanır ve hidrosimetil furfurol (HMF) miktarında artma meydana gelir. Bu nedenledir ki balın ısıtılmasında izlenecek yol; fermantasyona yol açacak mikroorganizmaların yok edilmesi ve kristalizasyona engel olacak en düşük sıcaklıkta ve mümkün olduğu kadar az bir süre bekletmek olmalıdır (Güney, 2010).

Geleneksel ısıtmada analiz edilen ballarda HMF değeri yükselirken, prolin diastaz ve nemoranı genel olarak düşmektedir (Güney, 2010).

### **1.3.3 Balın Kristalizasyonu ve Donma Problemi**

Balın içerisindeki şekerli maddenin dekstrozu oranı bakımından doymuş hale gelmesi ve dekstrozu moleküllerinin kristal durumuna geçmesi olayı kristalizasyon olayı olarak kabul edilmektedir. Önce krem gibi bir yapı alan bal daha sonra kristallerin büyümesi ve yoğunlaşması ile belirli şekilde kristallenmiş olur. Balın kristalize olması ile kimyasal yapısında değişiklik olmaz.

Kristalizasyonda en önemli etkenlerden biri de balın içeriğidir. Balın birleşiminde fruktoz ve glükoz olmak üzere iki ana şeker grubu vardır. Balın içerisinde ki bu iki temel şeker arasındaki denge, kristalizasyonun başlıca nedeni olup balların hızlı veya yavaş kristalize olmasına neden olur. Kristalizasyonu etkileyen diğer bir faktör de su içeriğidir. Glükoz ne kadar yüksek ise ve balın su içeriği ne kadar düşük ise kristalizasyon o kadar hızlı olur. Depolama sıcaklığının da kristalizasyon üzerinde önemli bir etkisi vardır. Genelde 10 °C

ve altındaki sıcaklıklar balın viskozitesini azaltır, kristallerin oluşumunu ve yayılmasını geciktirir. 10-20 °C arasında balın kristalizasyonu hızlanır (Çalemlı ve Sorkun, 2013). 13 °C arasındaki sıcaklıklarda en hızlı kristalizasyon görülür. Kristalizasyonu etkileyen diğer bir etken de balın içerisinde bulunan yabancı parçacıklardır. Balın içerisinde tohum kristalleri, polen taneleri, balmumu parçaları ve benzeri maddelerin bulunması kristalizasyonu hızlandırır (Yao ve ark., 2003).



**Şekil 1.2** Homojen Bir Şekilde Kristalize Olmuş Bal (Anonim, 2019c)

#### **1.4 Bal Sıvılaştırma Yöntemleri**

Kristalize olmuş bal geneldebu şekliyle tüketilmemektedir. Balın hem tüketiciye arzı hem de paketlenbilmesi için kristalizasyonun giderilmesi gerekmektedir. Paketlenmeden önce bal en fazla 50°C sıcaklığa çıkarılarak kristalizasyonu giderilir (Güney, 2010).

Isıtma, balın tatlarını ve yapılarını etkiler. Bu nedenle balda kristalleşmeyi önlemek için filtrasyon, katkı maddeleri, pastörizasyon ve ön ısıtma gibi alternatif yöntemler denenmiştir ve dünyanın farklı ülkelerinde bu yöntemlere göre balın kristalizasyonu önlenmiştir. Kristalize olmuş balın sıvı hale gelmesi için; kuru ısıtma fırını, benmari su havuzu, mikrodalga, kızılötesi ısıtma, ultrasonik dalga ve melitherm ısıtıcı yöntemleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu uygulamalar içerisinde en yaygın olanları kuru ısıtma fırını (havalı sistem) ve benmari (sulu sistem) içerisinde ısıtmaktır. Kızılötesi, mikrodalga ve ultrasonik dalga ile ısıtma yüksek sıcaklıklarda yapılmakta olup balın pastörize edilmesinde kullanılmaktadır.

#### 1.4.1 Kuru Isıtma Fırını

Bu ısıtma yönteminde ısı yalıtımlı fırına içeriden veya dışarıdan sıcak hava üfleme işlemi yapılarak ballar ısıtılır. En çok kullanılan bal sıvılaştırma yöntemidir.

Sıcak hava üreticisi olarak küçük kapasiteli fırınlarda ısıtıcı rezistans üzerinden blower ile hava üflenerek, büyük fırınlarda ise aparey sistemi kullanılarak yapılmaktadır.

Fırın içerisindeki havanın dağılımı teneke yerleşim düzenine göre bozulabildiği için tenekeler hava akışından etkilenmeyecek şekilde ya da bu havayı dağıtacak şekilde yerleştirilmelidir. Bu sayede teneke etrafındaki taşınımı artırılmış olur. Sanayi işletmelerinin çoğu balı akışkan hale getirmek için bu yöntemi kullanmaktadır.



Şekil 1.3 Mobil Bal Sıvılaştırma Fırını (Anonim, 2019d)

### 1.4.2 Benmari Su Havuzu

Benmari su havuzu ile ısıtma prensibinde tenekeler su dolu bir havuz içerisine bırakılır. Havuz içerisindeki su ısıtılarak balın sıvı hale gelmesi sağlanır. Sıcak su elde etmek için elektrikli ısıtıcı rezistans kullanılır veya ortama sıcak su sirkülasyonu yapılır. Su havuzu sıcaklık ayarı termostat ile sağlanmaktadır.

Ülkemizde yerel arıcıların çoğunlukla kullandığı yöntem olup büyük sanayi tesisleri de kullanmaktadır.



**Şekil 1.4** Bal Sıvılaştırma Havuzu (Anonim, 2019e)

### 1.4.3 Melitherm Isıtıcı

Bu sistemde katı bal paslanmaz çelikten yapılmış bir ısıtıcı üstüne dökülerek sıvı hale getirilir. Isıtıcı üstüne dökülen kristalize olmuş bal ısıtıcı vasıtası ile sıvı hale gelmeye başlar ve sıvılaştan bal ısıtıcının altında bulunan filtreden geçerek sıvı bal haznesine dökülür. Isıtıcının sıcaklık ayarı üstünde bulunan anahtar yardımı ile yapılabilir. Daha çok kuzey avrupa ülkelerinde yerel arıcılar tarafından kullanılan bir yöntemdir.



Şekil 1.5 Melitherm Isıtıcı (Anonim, 2019f)

#### **1.4.4 Mikrodalga Isıtıcı**

Yüksek sıcaklıklarda pastörizasyon için kullanılan bir yöntemdir. Mikrodalga ile ısıtmada, suğıdadaki mikrodalga enerjisini emer ve nem içeriği ne kadar yüksek olursa elde edilen ısıtma o kadar iyi olur. Geleneksel ısıtmanın aksine, mikrodalgalar malzemeye nüfuz eder, onunla etkileşime girer ve hızlı ısıtmaya yol açan ısı üretir. Bal, önemli miktarda su (%16–23) ve çok miktarda çözünmüş şeker (%80-85) içerdiğinden, balın ısıtılması için mikrodalga radyasyonu etkili bir şekilde kullanılabilir.

Mikrodalga ve kızılötesi ısıtma, hızlılık avantajlarından dolayı geleneksel ısıtma sistemlerinde popülerlik kazanmaktadır. Mikrodalga ısıtmanın uygulanması, gıda endüstrisinde, özellikle gıda malzemesinin temperlenmesi, ağartılması, kurutulması ve pastörizasyonu için iyi bilinmektedir (Ghazali ve ark., 1994).

#### **1.4.4 Kızılötesi Isıtma**

Yiyeceklerin kızılötesi ısıtılması da inşaat ve işletme kolaylığı diğer termal işlemlere kıyasla önemli enerji tasarrufu, konvektif ve iletken ısıtma kaynaklarına sahip hibrit sistemlerin yapım kolaylığı nedeniyle popülerlik kazanmaktadır. (Sandhu, 1986). Mikrodalga ısıtıcıda olduğu gibi yüksek sıcaklıklarda balın pastörizasyonu için kullanılan bir yöntemdir. Şeker ve su, balın iki ana bileşenidir ve her ikisi de termal radyasyon bölgesinde iyi emme bantlarına sahiptir. Kızılötesi ısıtıcılar, malzeme yüzeyine yüksek enerji girişi sağlarlar ve radyan ısı akışı, malzemenin yapısına ve olay radyasyonunun dalga boyuna bağlı olarak malzemenin derinliğine nüfuz eder. Bu faktörler dikkate alındığında balın ısıtılması için kullanılabilir (Sandhu, 1986).

#### **1.4.5 Ultrasonik Dalga**

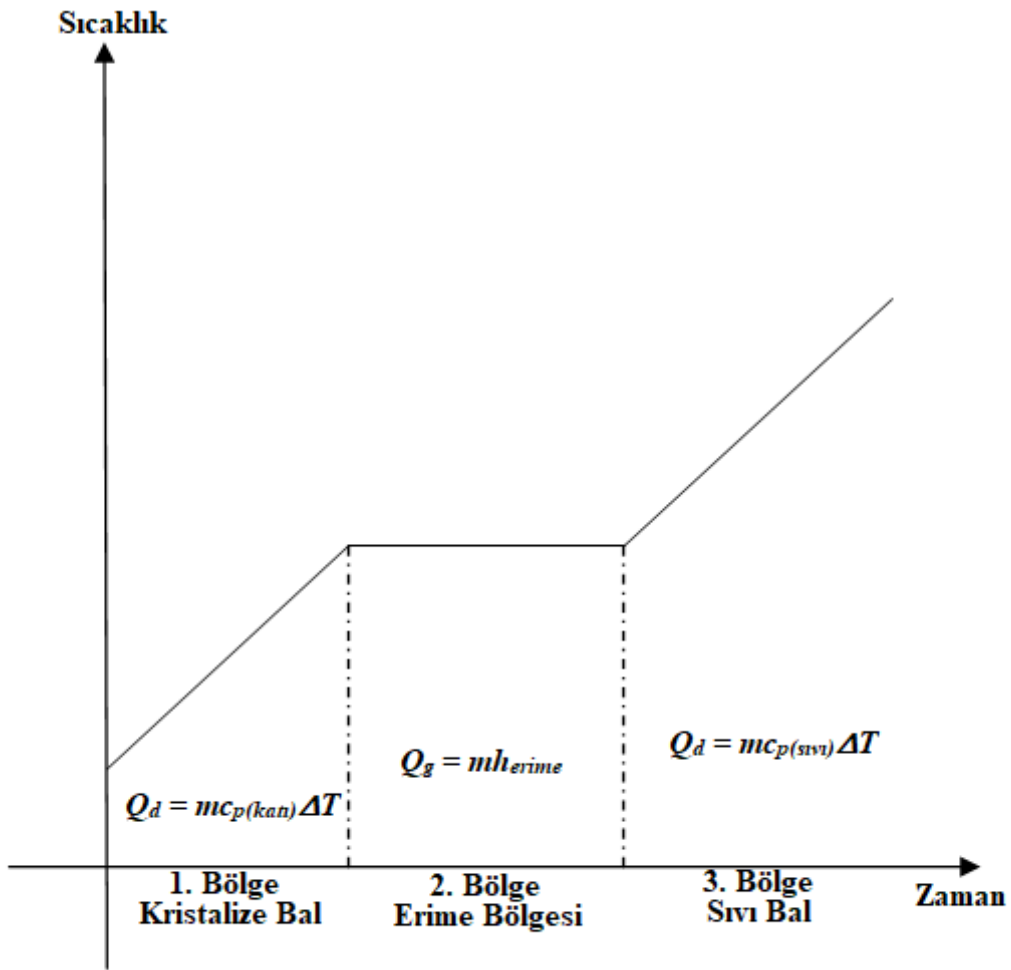
Ultrasonik dalgalar, insan kulağı tarafından algılanabilen maksimum değerden daha yüksek frekanslı ses dalgalarıdır. Sıvı ortamdan iletilen bu dalgalar içinden geçtikleri malzemede mekanik ve termal değişikliklere neden olur. Ayrıca tek hücreli organizmalarda değişikliklere neden olur.

Ultrasonik işleme ısıtma, balın pastörizasyonunda kullanılmakta olup bal kalitesini diğer yöntemlerle karşılaştırıldığında daha az etkiler. Benmari su havuzunda olduğu gibi ısıtıcı olarak su havuzu kullanılır (Thrasylvoulou, 1994).

### 1.5 Enerji Gereksinimi

Balın hem sıvı hale getirilmesi hemde pastörizasyonu için enerjiye ihtiyaç duyulmaktadır. Bu enerji ihtiyacı ergitme yöntemlerine göre değişse de temelde bir saf maddeye benzer biçimde bal için gerekli enerji gereksinimi Şekil 1.6'da verilmiştir. Bal farklı maddelerin bileşimi olduğundan balın içerisindeki madde oranlarına ve balın alındığı çiçeğin özelliğine göre bu eğri bir miktar farklılık göstermektedir.

Şekil 1.6'da verilen 1. ve 3. bölgede bal sıvı hale gelme sırasında duyulur enerji depolar iken 2. bölgede gizli ısı depolamaktadır.



Şekil 1.6 Bal Hal Değişim Grafiği



### 1.5.1 Duyulur Isı

Tüm maddelerin sıcaklıkları, eğer faz değişimine uğramıyorsa, almış olduğu ısıyı depoladıkça artar ve maddeler soğuduğunda ise bu ısıyı çevresine verirler. Bu olaya duyulur ısının depolanması denir. Duyulur ısı ise bir maddenin sıcaklığını değiştirmek için gereken ısı miktarıdır. Duyulur ısıda maddenin sıcaklığında değişiklik meydana gelirken fiziksel halinde herhangi bir faz değişikliği görülmez. Bu tip ısı depolama sistemlerinin kapasitesi, ısı kapasitesi, depolama ortamının yoğunluğu ve depolanacak ısı enerjisinin miktarı ile ölçülmektedir. Balın özgül ısısı; içeriğine bağlı olarak sıvı halde 0.54-0.60 cal/g x°C arasında değişmektedir (Anonim, 2019g)

Balın ihtiyacı olan duyulur ısı miktarı aşağıda verilen formülle hesaplanmaktadır.

$$Q_d = (mc_p\Delta T)_{\text{katı}} + (mc_p\Delta T)_{\text{sıvı}} \quad (1,1)$$

şeklinde olup burada,

- $Q_d$  : Duyulur ısıyı,
- $m$  : Kütle,ı,
- $c_p$  : Özgül ısıyı,
- $\Delta T$  : Sıcaklık farkını ifade etmektedir.

### 1.5.2 Gizli Isı

Duyulur ısı depolamada sıcaklık değişimi olup faz değişimi olmazken gizli ısı depolamada ise sıcaklık sabit kalırken faz değişimi olmaktadır. Bu ısı depolama sistemlerinde sınırlı sıcaklık aralığında duyulur ısı depolamaya göre daha fazla ısı depolama kapasitesine sahiptir ve saf maddelerde sabit sıcaklıklarda ısı sağlarken balda faz değişimi belirli bir sıcaklık aralığında gerçekleşmektedir.

Faz değiştirilen maddelere ısı verildiğinde veya ısı alındığında maddenin fiziksel halinde ergime, donma, buharlaşma, yoğunlaşma ve kafes yapısının değişmesi şeklinde olmaktadır. Bu sistemlerde kullanılan maddelerin değeri ısı depolama, yüksek ısı kapasitelerinden etkili bir şekilde yararlanılması ile ölçülür.

Balın ihtiyacı olan gizli ısı miktarı aşağıda verilen formülle hesaplanmaktadır.

$$Q_g = mh_{\text{ergime}}(1,2)$$

şeklinde olup burada,

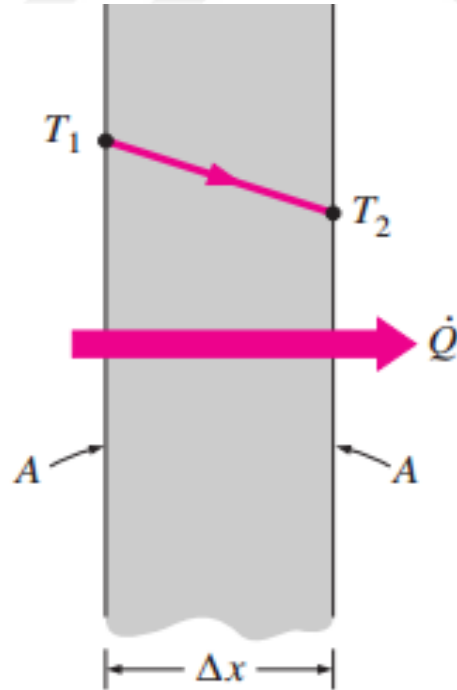
- $Q_g$  : Gizli ısıyı,  
 $m$  : Kütle,  $h_{ergime}$  : Ergime entalpisini ifade etmektedir.

Enerjinin ısı olarak transferi, her zaman yüksek sıcaklıktaki bir ortamdan düşük sıcaklıktaki ortama doğrudur ve iki ortam aynı sıcaklığa eriştiğinde ısı transferi durur. Isı transferi iletim, taşınım ve ışıyım olmak üzere üç şekilde gerçekleşmektedir. Isı transferinin tüm türleri bir sıcaklık farkını gerektirir.

### 1.5.3 İletimle Isı Transferi (Kondüksiyon)

Bir katı veya durgun akışkan içerisinde bir sıcaklık farkı olması durumunda ısı transferi gerçekleşir ve buna iletimle ısı transferi denir. İletim parçacıklar arası etkileşmelerin sonucu olarak bir maddenin daha yüksek enerjili parçacıklarından bitişiklerindeki daha yüksek enerjili olanlara enerji aktarılmasıdır.

Gazlarda ve sıvılarda iletim, moleküllerin gelişigüzel hareketleri sırasında çarpışmaları ve yayılmaları sebebiyle olur. Katılarda ise iletim, kafeslerdeki moleküllerin titreşimleri ve bunun yanında serbest elektronlarla enerji aktarımı sonucu olur (Anonim, 2019h).

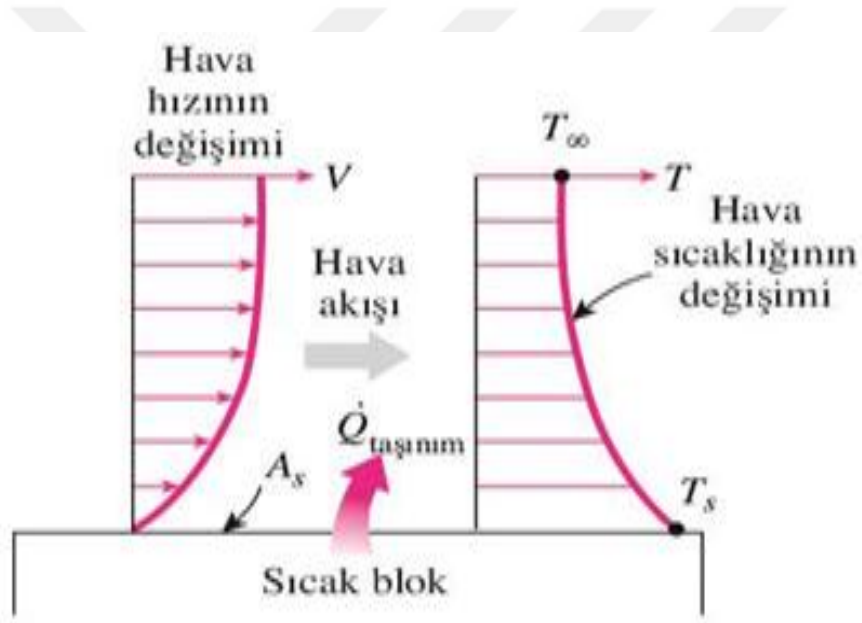


Şekil 1.7 İletimle Isı Transferi  
(Anonim, 2019g)

### 1.5.4 Taşınım İle Isı Transferi (Konveksiyon)

Bir katı yüzey ile ona bitişik, hareket halindeki sıvı veya gaz arasında enerji aktarımı türüdür; iletim ve akışkan hareketinin birleşik etkilerini kapsar.

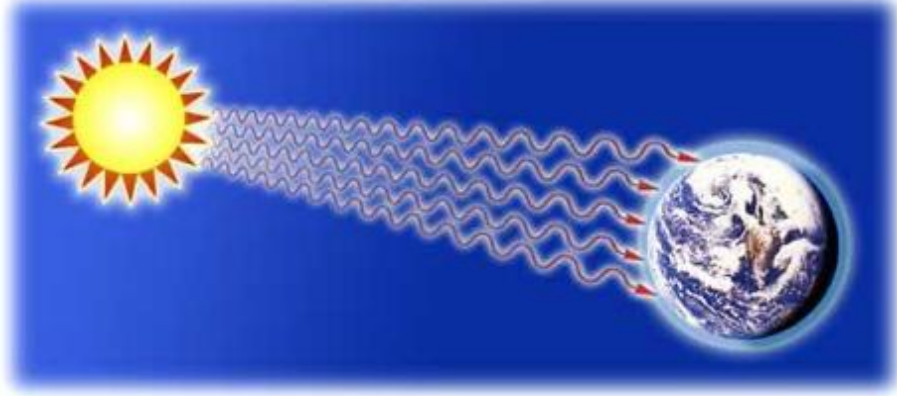
Akışkan hareketi ne kadar hızlı olursa taşınım ile ısı aktarımı da o kadar büyük olur. Zorlanmış ve doğal taşınım olmak üzere ikiye ayrılır. Eğer akışkan yüzeyin üzerinden fan, pompa, rüzgar vs. vasıtasıyla akmaya zorlanıyorsa buna zorlanmış taşınım denir. Doğal taşınım ise akışkan hareketi, akışkan içerisinde sıcaklık değişiminin ortaya çıkardığı yoğunluk farklarının doğurduğu kaldırma kuvveti sebebiyle olan taşınımdır (Anonim, 2019h).



