

EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

(DOKTORA TEZİ)

**GIDA ÜRÜNLERİNİN VAKUM SOĞUTMA VE
KLASİK SOĞUTMA YÖNTEMLERİ İLE
SOĞUTULMASININ KARŞILAŞTIRILMASI**

Hande MUTLU ÖZTÜRK

Tez Danışmanı : Prof Dr. Günnur KOÇAR

Güneş Enerjisi Anabilim Dalı

Bilim Dalı Kodu : 625.05.04

Sunuş Tarihi : 03.03.2011

Bornova-İZMİR

2011

EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

(DOKTORA TEZİ)

**GIDA ÜRÜNLERİNİN VAKUM SOĞUTMA VE
KLASİK SOĞUTMA YÖNTEMLERİ İLE
SOĞUTULMASININ KARŞILAŞTIRILMASI**

Hande MUTLU ÖZTÜRK

Tez Danışmanı : Prof Dr. Günnur KOÇAR

Güneş Enerjisi Anabilim Dalı

Bilim Dalı Kodu : 625.05.04

Sunuş Tarihi : 03.03.2011

Bornova-İZMİR

2011

Hande MUTLU ÖZTÜRK tarafından doktora tezi olarak sunulan “ Gıda Ürünlerinin Vakum Soğutma ve Klasik Soğutma Yöntemleri İle Soğutulmasının Karşılaştırılması” başlıklı bu çalışma E.Ü. Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği ile E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Eğitim ve Öğretim Yönergesi'nin ilgili hükümleri uyarınca tarafımızdan değerlendirilerek savunmaya değer bulunmuş ve 03.03.2011 tarihinde yapılan tez savunma sınavında aday oybirliği/oyçokluğu ile başarılı bulunmuştur.

Jüri Üyeleri:

İmza

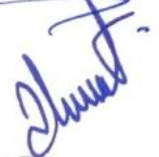
Jüri Başkanı

: Prof. Dr. Günnur KOÇAR



Raportör Üye

: Yrd. Doç Dr Ahmet ERYAŞAR



Üye

: Prof Dr. Ali GÜNGÖR



Üye

:Doç Dr. Hayati OLGUN



Üye

: Yrd. Doç. Dr. Ahmet YILANCI



ÖZET**GIDA ÜRÜNLERİNİN VAKUM SOĞUTMA VE KLASİK
SOĞUTMA YÖNTEMLERİ İLE SOĞUTULMASININ
KARŞILAŞTIRILMASI****MUTLU ÖZTÜRK, HANDE**

Doktora Tezi, Enerji Teknolojileri Bölümü

Tez Yöneticisi: Prof. Dr. Günnur KOÇAR

Mart 2011, 292 sayfa

Bu tez çalışmasında, vakum soğutma, klasik soğutma ve hava üfleli soğutma yöntemleri test edilmiştir. Bu soğutma yöntemleri ile mantar, marul, iceberg marul, semizotu, pişirilmiş patates, karpuz, köfte, tavuk eti ve döner gibi bazı yiyecekler için uygulanmıştır.

Vakum soğutma, 7 mbar, 10 mbar ve 15 mbar gibi üç farklı vakum basıncında yürütülmüştür. Klasik ve hava üfleli soğutma yöntemleri ise 5 °C, 16 °C ve 20 °C sıcaklıklarda yürütülmüştür. Hava üfleli soğutma 1 m/s, 2 m/s ve 4 m/s hızlarında yürütülmüştür. Basınç ve sıcaklığın kütle kaybı soğutma zamanına etkisi ölçülmüş ve sonuçlar verilmiştir. Sonuçlar vakum soğutmanın, klasik ve hava üfleli soğutma ile karşılaştırıldığında hızlı ve etkili bir soğutma yöntemi olduğunu göstermiştir.

Köfte, tavuk eti ve döner için mikrobiyal analiz yapılmıştır. Deneysel sonuçlar göstermiştir ki, mikrobiyal büyüme vakum soğutmada klasik soğutmaya göre oldukça düşüktür.

Ayrıca, üç farklı soğutma yöntemi için ve farklı vakum basınçları, farklı sıcaklıklar ve farklı hava hızları için enerji analizi yapılmıştır. Sonuçlarda, vakuma soğutmadaki enerji tüketimi klasik ve hava üfleli soğutmadaki enerji tüketimine göre oldukça düşüktür.

Bu tez çalışmasında, semiz otu, pişirilmiş patates, karpuz, köfte, tavuk eti ve döner ilk kez vakum soğutma ile soğutulmuş ve sonuçlar geleneksel ve hava üfleli soğutma sistemi ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, vakum soğutmanın geleneksel ve hava üfleli soğutma sistemlerine göre çok daha hızlı olduğunu göstermiştir.

Anahtar sözcükler: Vakum soğutma, gıda soğutma, geleneksel soğutma yöntemleri, Hava Üfleli Soğutma Yöntemi.

ABSTRACT**COMPARISON OF COOLING OF FOOD PRODUCTIONS WITH
VACUUM COOLING AND CLASSICAL COOLING METHODS**

MUTLU ÖZTÜRK, Hande

PhD in Energy Technology Department

Supervisor: Prof. Dr. Günnur KOÇAR

March 2011, 292 pages

In this thesis, three different cooling methods have been tested; vacuum cooling, air blast cooling and conventional cooling. The methods were carried out to cool some food such as: mushroom, lettuce, iceberg lettuce, purslane, cooked potato, water melon, meat ball, chicken breast and doner.

Vacuum cooling is carried out for three different vacuum pressures: 7 mbar, 10 mbar and 15 mbar. Conventional cooling and air blast cooling were examined at 5 °C, 16 °C and 20 °C. For the air blast cooling, experiments were studied for three different air velocity; 1 m/s, 2 m/s and 4 m/s. For different cooling methods, the surface and the center temperature of the foods were measured and given. The effect of the pressure and temperature on the mass loss and cooling time are measured and results were given. Results show that the vacuum cooling is a rapid and efficient cooling method compared to conventional cooling and air blast cooling method.

Microbial analysis is carried out for the meat ball, the chicken breast and the doner. Experimental results showed that microbial grow rate is lower for vacuum cooling than conventional cooling.

In addition, energy analyses were also studied for three different cooling methods for different vacuum pressure, different temperature and different air velocity. It has been seen that vacuum cooling consumes much more energy than conventional and air blast cooling methods.

In this thesis, purslane, cooked potato, water melon, meat ball, chicken breast and doner was first time cooled with vacuum cooling and results were compared with conventional cooling and air blast cooling. It was seen that vacuum cooling is a very rapid cooling method when it is compared with the conventional cooling and air blast cooling methods.

Keywords: Vacuum Cooling, Food Cooling, Traditional Cooling Methods, Forced Air Cooling Methods

TEŞEKKÜR

Bu çalışmayı gerçekleştirmemde benden maddi ve manevi hiçbir desteğini esirgemeyen tez danışmanım Prof. Dr. Günnur KOÇAR’a teşekkür ederim.

Bu tez çalışması TÜBİTAK tarafından desteklenen; 106M262 no’lu “Vakum Soğutma Sistemi Geliştirilmesi ve Gıda Sanayisinde Uygulanması” adlı proje kapsamında gerçekleştirilmiştir. Bu nedenle projeye desteklerinden dolayı TÜBİTAK’a ve projede deneyleri gerçekleştirebilmem için olanak sağlayan proje yürütücüsü Doç.Dr. Harun Kemal ÖZTÜRK’e, bugünlere gelebilmem için her türlü fedakârlığı sevgiyle yapmış olan aileme, bu çalışmanın en büyük gizli destekçisi sevgili eşime ve kendisine zaman ayıramadığım halde bana anlayış gösteren oğlum Nevzat Aras ÖZTÜRK’e, her zaman yanımda olarak bana sonsuz bir güven aşıladıkları için çok teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	v
ABSTRACT	vii
TEŞEKKÜR	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xv
ÇİZELGELER DİZİNİ	xvii
1.GİRİŞ	1
2.GENEL BİLGİLER	8
2.1 Soğutma	8
2.1 Soğutma Sistemleri	8
2.2.1 Buhar sıkıştırırmalı mekanik soğutma sistemi	8
2.2.2 Absorbsiyonlu soğutma sistemi	9
2.2.3 Adsorbsiyonlu soğutma sistemi	11
2.2.4. Hava soğutma sistemi	12
2.2.5. Buhar-jet (ejektör) soğutma sistemi	12
2.2.6. Sterling soğutma sistemi	13
2.2.7. Paramagnetik soğutma sistemi	14
2.2.8. Termoelektrik soğutma sistemi	15

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
2.2.9. Vorteks tüpü.....	16
2.2.10. Vakum soğutma	16
2.2.11. Vakum Soğutmanın Avantaj ve Dezavantajları	19
2.3. Gıdaların Soğutulmasında Uygulanan Yöntemler.....	23
2.3.1. Geleneksel soğutma	23
2.3.2. Su ile soğutma.....	23
2.3.3. Hava Üfleli Soğutma (Zorlamalı hava ile soğutma)	25
2.3.4. Soğutma Sistemlerinde Güneş Enerjisinin Kullanımı	26
2.3.4. Soğutma Sistemlerinde Güneş Enerjisinin Kullanımı	26
2.3.4.1. Elektrikli Sistemler	28
2.3.4.2. Isıl Sistemler	28
2.3.4.3. Isıl-Mekanik Sistemler	29
2.3.4.4. Isıl Dönüşümlü Sistemler	29
2.3.4.5. Güneş Enerjili Rankine Çevrimli Buhar Sıkıştırılmalı Soğutma Sistemi .	30
2.3.4.6. Absorbsiyonlu Soğutma Sisteminin Tanıtılması	31
2.3.4.7. Güneş Enerjisinin Vakum Soğutma Sisteminde Kullanılması	32
3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	33
3.1. Meyve ve sebzelerin vakum altında soğutulması	37

İÇİNDEKİLER (devam)

Sayfa

3.2. Et ürünlerinin vakum altında soğutulması	42
3.3. Çiçek ve benzeri ürünlerin vakum altında soğutulması.....	49
3.4. Vakum altında soğutmayla ilgili modelleme çalışmaları	50
3.5. Vakum altında soğutmayla ilgili diğer çalışmalar	52
4. MATERYAL VE YÖNTEM.....	57
4.1. Vakum Soğutma Sistemi	57
4.2. Hava Üfleli Soğutma Sistemi	60
4.3. Geleneksel Soğutma Sistemi	61
4.4. Veri Toplama ve Ölçüm Cihazları.....	62
4.5. Deneylerin Yapılışı.....	65
4.5. 1.Vakum soğutma deneylerinin yapılışı	65
4.5.2. Buzdolabında deneylerinin yapılışı	66
4.5.3. Hava üfleli soğutucuda deneylerinin yapılışı.....	67
4.6. Pişirilmiş Ürünlerin Soğutulması	67
4.6.1. Pişirilmiş et ürünlerinin soğutulması deneyleri	67
4.7. Kütle Kaybının Hesaplanması	68
4.8. Gıda Ürünlerinin Nem Analizi	69
4.9. Mikrobiyal Analizi.....	69

İÇİNDEKİLER (devam)

Sayfa

4.9.1. Mikrobiyal Analiz için Malzemelerinin Hazırlanışı ve Steril Hale Getirilmesi	70
4.10. Referans Basıncı ve Gösterimi	72
4.11. Vakum Soğutma Teorisi	72
4.11.1. Kütle kaybının hesaplanması (mantar için)	73
5. BULGULAR.....	74
5.1. Soğutma Deneyleri	74
5.2. Mantarın (Agaricus bisporus) Soğutulması	75
5.2.1 Mantarın vakum altında soğutulması	75
5.2.2. Mantarın klasik yöntemle soğutulması.....	79
5.2.3. Mantarın Hava Üfleli Soğutucu Altında Soğutulması.....	81
5.3. Marulun (L.actuva Sativa Var. Longifolia) Soğutulması	93
5.3.1. Marulun vakum altında soğutma	93
5.3.2. Marulun klasik yöntemle soğutulması.....	97
5.3.3. Marulun Hava Üfleli Soğutucuda soğutulması.....	98
5.4. Baş Salatanın (Lactuva Sativa Var. Capitata) Soğutulması.....	111
5.4.1. Baş Salatanın vakum altında soğutulması	111
5.4.2. Baş Salatanın klasik yöntemle soğutulması.....	115
5.4.3. Baş Salatanın Hava Üfleli Soğutucuda soğutulması.....	118