Şekil 1.8 Taşınım İle Isı Transferi (Anonim, 2019h)

### 1.5.5 Işınım İle Isı Transferi (Radyasyon)

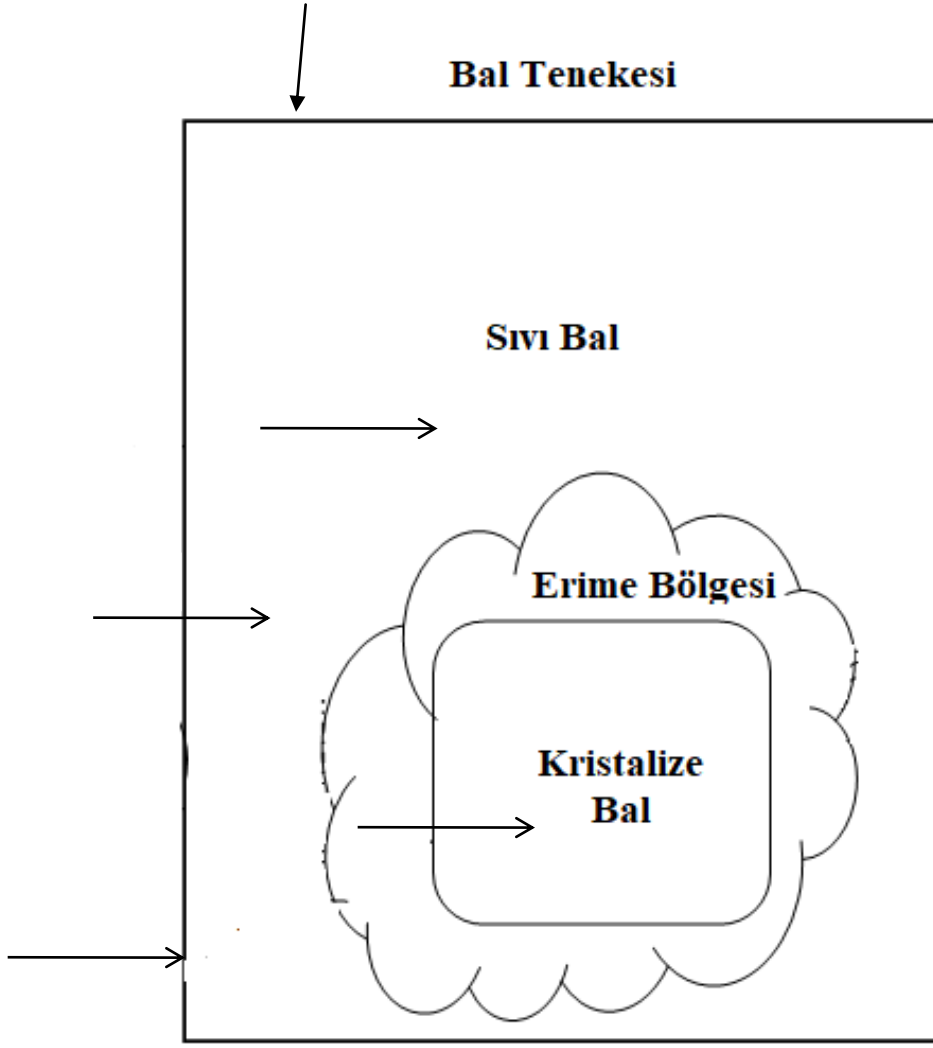
İletim ve taşınımından farklı olarak ışınım ile ısı transferi bir aracı ortam gerektirmez. Gerçekte, ışınım ile ısı transferi en hızlı (ışık hızında) olanıdır ve boşlukta yavaşlamaz. Güneş enerjisinin yeryüzüne ulaşma şekli budur (Anonim, 2019<sub>1</sub>).



Şekil 1.9 Işınım İle Isı Transferi (Anonim, 2019<sub>1</sub>)

Bal diğer saf maddelere benzer şekilde katı fazdan sıvı faza geçerken duyulur ve gizli enerji toplamına ihtiyaç duyar. Ancak tam bir ergime ve donma noktasına sahip olmadığından ergime için gerekli olan toplam enerji balın çeşitlerine göre değişmektedir. Ayrıca balın türüne, içeriğine ve balın filtrasyonuna göre balın sıvı hale gelme sıcaklık aralığı değişmektedir.

Uygulanan yöntemlere göre balın sıvılaşma süresi değişmekte olup geleneksel sıvılaştırma sistemlerinde (suda ve havada ısıtma) Şekil 1.10'de verildiği gibi ısıtıcı ortamın sıcaklığı taşınım ile balın kabına, kabın dış yüzeyinden iç yüzeyine iletimle ve iç yüzeyinden bala taşınım ile ısı geçişi gerçekleşmektedir.

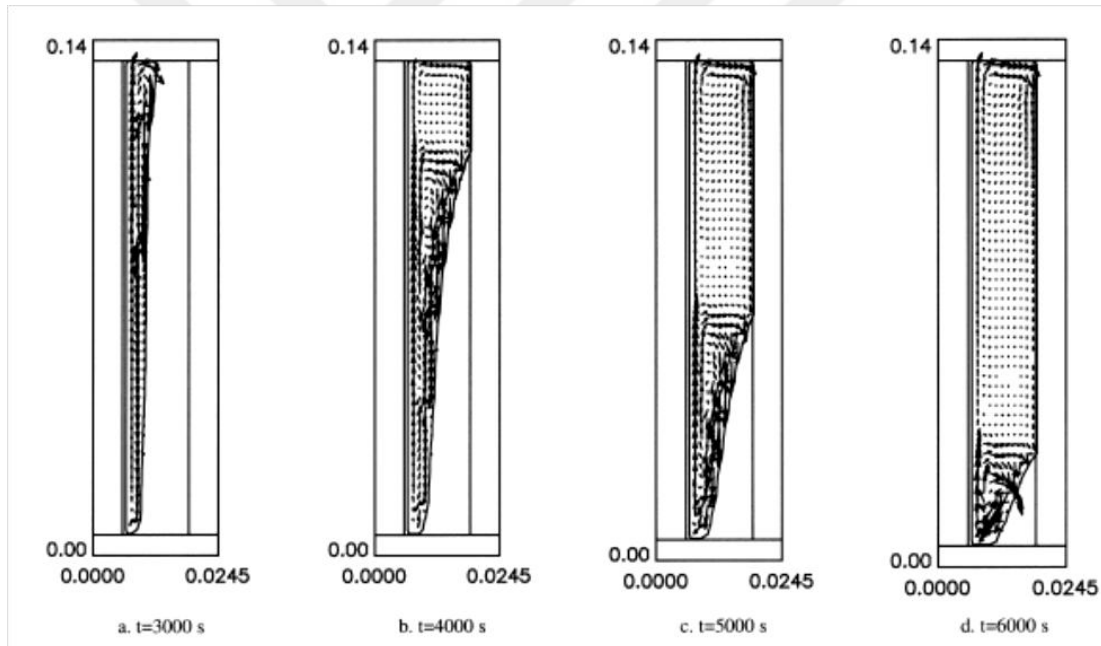


**Şekil 1.10** Ortamdan Bala Isı Geçişi

Ergiyen veya katılaştıran faz değıştiren maddeler (FDM), deponun şekline ve maddenin cinsine bağı olarak bir ergime katılma eğrisine sahip olur. FDM'nin ergime katılma ara yüzeyinin gelişimi maddenin faz değışim süresini etkilemektedir. Katı-sıvı ara yüzeyin gelişimi; FDM'nin ergime sıcaklığı ile kaynak sıcaklığı arasındaki farka, depo geometrisine, depolama süresine ve maddenin yoğunluğunun sıcaklıkla değışimine bağı olarak değıştiğı gösterilmiştir. Sıvı fazın yoğunluğu katı fazdan az olan FDM'lerde ergimiş madde yukarıya doğru çıkar.

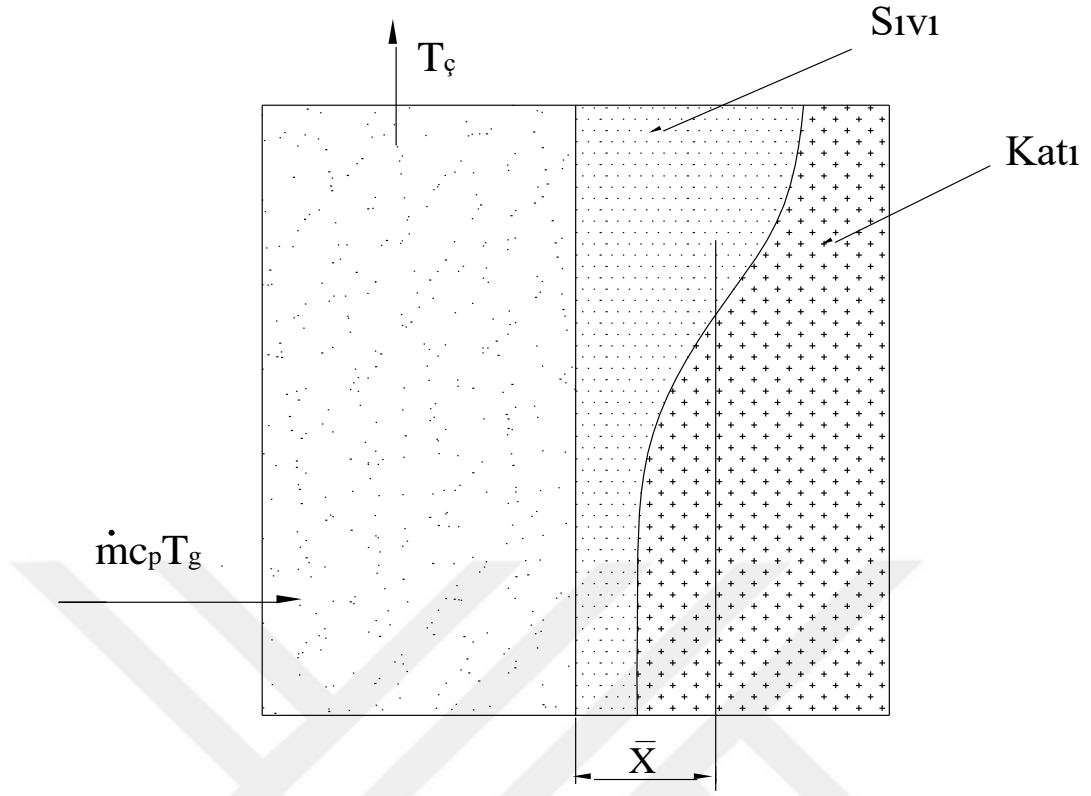
Isıtmanın başlangıcında ısı kaynağından maddeye ısı geçişi sadece iletimle olurken, ergime başlayınca doğal taşınım baskın hale gelir. Ergiyen FDM'deki kaldırma kuvvetlerinin oluşturduğu taşınımın ergime şekli üzerine etkisi zamana bağı olarak Şekil 1.11'de verilmiştir. Bu aşama süresince ısınan ve hafifleyen ergimiş FDM ısınan duvar

boyunca yukarıya doğru katı-sıvı ara yüzey boyunca döngüsünü tamamlar. Bu akış katı-sıvı ara yüzeyi yalar ve katı yüzeye ısı transferi oluşur. Isı transferini takiben sıvı hale gelmiş FDM, katı-sıvı ara yüzey boyunca aşağı doğru akar. Eriyen FDM'nin taşınım etkisi, FDM'nin üst tabakasında ergimenin daha yüksek olmasına neden olur. Böylece erime devam ederken ergime şekli eğimli oluşur. Ergimenin ilk aşamaları süresince maksimum ergime hızı düşükken ergimedeki taşınım baskın hale gelir (Pal ve Joshi, 2001). Ancak, ergime işleminin sonuna doğru silindirik depolayıcılarda deponun en alt bölgelerindeki katı FDM'nin üzerinden akan akışkanın hızı düşeceğinden katı yüzey üzerine olan doğal taşınım etkisi azalacak ve küçük bir miktar FDM yüzünden toplam ısı depolama süresi artacaktır. Ergimenin sonlarına doğru tabana yakın bölgede oluşan eğimli ölü FDM bölgesi, toplam depolama süresini uzatırken, depodan olan ısı kayıpları artar ve sistemin ısı depolama verimliliği düşer.



**Şekil 1.11** Ergimenin Zamanla Değişimi (Pal ve Joshi, 2001)

De Lucia ve Bejan (1990), FDM'nin düşey kaplar içerisindeki ergime davranışını modellemiş ve modele uygun olarak katı-sıvı ara yüzeyin gelişimini belirlemiştir. Şekil 1.12'de taşınımın baskın olduğu ergimedeki, ortalama ergimiş bölge kalınlığının değişimi verilmiştir.



**Şekil 1.12** Taşımının Baskın Olduğu Ergimedeki Katı-Sıvı Ara Yüzeyin Gelişimi  
(De Lucia ve Bejan, 1990)

## 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Balın kristalizasyonunun giderilmesi, gıda özelliklerinin korunması, raf ömürleri ve sıvı hale getirme yöntemleri ile ilgili literatürde bir çok çalışma bulunmaktadır. Bu bölümde araştırma konusu ile direkt ilişkili olan çalışmalara yer verilmiştir.

Bogdanov, (2016) ısı transferi açısından bal sıvı hale gelmesi için benmari su havuzunun en uygun yöntem olduğunu belirtmiştir. 25 kg lık tenekenin 40 °C sıcaklıkta su havuzu içinde 43 saatte sıvı hale gelirken, havalı kuru fırın içerisinde aynı işlemin 72 saat içerisinde tamamlandığını ifade etmiştir. Havalı kuru fırın içerisinde daha uzun sürede sıvılaşmasına rağmen havalı kuru fırının bal sıvılaştırmada daha çok kullanılan bir yöntem olduğu, çok miktarda tenekenin havalı fırınlarda sıvılaştırmak için kullanıldığında hava sirkülasyonunun iyi sağlanması gerektiğini belirtmiştir. Daldırma tip ısıtıcılarında bal sıvılaştırma da kullanılabildiği ve sıvılaşma oldukça ısıtıcının içine battığını belirtmiştir. Spürğün tarafında bulunan Melitherm ısıtıcı ile ısıtmanın bala herhangi bir zarar vermediği ancak balın kristal yapısının tam olarak çözülmediğini belirtmiştir.

Kabbani ve ark., (2011) ultrasonik banyo kullanarak 40 kHz 40, 50 ve 60°C sıcaklıklarda balı 20, 40 ve 60 dakika aralıklarla ısıtmış ve balın kristal yapısını incelemiştir. 50°C altındaki sıcaklıklarda ultrasonik banyo deneyinde balın kristal yapısının hızlı bozulduğunu, bu yöntemin uygulandığı örneklerin daha şeffaf olduğunu ve kristal yapılarının en küçük hale geldiğini belirtmişlerdir.

Kaloyereas, (1955) Yüksek frekanslı ses dalgalarının (9 kHz) mevcut kristalleri ortadan kaldırdığını ve balda tekrar kristalleşmeyi geciktirdiğini ifade etmiştir. Ultrason işlemde balda bulunan maya hücrelerinin çoğunu tahrip etmiş ve hayatta kalanlar çoğalma yeteneklerini kaybetmiştir. Ultrasonda işlenen balda hiç kristal gözlememiş ve 16°C'de 15 aybalın kristalize olmadığını belirtmiştir.

Hebbar ve ark., (2002) balın ısıl işlemi için mikrodalga ve kızılötesi radyasyon uygulamaları yapmış ve balın mikrobiyolojik kalitesi ile fizyo-kimyasal özelliklere etkisi incelenmiştir. Mikrodalga ısıtma istenen maya azaltma seviyesine ulaşmak için hızlı bir yol sağladıklarını ifade etmişlerdir. Kızılötesi ısıtmanın mikrodalga ısıtma kadar hızlı olmadığını ancak geleneksel yöntemlere göre avantajlar sunan nispeten daha kısa bir sürede sonuçlar elde ettiklerini belirtmişlerdir.



Güney, (2010) ısıtma işlemleri görmüş balın HMF miktarında, tadı, rengi ve kokusunda istenmeyen değişikliklere yol açtığını, 50 °C üzerindeki sıcaklığın balın içerisindeki şekerleri bozarak balı karamelle dönüştürdüğünü dolayısıyla ısıtma sıcaklıklarına dikkat edilmesi gerektiğini ifade etmiştir.

Bal üretiminde dünya ikincisi olan ülkemizde bal ya benmari tipi sıcak sulu sistemlerde ya da havalı tip kuru fırınlarda. Benmari tipi sıcak sulu ısıtıcılarda sudan balın depolandığı teneke yüzeyine olan taşınım ile ısı transferinin etkisinin yüksek olması dolayısıyla balın sıvı hale gelme süresi havalı tip sistemlere göre kısadır. Ancak sulu sistemlerde bala suyun karışma ihtimali, ilk yatırım maliyeti ve bakım maliyetlerinden dolayı tercih edilmemektedir. Yaygın olarak kullanılan havalı tip ısıtma sistemlerinde, sıvılaşma süresinin uzunluğundan kaynaklanan enerji maliyetlerinin yüksek olması ve baldaki kalite gibi problemlerin çözümü gerekmektedir.

Bu deneysel çalışmada kuru ısıtma fırını tipi bal sıvılaştırma sistemlerinde teneke balın daha kısa sürede sıvı hale gelmesi ile havalı tip sıvılaştırıcılarından olduğu gıda değerlerindeki bozulmanın giderilmesi ana amaçtır. Tenekede depolanan balın sıvılaşması sırasında balın belirli bir frekansta salınımı sağlanarak sıvı hale gelme süresini kısaltacak bir makina tasarımı ve imalatı gerçekleştirilmiş ve sıvılaştırma deneyleri bu sistem üzerinde gerçekleştirilmiştir.

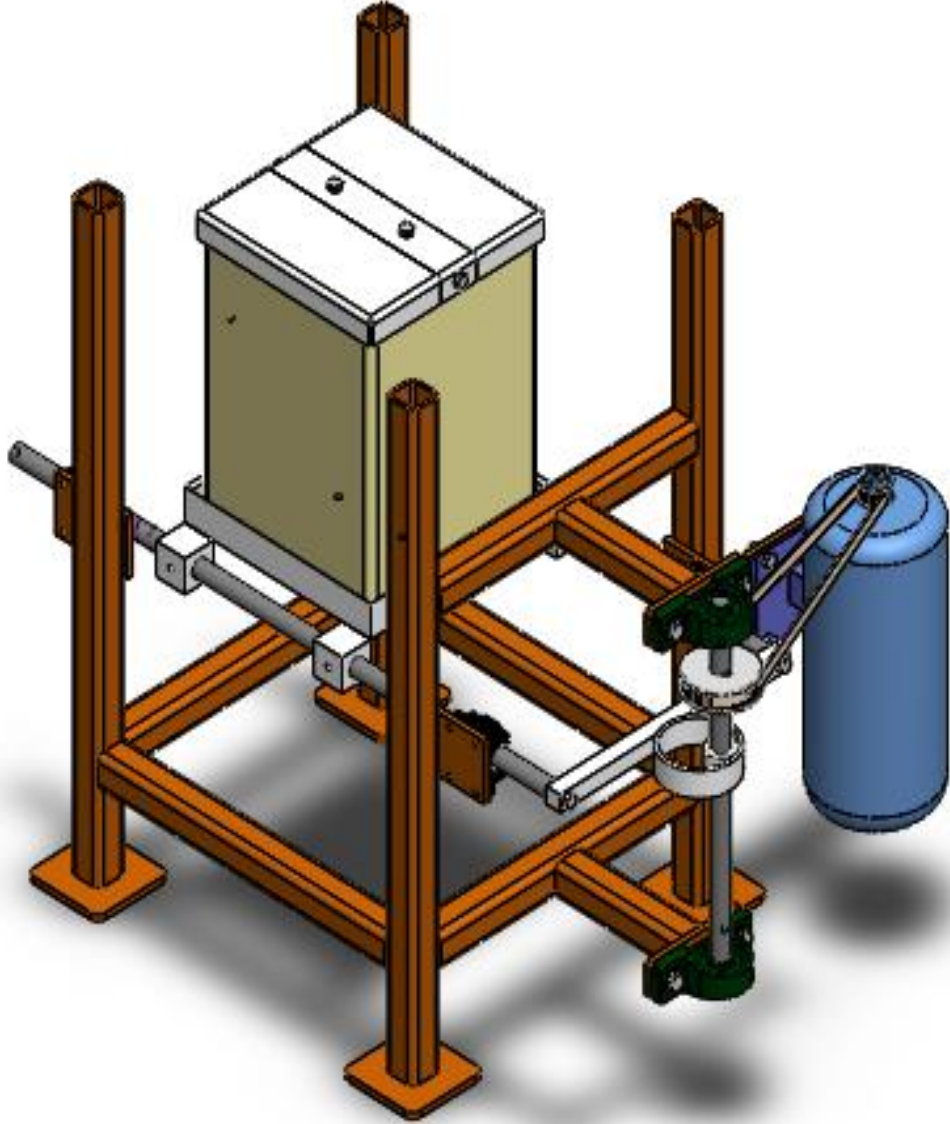
Balın titreştirici mekanizma kullanarak sıvılaşma süresinin kısaltılması ile birlikte, mevcut olan enerji kaynağının verimli kullanımı, fosil yakıtlara olan bağımlılığın azaltılması, maliyet ve işçilik giderlerinin azaltılması ile birlikte çevreye salınan zehirli gazların azaltılması ikincil amaçtır.

### 3. MATERYAL ve YÖNTEM

Bu deneysel çalışmada kristalize olmuş teneke balların gıda güvenliğini koruyarak, kısa sürede sıvı hale gelmesi amacıyla Çorum Mecitözü bölgesinden hasat edilen 2 teneke depolanmış çiçek balı kullanılmıştır. Bölgenin bal nektarı yayla çiçekleri ve ayçiçeğinden oluşmaktadır.

Dış ortamın ısını balın merkezine iletilmesini sağlamak için balın doğal taşınım mekanizmasını zorlanmış taşınımına dönüştürülerek, dış ortam sıcaklığını daha hızlı ve homojen olarak balın merkezine iletebilecek bir mekanik titreştirici tasarlanarak imal edilmiştir.

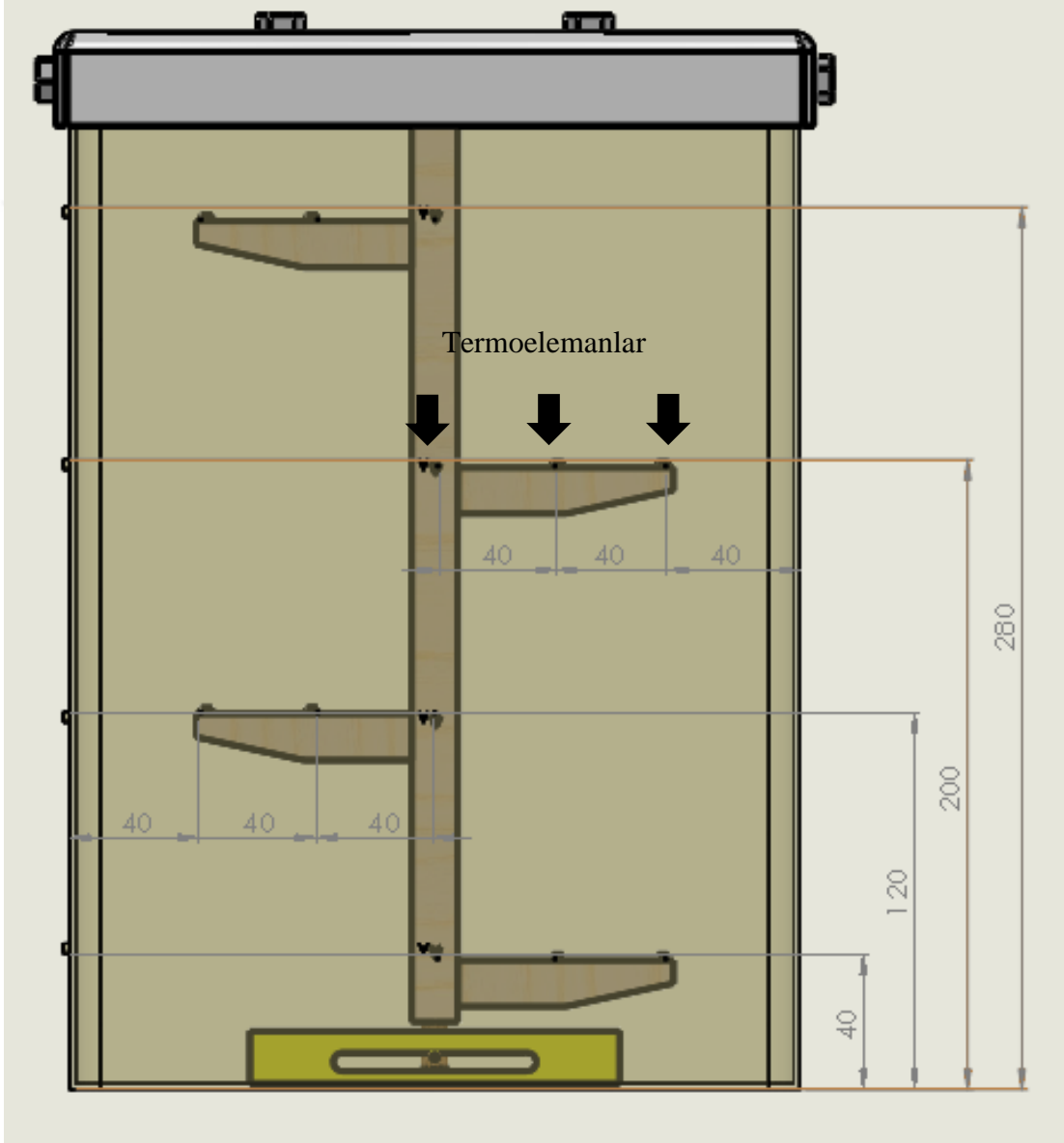
Balın titreştirildiği deney düzeneği Şekil 3.1'de verilmiştir. Düzenekte hazne içine yerleştirilmiş teneke; döndürme gücünü elektrik motorundan alan, mile bağlı merkezinden kaçık parçalar vasıtasıyla mekanik olarak titreştirilmektedir. Elektrik motorunun devri dişli sistemleri ile düşürülmüş olup titreşim hareketine olanak sağlayan mil üstündeki dişli 60 dev/dk ile dönmekte ve titreşim genliği 70 mm dir.



**Şekil 3.1** Mekanik Titreşim Mekanizması 3 Boyutlu Modellemesi

Deney düzeneğinde kullanılan teneke boyutu 236x236x350mm ölçülerinde bal depolamada kullanılan 18 lt kapasiteli tenekelerdir. Bal dolu bu tenekeler balcılarn doldurma şekline göre 25-26 kg aralığındadır. Bu çalışmada tenekelere bal 24 kg olarak yerleştirilmiştir.

Ölçme elemanı olarak teneke içerisine x eksenini (yatay) ve y eksenini (düşey)'nde T tipi termoelemanlar yerleştirilmiştir. Şekil 3.2'de verildiği gibi termoeleman yerleşimi teneke tabanından en üstüne kadar olan kısımdaki sıcaklıkları ölçmek üzere homojen olarak x ekseninde 40 mm aralıklarla y ekseninde 80 mm aralıklarla, 3 grup halinde toplam 20 adet olarak yerleştirilmiştir.



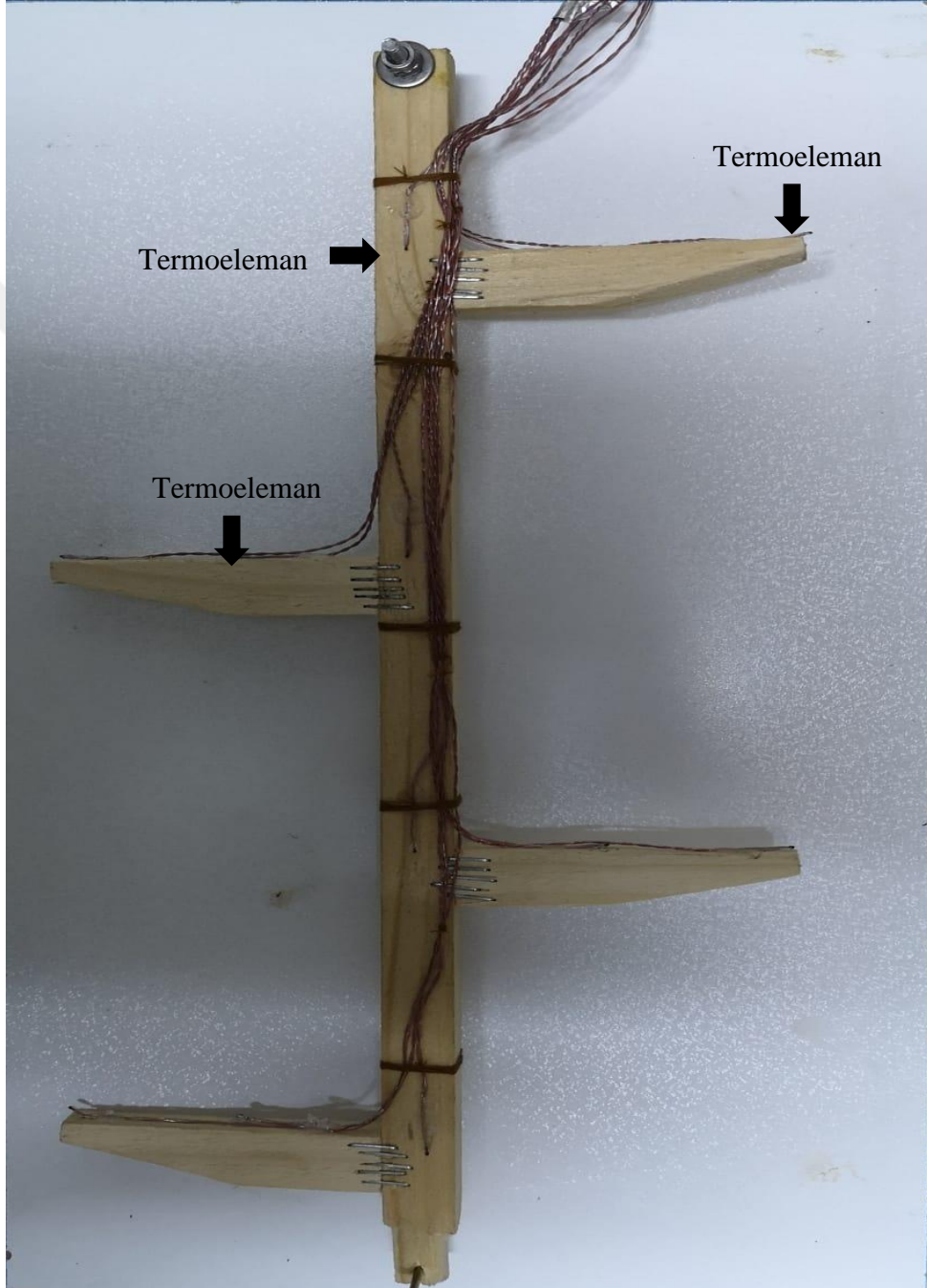
Şekil 3.2 Termoelemanların Yerleşimi

Birinci ve ikinci grup tenekenin birbirine 90<sup>0</sup>açıda bulunan iki yüzeyindedir. Bu yüzeylerin her birinde Şekil 3.3'te verildiği üzere 40 mm aralıklarla 5 adet termoeleman bulunmaktadır. Termoelemanlar gıdaya uygun yapıştırıcılar ile teneke yüzeylerine yapıştırılmıştır.



Şekil 3.3 Teneke Yüzeylerinde Bulunan Termoeleman Yerleşimi

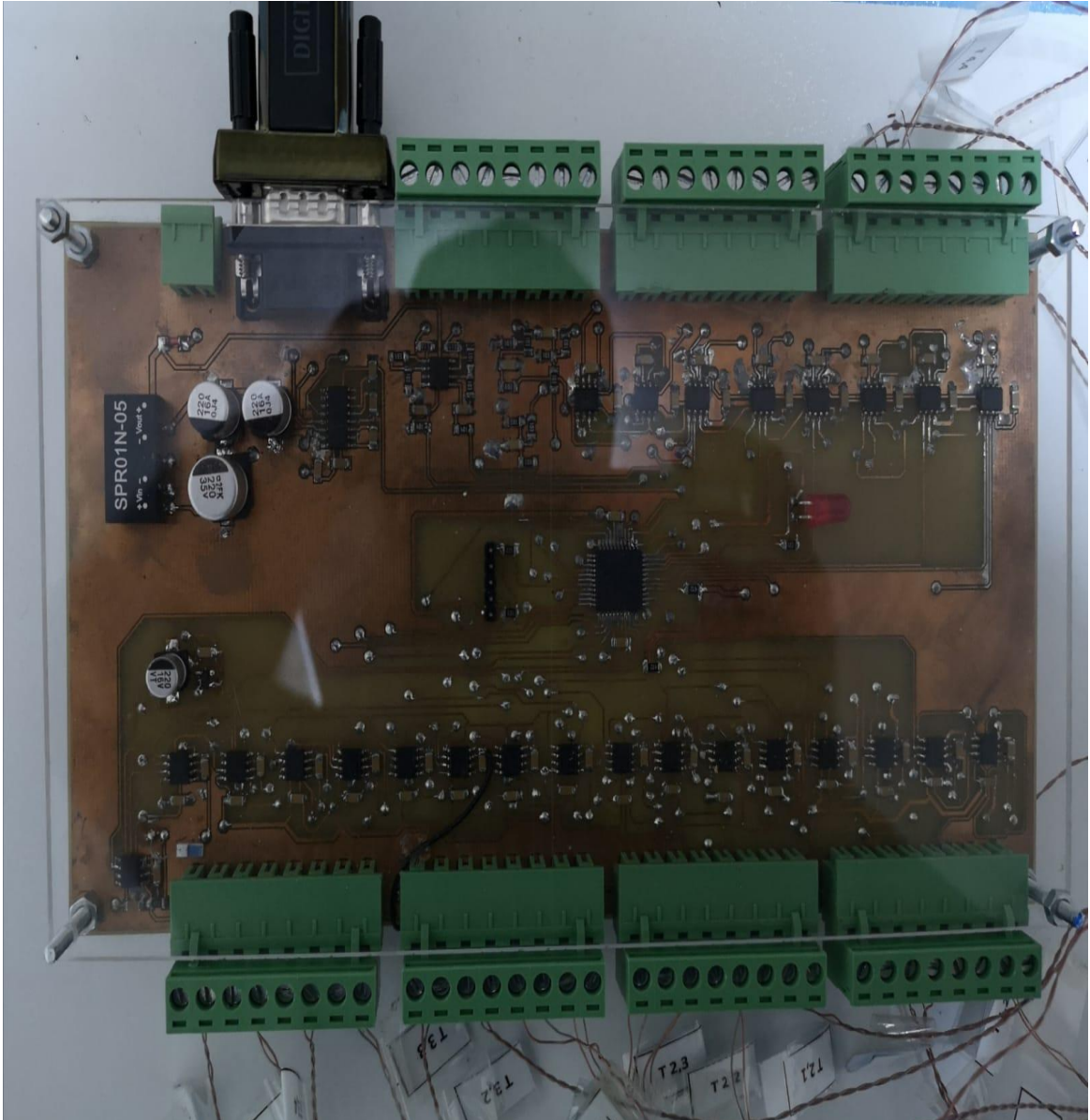
Üçüncü termoeleman grubu ise 10x15 mm ölçülerinde ve yanlarında 80 mm çıkıntıları olan ahşap çubuk üzerinde konuşlandırılmıştır. Şekil 3.4'te verilen bu grupta her çıkıntıda 2 adet ve ana çubuk üzerinde 5 adet olmak üzere toplam 15 adet termoeleman bulunmaktadır. Termoelemanlar gıdaya uygun yapıştırıcılar ile ahşap çubuk yüzeylerine yapıştırılmıştır.



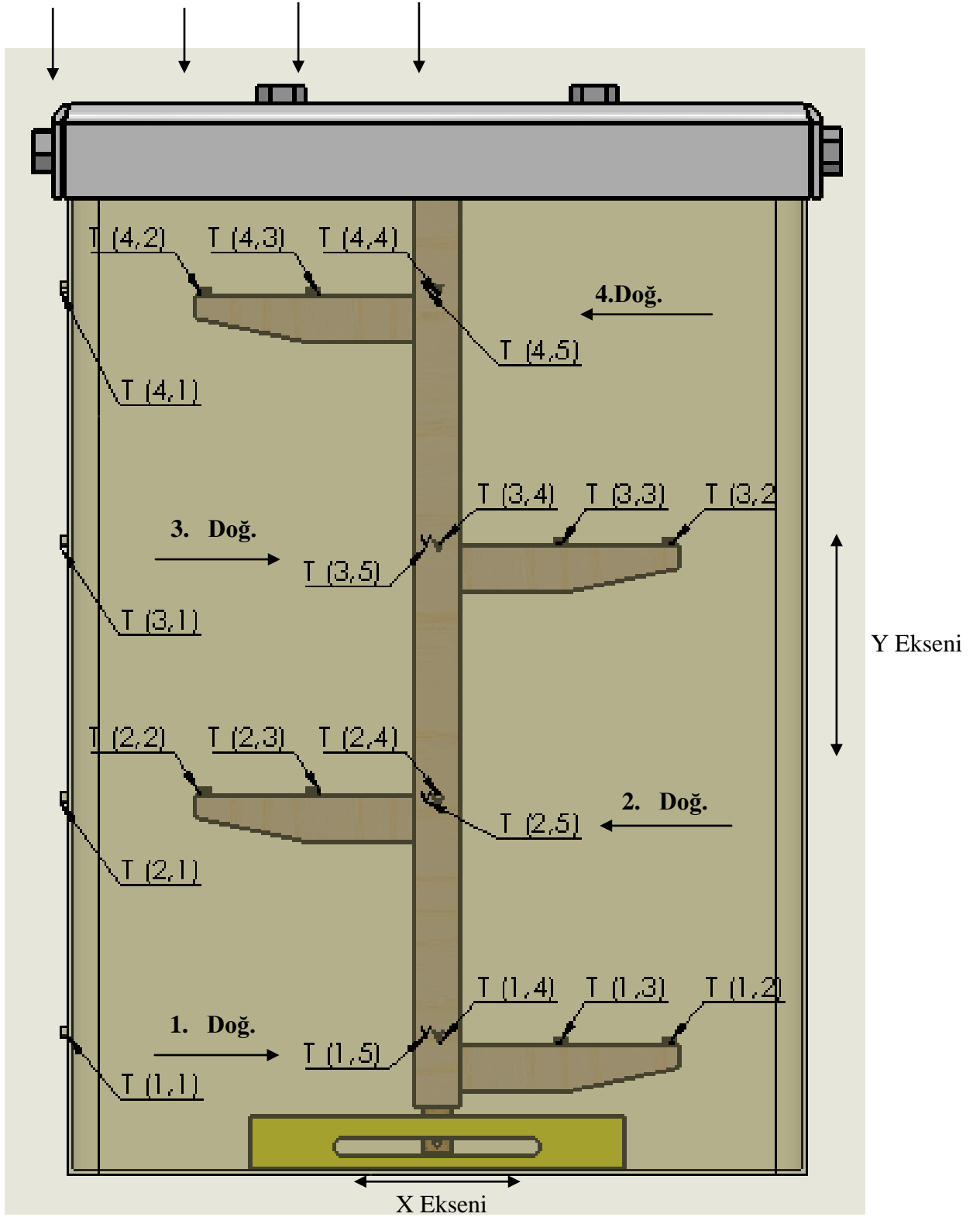
**Şekil 3.4** Ahşap Çubuk Üzerinde Bulunan Termoeleman Yerleşimi



Termoelemanlar 24 kanallı data logger kartına her bir termoeleman numaralandırılarak Şekil 3.5’de verildiği gibi bağlanmıştır. Termoeleman numaralandırma yerleşimi Şekil 3.6’da verilmiştir. Bu devre kartı sayesinde anlık olarak tüm termoelemanların ölçmüş olduğu sıcaklıklar bilgisayarda bu ölçüm için tasarlanan data logger program ile Şekil 3.7’ te verildiği gibi izlenebilmekte ve excel dosyasına kaydedilmektedir. Ayrıca deney süresince fırın ortam sıcaklığını ölçmek için devre kartına 1 adet termoeleman bağlanmıştır.

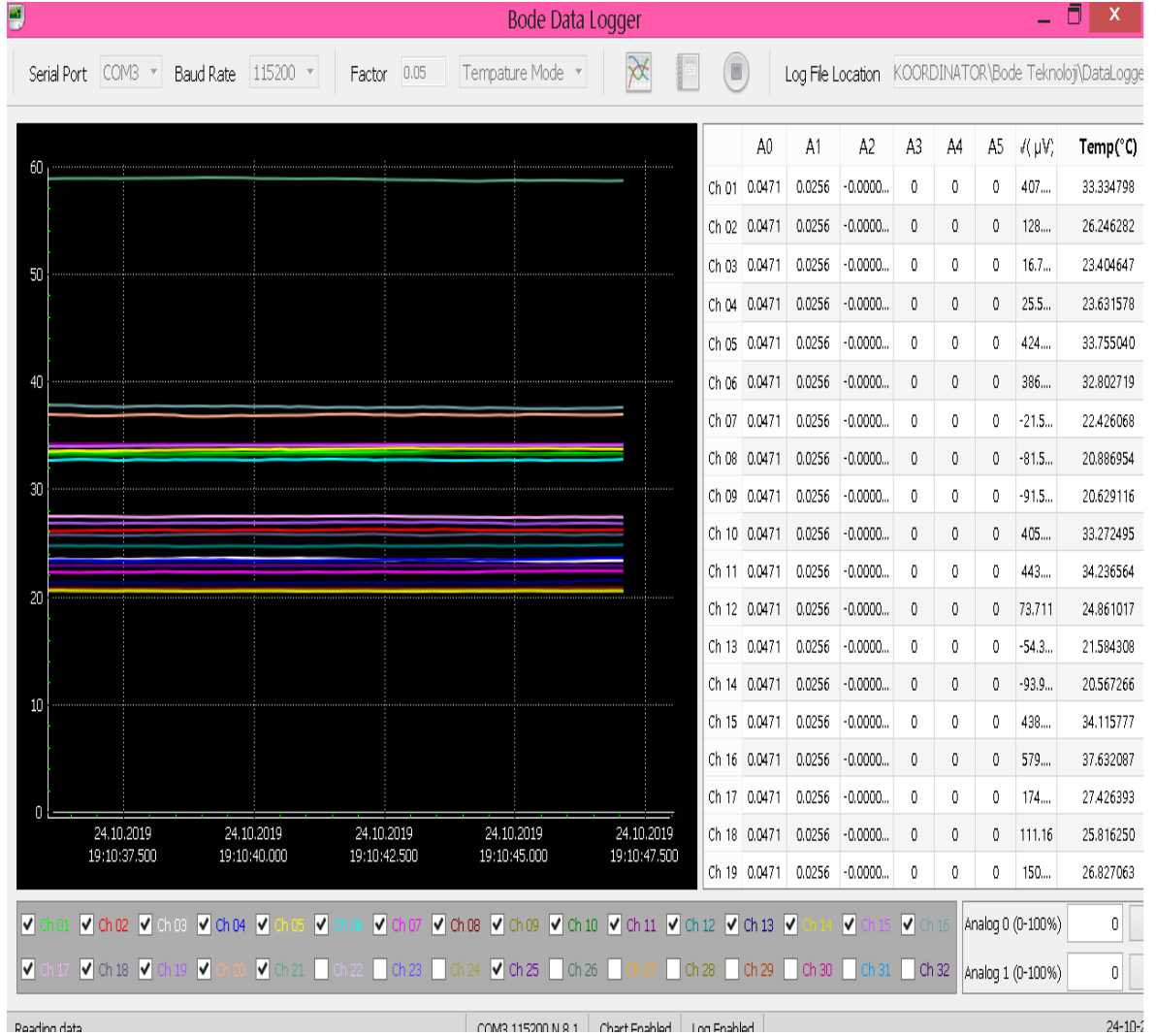


Şekil 3.5 Data Logger Devre KartıBağlanmış Termoelemanlar



Şekil 3.6 Termoelemanların Numaralandırılması





Şekil 3.7 Data Logger Programı Ekran Görüntüsü

İmalatı tamamlanan deney düzeneği Ordu Arıcılık Araştırma Enstitüsü'nün havalı kuru fırınında test edilmek üzere alana götürülmüş, içerisine karşılaştırma yapmak üzere 24 kg çiçek balı deney düzeneğinde kullanılacak teneke içerisine koyulmuş ve kristalize olması beklenmiştir. Kristalize olmuş teneke içerisindeki balın fotoğrafı Şekil 3.8'de verilmiştir. Teneke içerisinde donan bal önceden ısıtılmış 50 °C sabit sıcaklıktaki fırın içerisinde doğal taşınım ile sıvılaşmak üzere bırakılmıştır. Data logger devre kartı ve program sayesinde excele kaydedilen her bir termoelemanın sıcaklık ölçümleri kaydedilmiştir. Tüm termoelemanların ölçtüğü sıcaklık 45°C ulaştığında balın sıvılaşması tamamlanmış olup balın berraklaşması beklenmiş ve kaç saatte prosesin tamamlandığı not altına alınmıştır. Geleneksel yöntem ile teneke kutu içerisinde sıvı hale gelen balın fotoğrafı Şekil 3.9'da verilmiştir.