İÇİNDEKİLER (devam)

Sayfa

5.5. Semizotunun (Portulaca oleracea) Soğutulması	130
5.5.1. Semizotunun vakum altında soğutma	130
5.5.2. Semizotunun klasik yöntemle soğutulması	133
5.5.3. Semizotunun Hava Üflemeli Soğutucuda soğutulması	136
5.6. Karpuzun (Citrillus Lanatus) Soğutulması	147
5.6.1. Karpuzun vakum altında soğutulması	147
5.6.2. Karpuzun klasik yöntemle soğutulması.....	152
5.6.3. Karpuzun Hava Üflemeli Soğutucuda soğutulması.....	154
5.7. Haşlanmış Patatesin (Solanum Tuberosum)Soğutulması.....	165
5.7.1 Haşlanmış patatesin vakum altında soğutulması	166
5.7.2 Haşlanmış patatesin klasik yöntemle soğutulması	170
5.7.3. Haşlanmış Patatesin Hava Üflemeli Soğutucuda Soğutulması	173
5.8. Pişirilmiş Köftenin Soğutulması.....	184
5.8.1 Köftenin vakum altında soğutulması	186
5.8.2. Köftenin klasik yöntemle soğutulması	190
5.8.3. Köftenin Hava Üflemeli Soğutucuda Soğutulması	193
5.9. Haşlanmış Tavuğun Soğutulması	204
5.9.1 Haşlanmış tavuğun vakum altında soğutulması	205

İÇİNDEKİLER (devam)

Sayfa

5.9.2 Haşlanmış tavuğun klasik yöntemle soğutulması.....	209
5.9.3. Haşlanmış Tavuğun Hava Üflemeli Soğutucuda Soğutulması.....	212
5.10. Dönerin Soğutulması	224
5.10.1. Dönerin vakum altında soğutulması	224
5.10.2. Dönerin klasik yöntemle soğutulması	227
5.10.3. Dönerin Hava Üflemeli Soğutucuda Soğutulması.....	230
6. VAKUM ALTINDA SOĞUTULAN ÜRÜNLER İÇİN MİKROBİYAL ANALİZ	242
7. ENERJİ ANALİZİ.....	250
7.1. Soğutma Sistemleri İçin Enerji Analizi	250
7.2. Enerji Analizi Teorisi	250
7.2.1.Klasik Soğutma Sistemleri için Teorik Enerji Analizi	250
7.2.2 Vakum Soğutma Sistemi için Teorik Enerji Analizi	251
7.3. Vakum Soğutma için Ölçüm Yöntemi ile Yapılan Enerji Analizi	251
7.4. Klasik Soğutma için Ölçüm Yöntemi ile Enerji Analizi	253
7.5. Hava Üflemeli Soğutma için Ölçüm Yöntemi ile Enerji Analizi	255
7.6. Farklı Soğutma Sistemleri ve Farklı Gıda Ürünleri için Enerji Tüketiminin Hesaplanması	265
7.7. Soğutma Sistemleri için Ekonomik Analiz	268

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
8. TARTIŞMA.....	272
9. SONUÇ.....	279
9.1. Sonuçlar ve Değerlendirilmesi	279
9. KAYNAKLAR DİZİNİ.....	284
ÖZGEÇMİŞ	292

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 Buhar sıkıştırırmalı mekanik soğutma sistemi.....	9
2.2 Absorbsiyonlu soğutma sistemi.....	10
2.3 Adsorbsiyonlu soğutma sistemi.....	11
2.4 Hava Soğutma Sistemi	12
2.5 Buhar-jet(ejektör) Soğutma Sistemi	13
2.6 Sterling Soğutma Sistemi	14
2.7 Paramagnetik Soğutma Sistemi.....	15
2.8 Termoelektrik Soğutma Sistemi	15
2.9 Vorteks Tüpü	16
2.10 Vakum soğutma sistemi	17
2.11 Basınç sıcaklık değişimi	18
2.12 Vakum soğutma sistemi	22
2.13 Vakum soğutma kapları.....	23
2.14 Mekanik kompresyonlu soğutma sistemi	24
2.15 Su ile soğutma sistemi	25
2.16 Zorlamalı hava ile soğutma tüneli	26
2.17 Güneş Enerjisiyle Soğutma Tekniklerinin Sınıflandırılması.....	28

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.18 Güneş Enerjili Mekanik Buhar Türbinli Soğutma Sistemi.....	31
2.19 Kompresörlü Absorbsiyonlu Yeni Çevrim.....	31
2.20 Vakum Soğutma Sisteminin Güneş Enerjisi ile Kullanımı	32
3.1 Pişmiş etlerin dört farklı yöntemle soğutulması sırasında zamana bağlı olarak merkez sıcaklıklarındaki değişimler.....	48
4.1 Vakum soğutma düzeneği	57
4.2 Gıdaların soğutulması amacıyla kullanılan vakum soğutma sistemi	58
4.3 Vakum odası.....	59
4.4 Vakum pompası (a) Edwards marka pompa, (b) Ulvac marka pompa. .	60
4.5 Sirkülasyonlu su banyosu	60
4.6 Hava üfleli soğutucu resmi	61
4.7 Hava üfleli soğutucu iç kısmı	62
4.8 Data Logger kontrol ünitesi(üstte) ve depolama ünitesi (altta)	63
4.9 Gıda ürünlerinin soğutma öncesi ve soğutma sonrası termal resimlerinin alındığı termal kamera.....	63
4.10 Hassas terazi	64
4.11 İnkübatör.....	65
4.12 Yayma yöntemi ile ekim	71

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
5.1 7 mbar basınç altında mantarın yüzey, merkez ve ortam sıcaklığı, nem oranı ve basınç değişimi.....	75
5.2 7 mbar basınç altında mantarın vakum soğutma öncesi ve sonrası sıcaklık değişimi resmi	76
5.3 10 mbar basınç altında mantarın yüzey, merkez ve ortam sıcaklığı, nem oranı ve basınç değişimi.....	77
5.4 10 mbar basınç altında mantarın vakum soğutma öncesi ve sonrası sıcaklık değişimi resmi	77
5.5 15 mbar basınç altında mantarın yüzey, merkez ve ortam sıcaklığı, nem oranı ve basınç değişimi.....	78
5.6 15 mbar basınç altında mantarın vakum soğutma öncesi ve sonrası sıcaklık değişimi resmi	78
5.7 Buzdolabında 5°C sıcaklık altında mantarın yüzey sıcaklığı, merkez sıcaklığı ve ortam sıcaklığındaki değişim	80
5.8 Buzdolabında -16°C sıcaklık altında mantarın yüzey sıcaklığı, merkez sıcaklığı ve ortam sıcaklığındaki değişim	80
5.9 Buzdolabında -20°C sıcaklık altında mantarın yüzey sıcaklığı, merkez sıcaklığı ve ortam sıcaklığındaki değişim	81
5.10 Hava üfleli soğutucuda 5°C 4m/s için, mantarın yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi	82
5.11 Mantarın 5°C 4m/s 'de hava üfleli soğutma sonrası sıcaklık değişimi resmi	83

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
5.12 Hava üflemeli soğutucuda 5°C 2m/s için, mantarın yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi	84
5.13 Mantarın 5°C 2m/s 'de hava üflemeli soğutma sonrası sıcaklık değişimi resmi	84
5.14 Hava üflemeli soğutucuda 5°C 1m/s için, mantarın yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi	85
5.15 Mantarın 5°C 1m/s 'de hava üflemeli soğutma sonrası sıcaklık değişimi resmi	85
5.16 Hava üflemeli soğutucuda -16°C 4m/s için, mantarın yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi	86
5.17 Mantarın -16°C 4m/s 'de hava üflemeli soğutma sonrası sıcaklık değişimi resmi	86
5.18 Hava üflemeli soğutucuda -16°C 2m/s için, mantarın yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi	87
5.19 Mantarın -16°C 2m/s 'de hava üflemeli soğutma sonrası sıcaklık değişimi resmi	88
5.20 Hava üflemeli soğutucuda -16°C 1m/s için, mantarın yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi	89
5.21 Mantarın -16°C 1m/s 'de hava üflemeli soğutma sonrası sıcaklık değişimi resmi	89
5.22 Hava üflemeli soğutucuda -20°C 4m/s için, mantarın yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi	90

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
5.23 Mantarın -20°C 4m/s 'de hava üflemeli soğutma sonrası sıcaklık değişimi resmi	90
5.24 Hava üflemeli soğutucuda -20°C 2m/s için, mantarın yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi	91
5.25 Mantarın -20°C 2m/s 'de hava üflemeli soğutma sonrası sıcaklık değişimi resmi	91
5.26 Hava üflemeli soğutucuda -20°C 1m/s için, mantarın yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi	92
5.27 Mantarın -20°C 1m/s 'de hava üflemeli soğutma sonrası sıcaklık 5değişimi resmi	93
5.28 7 mbar basınç altında marulun yüzey, merkez ve ortam sıcaklığı, nem oranı ve basınç değişimi	94
5.29 7 mbar basınç altında marulun vakum soğutma öncesi ve sonrası sıcaklık değişimi resmi	94
5.30 10 mbar basınç altında marulun yüzey, merkez ve ortam sıcaklığı, nem oranı ve basınç değişimi	95
5.31 10 mbar basınç altında marulun vakum soğutma öncesi ve sonrası sıcaklık değişimi resmi	95
5.32 15 mbar basınç altında marulun yüzey, merkez ve ortam sıcaklığı, nem oranı ve basınç değişimi	96
5.33 15 mbar basınç altında marulun vakum soğutma öncesi ve sonrası sıcaklık değişimi resmi	97

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
5.34 Buzdolabında 5°C sıcaklık altında marulun yüzey sıcaklığı, merkez sıcaklığı ve ortam sıcaklığındaki değişim	98
5.35 Buzdolabında -16°C sıcaklık altında marulun yüzey sıcaklığı, merkez sıcaklığı ve ortam sıcaklığındaki değişim	99
5.36 Buzdolabında -20°C sıcaklık altında marulun yüzey sıcaklığı, merkez sıcaklığı ve ortam sıcaklığındaki değişim	99
5.37 Hava üfleli soğutucuda 5°C 4m/s için, marulun yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi	100
5.38 Marulun 5°C 4m/s 'de hava üfleli soğutma sonrası sıcaklık değişimi resmi	101
5.39 Hava üfleli soğutucuda 5°C 2m/s için, marulun yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi	102
5.40 Marulun 5°C 2m/s 'de hava üfleli soğutma sonrası sıcaklık değişimi resmi	102
5.41 Hava üfleli soğutucuda 5°C 1m/s için, marulun yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi	103
5.42 Marulun 5°C 1m/s 'de hava üfleli soğutma sonrası sıcaklık değişimi resmi	103
5.43 Hava üfleli soğutucuda -16°C 4m/s için, marulun yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi	104
5.44 Marulun -16°C 4m/s 'de hava üfleli soğutma sonrası sıcaklık değişimi resmi	105

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
5.45 Hava üflemeli soğutucuda -16°C 2m/s için, marulun yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi	106
5.46 Marulun -16°C 2m/s 'de hava üflemeli soğutma sonrası sıcaklık değişimi resmi	106
5.47 Hava üflemeli soğutucuda -16°C 1m/s için, marulun yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi	107
5.48 Marulun -16°C 1m/s 'de hava üflemeli soğutma sonrası sıcaklık değişimi resmi	107
5.49 Hava üflemeli soğutucuda -20°C 4m/s için, marulun yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi	108
5.50 Marulun -20°C 4m/s 'de hava üflemeli soğutma sonrası sıcaklık değişimi resmi	109
5.51 Hava üflemeli soğutucuda -20°C 2m/s için, marulun yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi	110
5.52 Marulun -20°C 2m/s 'de hava üflemeli soğutma sonrası sıcaklık değişimi resmi	110
5.53 Hava üflemeli soğutucuda -20°C 1m/s için, marulun yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi	111
5.54 Marulun -20°C 1m/s 'de hava üflemeli soğutma sonrası sıcaklık değişimi resmi	111
5.55 7 mbar basınç altında baş salatanın yüzey, merkez ve ortam sıcaklığı, nem oranı ve basınç değişimi.....	112

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
5.56 7 mbar basınç altında baş salatanın vakum soğutma öncesi ve sonrası sıcaklık değişimi resmi	113
5.57 10 mbar basınç altında baş salatanın yüzey, merkez ve ortam sıcaklığı, nem oranı ve basınç değişimi.....	114
5.58 10 mbar basınç altında baş salatanın vakum soğutma öncesi ve sonrası sıcaklık değişimi resmi	114
5.59 15 mbar basınç altında baş salatanın yüzey, merkez ve ortam sıcaklığı, nem oranı ve basınç değişimi.....	115
5.60 15 mbar basınç altında baş salatanın vakum soğutma öncesi ve sonrası sıcaklık değişimi resmi	115
5.61 Buzdolabında 5°C sıcaklık altında baş salatanın yüzey sıcaklığı, merkez sıcaklığı ve ortam sıcaklığındaki değişim	117
5.62 Buzdolabında -16°C sıcaklık altında baş salatanın yüzey sıcaklığı, merkez sıcaklığı ve ortam sıcaklığındaki değişim	117
5.63 Buzdolabında -20°C sıcaklık altında baş salatanın yüzey sıcaklığı, merkez sıcaklığı ve ortam sıcaklığındaki değişim	118
5.64 Hava üfleli soğutucuda 5°C 4m/s için, baş salatanın yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi	119
5.65 Baş salatanın 5°C 4m/s 'de hava üfleli soğutma sonrası sıcaklık değişimi resmi	120
5.66 Hava üfleli soğutucuda 5°C 2m/s için, baş salatanın yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi	121

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
5.67 Baş salatanın 5°C 2m/s 'de hava üflemeli soğutma sonrası sıcaklık değişimi resmi	121
5.68 Hava üflemeli soğutucuda 5°C 1m/s için, baş salatanın yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi	122
5.69 Baş salatanın 5°C 1m/s 'de hava üflemeli soğutma sonrası sıcaklık değişimi resmi	123
5.70 Hava üflemeli soğutucuda -16°C 4m/s için, baş salatanın yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi	123
5.71 Baş salatanın -16°C 4m/s 'de hava üflemeli soğutma sonrası sıcaklık değişimi resmi	123
5.72 Hava üflemeli soğutucuda -16°C 2m/s için, baş salatanın yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi	124
5.73 Baş salatanın -16°C 2m/s 'de hava üflemeli soğutma sonrası sıcaklık değişimi resmi	125
5.74 Hava üflemeli soğutucuda -16°C 1m/s için, baş salatanın yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi	126
5.75 Baş salatanın -16°C 1m/s 'de hava üflemeli soğutma sonrası sıcaklık değişimi resmi	126
5.76 Hava üflemeli soğutucuda -20°C 4m/s için, baş salatanın yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi	127
5.77 Baş salatanın -20°C 4m/s 'de hava üflemeli soğutma sonrası sıcaklık değişimi resmi	127

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
5.78 Hava üflemeli soğutucuda -20°C 2m/s için, baş salatanın yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi	128
5.79 Baş salatanın -20°C 2m/s 'de hava üflemeli soğutma sonrası sıcaklık değişimi resmi	128
5.80 Hava üflemeli soğutucuda -20°C 1m/s için, baş salatanın yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi	129
5.81 Baş salatanın -20°C 1m/s 'de hava üflemeli soğutma sonrası sıcaklık değişimi resmi	129
5.82 7 mbar basınç altında semizotunun yüzey, merkez ve ortam sıcaklığı, nem oranı ve basınç değişimi.....	131
5.83 7 mbar basınç altında semizotunun vakum soğutma öncesi ve sonrası sıcaklık değişimi resmi	132
5.84 10 mbar basınç altında semizotunun yüzey, merkez ve ortam sıcaklığı, nem oranı ve basınç değişimi.....	132
5.85 10 mbar basınç altında semizotunun vakum soğutma öncesi ve sonrası sıcaklık değişimi resmi	132
5.86 15 mbar basınç altında semizotunun yüzey, merkez ve ortam sıcaklığı, nem oranı ve basınç değişimi.....	133
5.87 15 mbar basınç altında semizotunun vakum soğutma öncesi ve sonrası sıcaklık değişimi resmi	133

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
5.88 Buzdolabında 5°C sıcaklık altında semizotunun yüzey sıcaklığı, merkez sıcaklığı ve ortam sıcaklığındaki değişim	134
5.89 Buzdolabında -16°C sıcaklık altında semizotunun yüzey sıcaklığı, merkez sıcaklığı ve ortam sıcaklığındaki değişim	135
5.90 Buzdolabında -20°C sıcaklık altında semizotunun yüzey sıcaklığı, merkez sıcaklığı ve ortam sıcaklığındaki değişim	135
5.91 Hava üflemeli soğutucuda 5°C 4m/s için, semizotunun yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi	137
5.92 Semizotunun 5°C 4m/s 'de hava üflemeli soğutma sonrası sıcaklık değişimi resmi	137
5.93 Hava üflemeli soğutucuda 5°C 2m/s için, semizotunun yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi	138
5.94 Semizotunun 5°C 2m/s 'de hava üflemeli soğutma sonrası sıcaklık değişimi resmi	138
5.95 Hava üflemeli soğutucuda 5°C 1m/s için, semizotunun yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi	139
5.96 Semizotunun 5°C 1m/s 'de hava üflemeli soğutma sonrası sıcaklık değişimi resmi	139
5.97 Hava üflemeli soğutucuda -16°C 4m/s için, semizotunun yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi	140
5.98 Semizotunun -16°C 4m/s 'de hava üflemeli soğutma sonrası sıcaklık değişimi resmi	141
5.99 Hava üflemeli soğutucuda -16°C 2m/s için, semizotunun yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi	142

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
5.100 Semizotunun -16°C 2m/s 'de hava üflemeli soğutma sonrası sıcaklık değişimi resmi	142
5.101 Hava üflemeli soğutucuda -16°C 1m/s için, semizotunun yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi	143
5.102 Semizotunun -16°C 1m/s 'de hava üflemeli soğutma sonrası sıcaklık değişimi resmi	143
5.103 Hava üflemeli soğutucuda -20°C 4m/s için, semizotunun yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi	144
5.104 Semizotunun -20°C 4m/s 'de hava üflemeli soğutma sonrası sıcaklık değişimi resmi	144
5.105 Hava üflemeli soğutucuda -20°C 2m/s için, semizotunun yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi	145
5.106 Semizotunun -20°C 2m/s 'de hava üflemeli soğutma sonrası sıcaklık değişimi resmi	146
5.107 Hava üflemeli soğutucuda -20°C 1m/s için, semizotunun yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi	147
5.108 Semizotunun -20°C 1m/s 'de hava üflemeli soğutma sonrası sıcaklık değişimi resmi	147
5.109 7 mbar basınç altında karpuzun yüzey, merkez ve ortam sıcaklığı, nem oranı ve basınç değişimi	148
5.110 7 mbar basınç altında karpuzun vakum soğutma öncesi ve sonrası sıcaklık değişimi resmi	149
5.111 10 mbar basınç altında karpuzun yüzey, merkez ve ortam sıcaklığı, nem oranı ve basınç değişimi	149

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
5.112 10 mbar basınç altında karpuzun vakum soğutma öncesi ve sonrası sıcaklık değişimi resmi	150
5.113 15 mbar basınç altında karpuzun yüzey, merkez ve ortam sıcaklığı, nem oranı ve basınç değişimi	151
5.114 15 mbar basınç altında karpuzun vakum soğutma öncesi ve sonrası sıcaklık değişimi resmi	151
5.115 Buzdolabında 5°C sıcaklık altında karpuzun yüzey sıcaklığı, merkez sıcaklığı ve ortam sıcaklığındaki değişim	152
5.116 Buzdolabında -16°C sıcaklık altında karpuzun yüzey sıcaklığı, merkez sıcaklığı ve ortam sıcaklığındaki değişim	153
5.117 Buzdolabında -20°C sıcaklık altında karpuzun yüzey sıcaklığı, merkez sıcaklığı ve ortam sıcaklığındaki değişim	153
5.118 Hava üflemeli soğutucuda 5°C 4m/s için, karpuzun yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi	155
5.119 Karpuzun 5°C 4m/s 'de hava üflemeli soğutma sonrası sıcaklık değişimi resmi	155
5.120 Hava üflemeli soğutucuda 5°C 2m/s için, karpuzun yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi	156
5.121 Karpuzun 5°C 2m/s 'de hava üflemeli soğutma sonrası sıcaklık değişimi resmi	156
5.122 Hava üflemeli soğutucuda 5°C 1m/s için, karpuzun yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi	157
5.123 Karpuzun 5°C 1m/s 'de hava üflemeli soğutma sonrası sıcaklık değişimi resmi	158

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
5.124 Hava üflemeli soğutucuda -16°C 4m/s için, karpuzun yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi	159
5.125 Karpuzun -16°C 4m/s 'de hava üflemeli soğutma sonrası sıcaklık değişimi resmi	159
5.126 Hava üflemeli soğutucuda -16°C 2m/s için, karpuzun yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi	160
5.127 Karpuzun -16°C 2m/s 'de hava üflemeli soğutma sonrası sıcaklık değişimi resmi	160
5.128 Hava üflemeli soğutucuda -16°C 1m/s için, karpuzun yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi	161
5.129 Karpuzun -16°C 1m/s 'de hava üflemeli soğutma sonrası sıcaklık değişimi resmi	161
5.130 Hava üflemeli soğutucuda -20°C 4m/s için, karpuzun yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi	162
5.131 Karpuzun -20°C 4m/s 'de hava üflemeli soğutma sonrası sıcaklık değişimi resmi	163
5.132 Hava üflemeli soğutucuda -20°C 2m/s için, karpuzun yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi	164
5.133 Karpuzun -20°C 2m/s 'de hava üflemeli soğutma sonrası sıcaklık değişimi resmi	164
5.134 Hava üflemeli soğutucuda -20°C 1m/s için, karpuzun yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi	165
5.135 Karpuzun -20°C 1m/s 'de hava üflemeli soğutma sonrası sıcaklık değişimi resmi	165

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
5.136 7 mbar basınç altında haşlanmış patatesin yüzey, merkez ve ortam sıcaklığı, nem oranı ve basınç değişimi.....	167
5.137 7 mbar basınç altında haşlanmış patatesin vakum soğutma öncesi ve sonrası sıcaklık değişimi resmi	167
5.138 10 mbar basınç altında haşlanmış patatesin yüzey, merkez ve ortam sıcaklığı, nem oranı ve basınç değişimi.....	168
5.139 10 mbar basınç altında haşlanmış patatesin vakum soğutma öncesi ve sonrası sıcaklık değişimi resmi	168
5.140 15 mbar basınç altında haşlanmış patatesin yüzey, merkez ve ortam sıcaklığı, nem oranı ve basınç değişimi.....	169
5.141 15 mbar basınç altında haşlanmış patatesin vakum soğutma öncesi ve sonrası sıcaklık değişimi resmi	170
5.142 Buzdolabında 5°C sıcaklık altında haşlanmış patatesin yüzey sıcaklığı, merkez sıcaklığı ve ortam sıcaklığındaki değişim.....	171
5.143 Buzdolabında -16°C sıcaklık altında haşlanmış patatesin yüzey sıcaklığı, merkez sıcaklığı ve ortam sıcaklığındaki değişim.....	171
5.144 Buzdolabında -20°C sıcaklık altında haşlanmış patatesin yüzey sıcaklığı, merkez sıcaklığı ve ortam sıcaklığındaki değişim.....	172
5.145 Hava üfleli soğutucuda 5°C 4m/s için, haşlanmış patatesin yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi	174
5.146 Haşlanmış patatesin 5°C 4m/s 'de hava üfleli soğutma sonrası sıcaklık değişimi resmi.....	174
5.147 Hava üfleli soğutucuda 5°C 2m/s için, haşlanmış patatesin yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi	175

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
5.148 Haşlanmış patatesin 5°C 2m/s 'de hava üflemeli soğutma sonrası sıcaklık değişimi resmi	175
5.149 Hava üflemeli soğutucuda 5°C 1m/s için, haşlanmış patatesin yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi	177
5.150 Haşlanmış patatesin 5°C 1m/s 'de hava üflemeli soğutma sonrası sıcaklık değişimi resmi	178
5.151 Hava üflemeli soğutucuda -16°C 4m/s için, haşlanmış patatesin yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi	178
5.152 Haşlanmış patatesin -16°C 4m/s 'de hava üflemeli soğutma sonrası sıcaklık değişimi resmi	178
5.153 Hava üflemeli soğutucuda -16°C 2m/s için, haşlanmış patatesin yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi	179
5.154 Haşlanmış patatesin -16°C 2m/s 'de hava üflemeli soğutma sonrası sıcaklık değişimi resmi	179
5.155 Hava üflemeli soğutucuda -16°C 1m/s için, haşlanmış patatesin yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi	180
5.156 Haşlanmış patatesin -16°C 1m/s 'de hava üflemeli soğutma sonrası sıcaklık değişimi resmi	181
5.157 Hava üflemeli soğutucuda -20°C 4m/s için, haşlanmış patatesin yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi	182
5.158 Haşlanmış patatesin -20°C 4m/s 'de hava üflemeli soğutma sonrası sıcaklık değişimi resmi	182
5.159 Hava üflemeli soğutucuda -20°C 2m/s için, haşlanmış patatesin yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi	183