Şekil 3.8 Teneke İçinde Kristalize Olan Bal



Şekil 3.9 Geleneksel Yöntemle Havalı Kuru Fırın İçerisinde Sıvılaştırmış Bal

Şekil 3.10’da verildiği üzere sıvılaşıma öncesi ve sonrasında karşılaştırmak için kristalize olan baldan numune alınmıştır.

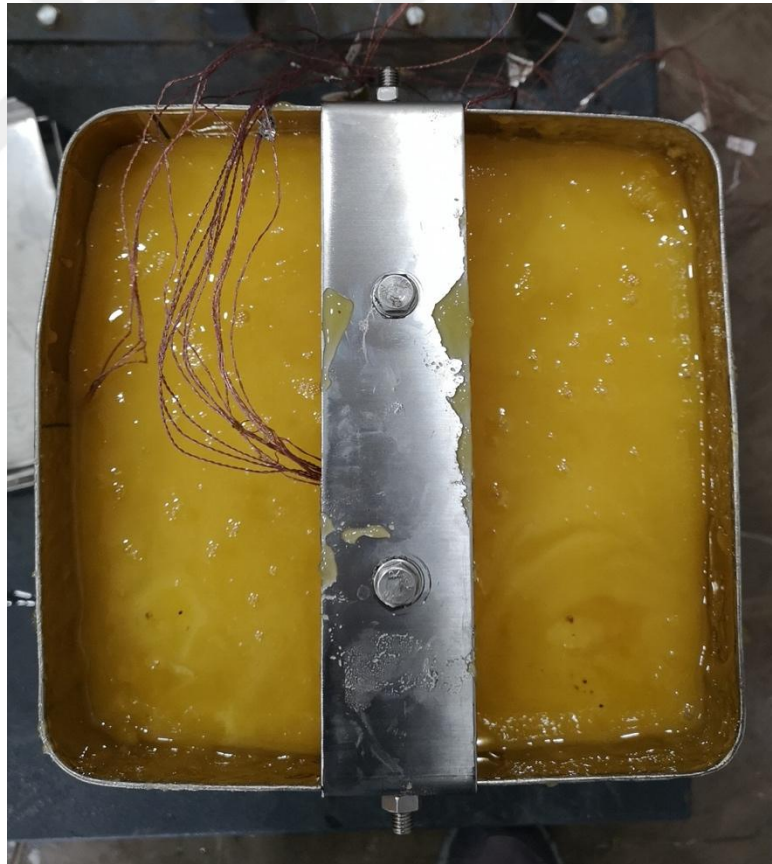


**Şekil 3.10** Kristalize Bal ve Sıvılaştırmış Bal Numuneleri

Kristalize olmuş bal ve sıvılaştırmış olan baldan numune olarak balın kalitesinin belirlenmesinde en önemli değerler olan HMF, prolin, diastaz ve nem değerleri Arıcılık Araştırma Enstitüsü laboratuvarında ölçülmüştür.

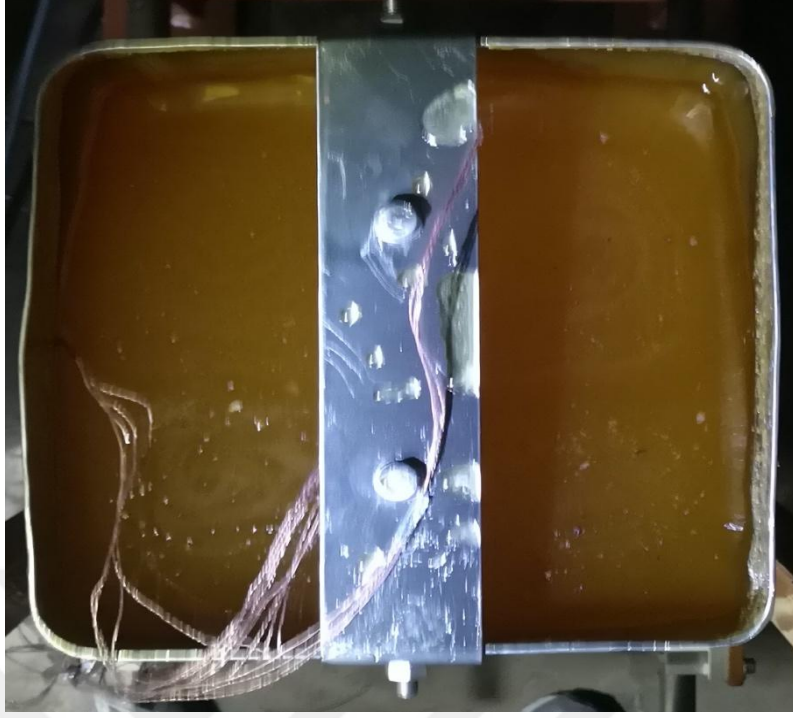
Geleneksel yöntem ile havalı kuru fırın içerisinde sıvılaştıran bal deneyi tamamlandıktan sonra aynı teneke içerisinde mekanik titreştirici ile havalı kuru fırın içerisinde sıvı hale gelmek üzere ilk deneyde olduğu gibi aynı anda hasat edilen 24 kg çiçek balı koyulmuş olup kristalize olmaya bırakılmıştır.

Şekil 3.11’te verilen kristalize olmuş bal 50 °C ön ısıtmalı fırında mekanik titreştirici üzerine yerleştirilmiş ve 60 dev/dk ile dönen ve 70 mm genliği olan mekanik titreştirici çalıştırılmıştır. Mekanik titreştirici ile sıvılaştırmada ilksıvılaşmada olduğu gibi data logger devre kartı ve program sayesinde excele kaydedilen her bir termoelemanın sıcaklık ölçümleri kaydedilmiştir. Tüm termoelemanların ölçtüğü sıcaklık yaklaşık 45 °C ulaştığında balın sıvı hale gelmesi tamamlanmış olup balın berraklaşması beklenmiş ve kaç satte prosesin tamamlandığı not altına alınmıştır. Mekanik titreştirici ile teneke kutu içerisinde sıvı hale gelen balın fotoğrafı Şekil 3.12’te verilmiştir.



**Şekil 3.11** Titreştirici Mekanizma ile Sıvılaştırılacak Olan Kristalize Bal





**Şekil 3.12** Titreştirici Mekanizma ile Sıvılaştırılmış Olan Bal

Şekil 3.13’de verildiği üzere sıvılaştırma öncesi ve sonrasında karşılaştırmak için kristalize olan baldan numune alınmıştır.



**Şekil 3.13** Kristalize Olmuş ve Titreştirici Yardımı ile Sıvılaştırılmış Bal Numuneleri

Kristalize olmuş bal ve sıvılaştırılmış olan baldan numune olarak balın kalitesini belirlemede en önemli değerler olan HMF, prolin, diastaz ve nem değerleri Arıcılık Araştırma Enstitüsü laboratuvarında ölçülmüştür.

#### 4. BULGULAR ve TARTIŞMA

Geleneksel yöntem ve mekanik titreştirici yardımı ile teneke kutuda depo edilen balaynı ısıtma ortamında sıvı hale getirilmiştir. Balların sıvılaştırma öncesi ve sonrası gıda analizleri yapılmıştır. Geleneksel yöntem ve mekanik titreştirici ile sıvılaştırma işlemi sırasında farklı doğrultulardaki zamana bağlı sıcaklık değişimleri grafikler halinde verilmiştir.

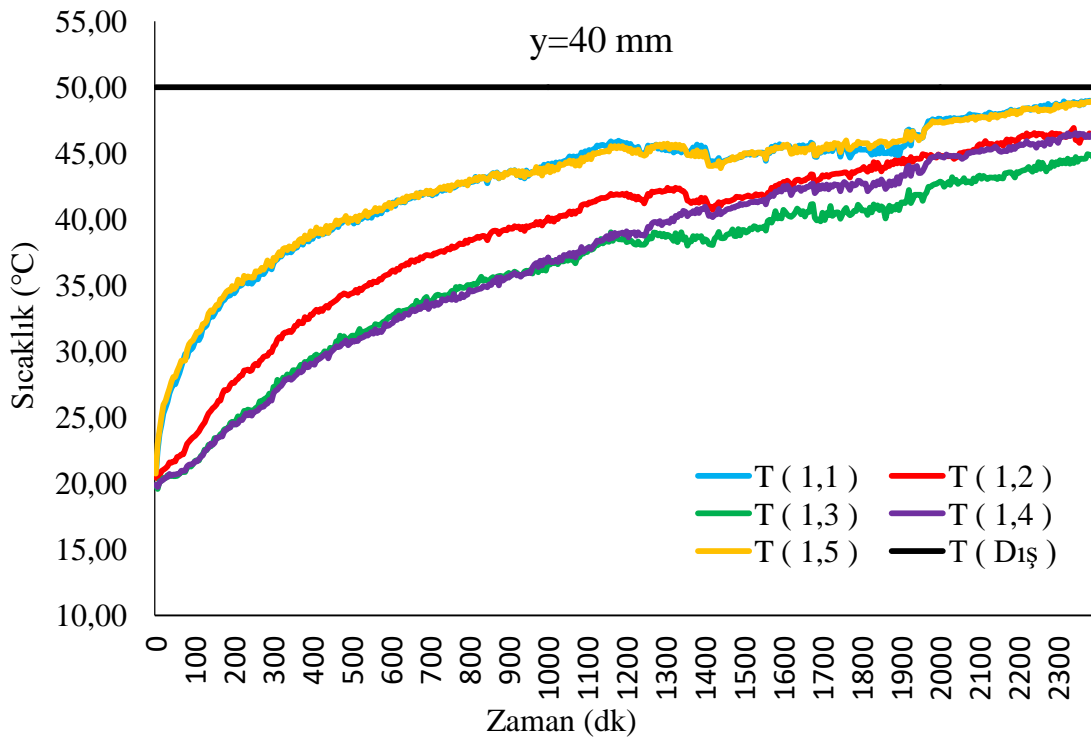
##### 4.1 Geleneksel Sıvılaştırma Yerel Sıcaklık Değişimleri

Tenekede kristalize olan balın geleneksel sıvılaştırma deneyinde eritme başlangıç sıcaklıkları tüm noktalarda 19-20°C aralığında ölçülmüştür.

Balın X ve Y eksenlerinde sıcaklık değişimi zamana bağlı olarak aşağıda verilmiştir.

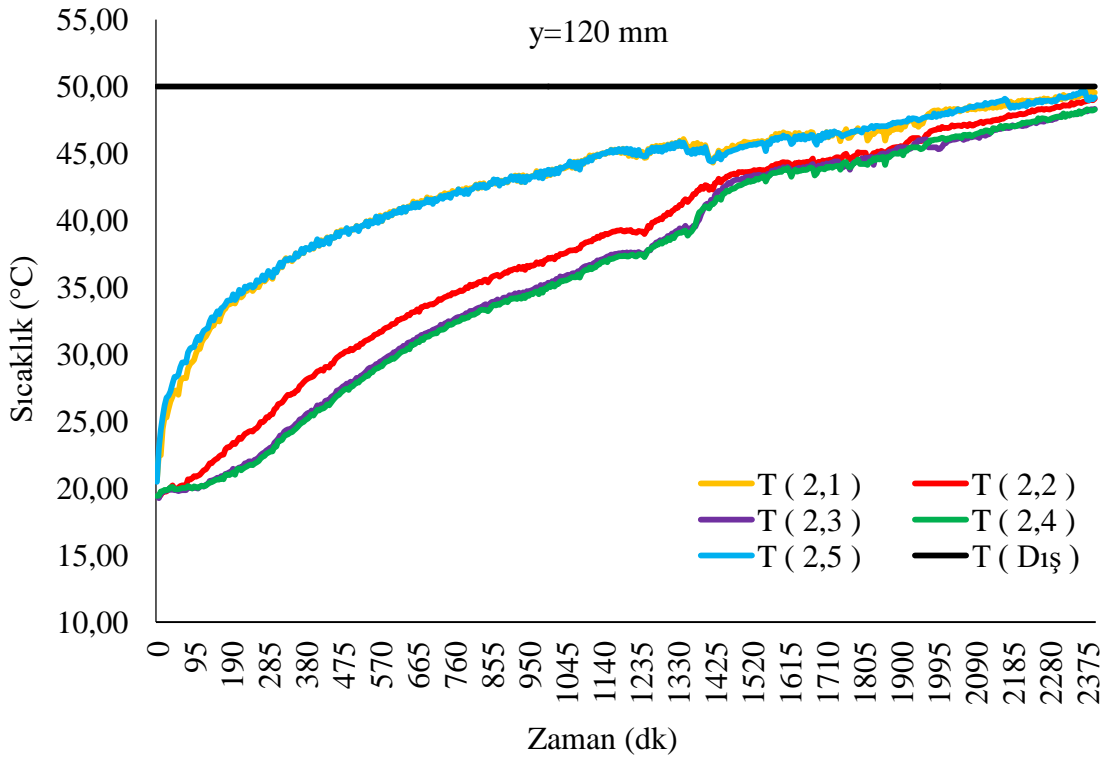
##### 4.1.1 X Eksenindeki Yerel Sıcaklık Değişimleri

Geleneksel yöntem ile sıvı hale gelmiş olan balın zamana bağlı sıcaklık grafiği çizilmiş olup termoeleman yerleşim şekline göre 4 farklı doğrultuda 80 mm aralıklarla olmak üzere Şekil 4.1 ile Şekil 4.4 arasında verilmiştir.



Şekil 4.1 Geleneksel Sıvılaştırmada X Ekseninde Zamana Bağlı Sıcaklık Değişimi

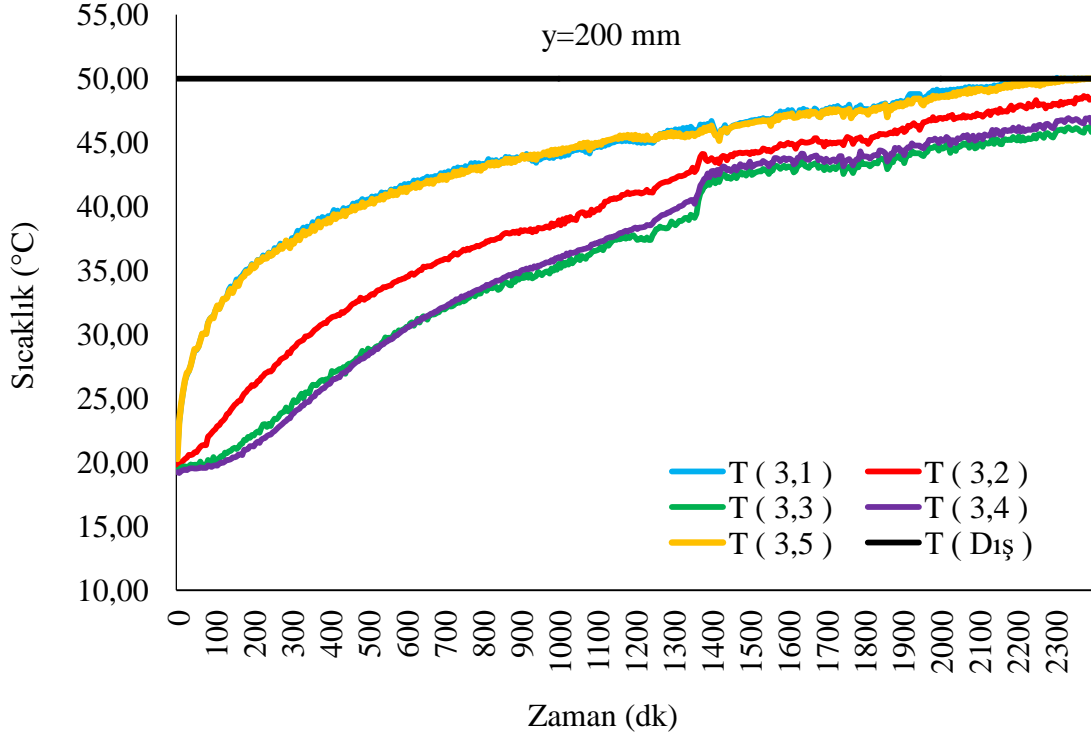
Teneke kutunun tabanından 40 mm mesafede (I. doğrultu) ve teneke yan yüzeyinden 40 mm aralıklarla ölçülen sıcaklığın değişimi Şekil 4.1'deki grafikte görülmektedir. Bu mesafe için tenekenin her iki iç yüzeyinde zamanla sıcaklık değişimi aynıdır. Yüzeyden uzaklaştıkça sıcaklıklar benzer şekilde azalmıştır. T(1,3) noktası 39°C'ye ulaştığında diğer noktalarla birlikte bir sıcaklık dalgalanması olmuş ve sıcaklık belirli bir süre yaklaşık olarak sabit kalmıştır. Bunun sebebi bu doğrultuda balın sıvılaşmasından dolayı kütle hareketinin başlaması ve ısı taşınımının artmasından dolayı ısının hızla aktarılmasından kaynaklanmaktadır. Fırın sıcaklığı 50°C iken teneke iç yüzey sıcaklığı sıvılaşma sonunda 49°C'ye ulaşmıştır. Bu bölgede en geç sıvılaşma T(1,3) noktasında gerçekleşmiş ve 40 saatte bal 45°C sıcaklığa ulaşmıştır.



**Şekil 4.2** Geleneksel Sıvılaştırmada X Eksenii II. Doğrultuda Zamana Bağlı Sıcaklık Değişimi

Teneke kutunun tabanından 120 mm mesafede (II. doğrultu) teneke yan yüzeyinden 40 mm aralıklarla ölçülen sıcaklığın değişimi Şekil 4.2'deki grafikte görülmektedir. Bu mesafe için tenekenin her iki iç yüzeyinde zamanla sıcaklık değişimi aynıdır. Yüzeyden uzaklaştıkça sıcaklıklar benzer şekilde azalmıştır. T(2,3) ve T(2,4) noktası 39°C'ye ulaştığında diğer noktalarla birlikte sıcaklık hızla artarak bu doğrultuda faz değişimini tamamlayarak sıcaklık artmıştır. Sıvı hale gelen bölgedeki ısı taşınımının artmasından

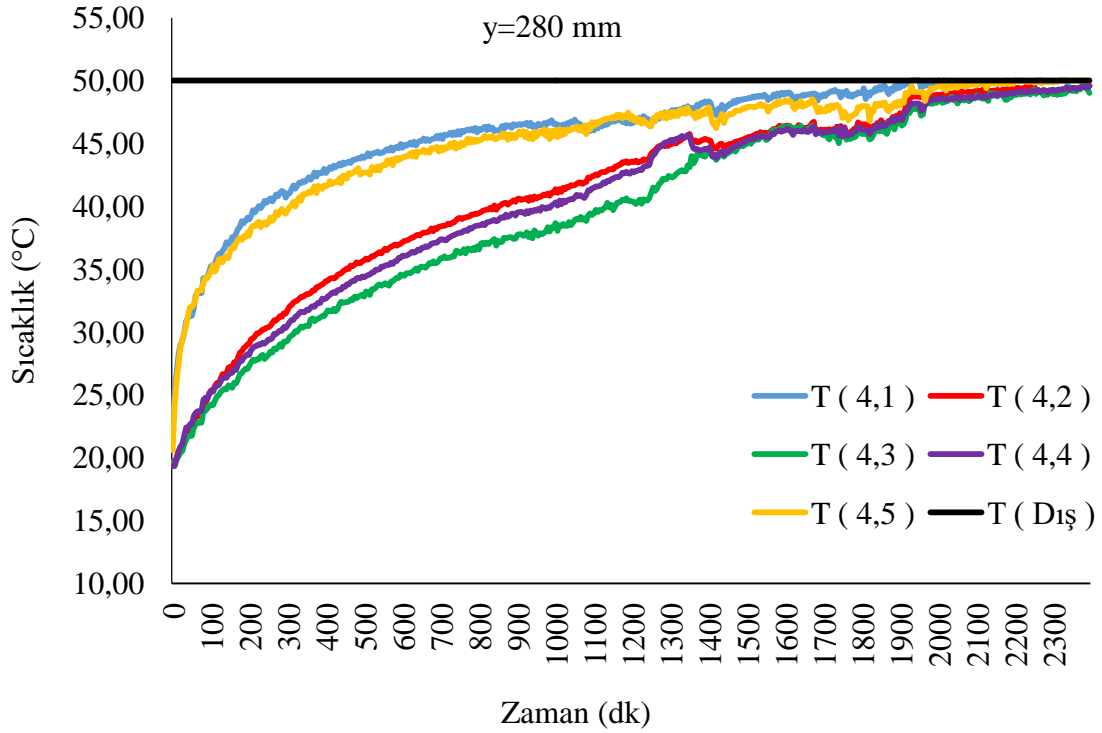
dolayı bu zamandan sonra bu doğrultudaki noktalarda daha hızlı sıcaklık artışı gerçekleşmiştir. Bu bölgede en geç sıvılaşma beklenildiği gibi T(2.4) noktasında gerçekleşmiş ve 31,5 saatte balın sıcaklığı 45°C'ye ulaşmıştır.