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
5.160 Haşlanmış patatesin -20°C 2m/s 'de hava üflemeli soğutma sonrası sıcaklık değişimi resmi	184
5.161 Hava üflemeli soğutucuda -20°C 1m/s için, haşlanmış patatesin yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi	185
5.162 Haşlanmış patatesin -20°C 1m/s 'de hava üflemeli soğutma sonrası sıcaklık değişimi resmi	185
5.163 7 mbar basınç altında köftenin yüzey, merkez ve ortam sıcaklığı, nem oranı ve basınç değişimi	187
5.164 7 mbar basınç altında köftenin vakum soğutma öncesi ve sonrası sıcaklık değişimi resmi	187
5.165 10 mbar basınç altında köftenin yüzey, merkez ve ortam sıcaklığı, nem oranı ve basınç değişimi	187
5.166 10 mbar basınç altında köftenin vakum soğutma öncesi ve sonrası sıcaklık değişimi resmi	189
5.167 15 mbar basınç altında köftenin yüzey, merkez ve ortam sıcaklığı, nem oranı ve basınç değişimi	189
5.168 15 mbar basınç altında köftenin vakum soğutma öncesi ve sonrası sıcaklık değişimi resmi	190
5.169 Buzdolabında 5°C sıcaklık altında köftenin yüzey sıcaklığı, merkez sıcaklığı ve ortam sıcaklığındaki değişim	191
5.170 Buzdolabında -16°C sıcaklık altında köftenin yüzey sıcaklığı, merkez sıcaklığı ve ortam sıcaklığındaki değişim	192
5.171 Buzdolabında -20°C sıcaklık altında köftenin yüzey sıcaklığı, merkez sıcaklığı ve ortam sıcaklığındaki değişim	192

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
5.172 Hava üflemeli soğutucuda 5°C 4m/s için, köftenin yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi	194
5.173 Köftenin 5°C 4m/s 'de hava üflemeli soğutma sonrası sıcaklık değişimi resmi	194
5.174 Hava üflemeli soğutucuda 5°C 2m/s için, köftenin yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi	195
5.175 Köftenin 5°C 2m/s 'de hava üflemeli soğutma sonrası sıcaklık değişimi resmi	196
5.176 Hava üflemeli soğutucuda 5°C 1m/s için, köftenin yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi	197
5.177 Köftenin 5°C 1m/s 'de hava üflemeli soğutma sonrası sıcaklık değişimi resmi	197
5.178 Hava üflemeli soğutucuda -16°C 4m/s için, köftenin yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi	198
5.179 Köftenin -16°C 4m/s 'de hava üflemeli soğutma sonrası sıcaklık değişimi resmi	198
5.180 Hava üflemeli soğutucuda -16°C 2m/s için, köftenin yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi	199
5.181 Köftenin -16°C 2m/s 'de hava üflemeli soğutma sonrası sıcaklık değişimi resmi	199
5.182 Hava üflemeli soğutucuda -16°C 1m/s için, köftenin yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi	200
5.183 Köftenin -16°C 1m/s 'de hava üflemeli soğutma sonrası sıcaklık değişimi resmi	201

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
5.184 Hava üflemeli soğutucuda -20°C 4m/s için, köftenin yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi	202
5.185 Köftenin -20°C 4m/s 'de hava üflemeli soğutma sonrası sıcaklık değişimi resmi	202
5.186 Hava üflemeli soğutucuda -20°C 2m/s için, köftenin yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi	203
5.187 Köftenin -20°C 2m/s 'de hava üflemeli soğutma sonrası sıcaklık değişimi resmi	203
5.188 Hava üflemeli soğutucuda -20°C 1m/s için, köftenin yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi	204
5.189 Köftenin -20°C 1m/s 'de hava üflemeli soğutma sonrası sıcaklık değişimi resmi	204
5.190 7 mbar basınç altında haşlanmış tavuğun yüzey, merkez ve ortam sıcaklığı, nem oranı ve basınç değişimi.....	206
5.191 7 mbar basınç altında haşlanmış tavuğun vakum soğutma öncesi ve sonrası sıcaklık değişimi resmi	206
5.192 10 mbar basınç altında haşlanmış tavuğun yüzey, merkez ve ortam sıcaklığı, nem oranı ve basınç değişimi.....	207
5.193 10 mbar basınç altında haşlanmış tavuğun vakum soğutma öncesi ve sonrası sıcaklık değişimi resmi	207
5.194 15 mbar basınç altında haşlanmış tavuğun yüzey, merkez ve ortam sıcaklığı, nem oranı ve basınç değişimi.....	208
5.195 15 mbar basınç altında haşlanmış tavuğun vakum soğutma öncesi ve sonrası sıcaklık değişimi resmi	208

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
5.196 Buzdolabında 5°C sıcaklık altında haşlanmış tavuğun yüzey sıcaklığı, merkez sıcaklığı ve ortam sıcaklığındaki değişim.....	210
5.197 Buzdolabında -16°C sıcaklık altında haşlanmış tavuğun yüzey sıcaklığı, merkez sıcaklığı ve ortam sıcaklığındaki değişim.....	210
5.198 Buzdolabında -20°C sıcaklık altında haşlanmış tavuğun yüzey sıcaklığı, merkez sıcaklığı ve ortam sıcaklığındaki değişim.....	211
5.199 Hava üfleli soğutucuda 5°C 4m/s için, haşlanmış tavuğun yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi.....	213
5.200 Haşlanmış tavuğun 5°C 4m/s 'de hava üfleli soğutma sonrası sıcaklık değişimi resmi.....	213
5.201 Hava üfleli soğutucuda 5°C 2m/s için, haşlanmış tavuğun yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi.....	214
5.202 Haşlanmış tavuğun 5°C 2m/s 'de hava üfleli soğutma sonrası sıcaklık değişimi resmi.....	214
5.203 Hava üfleli soğutucuda 5°C 1m/s için, haşlanmış tavuğun yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi.....	215
5.204 Haşlanmış tavuğun 5°C 1m/s 'de hava üfleli soğutma sonrası sıcaklık değişimi resmi.....	216
5.205 Hava üfleli soğutucuda -16°C 4m/s için, haşlanmış tavuğun yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi.....	217
5.206 Haşlanmış tavuğun -16°C 4m/s 'de hava üfleli soğutma sonrası sıcaklık değişimi resmi.....	218
5.207 Hava üfleli soğutucuda -16°C 2m/s için, haşlanmış tavuğun yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi.....	218

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
5.208 Haşlanmış tavuğun -16°C 2m/s 'de hava üflemeli soğutma sonrası sıcaklık değişimi resmi	218
5.209 Hava üflemeli soğutucuda -16°C 1m/s için, haşlanmış tavuğun yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi.....	219
5.210 Haşlanmış tavuğun -16°C 1m/s 'de hava üflemeli soğutma sonrası sıcaklık değişimi resmi	220
5.211 Hava üflemeli soğutucuda -20°C 4m/s için, haşlanmış tavuğun yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi.....	221
5.212 Haşlanmış tavuğun -20°C 4m/s 'de hava üflemeli soğutma sonrası sıcaklık değişimi resmi	221
5.213 Hava üflemeli soğutucuda -20°C 2m/s için, haşlanmış tavuğun yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi.....	215
5.214 Haşlanmış tavuğun -20°C 2m/s 'de hava üflemeli soğutma sonrası sıcaklık değişimi resmi	222
5.215 Hava üflemeli soğutucuda -20°C 1m/s için, haşlanmış tavuğun yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi.....	223
5.216 Haşlanmış tavuğun -20°C 1m/s 'de hava üflemeli soğutma sonrası sıcaklık değişimi resmi	223
5.217 7 mbar basınç altında dönerin yüzey, merkez ve ortam sıcaklığı, nem oranı ve basınç değişimi	224
5.218 7 mbar basınç altında dönerin vakum soğutma öncesi ve sonrası sıcaklık değişimi resmi	225
5.219 10 mbar basınç altında dönerin yüzey, merkez ve ortam sıcaklığı, nem oranı ve basınç değişimi	225

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
5.220 10 mbar basınç altında dönerin vakum soğutma öncesi ve sonrası sıcaklık değişimi resmi	226
5.221 15 mbar basınç altında dönerin yüzey, merkez ve ortam sıcaklığı, nem oranı ve basınç değişimi.....	226
5.222 15 mbar basınç altında dönerin vakum soğutma öncesi ve sonrası sıcaklık değişimi resmi	226
5.223 Buzdolabında 5°C sıcaklık altında dönerin yüzey sıcaklığı, merkez sıcaklığı ve ortam sıcaklığındaki değişim.....	228
5.224 Buzdolabında -16°C sıcaklık altında dönerin yüzey sıcaklığı, merkez sıcaklığı ve ortam sıcaklığındaki değişim	228
5.225 Buzdolabında -20°C sıcaklık altında dönerin yüzey sıcaklığı, merkez sıcaklığı ve ortam sıcaklığındaki değişim	229
5.226 Hava üfleli soğutucuda 5°C 4m/s için, dönerin yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi	231
5.227 Dönerin 5°C 4m/s 'de hava üfleli soğutma sonrası sıcaklık değişimi resmi	231
5.228 Hava üfleli soğutucuda 5°C 2m/s için, dönerin yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi	232
5.229 Dönerin 5°C 2m/s 'de hava üfleli soğutma sonrası sıcaklık değişimi resmi	232
5.230 Hava üfleli soğutucuda 5°C 1m/s için, dönerin yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi	233
5.231 Dönerin 5°C 1m/s 'de hava üfleli soğutma sonrası sıcaklık değişimi resmi	234

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
5.232 Hava üflemeli soğutucuda -16°C 4m/s için, dönerin yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi	235
5.233 Dönerin -16°C 4m/s 'de hava üflemeli soğutma sonrası sıcaklık değişimi resmi	235
5.234 Hava üflemeli soğutucuda -16°C 2m/s için, dönerin yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi	236
5.235 Dönerin -16°C 2m/s 'de hava üflemeli soğutma sonrası sıcaklık değişimi resmi	236
5.236 Hava üflemeli soğutucuda -16°C 1m/s için, dönerin yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi	237
5.237 Dönerin -16°C 1m/s 'de hava üflemeli soğutma sonrası sıcaklık değişimi resmi	237
5.238 Hava üflemeli soğutucuda -20°C 4m/s için, dönerin yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi	238
5.239 Dönerin -20°C 4m/s 'de hava üflemeli soğutma sonrası sıcaklık değişimi resmi	239
5.240 Hava üflemeli soğutucuda -20°C 2m/s için, dönerin yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi	240
5.241 Dönerin -20°C 2m/s 'de hava üflemeli soğutma sonrası sıcaklık değişimi resmi	240
5.242 Hava üflemeli soğutucuda -20°C 1m/s için, dönerin yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi	241
5.243 Dönerin -20°C 1m/s 'de hava üflemeli soğutma sonrası sıcaklık değişimi resmi	241

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
6.1 Farklı soğutma işlemi ile soğutulan dana köfte örneklerinin 4°C sıcaklıkta beş günlük depolama öncesi	245
6.2 Farklı soğutma işlemi ile soğutulan dana köfte örneklerinin 4°C sıcaklıkta beş günlük depolama öncesi	247
6.3 Farklı soğutma işlemi ile soğutulan dana köfte örneklerinin 4°C sıcaklıkta beş günlük depolama öncesi	249
7.1 4 mbar vakum basınç değeri için güç tüketimi.....	252
7.2 10 mbar vakum basınç değeri için güç tüketimi.....	252
7.3 15 mbar vakum basınç değeri için güç tüketimi.....	252
7.4 Vakum soğutma sistemi yoğuşturucusu enerji tüketimi.....	253
7.5 Klasik soğutma sisteminde 5 °C sıcaklıkta soğutma durumu için güç tüketimi	274
7.6 Klasik soğutma sisteminde -16 °C sıcaklıkta soğutma durumu için güç tüketimi	254
7.7 Klasik soğutma sisteminde -20 °C sıcaklıkta soğutma durumu için güç tüketimi	254
7.8 Hava üfleli soğutma sisteminde 5 °C sıcaklık ve 1 m/s hava hızı için güç tüketim değişimi	256
7.9 Hava üfleli soğutma sisteminde 5 °C sıcaklık, 1 m/s hava hızı ve her bir faz için toplam güç tüketim değişimi için.....	256
7.10 Hava üfleli soğutma sisteminde 5 °C sıcaklık ve 2 m/s hava hızı için güç tüketim değişimi	256

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
7.11 Hava üflemeli soğutma sisteminde 5 °C sıcaklık, 2 m/s hava hızı ve her bir faz için toplam güç tüketim değişimi için.....	257
7.12 Hava üflemeli soğutma sisteminde 5 °C sıcaklık ve 4 m/s hava hızı için güç tüketim değişimi	257
7.13 Hava üflemeli soğutma sisteminde 5 °C sıcaklık, 4 m/s hava hızı ve her bir faz için toplam güç tüketim değişimi için.....	258
7.14 Hava üflemeli soğutma sisteminde -16 °C sıcaklık ve 1 m/s hava hızı için güç tüketim değişimi	258
7.15 Hava üflemeli soğutma sisteminde -16 °C sıcaklık, 1 m/s hava hızı ve her bir faz için toplam güç tüketim değişimi için.....	259
7.16 Hava üflemeli soğutma sisteminde -16 °C sıcaklık ve 2 m/s hava hızı için güç tüketim değişimi	259
7.17 Hava üflemeli soğutma sisteminde -16 °C sıcaklık, 2 m/s hava hızı ve her bir faz için toplam güç tüketim değişimi için.....	260
7.18 Hava üflemeli soğutma sisteminde -16 °C sıcaklık ve 4 m/s hava hızı için güç tüketim değişimi	260
7.19 Hava üflemeli soğutma sisteminde -16 °C sıcaklık, 4 m/s hava hızı ve her bir faz için toplam güç tüketim değişimi için.....	261
7.20 Hava üflemeli soğutma sisteminde -20 °C sıcaklık ve 1 m/s hava hızı için güç tüketim değişimi	262
7.21 Hava üflemeli soğutma sisteminde -20 °C sıcaklık, 1 m/s hava hızı ve her bir faz için toplam güç tüketim değişimi için.....	262
7.22 Hava üflemeli soğutma sisteminde -20 °C sıcaklık ve 2 m/s hava hızı için güç tüketim değişimi	263

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

Şekil Sayfa

7.23 Hava üflemeli soğutma sisteminde -20 °C sıcaklık, 2 m/s
hava hızı ve her bir faz için toplam güç tüketim değişimi için.....263

7.24 Hava üflemeli soğutma sisteminde -20 °C sıcaklık ve 4
m/s hava hızı için güç tüketim değişimi 264

7.25 Hava üflemeli soğutma sisteminde -20 °C sıcaklık, 4 m/s
hava hızı ve her bir faz için toplam güç tüketim değişimi için.....264

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 Vakum Soğutma Sistemlerinin diğer soğutma sistemleri ile Karşılaştırılması.....	21
2.2 Isıl Dönüşümlü Güneşli Soğutma Sistemlerinin Karşılaştırılması.....	29
3.1 Yaygın Kullanılan Gıda Muhafaza Yöntemleri.....	34
5.1 Vakum altında soğutmada mantarın başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı.....	78
5.2 Mantarın klasik soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı.....	81
5.3 Mantarın 5°C 4m/s için hava üfleli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı.....	82
5.4 Mantarın 5°C 2m/s için hava üfleli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı.....	83
5.5 Mantarın 5°C 1m/s için hava üfleli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı.....	85
5.6 Mantarın -16°C 4m/s için hava üfleli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı.....	79
5.7 Mantarın -16°C 2m/s için hava üfleli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı.....	87
5.8 Mantarın -16°C 1m/s için hava üfleli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı.....	88
5.9 Mantarın -20°C 4m/s için hava üfleli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı.....	89
5.10 Mantarın -20°C 2m/s için hava üfleli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı.....	91

ÇİZELGELER DİZİNİ (devam)

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
5.11 Mantarın -20°C 1m/s için hava üflemeli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı.....	92
5.12 Vakum altında soğutmada marulun başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı.....	96
5.13 Marulun klasik soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı.....	97
5.14 Marulun 5°C 4m/s için hava üflemeli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı.....	100
5.15 Marulun 5°C 2m/s için hava üflemeli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı.....	101
5.16 Marulun 5°C 1m/s için hava üflemeli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı.....	103
5.17 Marulun -16°C 4m/s için hava üflemeli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı.....	104
5.18 Marulun -16°C 2m/s için hava üflemeli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı.....	105
5.19 Marulun -16°C 1m/s için hava üflemeli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı.....	107
5.20 Marulun -20°C 4m/s için hava üflemeli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı.....	108
5.21 Marulun -20°C 2m/s için hava üflemeli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı.....	109
5.22 Marulun -20°C 1m/s için hava üflemeli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı.....	110
5.23 Vakum altında soğutmada baş Salatanın başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı	113

ÇİZELGELER DİZİNİ (devam)

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
5.24 Baş Salatanın klasik soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı .	116
5.25 Baş Salatanın 5°C 4m/s için hava üfleli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı.....	119
5.26 Baş Salatanın 5°C 2m/s için hava üfleli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı.....	120
5.27 Baş Salatanın 5°C 1m/s için hava üfleli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı.....	121
5.28 Baş Salatanın -16°C 4m/s için hava üfleli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı.....	123
5.29 Baş Salatanın -16°C 2m/s için hava üfleli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı.....	124
5.30 Baş Salatanın -16°C 1m/s için hava üfleli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı.....	125
5.31 Baş Salatanın -20°C 4m/s için hava üfleli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı.....	126
5.32 Baş Salatanın -20°C 2m/s için hava üfleli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı.....	128
5.33 Baş Salatanın -20°C 1m/s için hava üfleli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı.....	129
5.34 Vakum altında soğutmada semizotunun başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı	131
5.35 Semizotunun klasik soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı .	134
5.36 Semizotunun 5°C 4m/s için hava üfleli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı.....	136

ÇİZELGELER DİZİNİ (devam)

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
5.37 Semizotunun 5°C 2m/s için hava üfleli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı.....	137
5.38 Semizotunun 5°C 1m/s için hava üfleli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı.....	139
5.39 Semizotunun -16°C 4m/s için hava üfleli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı.....	140
5.40 Semizotunun -16°C 2m/s için hava üfleli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı.....	141
5.41 Semizotunun -16°C 1m/s için hava üfleli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı.....	142
5.42 Semizotunun -20°C 4m/s için hava üfleli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı.....	144
5.43 Semizotunun -20°C 2m/s için hava üfleli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı.....	145
5.44 Semizotunun -20°C 1m/s için hava üfleli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı.....	146
5.45 Vakum altında soğutmada karpuzun başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı ..	151
5.46 Karpuzun klasik soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı.....	154
5.47 Karpuzun 5°C 4m/s için hava üfleli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı.....	155
5.48 Karpuzun 5°C 2m/s için hava üfleli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı.....	156
5.49 Karpuzun 5°C 1m/s için hava üfleli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı.....	157

ÇİZELGELER DİZİNİ (devam)

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
5.50 Karpuzun -16°C 4m/s için hava üfleli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı.....	158
5.51 Karpuzun -16°C 2m/s için hava üfleli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı.....	159
5.52 Karpuzun -16°C 1m/s için hava üfleli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı.....	161
5.53 Karpuzun -20°C 4m/s için hava üfleli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı.....	162
5.54 Karpuzun -20°C 2m/s için hava üfleli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı.....	163
5.55 Karpuzun -20°C 1m/s için hava üfleli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı.....	164
4.56 Vakum altında soğutmada haşlanmış patates başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı	170
5.57 Haşlanmış patates klasik soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı	173
5.58 Haşlanmış patates 5°C 4m/s için hava üfleli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı.....	173
5.59 Haşlanmış patates 5°C 2m/s için hava üfleli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı.....	175
5.60 Haşlanmış patates 5°C 1m/s için hava üfleli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı.....	176
5.61 Haşlanmış patates -16°C 4m/s için hava üfleli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı.....	177

ÇİZELGELER DİZİNİ (devam)

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
5.62 Haşlanmış patates -16°C 2m/s için hava üfleli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı.....	179
5.63 Haşlanmış patates -16°C 1m/s için hava üfleli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı.....	180
5.64 Haşlanmış patates -20°C 4m/s için hava üfleli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı.....	181
5.65 Haşlanmış patates -20°C 2m/s için hava üfleli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı.....	183
5.66 Haşlanmış patates -20°C 1m/s için hava üfleli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı.....	184
5.67 Vakum altında soğutmada köftenin başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı	190
5.68 Köftenin klasik soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı	193
5.69 Köftenin 5°C 4m/s için hava üfleli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı.....	194
5.70 Köftenin 5°C 2m/s için hava üfleli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı.....	195
5.71 Köftenin 5°C 1m/s için hava üfleli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı.....	196
5.72 Köftenin -16°C 4m/s için hava üfleli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı.....	197
5.73 Köftenin -16°C 2m/s için hava üfleli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı.....	199

ÇİZELGELER DİZİNİ (devam)

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
5.74 Köftenin -16°C 1m/s için hava üflemeli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı.....	200
5.75 Köftenin -20°C 4m/s için hava üflemeli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı.....	201
5.76 Köftenin -20°C 2m/s için hava üflemeli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı.....	202
5.77 Köftenin -20°C 1m/s için hava üflemeli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı.....	204
5.78 Vakum altında soğutmada haşlanmış tavuğun başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı	209
5.79 Haşlanmış tavuğun klasik soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı	211
5.80 Haşlanmış tavuğun 5°C 4m/s için hava üflemeli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı.....	212
5.81 Haşlanmış tavuğun 5°C 2m/s için hava üflemeli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı.....	214
5.82 Haşlanmış tavuğun 5°C 1m/s için hava üflemeli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı.....	214
5.83 Haşlanmış tavuğun -16°C 4m/s için hava üflemeli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı.....	216
5.84 Haşlanmış tavuğun -16°C 2m/s için hava üflemeli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı.....	217
5.85 Haşlanmış tavuğun -16°C 1m/s için hava üflemeli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı.....	219

ÇİZELGELER DİZİNİ (devam)

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
5.86 Haşlanmış tavuğun -20°C 4m/s için hava üflemeli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı.....	220
5.87 Haşlanmış tavuğun -20°C 2m/s için hava üflemeli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı.....	221
5.88 Haşlanmış tavuğun -20°C 1m/s için hava üflemeli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı.....	223
5.89 Vakum altında soğutmada dönerin başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı	227
5.90 Dönerin klasik soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı	229
5.91 Dönerin 5°C 4m/s için hava üflemeli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı.....	230
5.92 Dönerin 5°C 2m/s için hava üflemeli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı.....	232
5.93 Dönerin 5°C 1m/s için hava üflemeli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı.....	233
5.94 Dönerin -16°C 4m/s için hava üflemeli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı.....	234
5.95 Dönerin -16°C 2m/s için hava üflemeli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı.....	235
5.96 Dönerin -16°C 1m/s için hava üflemeli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı.....	237
5.97 Dönerin -20°C 4m/s için hava üflemeli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı.....	238

ÇİZELGELER DİZİNİ (devam)

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
5.98 Dönerin -20°C 2m/s için hava üflemeli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı.....	239
5.99 Dönerin -20°C 1m/s için hava üflemeli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı.....	240
6.1 Tavuğun Plate Count Agar Değerleri	246
6.2 Tavuğun Potato Dextrose Agar Değerleri	246
7.1 Vakum soğutma sisteminde farklı basınç değerleri için enerji tüketimi	253
7.2 Klasik soğutma sisteminde farklı sıcaklıklarda enerji tüketimi	255
7.3 Hava üflemeli soğutma sisteminde farklı sıcaklıklarda ve hızlarda enerji tüketimi.....	265
7.4 Farklı soğutma sistemleri ve farklı ürünler için enerji tüketimi	266
7.5 Soğutma yöntemi, soğutulan ürün ve soğutma süresi.....	268
7.6. Geleneksel soğutma, hava üflemeli soğutma ve vakum soğutma sistemlerinin fiyatları	269
7.7. Her bir soğutma sistemi ve parametresi için 24 saat sürede yapılabilcek soğutma sayısı	269
7.8. 10 m3 bir hacimdeki farklı soğutma sistemleri ve parametreler için tüketilen toplam enerji miktarı (kWh)	270
7.9. Günlük enerji tüketimi bedeli (TL)	271
7.10. Yıllık enerji tüketimi bedeli (TL)	271

1. GİRİŞ

Gıda muhafazası gıda işleme tekniklerinden en önemlisi olarak görülmektedir. Bu teknik ile gıdaların raf ömrünü uzatmak, renk, tekstür ve lezzet gibi kalite özelliklerini korumak amaçlanmaktadır. İyi bir gıda muhafazası ile gıdalar mümkün olduğu kadar taze ve güvenli tutulabilmekte, gıdanın kalitesi ve besinsel özellikleri korunabilmektedir (Dinçer, 2003).