**Şekil 4.3** Geleneksel Sıvılaştırmada X Eksenine III. Doğrultuda Zamana Bağlı Sıcaklık Değişimi

Teneke kutunun tabanından 200 mm mesafede (III. doğrultu) teneke yan yüzeyinden 40 mm aralıklarla ölçülen sıcaklığın değişimi Şekil 4.3'deki grafikte görülmektedir. Bu mesafe için tenekenin her iki iç yüzeyinde zamanla sıcaklık değişimi aynıdır. Yüzeyden uzaklaştıkça sıcaklıklar benzer şekilde azalmıştır. T(3,3) noktası 39°C'ye ulaştığında diğer noktalarla birlikte sıcaklık hızla artarak bu doğrultuda faz değişimini tamamlayarak sıcaklık artmıştır. Sıvı hale gelen bölgedeki ısı taşınımının artmasından dolayı bu zamandan sonra bu doğrultudaki noktalarda daha hızlı sıcaklık artışı gerçekleşmiştir. Bu bölgede en geç sıvılaşma beklenildiği gibi T(3,3) noktasında gerçekleşmiş ve 35 saatte balın sıcaklığı 45°C'ye ulaşmıştır. T(3,4) noktasındaki sıcaklık artışının daha hızlı olması hem termoelemanların hem de termoelemanları taşıyan ahşabın ısıyı aktarmasından kaynaklanmaktadır.



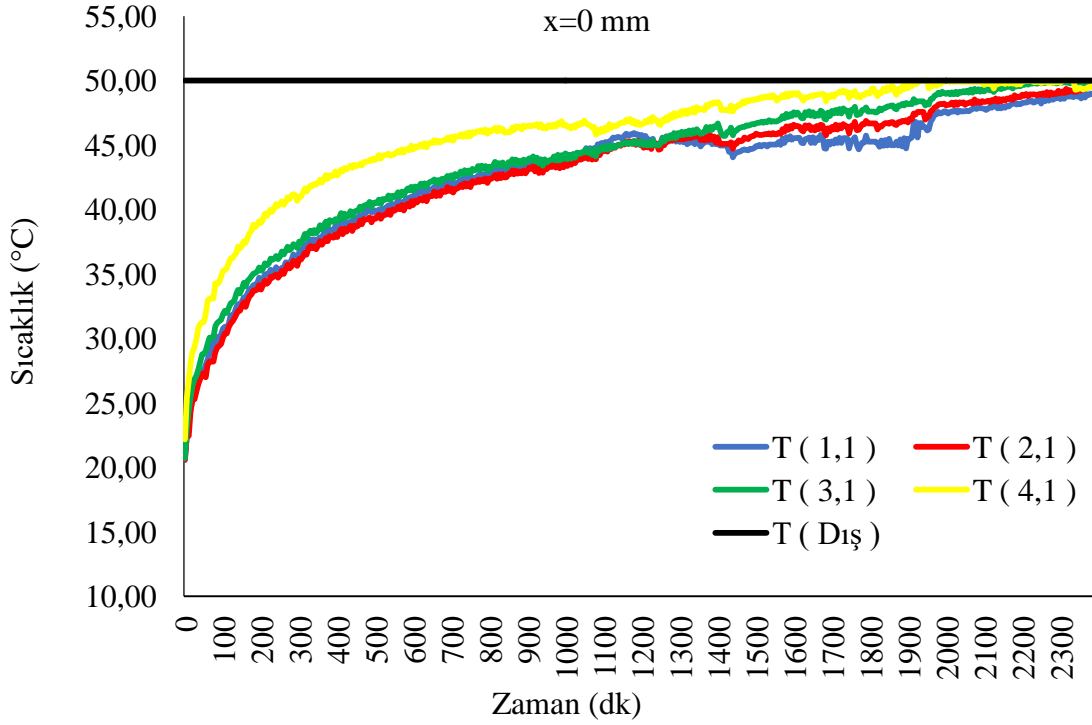


**Şekil 4.4** Geleneksel Sıvılaştırmada X Eksenine IV. Doğrultuda Zamana Bağlı Sıcaklık Değişimi

Teneke kutunun tabanından 280 mm mesafede (IV. doğrultu) teneke yan yüzeyinden 40 mm aralıklarla ölçülen sıcaklığın değişimi Şekil 4.4'deki grafikte görülmektedir. Bu mesafe için tenekenin her iki iç yüzeyinde zamanla sıcaklık değişimi aynıdır. Yüzeiden uzaklaştıkça sıcaklıklar benzer şekilde azalmıştır. Bu doğrultudaki bala hem yan yüzeyden hem de üst yüzeyden ısı transferi gerçekleşmiştir. Sıvı hale gelen balın yukarıya çıkması ile taşınım da ısı transferinde etkili olduğunda (1250 min) balın sıcaklık artışı hızlanmıştır. T(4,3) noktası 39°C'ye ulaştığında diğer noktalarla birlikte sıcaklık hızla artarak bu doğrultuda faz değişimini tamamlamıştır. Sıvılaşmış bölgedeki ısı taşınımının artmasından dolayı bu zamandan sonra bu doğrultudaki noktalarda daha hızlı sıcaklık artışı gerçekleşmiştir. Bu bölgede en geç sıvılaşma beklenildiği gibi T(4,3) noktasında gerçekleşmiş ve 32 saatte balın sıcaklığı 45°C'ye ulaşmıştır. T(4,4) noktasındaki sıcaklık artışının daha hızlı olması hem termoelemanların hem de termoelemanları taşıyan ahşabın ısıyı aktarmasından kaynaklanmaktadır.

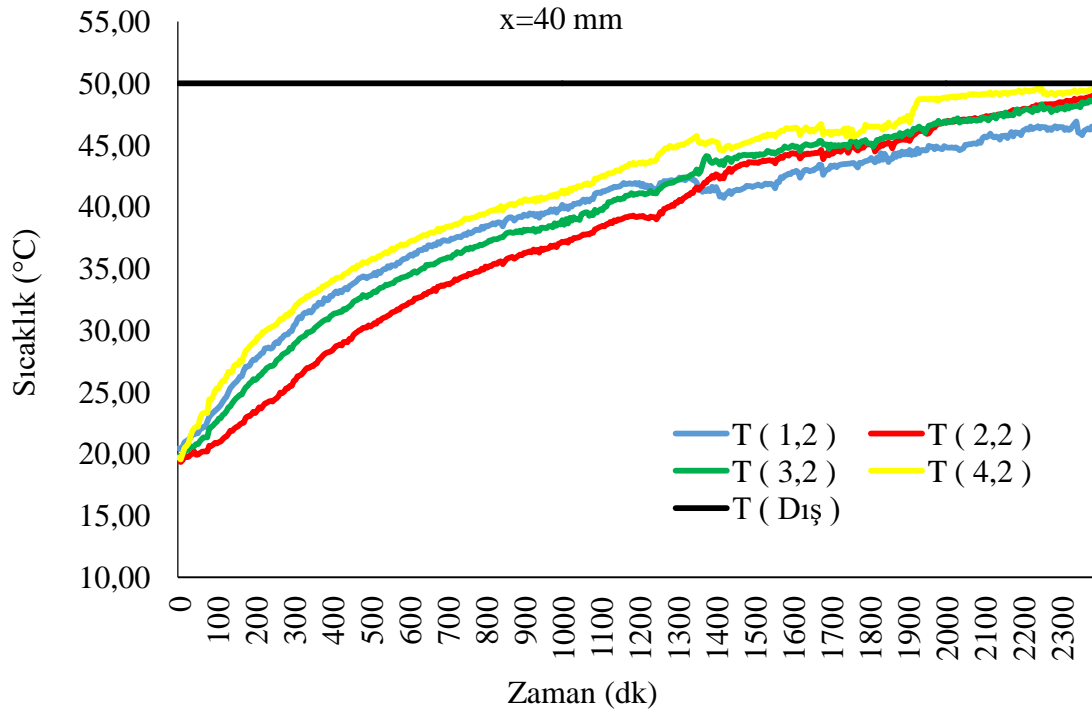
#### 4.1.2 Y Eksenindeki Yerel Sıcaklık Değişimleri

Geleneksel yöntem ile sıvı hale gelen balın zamana bağlı sıcaklık grafiği çizilmiş olup termoeleman yerleşim şekline göre 4 farklı doğrultuda olmak üzere Şekil 4.5 ile Şekil 4.8 arasında verilmiştir.



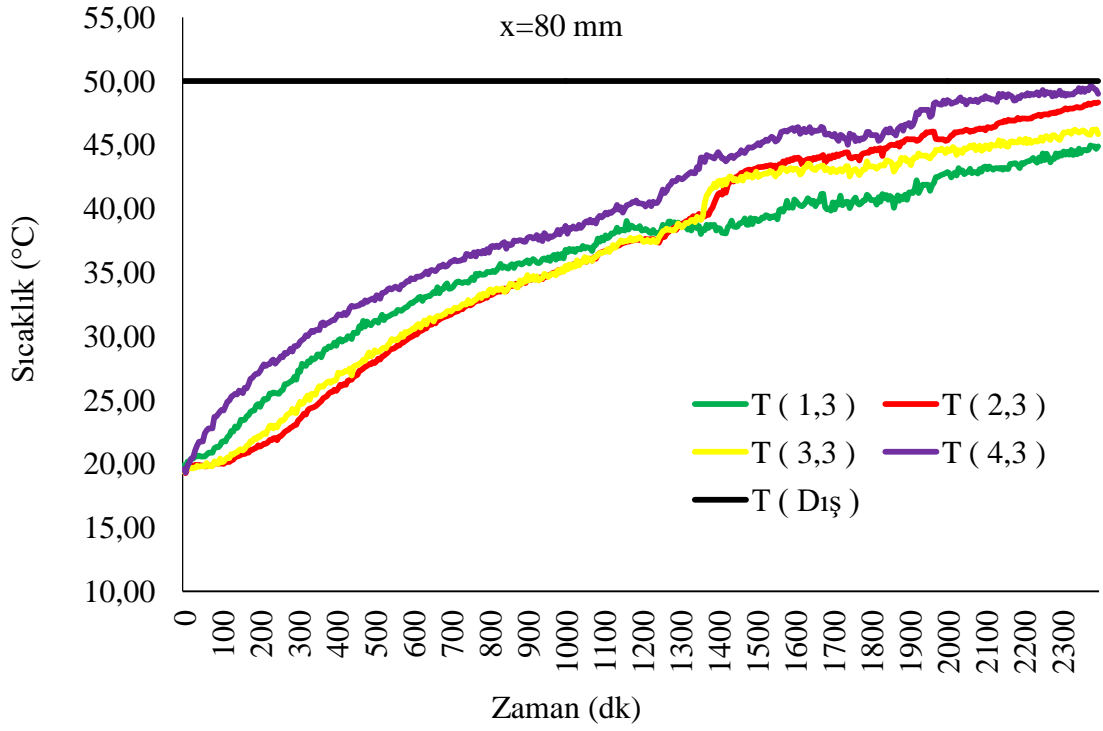
Şekil 4.5 Geleneksel Sıvılaştırmada Y Eksenini I. Doğrultuda Zamana Bağlı Sıcaklık Değişimi

Teneke kutunun iç yan yüzeğinden (I. doğrultu) 80 mm aralıklarla ölçülen sıcaklığın değişimi Şekil 4.5'deki grafikte görülmektedir. Teneke kutu üst yüzeyinden uzaklaştıkça sıcaklıklar benzer şekilde azalmıştır. T(4,1) noktasına hem yan yüzeyden hem de üst yüzeyden ısı transferi gerçekleşmiştir. Ayrıca sıvılaştıran balın yukarıya çıkması ile taşınım da ısı transferinde etkili olduğunda balın sıcaklık artışı bu noktada çok hızlıdır. Tenekenin iç yüzeğinde sıcaklık T(4,1) noktası hariç yaklaşık aynıdır. Beklenildiği gibi T(1,1) noktasında sıcaklık bir miktar daha düşüktür.



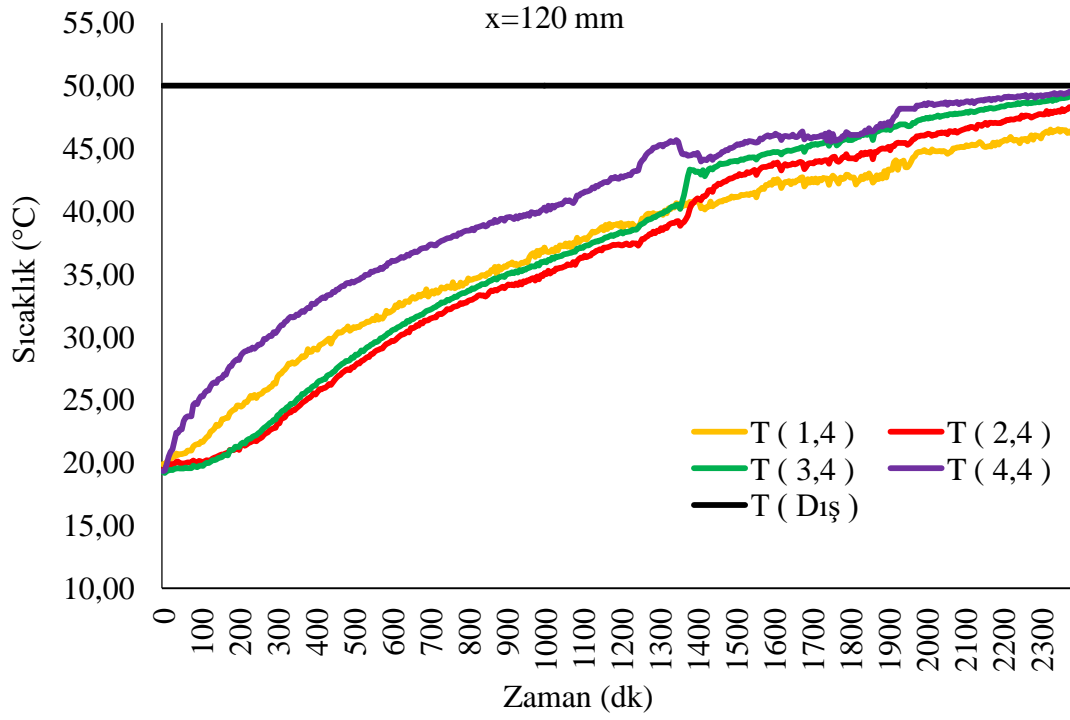
**Şekil 4.6** Geleneksel Sıvılaştırmada Y Eksenii II. Doğrultuda Zamana Bağlı Sıcaklık Değişimi

Teneke kutunun yan yüzeğine 40 mm mesafedeki (II. doğrultu) ve aşağıdan yukarıya 80 mm aralıklarla ölçülen sıcaklığın zamanla değişimi Şekil 4.6'deki grafikte görülmektedir. Bu doğrultuda da T(4,2) noktası sıcaklık artışının en hızlı olduğu noktadır. Benzer şekilde en alt nokta T(1,2) sıcaklığı 1250 dakikaya kadar hızlı artarken bu zamandan sonra T(2,2) ve T(3,2) noktalarının sıcaklığı artmıştır. Beklenildiği gibi bu süreden sonra sıcaklık artışı aşağıdan yukarıya doğru olmuştur.



**Şekil 4.7** Geleneksel Sıvılaştırmada Y Eksenine III. Doğrultuda Zamana Bağlı Sıcaklık Değişimi

Teneke kutunun yan yüzeyine 80 mm mesafedeki (III. doğrultu) ve aşağıdan yukarıya 80 mm aralıklarla ölçülen sıcaklığın zamanla değişimi Şekil 4.7'deki grafikte görülmektedir. Grafikten görüldüğü gibi T(4,3) noktasının sıcaklığı hızlı artmış ve 45°C'de zamanla yaklaşık aynı kalmıştır. Bu doğrultu için de yine en alt noktada hızlı sıcaklık artışı olmuş ve 1325. dakikadan sonra üst noktaların sıcaklığı yaklaşık 39°C'de alt noktayı geçmiştir. Bu bölgede 39°C sıcaklığa ulaşıldığında ortamda doğal taşınımın başladığını göstermektedir.



**Şekil 4.8** Geleneksel Sıvılaştırmada Y Eksenine IV. Doğrultuda Zamana Bağlı Sıcaklık Değişimi

Teneke kutunun yan yüzeyine 120 mm mesafedeki (teneke kutunun merkezi) ve aşağıdan yukarıya 80 mm aralıklarla ölçülen sıcaklığın zamanla değişimi Şekil 4.8'deki grafikte görülmektedir. Teneke kutunun merkezindeki balın sıcaklık değişim şekli diğer y doğrultuları ile benzerlik göstermektedir. 1330 dakika süreye ulaşıldığında bu doğrultu boyunca doğal taşınımın etkisinden dolayı sıcaklık dağılımı benzer şekilde aşağıdan yukarıya doğru artmaktadır.

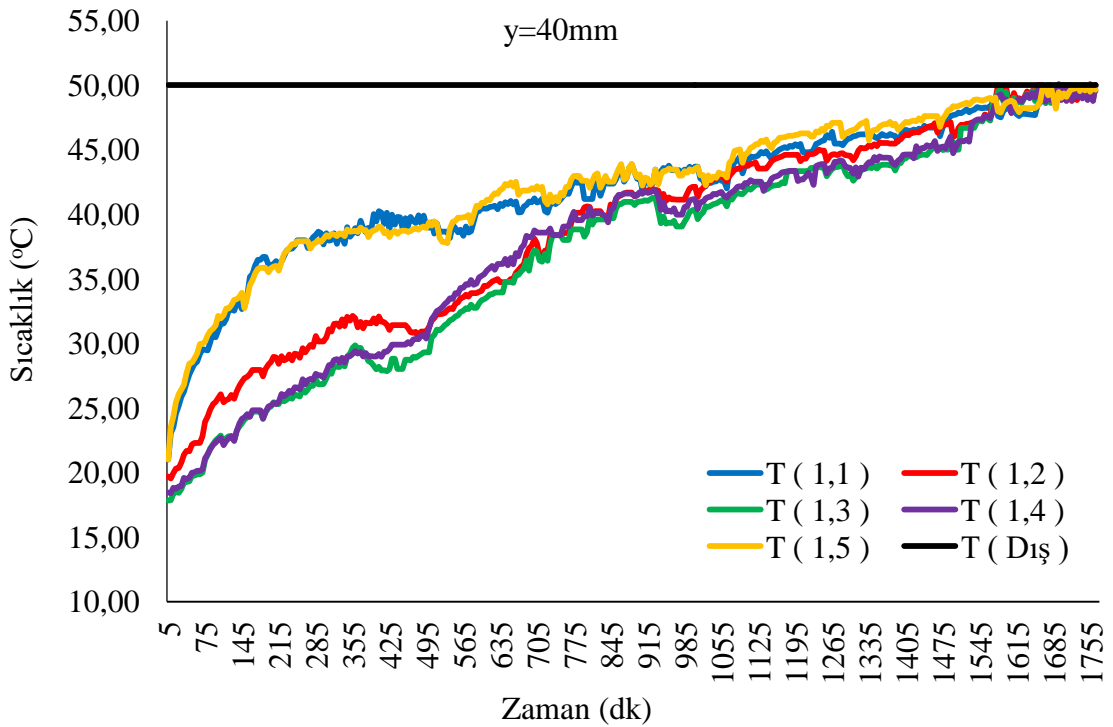
## 4.2 Mekanik Titreştirici ile Sıvılaştırmada Yerel Sıcaklık Değişimleri

Mekanik titreştirici kullanılarak yapılan sıvılaştırma deneyinde ise sıvılaştırma başlangıç sıcaklıkları tüm noktalarda 18-19°C aralığında ölçülmüştür.