Gıdaların muhafazasında en önemli unsurlardan biri ürünün fiziksel ve kimyasal özelliklerindeki değişimdir ve bu değişim ne kadar az olursa, ürün taze halindeki niteliklerini o ölçüde korur. Gıdaların dayanıklı halede korunmasında asıl amaç, bozulmanın önlenmesinin yanında gıdaların besin değeri, renk, aroma ve fiziksel yapısına ait duyu niteliklerinin, kısaca kalitesinin en az düzeyde etkilenmesini sağlamaktır (Cemeroğlu vd., 2001).

Günümüzde gıdaların muhafazası için çok çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemler fiziksel, kimyasal ve biyolojik olmak üzere üç temel kategori altında incelenebilir. Bunlar kurutma, koruyucu katkı maddeleri, soğutma ve konserve yapma vb. uygulamalardır. Bu yöntemlerin kullanılmasıyla gıdaların muhafazası sağlanabildiği gibi yeni gıda ürünleri de elde edilebilmektedir.

Gıdaların sağlık düzeyinin korunmasına yönelik temel uygulamalar bakteri üremesini engelleyici uygulamalardan ibarettir. Bakterilerin büyük çoğunluğu nötral ortamda daha iyi üremektedir. Asiditesi ve alkalitesi yüksek ortamlar bakterilerin üremesini engellemektedir. Kontamine yiyeceklerde üreyen bakterilerin büyük çoğunluğu oksijene bağımlıdır. Nem ürünlerin bozulmasında bir diğer etmendir. Nem, şeker ve tuzun varlığı bazı bakterilerin çoğalması için önemlidir. İnsan vücut sıcaklığı birçok bakteri için ideal sıcaklıktır (37°C). Soğutma ve ısıtma işlemleri sırasında insan vücut ısısı değerlerine yakın değerlerde fazla beklenmemesi için şok soğutma ve hızlı ısıtma gerekebilir. 71 °C üzerindeki sıcaklıklar birçok bakterinin ölmesini sağlamaktadır. 5°C altındaki sıcaklıklar birçok mikroorganizmanın üremesini geciktirmekte ve yavaşlatmaktadır. Kurutma da öteden beri kullanılan en efektif yöntemlerdendir. Günümüzde yapay kurutma yöntemleri geliştirilmiştir. Yeniden ıslatılma ve pişirilmeden sonra bir çok bakteriyel kontaminasyon riski oluşmaktadır. 5 °C

altında saklamak bakteri üremesini yavaşlatır ve durdurur fakat bakterileri yoketmez. Soğutma işlemi sırasındaki nem de oldukça önemlidir. Çok az nem olması besinlerin neminin azalmasına yol açarken nemin aşırı artması bakteri üremesine yol açabilmektedir. Tuz, şeker, sodyum nitrit, ve nitritler ortamın bakteri üremesine elverişsiz hale getirilmesi amacıyla kullanılmaktadır. Sodyum benzoat ve salisilik asitte bakteri üremesini yavaşlatmak için kullanılmaktadır.

Et, balık, sebze ve meyveler gibi bozulabilir taze yiyeceklerin raf ömürleri genellikle 1-5 °C aralığında donma sıcaklığının hemen üstünde sıcaklıklarda depolanarak birkaç gün uzatılabilir. -18 ve -35 °C sıcaklıklar arasında depolanarak ise bu süre birkaç aya kadar uzatılabilir. Soğutma işlemi yiyecek içersindeki biyolojik ve kimyasal olayları yavaşlatır ve besin değerinde ve ürün kalitesindeki kayıpları azaltır (Çengel, 1998).

Bitkisel ve hayvansal kaynaklı gıdalarda, mikrobiyal aktiviteyi etkileyen iç ve dış parametreler göz önünde bulundurulmalıdır. Gıdalarda dokuyla ilgili olan özellikler iç parametre olarak belirlenmiştir ki bunlar arasında pH, nem içeriği, oksidasyon-redüksiyon potansiyeli, besinsel bileşim, antimikrobiyal bileşim ve biyolojik yapı sayılabilir. Dış parametreler gıdayı çevreleyen ortama ait özelliklerdir ve hem gıdanın kendisini hem de mikroorganizma yükünü etkilemektedir. Bunlar; ortam sıcaklığı, ortamın nem içeriği, ortamda bulunan gazlar ve bu gazların konsantrasyonudur (Dinçer 2003).

Genel olarak soğutma, bir maddenin veya belirlenmiş bir ortamın sıcaklığını, onu çevreleyen komşu hacimlerin sıcaklığının altına indirmek ve istenen sıcaklıkta muhafaza etmek üzere ısıнын çekilmesi işlemi olarak ifade edilir.

Soğutma temel olarak gıda ürünlerinin saklanma süresini artırmak için en çok kullanılan yöntemler arasında yer almaktadır. Belirli bir sıcaklık altında soğutularak besinlerde bakteri ve diğer mikroorganizmaların etkinliği önlenir ve kimyasal reaksiyonlar yavaşlar. Böylece besinlerin de bozulması yavaşlatılmış olur. Bu amaçla çok farklı soğutma yöntemleri geliştirilerek gıdaların muhafazasında kullanılmıştır. Her soğutma tekniğinin avantaj ve dezavantajları vardır. Soğutma yöntemlerinden en yaygın olarak kullanılanı geleneksel soğutma yöntemidir. Diğer taraftan, farklı soğutma yöntemlerine ilişkin çalışmalara da

devam edilmektedir. Son yıllarda vakum soğutma sistemine ilişkin birçok çalışma yapılmıştır. Vakum soğutma sisteminin en temel özelliği hızlı bir soğutma yöntemi olmasıdır. Öte yandan, vakum soğutma sisteminin sınırlı gıda ürünleri için uygulanabilmesi çok yaygın olarak kullanılmasının önündeki en önemli engel olarak durmaktadır.

Vakum soğutma, vakum odasında madde içindeki suyun buharlaştırılması sonucunda, maddeden ısı çekilerek maddenin soğutulması olarak tanımlanabilir (Suslow, 2000). Vakum soğutma; ağırlığına göre yüzey alanı fazla olan, gözenekli yiyecekler ile su içeriği yüksek olan ürünlerin ve dokudaki suyu vakum altında kolaylıkla buharlaşabilen ürünlere uygun bir soğutma yöntemidir. Vakum soğutma tarla bitkileri gibi ürünlerin ön soğutulması için uygun olduğu gibi, kimi suda pişirilmiş ürünlerin ön soğutulması için de çok uygundur. Vakum soğutmanın diğer soğutma sistemlerinden ayrıldığı en önemli özelliği, ürünün içindeki suyun buharlaşmasını sağlayarak ürünün soğutulmasının yapılmasıdır. Vakum soğutmanın iki temel özelliği ise verimli olması ve hızlı bir şekilde soğutmanın sağlanabilmesidir. İçerisinde serbest su bulunan ve bu suyun yiyecekten uzaklaştırılması sonucu ürünün zarar görmeyeceği bütün gıdalarda vakum soğutma uygulanabilir. Vakum soğutmanın verimliliğini belirleyen unsur, ürünün hacmi ve buharlaşmanın gerçekleştiği yüzey alanının ürünün ağırlığına oranıdır. Toplanma sonrasında vakum soğutma ile soğutulan sebzelerin bozulma riski azaldığı gibi, ürünün depolanma süresi de uzamaktadır (Wang ve Sun, 2001). Ürünler hasat edildikten sonra soğuk oda depolarına konulduğunda, yazın yüksek sıcaklıklarda, hem soğutma süresi uzun olmakta hem de sıcak bir ürün soğuk oda deposuna konulduğunda sıcak ürün çevreye ısı yayarak diğer ürünlerin ısınmasına neden olmaktadır. Bu olay diğer soğuk hava deposundaki ürünlerin, ısınma-soğuma olayına maruz kalmasına sebep olmakta bu ise ürünlerin raf ömrünü azaltmaktadır. Bu nedenle vakum soğutma yöntemi bir ön soğutma gibi de düşünülebilir.

Vakum altında buharlaşma çok hızlı gerçekleştiğinden, vakum soğutma ile ürünler çok hızlı soğutulabilmektedir. Vakum soğutma yapraksı sebzeler ile (marul gibi), dokusundan su buharlaşması kolay gerçekleşen birçok gıda için (mantar gibi) uygulanabilir bir soğutma yöntemidir. Vakum soğutma, yüzey alanının toplam hacme oranının büyük olduğu, ıspanak, marul, kereviz, semizotu

gibi yapraklı sebzelerde çok iyi sonuçlar vermektedir. Ayrıca patates, havuç, kabak gibi pişirilmiş sebzeler ile dolma, pane eti, döner gibi pişirilmiş et ürünlerinde de kullanılabilir. Vakum soğutma uygulanmadan önce sebzelere sprey olarak su sıkılması da soğutma etkisini artırmaktadır (Suslow, 2000).

Geleneksel olarak sebzeler, soğuk hava üflenerek veya soğuk depolarda bekletilerek soğutulurlar. Eğer sebzeler doğru bir şekilde soğutulmak isteniyorsa, büyük alanlara ihtiyaç duyulur. Aynı zamanda, birçok soğuk depolama sisteminde sebzeler sandıklara konur ve bu sandıklar içerisinde de sınırlı sayıda ürün bulunur. Bu durumda üretim maliyetleri yükselir. Vakum soğutma sistemlerinde işletme maliyetleri geleneksel soğutma yöntemi ile karşılaştırıldığında oldukça düşüktür. Soğuk depolarda ürünün saklanması sağlayan paketlerin tipleri, soğutma yüküne etki eder, çünkü ürünle birlikte ürünün içerisine konulduğu paketin de soğutulması gerekmektedir. Oysaki vakum soğutmada bu etki ihmal edilebilecek kadar düşüktür. Çalışmalar, hava üfleme soğutmanın yapraksız ve suyun buharlaşmasının zor olduğu sebzeler için hızlı, vakum soğutmanın ise yapraklı sebzeler için hızlı bir soğutma sağladığını göstermektedir. Bunun nedeni, hava üfleme soğutmada, soğutulacak nesnenin dış yüzeyinde ısı transferi taşıyıcıyla olmakta, içerisinde ise iletimle ısı transferi gerçekleşmektedir. Yapraklı sebzeler için ise, yapraklar arasındaki hava ısı bir direnç oluşturduğundan, iletimle ısı transferi zorlaşmakta, bu da soğuma süresini uzatmaktadır.

Birçok yiyeceğin yapısı ve kendine özgü özellikleri nedeni ile soğutmada birçok problemler ortaya çıkmaktadır. Örneğin mantarın, su içeriğinin fazla olması ve fiziksel olarak çok narin olması nedeni ile geleneksel olarak soğutulması zor sebzelerden birisidir. Vakum soğutma ile soğumada mantar çok hızlı, uniform ve ürünün fiziksel yapısı zarar görmeden soğutulabilmektedir. Vakum soğutma statik bir ortamda gerçekleştiğinden, ürünlerde fiziksel bir hasar (zedelenme veya sürtünme dolayısı ile üründe oluşan aşınma gibi) meydana gelmemektedir.

Sebze endüstrisinden bilindiği gibi, ön soğutma ve soğuk depolanması ürünün kalitesini korumaya ve raf ömrünü uzatmaya yardımcı olmaktadır. Soğuk oda depolarda ön soğutma sınırlıdır ve vakum soğutma ile ön soğutma

sağlanabilir. Soğutma ünitelerinde soğuk odalardaki soğutma yükü ve soğutma hızı, ürünün kapasitesi ve kasalar içerisine ürünün yerleştirilme bölgesine göre ayarlanabilir. Soğutma depolarındaki hızlı soğutma oranı, hava hızını yükselterek veya soğutma yükünü artırarak sağlanmaktadır. Bunun sonucu olarak ürünün yüzeylerinde donma, ürünün iç kısımlarında düzensiz bir soğuma dağılımı ve bunu takiben üründe hasar görmeler oluşur. Buna karşın, vakum soğutmada, yiyecek üstünde buzlanma oluşmadan yaklaşık 0.5 °C/dakika soğutma hızına erişilebilmektedir. Soğutma hızının artması, soğuk depolama zamanını azalttığından raf ömrü artar. Vakum soğutmada, doğru sıcaklık kontrolü mümkündür, çünkü sadece oda içindeki basıncı kontrol ederek ürünün sıcaklığı donma noktasına yakın 1-3°C'lere bile getirilebilmektedir.

Vakum soğutmanın en büyük dezavantajı, yiyecekten buharlaşma olması nedeni ile meydana gelen ağırlık kaybıdır. Ağırlık kaybı vakum soğutmanın kaçınılmaz bir sonucudur. Pratikte ağırlık kaybı birçok faktöre bağlıdır. Bunların en önemlilerinden biri yiyeceğin yüzey alanıdır. Yüzey alanındaki artma, vakum soğutma sırasında meydana gelebilecek ağırlık kaybını kolaylaştırır. Ağırlık kaybını azaltabilmek için yapılabilecek en uygun yöntemlerden birisi, soğutma sırasında ürün üzerine su ekleyerek olabilir. Aynı zamanda ürünün paketlenmesi, oluşan su kaybını tolere edebilecek şekilde olmalıdır. Vakum soğutma işlemi ve sonrasında oluşan nem kaybı bazı durumlarda ürünün kalitesi ve görünümüne zarar verebilmektedir.

Vakum soğutmada kullanılan aletler pahalıdır ve soğutma işlemi bütün ürünlere uygulanmak için uygun değildir. Ayrıca ürünü soğuk bir şekilde muhafaza etmek için belki başka sistemlere de gerek duyulabilir. İlk yatırım maliyeti yüksek olmasına rağmen, vakum soğutma sistemlerinin fiyatları diğer soğutma sistemleri ile karşılaştırıldığında çok da yüksek değildir. Vakum soğutma ünitesinin kapasitesi ne kadar büyük ise, birim ürün için ilk yatırım maliyeti o kadar düşük olur. Vakum soğutma sistemlerinin enerji tüketimleri diğer sistemlerin enerji tüketiminden çok düşüktür.

Diğer soğutma sistemlerinden hava üfleli sistemde, enerji/elektrik enerji oranı 2.65 iken bu oran vakum soğutmada 0.52'dir. Yani vakum soğutma

sistemleri hava üfleli soğutma sistemleri ile karşılaştırıldığında yaklaşık 5 kat daha az enerji tüketmektedir (McDonald ve Sun, 2000).

Bu tez çalışmasında bir vakum soğutma sistemi kurularak, bazı sebzeler (mantar, marul, baş salata, semizotu), meyve (karpuz), pişirilmiş sebze (patates) ve pişirilmiş et ürünleri (köfte, tavuk eti, döner) soğutulmuş ve sonuçlar mekanik kompresyonlu soğutma (geleneksel soğutma) yöntemi ve hava üfleli soğutma yöntemi ile elde edilen değerler ile karşılaştırılmıştır. Vakum soğutma 7 mbar, 10 mbar ve 15 mbar vakum basınç değerleri için yürütülmüştür. Geleneksel soğutma ise, 5°C, -16°C ve -20° değerleri için gerçekleştirilmiştir. Deneyler sonucunda vakum soğutmanın geleneksel soğutma ile karşılaştırıldığında çok hızlı bir soğutma yöntemi olduğu görülmüştür. Hava üfleli soğutma ise, 1 m/s, 2 m/s, 4 m/s hızlar ve 5°C, -16°C ve -20°C sıcaklıklar için yürütülmüştür.

Tez çalışması kapsamında pişirilmiş ürünlerden tavuk ve köfte için geleneksel ve vakum soğutma sistemleri için mikrobiyal analiz yapılarak, ürünlerdeki mikrobiyal yükün değişimi incelenerek karşılaştırılması yapılmıştır.

Geleneksel, hava üfleli ve vakum soğutma sistemleri için enerji tüketimleri incelenerek farklı ürünlerin, bu üç soğutma sistemi ile soğutulması durumu için enerji tüketimleri incelenmiştir.

Bu çalışma ile üç farklı soğutma sistemi (geleneksel soğutma, hava üfleli soğutma ve vakum soğutma) ile soğutma yapılarak sonuçları karşılaştırılmıştır. Yapılan çalışma birçok yönleri ile daha önce yapılan çalışmalardan farklıdır ve özgündür. Tez çalışmasının özgün yanları maddeler haline şu şekilde sıralanabilir:

1. Bu çalışmada açık literatürden farklı olarak ilk kez semizotu, karpuz, haşlanmış patates, köfte, tavuk eti ve döner vakum soğutma yöntemi ile soğutulmuş ve sonuçları geleneksel ve hava üfleli soğutucu sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

2. Bu çalışmada literatürde mevcut çalışmalardan farklı olarak ilk kez vakum soğutmanın mikrobiyal yük üzerine etkisi köfte, tavuk eti ve döner için incelenmiş ve sonuçlar geleneksel soğutma sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

3. Bu çalışmada daha önce yapılan çalışmalardan farklı olarak ilk kez farklı basınçlar altında vakum soğutmanın soğutmaya etkisi ele alınmıştır.

4. Bu çalışma ile literatürdeki çalışmalardan farklı olarak vakum soğutma, geleneksel soğutma ve hava üfleli soğutma ile soğutma yapılması durumları için enerji tüketimlerinin değişimi, farklı gıda ürünleri için farklı sıcaklıklar ve basınçlar altında incelenmiştir.

2.GENEL BİLGİLER

2.1. Soğutma

Bir maddenin veya ortamın sıcaklığını onu çevreleyen hacim sıcaklığının altına indirmek ve orada muhafaza etmek üzere ısıнын alınması işlemine soğutma denir (Özko, 1985). Soğutma işlemi ile gıdalarda mikroorganizmaların etkinliği önlenir ve kimyasal reaksiyonlar yavaşlar. Bu sayede gıdaların bozulması yavaşlatılmış olur.

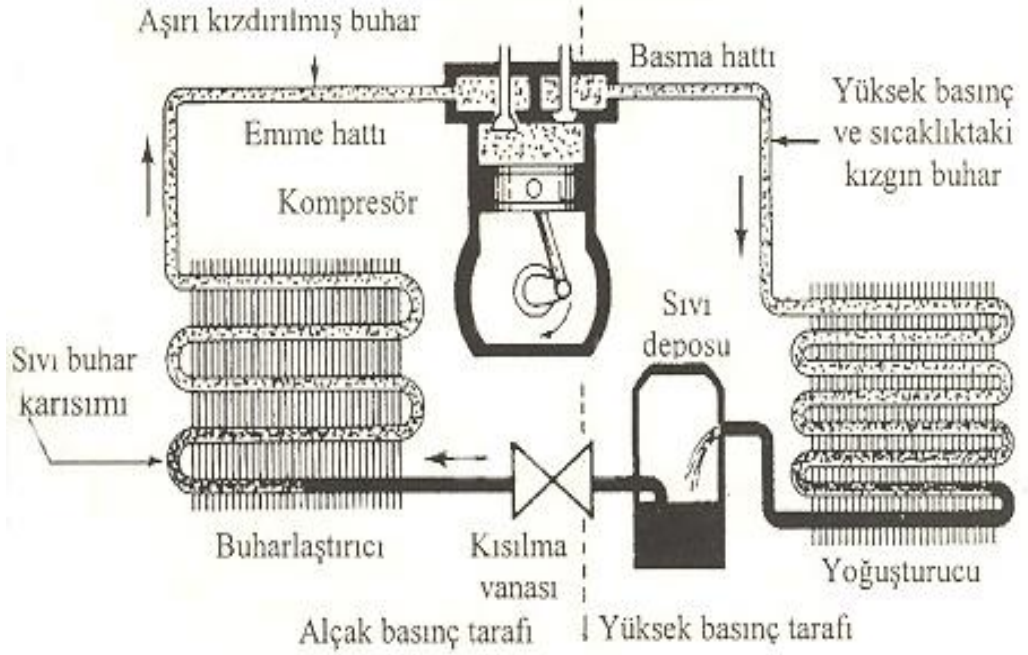
Ön soğutma ve soğutma, sebze ve meyvelerin hasat sıcaklığının kısa bir zaman içinde hasat sonrası ve depolama öncesi yaklaşık olarak optimum depolama ve taşıma sıcaklığına indirildiği bir işlemdir. Bu tür bir uygulamaların ana amacı mikrobiyal ve biyokimyasal reaksiyonların hızını yavaşlatmak ve sırasıyla bozulmayı önlemek, kaliteyi korumak ve raf ömrünü uzatmaktır (Dinçer, 2003).

2.2. Soğutma Sistemleri

Günümüzde kullanılan bir hacmin veya bir maddenin soğutulması için çok farklı teknikler uygulanmaktadır. Soğutma sistemlerin bazıları aşağıda kısaca açıklanmıştır.

2.2.1. Buhar sıkıştırırmalı mekanik soğutma sistemi

Günümüzde en çok bilinen ve kullanılan soğutma sistemlerinden birisidir. Sistem yoğuşturucu, evaporatör, kısılma vanası ve kompresörden oluşmaktadır (Şekil 2.1). Buhar sıkıştırırmalı mekanik soğutma sisteminde, verilen iş sayesinde soğutucu akışkanın mekanik olarak kompresör tarafından sıkıştırılması esasına dayanır. Kompresörde yüksek basınçta sıkıştırılan soğutucu akışkan kızgın buhar halde yoğuşturucuya gönderilir. Çevreye ısı veren ve yoğuşan soğutucu akışkan, kısılma vanasında alçak basınçta kısılarak ıslak buhar halde evaporatöre girer. Soğutucu akışkan evaporatörü çevreleyen ortam sıcaklığının altında bir sıcaklığa sahiptir, bu nedenle ortamın ısınıını çeker ve ortam soğur. Soğutucu akışkan evaporatör çıkışında doymuş buhar halde kompresör tarafından emilir. Çevrim bu şekilde işler ve devam eder.



Şekil 2.1. Buhar sıkıştırımlı mekanik soğutma sistemi

2.2.2. Absorbsiyonlu soğutma sistemi

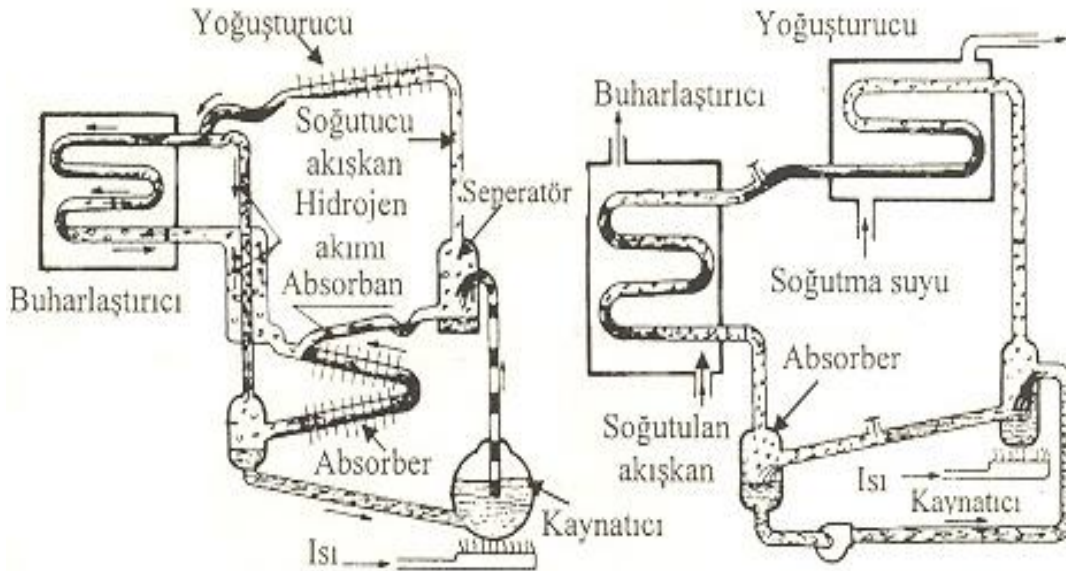
Absorbsiyonlu soğutma sistemleri, değişik basınç seviyelerin de soğutucunun buharlaşma ve yoğuşma işlemlerinin gerçekleşmesi ve mekanik sıkıştırımlı soğutucularda olduğu gibi buharın sıkışmasına dayanan çevrim sonucu oluşan ısı transferi prensibiyle çalışan sistemlerdir.