Balın x ve y eksenlerindeki sıcaklık değişimi zamana bağlı olarak Şekil 4.9 ve Şekil 4.16 arasında verilmiştir. Bu grafiklerde zamana bağlı sıcaklık değerlerinde ani değişiklikler görülmektedir. Bunun ana sebebi zorlanmış taşınımından dolayı faz değişimini tamamlamamış bölgelerin hareketliliğinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

### 4.2.1 X Eksenindeki Yerel Sıcaklık Değişimleri

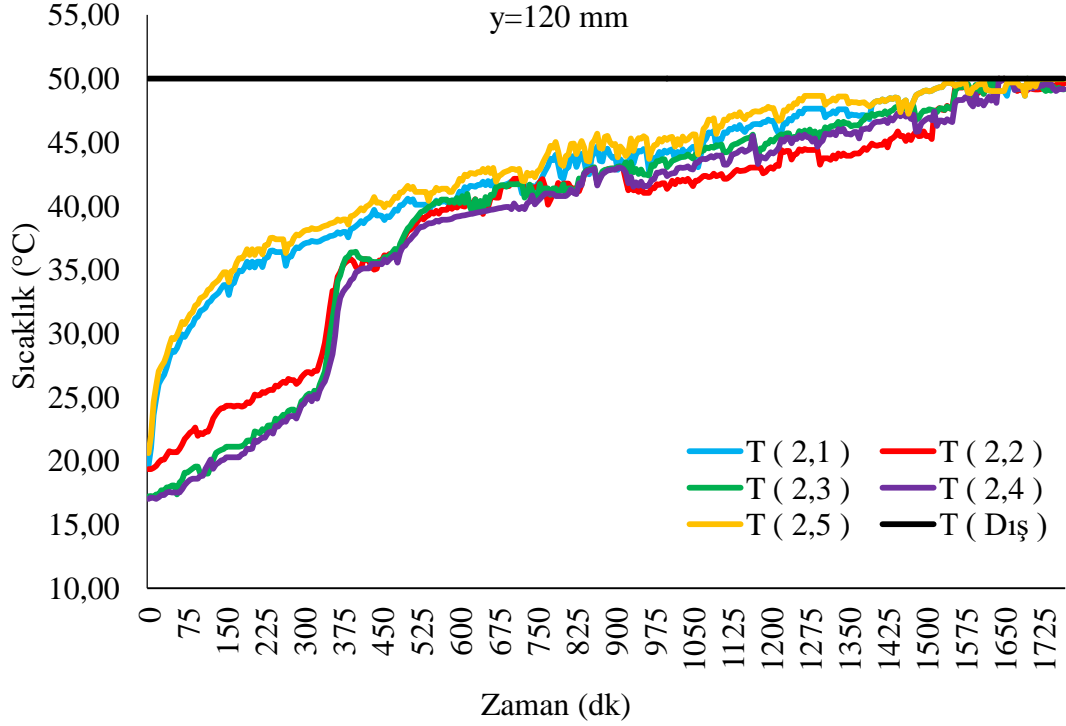
Mekanik titreştirici yardımı ile sıvı hale gelmiş olan balın x eksenindeki noktaların zamana bağlı sıcaklık grafiği çizilmiş olup termoeleman yerleşim şekline göre 4 farklı doğrultuda olmak üzere Şekil 4.9 ile Şekil 4.12 arasında verilmiştir.



Şekil 4.9 Mekanik Titreşim ile Sıvılaştırmada X Eksenini I. Doğrultuda Zamana Bağlı Sıcaklık Değişimi

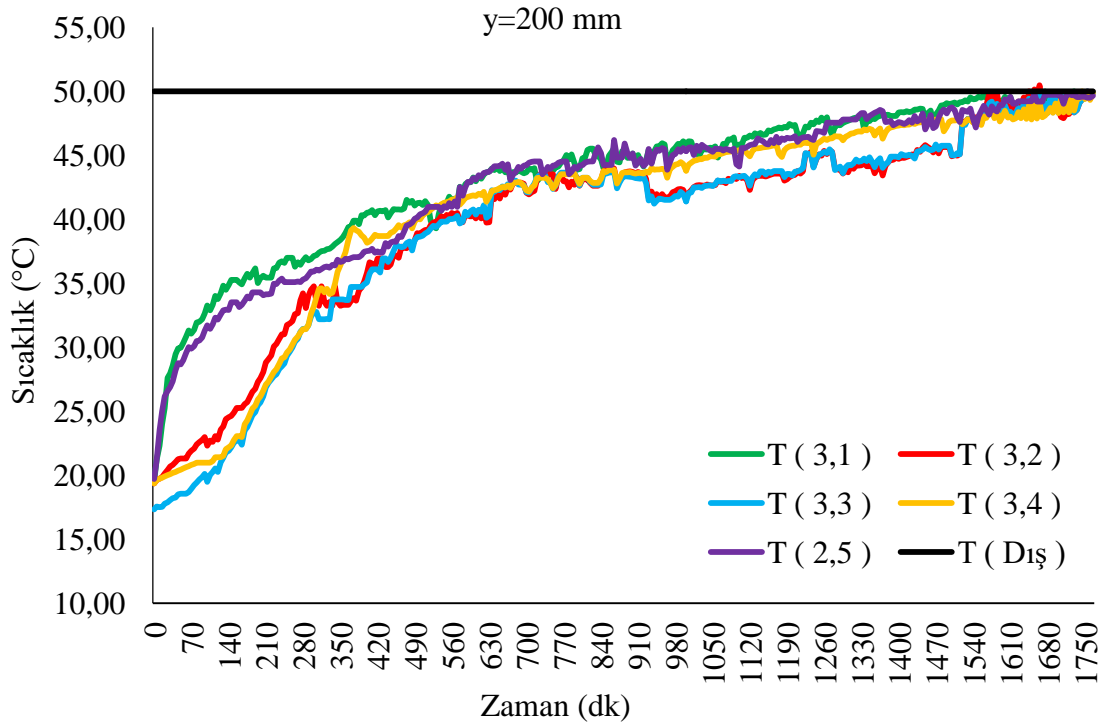
Mekanik titreştirici ile yapılan sıvılaştırma işleminde, teneke kutunun tabanından 40 mm mesafede (I. doğrultu) teneke yan yüzeyinden 40 mm aralıklarla ölçülen sıcaklığın değişimi Şekil 4.9'deki grafikte görülmektedir. Bu mesafe için tenekenin her iki iç

yüzeyinde (T(1,1) ve T(1,5)) zamanla sıcaklık değişimi yaklaşık aynıdır. Bu doğrultuda 40°C'ye 840 dakikada ulaşılmaktadır. Bu doğrultuda zorlanmış taşımada her nokta dış ortam sıcaklığına 30 saatte ulaşmış ve bu doğrultunun istenen sıcaklığa ulaşmasıyla deneye son verilmiştir.



**Şekil 4.10** Mekanik Titreşim ile Sıvılaştırmada X Eksenii II. Doğrultuda Zamana Bağlı Sıcaklık Değişimi

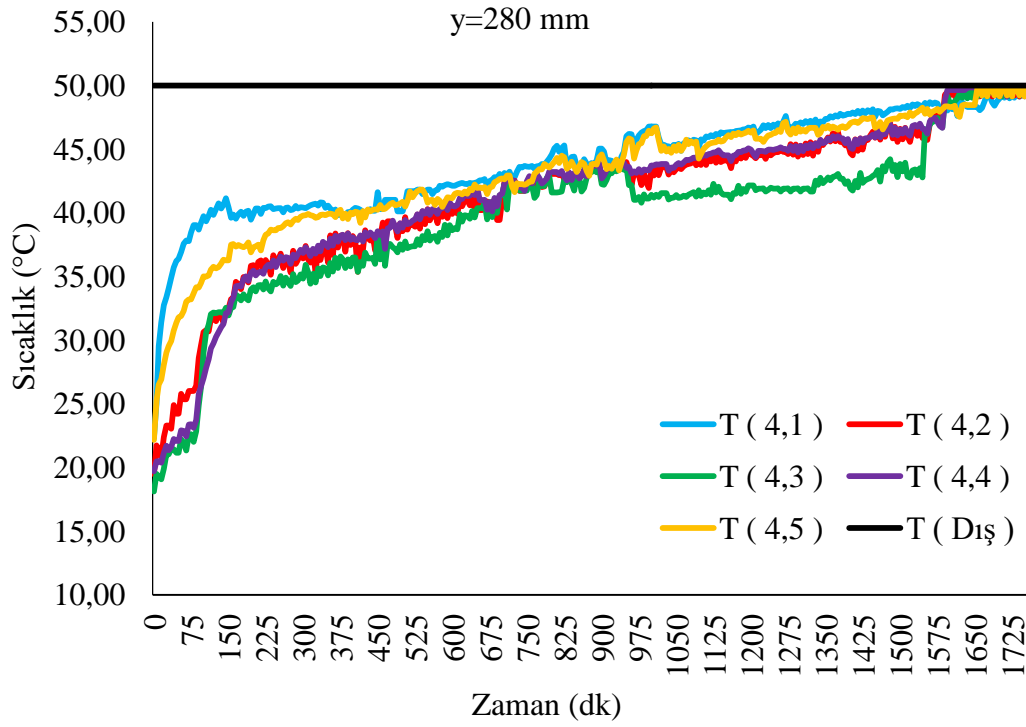
Mekanik titreşim ile yapılan sıvılaştırma işleminde, teneke kutunun tabanından 120 mm mesafede (II. doğrultu) teneke yan yüzeyinden 40 mm aralıklarla ölçülen sıcaklığın değişimi Şekil 4.10'deki grafikte görülmektedir. Balın iç sıcaklığı 40°C'ye ulaşana kadar mekanik zorlanmaya rağmen sıcaklık değerlerinde bir oynama yoktur. Sıvı hale gelen bölgede hareketliliğin başlaması ölçülen sıcaklıkta ciddi dalgalanmalara sebep olmaktadır.



**Şekil 4.11** Mekanik Titreşim ile Sıvılaştırmada X Eksenine III. Doğrultuda Zamana Bağlı Sıcaklık Değişimi

Mekanik titreşimci ile yapılan sıvılaştırma işleminde, teneke kutunun tabanından 200 mm mesafede (III. doğrultu) teneke yan yüzeyinden 40 mm aralıklarla ölçülen sıcaklığın değişimi Şekil 4.11'deki grafikte görülmektedir. Bu doğrultu için de her iki yan yüzey sıcaklıkları yaklaşık aynı olup zamana bağlı sıcaklık eğrileri aynıdır. Yan yüzeylerde mekanik zorlanmaya rağmen sıcaklık dalgalanmaları iç bölgelere göre daha az olmuştur. Bu doğrultuda teneke kutunun merkezindeki T(3,4) noktasındaki sıcaklık değişimi beklenmeyen şekilde diğer iç noktalardan yüksektir. Taşımının olmadığı bu noktanın sıcaklık artışının sebebi termoelemanları taşıyan tahta çubuktan kaynaklandığı düşünülmektedir.



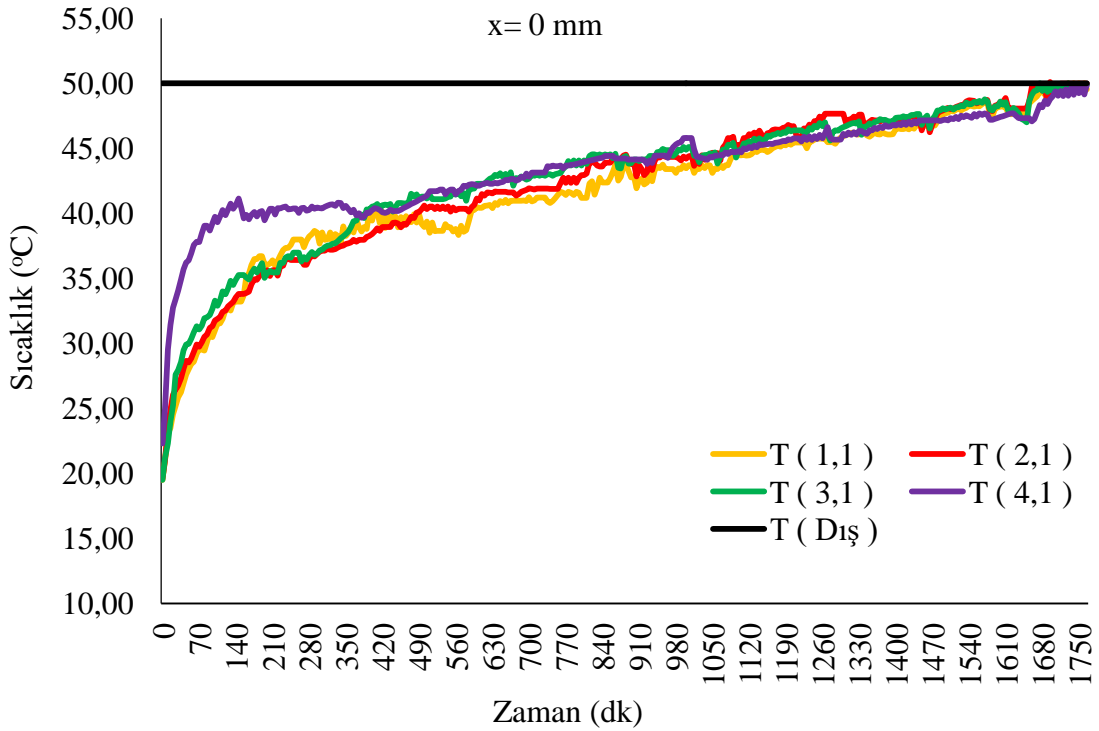


**Şekil 4.12** Mekanik Titreşim ile Sıvılaştırmada X Eksenine IV. Doğrultuda Zamana Bağlı Sıcaklık Değişimi

Mekanik titreşimci ile yapılan sıvılaştırma işleminde, teneke kutunun tabanından 280 mm mesafede (IV. doğrultu) teneke yan yüzeyinden 40 mm aralıklarla ölçülen sıcaklığın değişimi Şekil 4.12'deki grafikte görülmektedir. Bu doğrultuda bal sıvı hale gelmeye başladıktan sonra mekanik zorlanma ile bir dalga hareketi yapmaktadır. Sıvı hale gelmiş olan balın taşınım katsayısının artmasından dolayı noktalar arasında belirgin bir sıcaklık farkı görülmemektedir. Sıvılaştırılmış bölgenin sıcaklıklarında aşırı bir dalgalanma ve noktaların sıcaklıklarının birbirine karışması çalkantıdan dolayı beklenen bir durumdur.

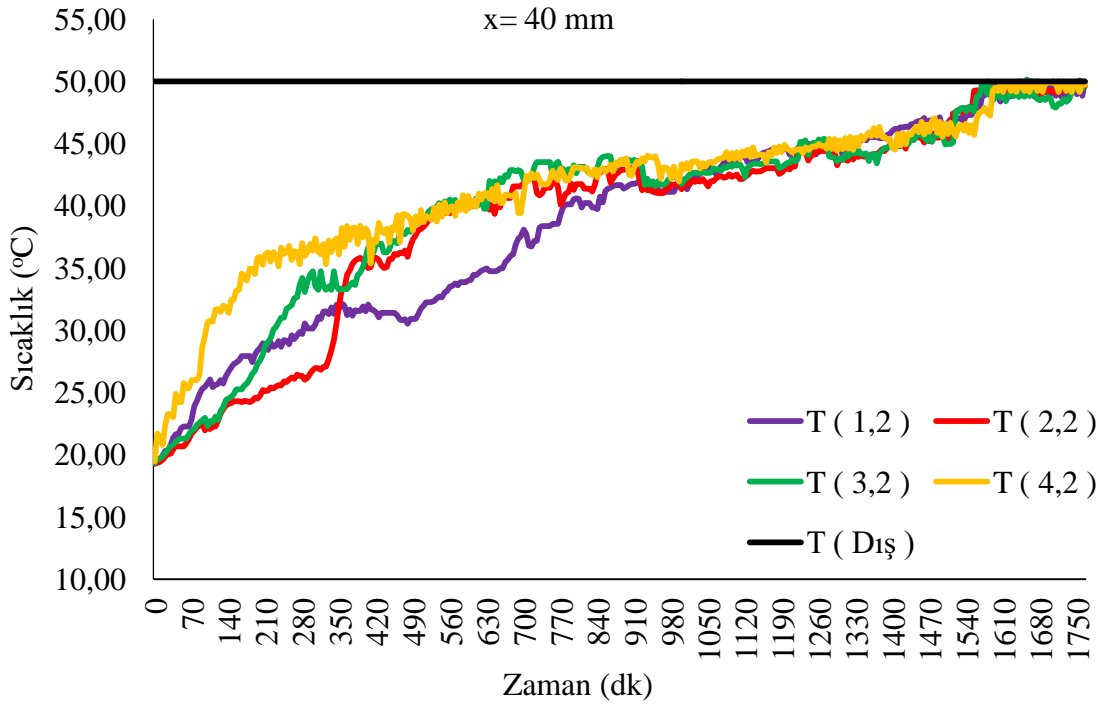
#### 4.2.2 Y Eksenindeki Yerel Sıcaklık Değişimleri

Mekanik titreştirici yardımı ile sıvı hale gelmiş olan balın zamana bağlı sıcaklık grafiği çizilmiş olup termoeleman yerleşim şekline göre 4 farklı doğrultuda olmak üzere Şekil 4.13 ile 4.16 arasında verilmiştir.



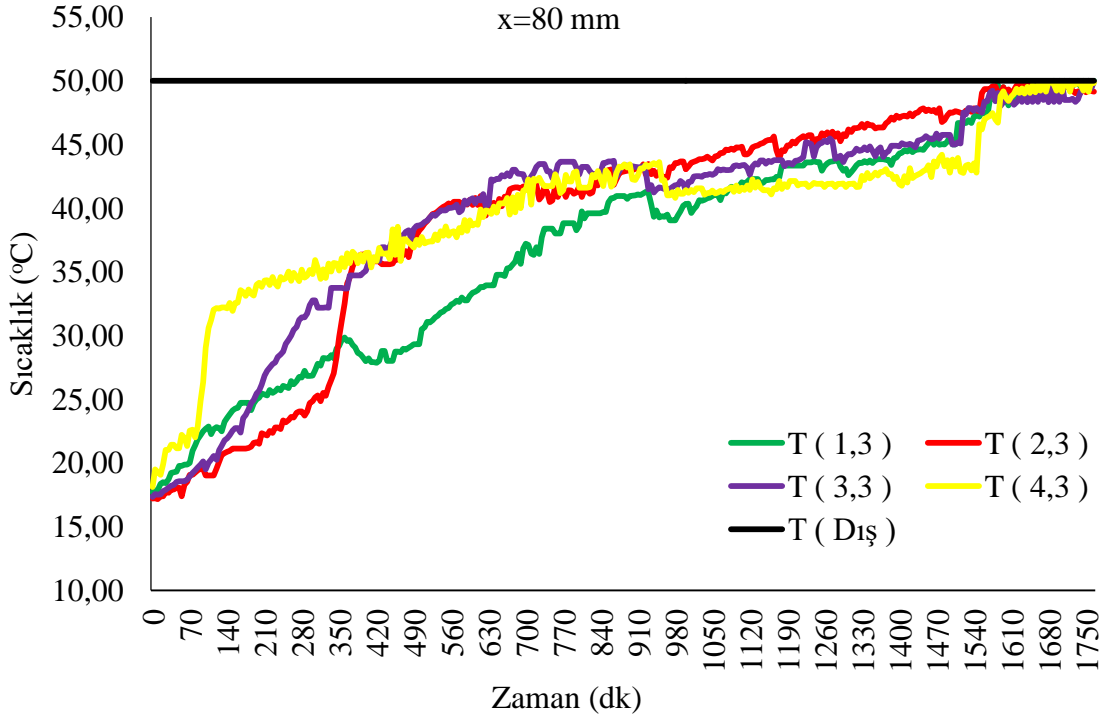
**Şekil 4.13** Mekanik Titreşim ile Sıvılaştırmada Y Eksenini I. Doğrultuda Zamana Bağlı Sıcaklık Değişimi

Teneke kutunun iç yan yüzüğünden (I. doğrultu) ve aşağıdan yukarıya 80 mm aralıklarla ölçülen sıcaklığın değişimi Şekil 4.13'deki grafikte görülmektedir. Teneke kutu üst yüzeyinden uzaklaştıkça sıcaklıklar benzer şekilde 40°C ulaşınca kadar azalmıştır. Ancak baldaki sıvılaşma başlangıcından sonramekanik zorlanmaya bağlı teneke iç yüzey sıcaklığında dalgalanmalar görülmüştür. Üst noktanın T(4,1) sıcaklığı diğer alt noktaların sıcaklığının altına düşmüştür. Bunun sebebi üst noktada çalkantının daha fazla olması dolayısıyla ısısını iç bölgelere daha fazla aktarmasıdır.



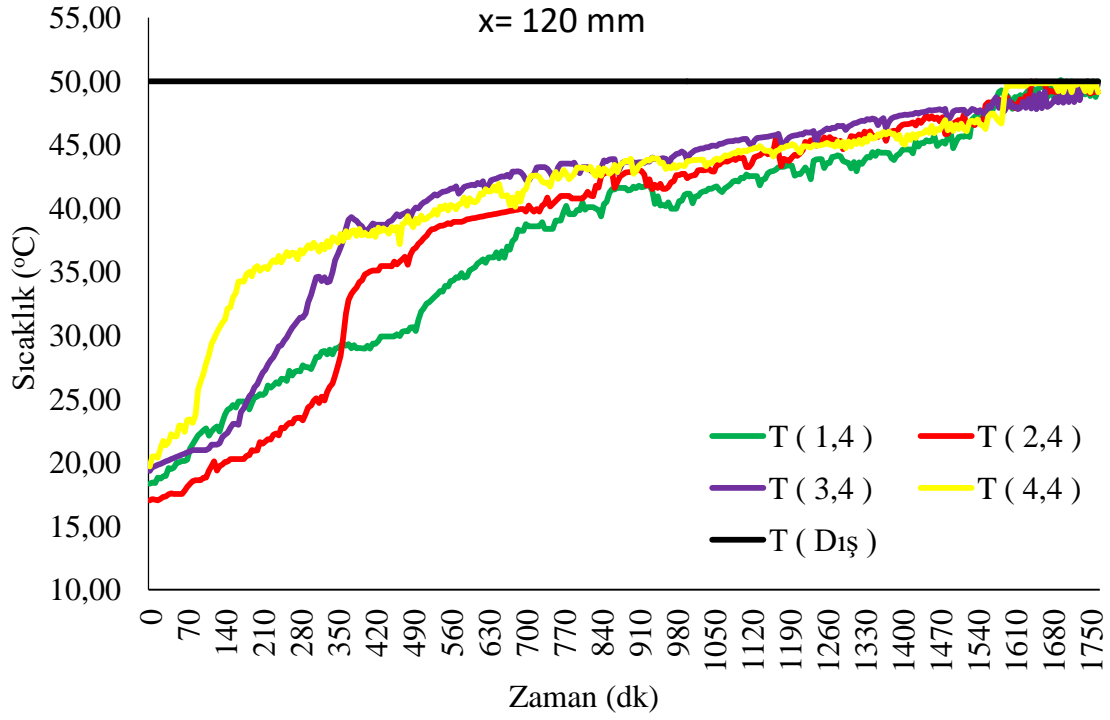
**Şekil 4.14** Mekanik Titreşim ile Sıvılaştırmada Y Eksenii II. Doğrultuda Zamana Bağlı Sıcaklık Değişimi

Teneke kutunun iç yan yüzüğünden 40 mm mesafede (II. doğrultu) ve aşığıdan yukarıya 80 mm aralıklarla ölçülen sıcaklığın değişimi Şekil 4.14'deki grafikte görölmektedir. Sıvılaşıma zamanının başlangıcında 200 dakikaya kadar teneke kutunun üst ve alt yüzeyindeki sıcaklıklar diğer noktalara göre yüksek iken bu zamandan sonra orta noktaların sıcaklıkları taşınım etkisinden dolayı artmaktadır. II. doğrultu sıcaklık ölçülen noktaların en hızlısıvılaştığı bölge olduğundan bu doğrultu boyunca balın mekanik titreşimine bağlı sıcaklık uzun süre dalgalanmaktadır. Bu doğrultu boyunca sıcaklık 40°C'ye ulaştığında uzun süre (yaklaşık 10 saat) sıcaklık yatay seyretmekte iken sıcaklık 47°C'ye geldiğinde balın sıcaklığında ani bir yükseliş görölmüş ve balın sıcaklığı ortam sıcaklığına yaklaşmıştır.



**Şekil 4.15** Mekanik Titreşim ile Sıvılaştırmada Y Ekseni III. Doğrultuda Zamana Bağlı Sıcaklık Değişimi

Teneke kutunun iç yan yüzeğinden 80 mm mesafede (III. doğrultu) ve aşağıdan yukarıya 80 mm aralıklarla ölçülen sıcaklığın değişimi Şekil 4.15'deki grafikte görülmektedir. III. doğrultusu teneke kutunun yüzeyinden uzak olduğundan balın sıcaklığının bu noktada artması mekanik zorlanmaya rağmen uzun zaman almıştır. Kristalize balın ısı iletiminin düşük olması dolayısıyla T(3,3) ve T(2,3) noktalarında sıcaklık 40°C'ye yaklaşık 7 saatte ulaşabilmiş, bu sıcaklıktan sonra da doğrultu boyunca sıcaklık dalgalanmalarının nedeni olan zorlanmış taşınımın etkisi grafikten görülmektedir.



**Şekil 4.16** Mekanik Titreşim ile Sıvılaştırmada Y Eksenini IV. Doğrultuda Zamana Bağlı Sıcaklık Değişimi

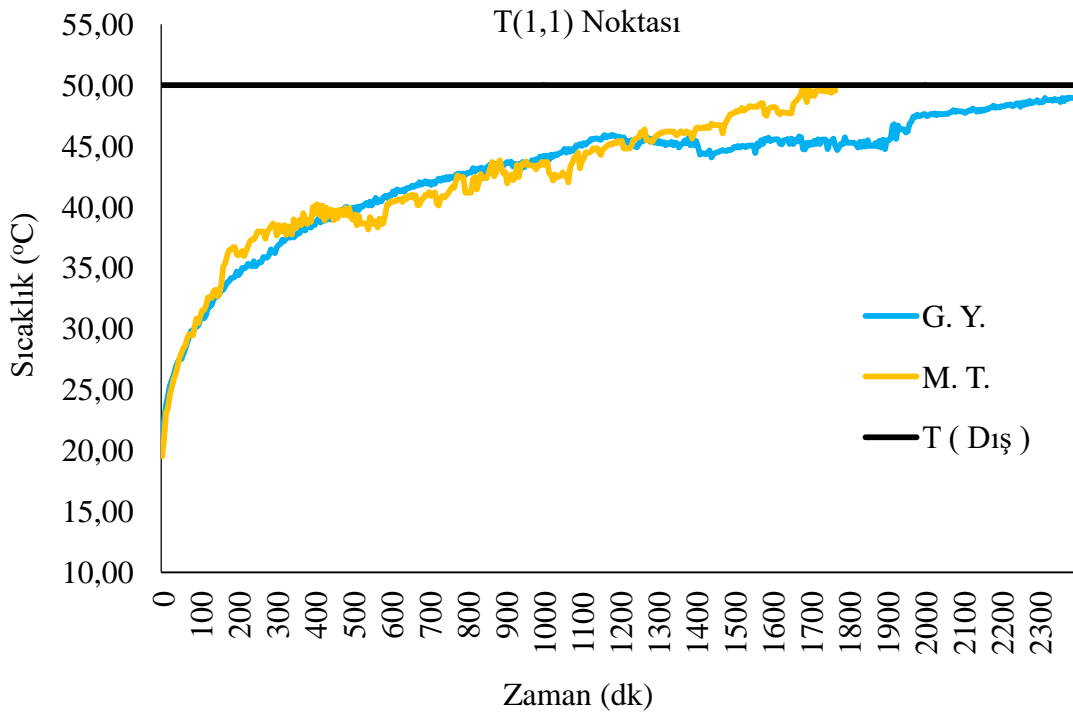
Teneke kutunun iç yan yüzeğinden 120 mm mesafede (teneke kutunun merkez doğrultusu) ve aşağıdan yukarıya 80 mm aralıklarla ölçülen sıcaklığın değişimi Şekil 4.16'deki grafikte görülmektedir. Teneke kutunun merkezinde aksenal doğrultuda sıvılaşma başlangıcından sonra sıcaklıklarda dalgalanmalar görülmüştür. Beklenmedik şekilde T(4,4) noktası sıcaklığı T(3,4) ve T(2,4) sıcaklığının altına düşmüştür. Tüm doğrultularda olduğu gibi tabana yakın T(1,4) nokta sıcaklığı en düşüktür. Bu noktanın sıcaklığı faz değişim sıcaklık aralığını (40-47°C) geçtiğinde balın her noktası sıcaklığında ani yükselme görülmüştür. Balın sıvılaşmasının tamamlanmasının göstergesi bu dış ortam sıcaklığı için T(1,4) noktasının bu sıcaklığa çıkması olmuştur.

### 4.3 Yerel Sıcaklık Değişimi Karşılaştırmaları

Kristalize balın hem geleneksel yöntemle hemde mekanik titreştirici yöntemle kristalizasyonunun giderilmesi amacıyla bu başlık altında teneke kutu içerisinde balın kristalizasyonunun durumunu karakterize eden yekseninde I. ve IV. doğrultulardaki noktalar karşılaştırılmıştır. Bu doğrultulara ait grafikler Şekil 4.17 ile Şekil 4.24 arasında verilmiştir.

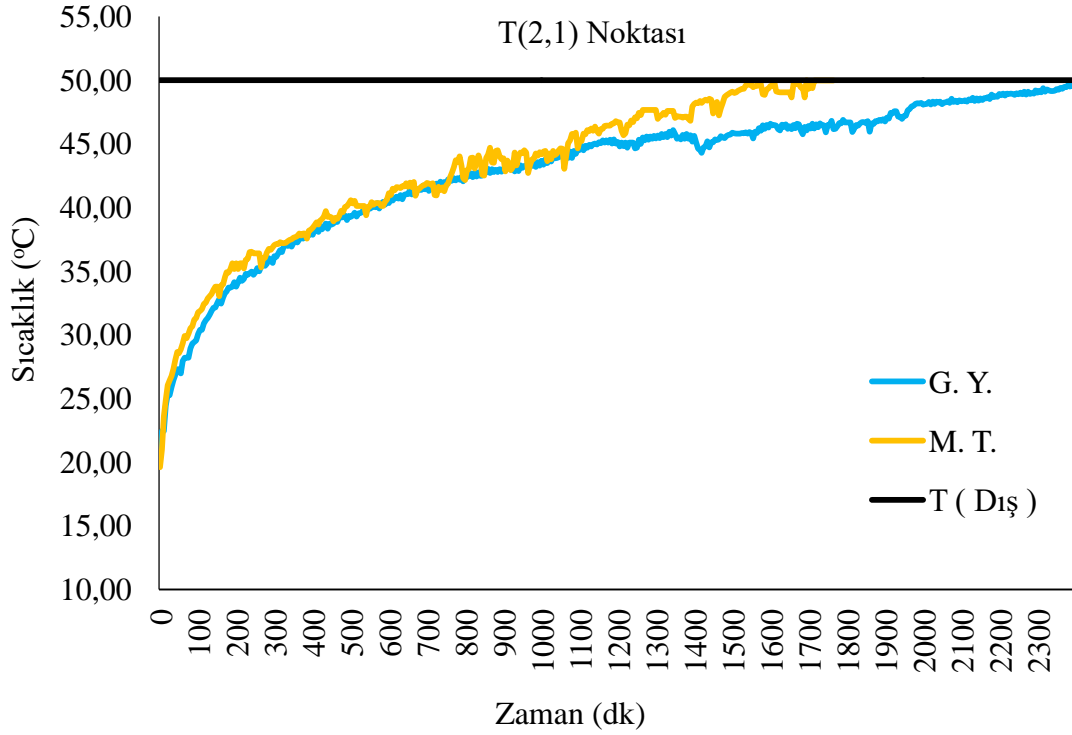
#### 4.3.1 Y Ekseni I. Doğrultu Yerel Sıcaklık Değişimleri Karşılaştırmaları

I. doğrultudaki noktaların sıcaklıklarının zamanla değişimi Şekil 4.17 ile Şekil 4.20 arasında verilmiştir.



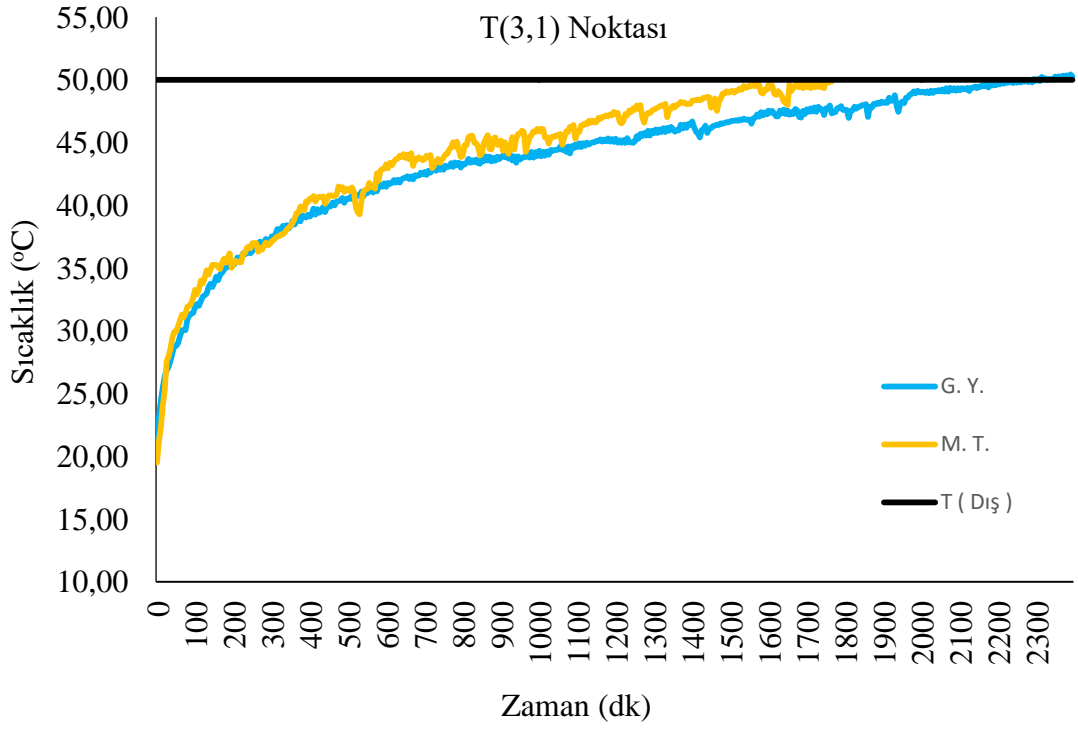
Şekil 4.17 T(1,1) Noktası Zamana Bağlı Sıcaklık Karşılaştırma Grafiği

T(1,1) noktası için balın zamana bağlı sıcaklık karşılaştırma grafiği Şekil 4.17'de verilmiştir. Bu nokta tabandan 40 mm yükseklikte teneke kutunun iç yüzeyindedir. Bu noktada ilk 1355 dakika her iki sıvılaştırma işleminde sıcaklıklar benzer iken bu zamandan sonra mekanik titreştiricili sıvılaştırma sisteminde sıcaklık artışı görülmüş ve sıvılaştırma işlemi sonlanmıştır. Bu nokta için zorlanmış taşınımın etkisi yok denecek kadar azdır.



**Şekil 4.18** T(2,1) Noktası Zamana Bağlı Sıcaklık Karşılaştırma Grafiği

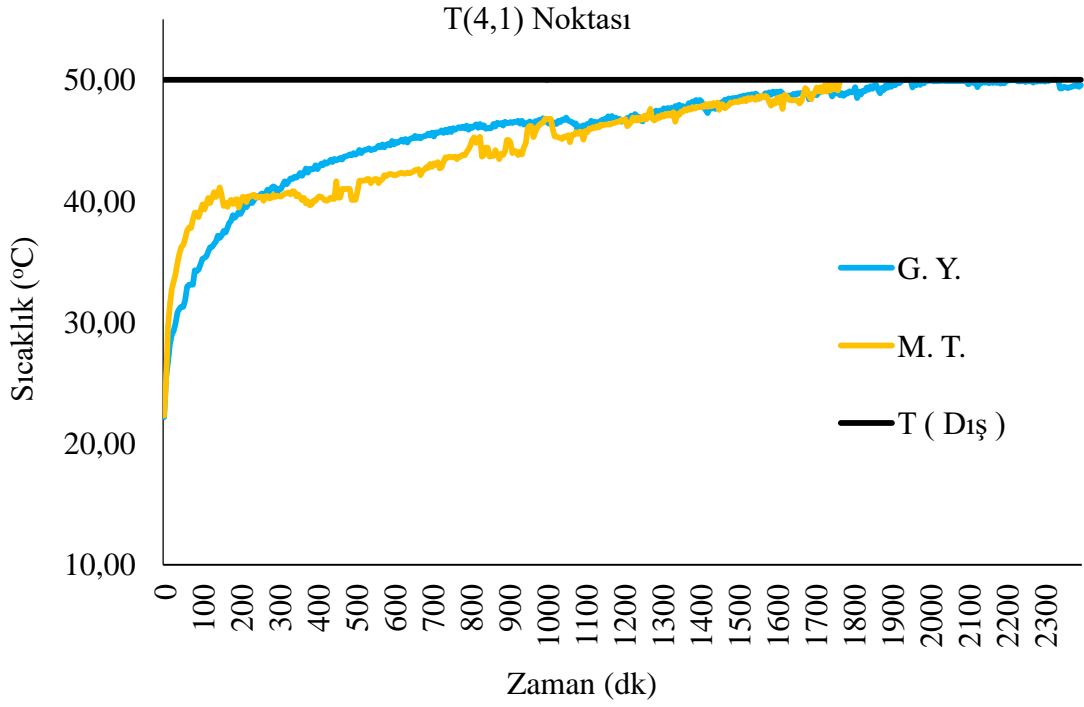
T(2,1) noktası için balın zamanabağlı sıcaklık karşılaştırma grafiği Şekil 4.18’de verilmiştir. Bu nokta tabandan 120 mm yükseklikte teneke kutunun iç yüzeyindedir. Bu noktada ilk 1115 dakika her iki sıvılaştırma işleminde sıcaklıklar benzer iken bu zamandan sonra mekanik titreştiricili sıvılaştırma sisteminde sıcaklık artışı çok az görülmüştür.



**Şekil 4.19** T(3,1) Noktası Zamana Bağlı Sıcaklık Karşılaştırma Grafiği

T(3,1) noktası için balın zamana bağlı sıcaklık karşılaştırma grafiği Şekil 4.19'da verilmiştir. Bu nokta tabandan 200 mm yükseklikte teneke kutunun iç yüzeyindedir. Bu noktada ilk 530 dakika her iki sıvılaştırma işleminde sıcaklıklar benzer iken bu zamandan sonra mekanik titreştiricili sıvılaştırma sisteminde sıcaklık artışı çok az olup, sıvılaştırma eğrileri birbirine benzerdir.



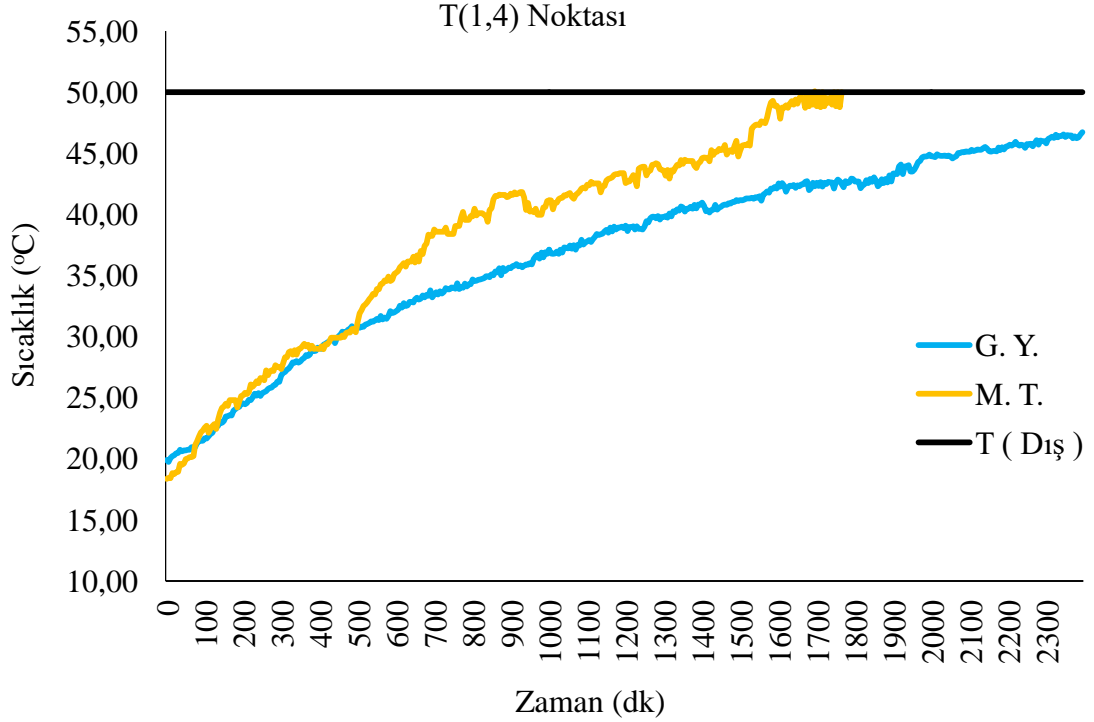


**Şekil 4.20** T(4,1) Noktası Zamana Bağlı Sıcaklık Karşılaştırma Grafiği

T(4,1) noktası için balın zamana bağlı sıcaklık karşılaştırma grafiği Şekil 4.20'de verilmiştir. Bu nokta tabandan 280 mm yükseklikte teneke kutunun iç yüzeyinin en üstüdür. Mekanik titreştirici ile sıvılaştırma sisteminde bu noktada sıvı hale gelmiş olan bal serbest hareket edebilmektedir. Zorlanmış taşınımın etkisinin bu noktada daha belirgin olarak grafikte görülmektedir. Aynı doğrultuda teneke yüzeyinin alt noktalarında sıcaklıkta belirgin bir dalgalanma olmaz iken bu noktada çok bariz dalgalanmalar olmuştur. En önemlisi de bu noktada geleneksel yöntemle göre yüzey sıcaklığı mekanik titreştiricide balın faz değişimine kadar daha düşüktür.

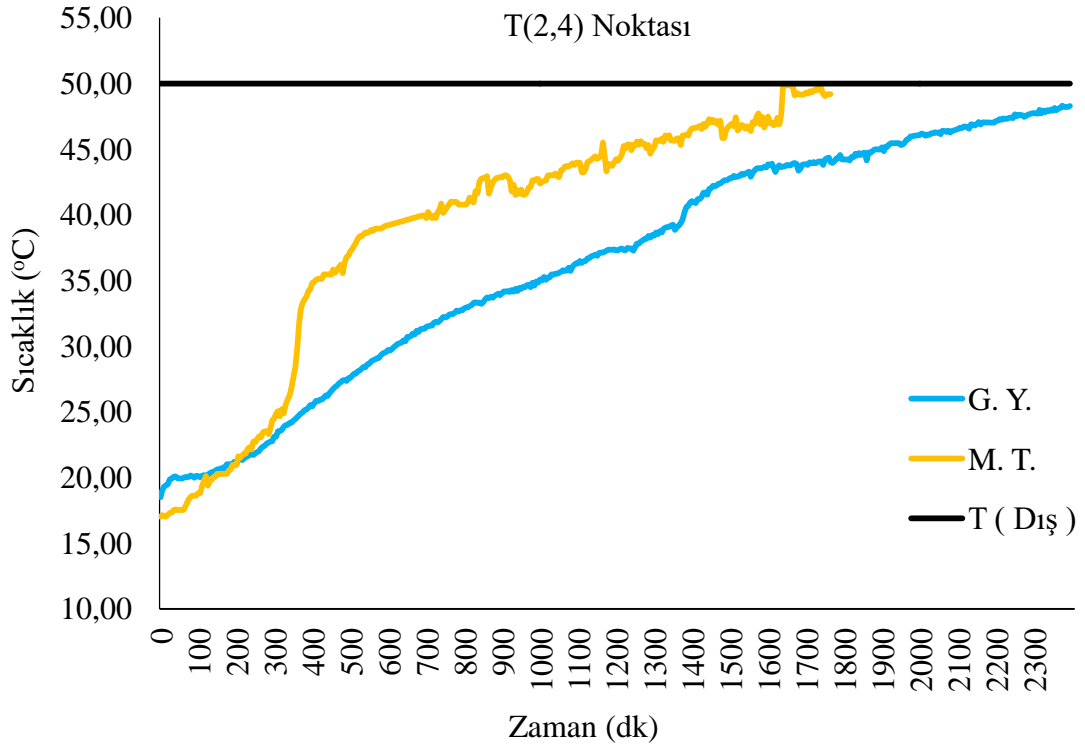
#### 4.3.2 Y Eksenine IV. Doğrultu Yerel Sıcaklık Değişimleri Karşılaştırmaları

IV. doğrultudaki noktaların sıcaklıklarının zamanla değişimi Şekil 4.21 ile Şekil 4.24 arasında verilmiştir.



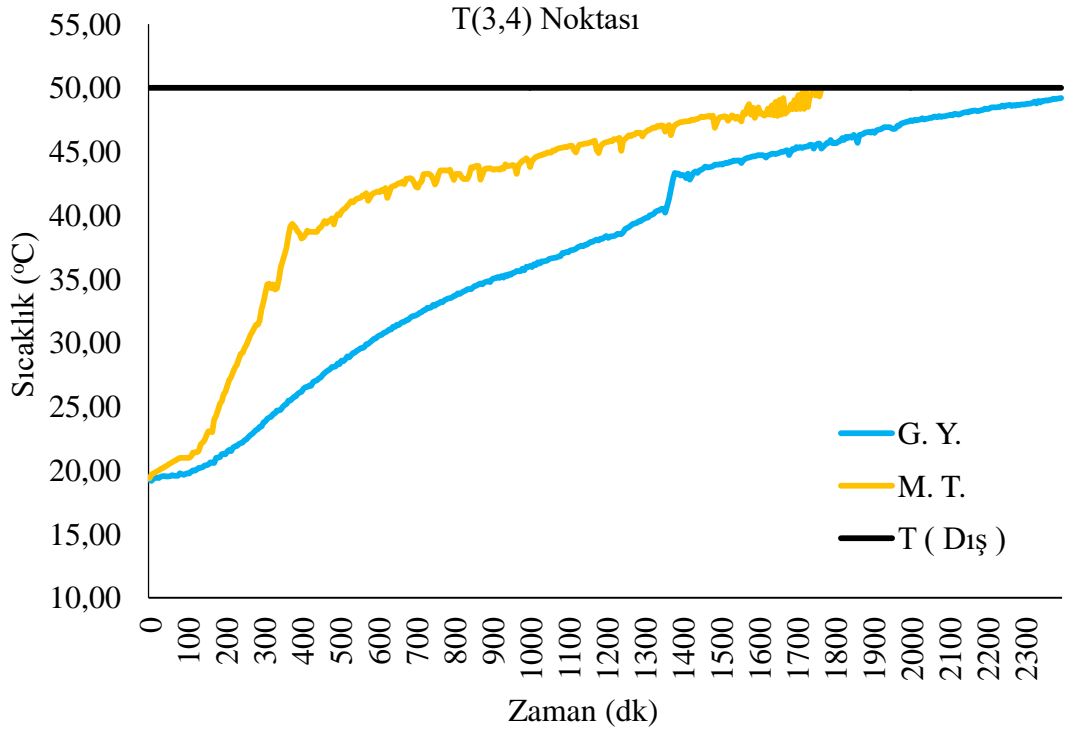
Şekil 4.21 T(1,4) Noktası Zamana Bağlı Sıcaklık Karşılaştırma Grafiği

T(1,4) noktası için balın zamana bağlı sıcaklık karşılaştırma grafiği Şekil 4.21'de verilmiştir. Bu nokta tabandan 40 mm yükseklikte teneke kutunun merkezindedir. Balın sıvı hale gelmesi sırasında kristalize bölge sürekli tabana çöktüğünden ısıtma işlemi boyunca en geç faz değiştiren noktadır. Bu noktada ilk 500 dakika her iki sıvılaştırma işleminde sıcaklıklar benzer iken bu zamandan sonra mekanik titreştiricili sıvılaştırma sisteminde bölgeye komşu balların hareketinden dolayı taşınım etkisi ile sıcaklık hızla artmaktadır. Mekanik titreştiricili sıvılaştırma sisteminde balın sıvı hale gelme süresi 1800 dakika (30 saat) iken geleneksel sıvılaştırma işleminde bu süre 2400 dakika (40 saat) olarak gerçekleşmiştir. Geleneksel yöntemde deney sonunda bu noktadaki balın sıcaklığı mekanik titreştirici ile sıvılaştırmaya göre 4°C daha düşüktür.



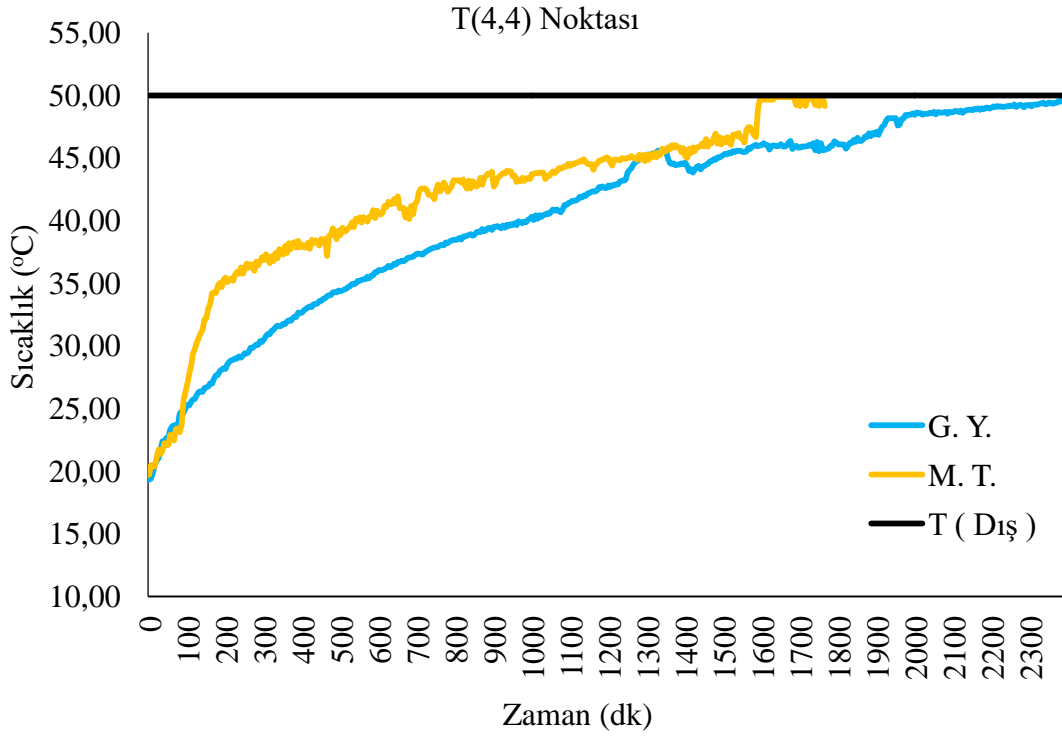
**Şekil 4.22** T(2,4) Noktası Zamana Bağlı Sıcaklık Karşılaştırma Grafiği

T(2,4) noktası için balın zamana bağlı sıcaklık karşılaştırma grafiği Şekil 4.22’de verilmiştir. Bu nokta tabandan 120 mm yükseklikte teneke kutunun merkezindedir. Bu noktada ilk 285 dakika her iki sıvılaştırma işleminde sıcaklıklar aynı iken bu zamandan sonra mekanik titreştiricili sıvılaştırma sisteminde bölgeye komşu balların hareketinden dolayı taşınım etkisi ile sıcaklık hızla artmaktadır. Beklenildiği gibi yükseklik arttıkça sıvılaştırma eğrilerinin ayrılma zamanı da azalmaktadır. Bu noktadan sonra iki eğri arasındaki sıcaklık farkı artmıştır. Zorlanmış taşınımın balın sıcaklığının artışına etkileri burada görülmektedir. Bu noktadaki sıcaklık mekanik titreşimli sistemde ortam sıcaklığında iken geleneksel yöntemde ortam sıcaklığından 1,8°C düşüktür.



**Şekil 4.23** T(3,4) Noktası Zamana Bağlı Sıcaklık Karşılaştırma Grafiği

T(3,4) noktası için balın zamana bağlı sıcaklık karşılaştırma grafiği Şekil 4.23'de verilmiştir. Bu nokta tabandan 200 mm yükseklikte teneke kutunun merkezindedir. Bu noktada ilk 100 dakika her iki sıvılaştırma işleminde sıcaklıklar aynı iken bu zamandan sonra mekanik titreştiricili sıvılaştırma sisteminde bölgeye komşu balların hareketinden dolayı taşınım etkisi daha da etkili olmuş sıcaklık artışı 40°C'ye kadar hızlı olurken bu zamandan sonra bu noktanın sıcaklık artışı zamanla yavaşlamıştır.



**Şekil 4.24** T(4,4) Noktası Zamana Bağlı Sıcaklık Karşılaştırma Grafiği

T(4,4) noktası için balın zamana bağlı sıcaklık karşılaştırma grafiği Şekil 4.24'da verilmiştir. Bu nokta tabandan 280 mm yükseklikte teneke kutunun üstünde merkezindedir. Bu noktada ilk 80 dakika her iki sıvılaştırma işleminde sıcaklıklar aynı iken bu zamandan sonra mekanik titreştiricili sıvılaştırma sisteminde bölgeye komşu balların hareketinden dolayı taşınım etkisi daha da etkili olmuş sıcaklık artışı 35°C 'ye kadar hızlı olurken bu zamandan sonra bu noktanın sıcaklık artışı zamanla yavaşlamıştır. Bu noktadaki sıcaklık artışına her iki sıvılaştırma işleminde hem üstten iletim hem de yandan taşınım etkin olmuştur.

20 noktada sabit bağlı olan termoelemanlardan alınan sıcaklık verilerine göre X eksenini en düşük sıcaklık bölgesidir ve en geç sıvılaştırma bu doğrultuda gerçekleşmiştir.

Mekanik titreştirici ile yapılan deneyde termoelemanların göstermiş olduğu sıcaklıklar geleneksel sıvılaştırmaya göre 5 saat daha erken ısınmıştır. Balın kristalize yapısının kaybolması için balın sadece belli bir dereceye ulaşması değil, kristalize yapısının kaybolması için maruz kaldığı sürede önemli olmuştur. 45°C sıcaklıkta balsıvı hale gelebildiği ancak numunede balın kristalize yapısının kaybolmadığı görülmüştür. 45°C

ulaştıktan sonra her iki deneyde de 5 saat kristalize yapısının bozulması beklendikten sonra deney tamamlanabilmiştir.

#### 4.4 Bal Analizleri

Geleneksel sıvılaştırma yöntemi ve mekanik titreştirici yardımı ile sıvılaştırılan teneke ballardan sıvılaştırma öncesi ve sonrası numuneler alınmış Arıcılık Araştırma Enstitüsü'nün laboratuvarında analizleri yapılmıştır. Yapılan analizler Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2'de verilmiştir.

**Çizelge 4.1** Geleneksel Yöntem ile Sıvılaştırılmış Olan Balın Sıvılaştırma Öncesi ve Sonrası Gıda Analizi Sonuçları

Sıra No	Analiz Adı	Bal Tebliğ Değeri	Ham Bal	Isıl işlem Görmüş Bal (50°C) (Geleneksel sıvılaştırma)
1	Prolin	min. 300	304,6	301,2
2	Fruktoz(g/100g)	-	37,7	37,4
3	Glukoz(g/100g)	-	33,9	33,5
4	Fruktoz + Glukoz(g/100g)	min. 60	71,6	70,9
5	Fruktoz/ Glukoz	0,9-1,4	1,11	1,12
6	Sakkaroz(g/100g)	max. 5	T.E.D.B	T.E.D.B.
7	Maltoz(g/100g)	-	1	1,4
8	Nem(g/100g)	max. 20	16,99	16,06
9	Briks	-	81,66	81,3
10	pH	-	4,06	4,08
11	Elektrik İletkenliği	max. 0,8	0,258	0,26
12	Serbest Asitlik (meq/kg)	max. 50	11	11
13	Diastaz Sayısı	min. 8	9,5	8,8
14	HMF	max. 40	0,8	1,1

**Çizelge 4.2** Mekanik Titreştirici ile Sıvılaştırılmış Olan Balın Sıvılaştırma Öncesi ve Sonrası Gıda Analizi Sonuçları

Sıra No	Analiz Adı	Bal Tebliğ Değeri	Ham Bal	Isıl İşlem Görmüş Bal (50°C) (Mekanik titreşimli)
1	Prolin	min. 300	303,9	300,2
2	Fruktoz(g/100g)	-	37,2	37,4
3	Glukoz(g/100g)	-	33,6	33,6
4	Fruktoz + Glukoz(g/100g)	min. 60	70,8	71
5	Fruktoz/ Glukoz	0,9-1,4	1,11	1,11
6	Sakkaroz(g/100g)	max. 5	T.E.D.B	T.E.D.B
7	Maltoz(g/100g)	-	0,9	0,9
8	Nem(g/100g)	max. 20	17,7	16,98
9	Briks	-	80,61	81,31
10	pH	-	4	3,97
11	Elektrik İletkenliği	max. 0,8	0,226	0,221
12	Serbest Asitlik (meq/kg)	max. 50	14	13
13	Diastaz Sayısı	min. 8	12,1	10,7
14	HMF	max. 40	2,2	2,4

Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2 incelendiğinde;

Prolin değerleri her iki sıvılaştırma işleminde de yaklaşık %1 oranında düşmüş, mekanik sıvılaştırmanın Prolin değerine etkisi olmamıştır.

Nem (g/100g) değeri beklenildiği gibi her iki sıvılaştırma işlemi sonunda da yaklaşık %5 düşmüştür. Bunun sebebi deneysel çalışma sırasında balın üzerinde bir miktar boşluk bırakılmasıdır. Bu hava boşluğundan baldan havaya kütle transferi olmuştur. Ancak tam dolu ve ağzı kapalı sıvılaştırma sistemlerinde dışarıya kütle kaybı olmadığından balın nemi yaklaşık sabit kalmaktadır.

Diastaz sayısı her iki sıvılaştırma işleminde yaklaşık %10 oranında düşmüştür.

HMF değeri ısıl işlem sonunda her iki balda da artmıştır. Ancak bu değer %10 oranında olup ihmal edilebilir düzeydedir.

Tablolardan görüldüğü üzere ısıl işlem öncesi ve sonrası analiz sonuçlarına göre geleneksel yöntem ve mekanik titreştirici ile sıvılaştırılan balın gıda analiz sonuçlarının artış ve azalışları olarak yüzdesel benzerlik göstermektedir. Mekanik titreştirici ile

sıvılaştırma sisteminde sıvı hale gelen balın analiz sonuçları bal tebliği sınır değerleri içerisinde kalmaktadır.





## 5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Tenekelerde depolanan kristalize olmuş balın sıvı hale gelmesine bağlı olarak zamana bağlı sıcaklık grafikleri ve gıda analizlerinden elde edilen veriler neticesinde;

1. Geleneksel sıvılaştırma sisteminde sıvı hale gelme 40 saat sürerken mekanik titreştirici kullanıldığında ise 30 saat sürmüştür. Dolayısı ile mekanik titreştirici ile sıvılaştırma %25 daha kısa sürede gerçekleşmiştir.
2. Analiz sonuçlarına göre mekanik titreşim ile sıvılaştırma sisteminin balın gıda güvenliğini bozacak herhangi bir yan etkisi bulunmamaktadır.
3. Projelendirilip imal edilen mekanik titreşim sistemi ile balın daha kısa sürede sıvı hale gelebiliyor olması, süresiz enerjiden maksimum seviyede faydalanılması, enerji maliyetlerinin düşmesi ve enerjide dışa bağımlılığın azaltılması için önemlidir.
4. Mekanik titreşim sistemi karmaşık bir sistem olmadığı için bakım onarım işleri kolaylıkla yapılabilir.

Yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlar ışığında bir başka çalışma için önerilerimiz;

1. Çalışmalar bölge ortam şartlarında yapılmış olup farklı sıcaklıkta sıvılaştırma çalışmaları yapıp veriler literatüre kazandırılmalıdır.
2. Mekanik titreşimli sıvılaştırma sisteminde genlik ve frekanslar değiştirilerek balın sıvı hale gelme davranışı ortaya konulmalıdır.
3. Çalışma üretici şartlarına uygun boyutta tasarlanarak imal edilmelidir.
4. Sistemlerin ekonomik analizleri çıkarılmalıdır.

## 6. KAYNAKLAR

- Anonim, (2019). Yenilenebilir enerji nedir? <https://elektriksepeti.com/tuketici-sozlugu/yenilenebilir-enerji>
- Anonim, (2019a). Enerjiyi neden verimli kullanmalıyız? <http://www.ae2project.com/enerjiyi-neden-verimli-kullanmalıyız/>
- Anonim, (2019b). Enerji deposu balın faydaları ve zararları nelerdir? <https://www.sabah.com.tr/saglik/2019/10/11/balin-faydaları-ve-zararları-nelerdir-iste-bin-derde-deva-balin-faydaları>-(Erişim tarihi: 22.10.2019).
- Anonim,(2019c). Bal neden kristalize olmaktadır. <https://www.organikmunzurbal.com/ac/> makale/bal-hakkında/balin-kristalize-olması-(Erişim tarihi: 22.10.2019).
- Anonim, (2019d). Bal sıvılaştırma fırını.<http://www.benkaaricilik.com/urun/ba655-304-bal-ısıtma-fırını/>-(Erişim tarihi: 22.10.2019).
- Anonim, (2019e). Tenekeli bal sıvılaştırma kazanı.<https://magaza.hammaddeler.com/Tenekeli-Bal-Eritme-Kazani,PR-34743.html>-(Erişim tarihi: 22.10.2019).
- Anonim, (2019f). Melitherm ısıtıcı. [https://www.thorne.co.uk/index.php?route=product/product&product\\_id=2160](https://www.thorne.co.uk/index.php?route=product/product&product_id=2160) - (Erişim tarihi: 01.11.2019).
- Anonim, (2019g). Honey : A referance guide to nature's sweetener. <https://www.honey.com/files/general/refguide.pdf>-(Erişim tarihi : 12.11.2019)
- Anonim, (2019h). Isı transfer mekanizmaları. [https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/72277/mod\\_resource/content/0/HAF TA\\_2.pdf](https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/72277/mod_resource/content/0/HAF TA_2.pdf) -(Erişim tarihi: 12.10.2019)
- Anonim,(2019ı).Isı Transferi.<https://docplayer.biz.tr/43343858-Dr-osman-turan-makine-ve-imalat-muhendisligi-bilecik-seyh-edebali-universitesi-isi-transferi.html>
- Anonim, (2012). Türk gıda kodeksi bal tebliği (2012/58).27.07.2012 tarih ve 28366 sayılı resmi gazete.
- Bogdanov, S. (2016). Honey technology, Book of honey, Chapter 3
- Çalemlı, Ö. G. & Sorkun, K. (2013). Balın kristalizasyonu doğal bir süreçtir. ORAY BİR'in Sesi, 9, 24-25
- De Lucia, M. & Bejan, A. (1990). J. Solar Energy Eng.
- Ghazali, H.M., Ming, T.C. & Hashim, D.M. (1994). Effect of micro- wave heating on the storage and properties of starfruit honey. Asean Food J., 9, 30–35.
- Güney, F. (2010). Isıtma ile balın yapısında meydana gelen olumsuz değişiklikler, Ordu'da gıda güvenliği, 30-34.
- Hamdan, M. A. & Al-Hinti I. (2004). Analysis of heat transfer during the melting of a phase-change metarial.
- Hebbar, H. U., Nandini, K. E., Lakshmi M.c. & Subramanian, R. (2002). Microwave and infrared heat processing of honey and its quality. Food Sci. Thecnol. Res., 9,49-53

- Kabbani, D., Sepulcre, F. & Wedekind J. (2011). Ultrasound-assisted liquefaction of rosemary honey: Influence on rheology and crystal content, *Journal of food engineering*, 173-178
- Kaloyereas, S.A. (1955). Preliminary Reports on the Effect of Ultrasonic Waves on the Crystallization of Honey. *Science*, 121, 339–340.
- Pal, D. & Joshi, Y. (2001). Melting in a side heated tall enclosure by a uniformly dissipating heat source.,
- Sandhu, C. (1986). Infrared radiative drying in food engineering: A process analysis. *Technol. Prog.*, 2, 109–119.
- Thrasyvoulou, A. & Manikis, J. & Tselios, D. 1994. Liquefying crystallized honey with ultrasonic waves. *Apidologie*, 25, 297–302.
- Yao, L., Bhandri, B.R., Datta, N. & Singanusong, R. & D’Arcy, B. R. (2003). Crystallisation and moisture sorption properties of selected australian honeys. *Sci food agric*.83, 884-888.

## ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	Turgay ŞAHİN
Doğum Yeri	Ordu
Doğum Tarihi	14.12.1989
Uyruğu	<input checked="" type="checkbox"/> T.C. <input type="checkbox"/> Diğer:
Telefon	0 531 641 41 52
E-Posta Adresi	<a href="mailto:me.turgay.sahin@gmail.com">me.turgay.sahin@gmail.com</a>



Eğitim Bilgileri	
<b>Lisans</b>	
Üniversite	Kocaeli Üniversitesi
Fakülte	Mühendislik Fakültesi
Bölümü	Makine Mühendisliği
Mezuniyet Yılı	13.02.2013
<b>Yüksek Lisans</b>	
Üniversite	Ordu Üniversitesi
Enstitü Adı	Fen Bilimleri Enstitüsü
Anabilim Dalı	Yenilenebilir Enerji Anabilim Dalı
Programı	
Mezuniyet Tarihi	
<b>Doktora</b>	
Üniversite	
Enstitü Adı	
Anabilim Dalı	
Program Adı	
Mezuniyet Tarihi	
<b>Yayınlar</b>	