İki çevrim arasındaki fark, absorbsiyonlu çevrimde mekanik sıkıştırımlı çevrimde kullanılan kompresör yerine ısı ile çalışan generatör kullanılması ile basınç farkının yaratılmasıdır (fiziko-kimyasal proses) ve bu nedenle de mekanik soğutma sistemi ile karşılaştırıldığında elektrik enerjisi tüketimi daha azdır. Absorbsiyonlu soğutma sistemi ile buhar sıkıştırımlı mekanik soğutma sistemi arasındaki tek fark kompresördür. Absorbsiyonlu sistemlerde, kompresör görevini kaynatıcı ve absorberden oluşan ısı eşanjörleri grubu (generatör) gerçekleştirmektedir. Her iki sistemde de bir yoğuşturucu, bir kısılma vanası ve bir buharlaştırıcı bulunmakla beraber, absorbsiyonlu sistemde bunlara ilave olarak; absorber, pompa ve kaynatıcı bulunmaktadır (Şekil 2.2). Buharlaştırıcıdan gelen soğutucu akışkan buharı, içinde absorbent bulunan bir hücreye girerek absorbent tarafından emilir. Soğutucu madde ile zenginleşen karışım kaynatıcı

bölümüne sevk edilerek burada ısıtılır ve soğutucu madde daha yüksek basınca buharlaştırılır. Absorbent, zayıf eriyik durumunda tekrar absorbere dönerek soğutucu maddeyi emme görevini tekrarlar (Yamankaradeniz vd.,2002).

Sistemin çalışan akışkanını soğutucu solüsyonu birbiri ile yüksek kimyasal benzerlikte olan absorberdan oluşur. Isı, soğutucu ve absorberın ayrıştığı yer olan generatörde solüsyona eklenir. Li – Br sistemlerinde olduğu gibi saf absorber materyali uçucu olmayana kadar çevrim için yeterli olmaktadır. Ancak amonyak – su sistemlerinde saf absorber materyali uçucu olana kadar damıtma cihazına ihtiyaç vardır. Çünkü soğutucu tamamen absorberdan ayrılmış olmalıdır, yoksa evaporatördeki buharlaşmaya engel olur. Tekrar üretilen absorber normalde azda olsa soğutucu içerir. Eğer absorber materyali katılaşma eğiliminde ise Li – Br Su sisteminde olduğu gibi, saf absorber materyalini her seferinde çözülmüş şekilde tutmak için yeterli soğutucuya ihtiyaç vardır. Genel pratik uygulama generatör içinde aşırı ısınmadan kaçınarak tekrar üretilen absorberın kristalleşmesini engellemek için içinde bir miktar absorberın kalmasına izin verilir.

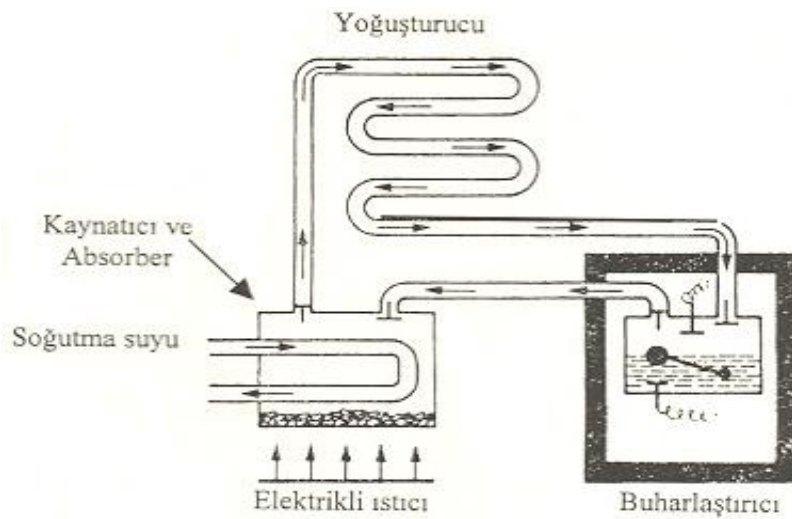
Buharlaştıran soğutucu kondenserde suya dönüştükten sonra ısısı soğutma kulesinden atılır. Daha sonra yüksek basınç (generatör ve kondenser) kısmı düşük basınç evaporatörüne doğru genişler. Buradan da soğutucu buharlaştırıcısı ile ortam soğutulur.



Şekil 2.2. Absorbsiyonlu soğutma sistemi

2.2.3. Adsorbsiyonlu soğutma sistemi

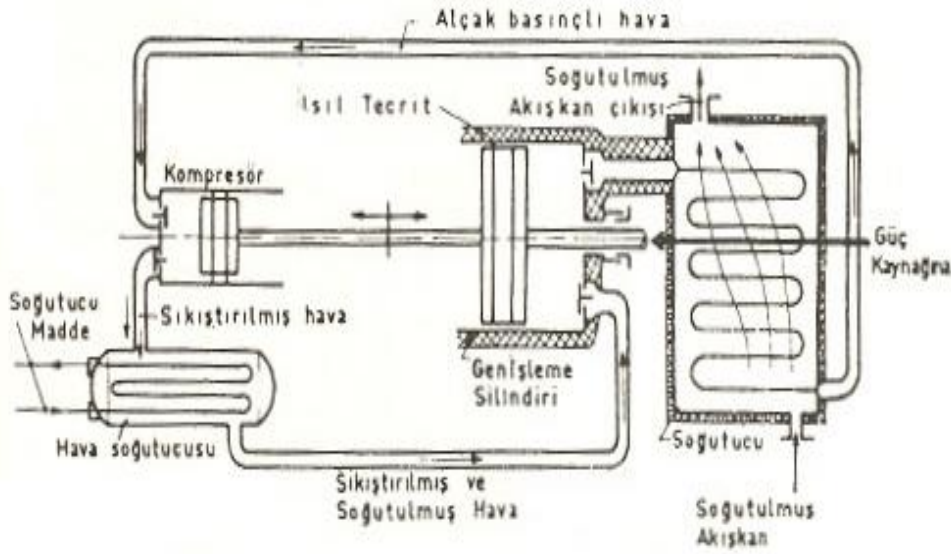
Aktif karbon, silika-gel gibi maddelerin gözenekleri, büyük miktarda gaz emerler. Bu gibi katı maddelerin bu özelliklerinden yararlanılarak adsorbsiyonlu soğutma sistemleri geliştirilmiştir. Şekil 2.3’de basit bir adsorbsiyonlu soğutma sistemi gösterilmektedir. Sistem bir kaynatıcı (aynı zamanda absorber), bir yoğuşturucu ve bir buharlaştırıcıdan oluşmaktadır. Bu sistemde kaynatıcı içerisinde su yerine, amonyağın emilmesini sağlayacak silika-gel bulunmaktadır. Kaynatıcı içerisinde elektrikli ısıtıcılar ve soğutma serpantinleri yerleştirilmiştir. Kaynatıcının ısıtılması ile silika-gel ısınır ve emmiş olduğu amonyak buharlaşarak, silika-gel’in bünyesinden ayrılır. Belirli bir basınca ulaştığında, çıkış valfini açarak yoğuşturucuya geçer. Burada çevreye ısı vererek sıvı hale gelen amonyak, buharlaştırıcı içine akar. Bir süre sonra buharlaştırıcı içindeki şamandıra yükselerek, elektrikli ısıtıcı devresini kapatır. Soğutma suyu vanasını açar ve ısıtıcı soğumaya başlar. Ortamdan ısı çekerek buharlaşan amonyak, elektrikli ısıtıcı kapandığında absorber görevini üstlenen kaynatıcıdaki silika-gel tarafından emilmeye başlanır. Soğuyan kaynatıcı içerisindeki basınç düşümü sayesinde, amonyağın buharlaşması kolaylaşmış olacaktır. Oluşan amonyak buharı, emme valfini açarak, tekrar absorbere döner. Bir süre sonra buharlaştırıcıda sıvı seviyesi düşer ve şamandıra, soğutma suyu vanasını kapatıp, ısıtıcıyı devreye sokar (Yamankaradeniz vd., 2002).



Şekil 2.3. Adsorbsiyonlu soğutma sistemi

2.2.4. Hava soğutma sistemi

Bu sistemin özeliği soğutucu akışkanın tüm sistemde daima gaz halinde kalması ve hiç sıvılaşmamasıdır. Hava soğutma çevrimi açık sistem veya kapalı sistem olmak üzere iki farklı şekilde çalışır. Çalışma prensibi Şekil 2.4’de verilmiştir. Genişleme silindirisinin iki fonksiyonu vardır, bunlardan birincisi ekspansiyon valfi olarak görevi, ikincisi ise kompresör için gerekli sıkıştırma gücünün bir kısmını sağlamakta ve böylece güç gereksinimi azaltmaktadır.

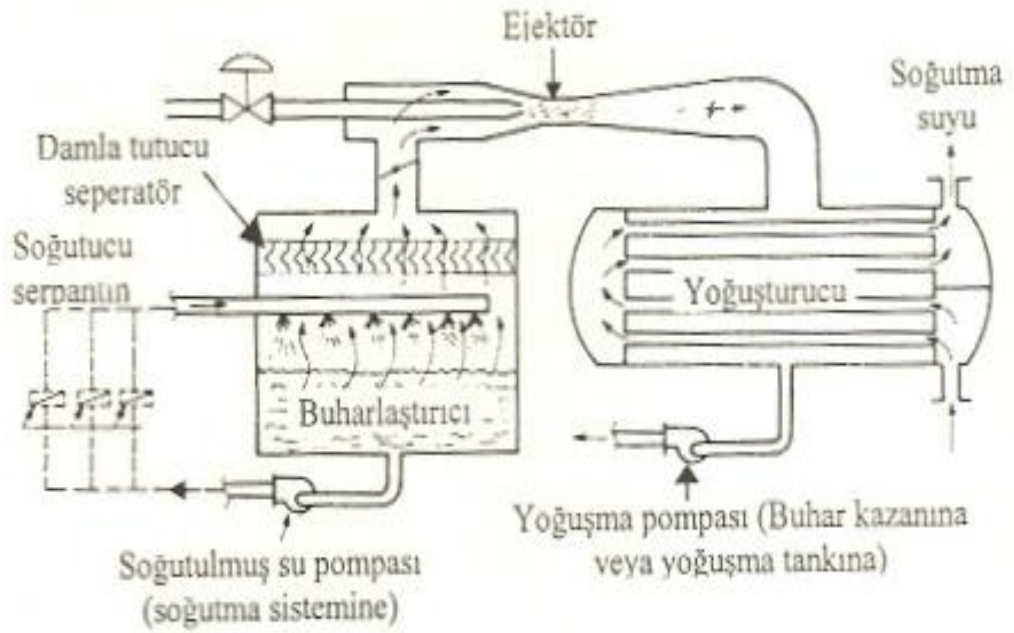


Şekil 2.4. Hava soğutma sistemi

2.2.5. Buhar-jet (ejektör) soğutma sistemi

Buhar-jet soğutma sistemi, yüksek vakum altında ve düşük sıcaklıkta suyun buharlaştırılması prensibi ile çalışan bir sistemdir. Buhar ejektöründen 0.33-2 atm basıncındaki atık buharın 1200 m/s mertebelerindeki bir hızla geçirilmesi ile buharlaştırıcı içinde yüksek değerlerde vakum elde edilir ve meydana gelen vakum etkisi ile soğutma tankı içinde bulunan sıvının bir kısmı buharlaşır. Buhar haline geçmek için gerekli ısıyı da, geri kalan sıvıdan aldığı için, soğutma tankında bulunan sıvı soğumaya başlar. Buharlaşan sıvı, ejektörden geçen buhar ile beraber karışarak vakum altında çalışan yoğuşturucuya geçer (Şekil 2.5.). Soğutma tankının altında bulunan soğutulmuş sıvıda, sıvı pompası aracılığı ile soğutma hücresinden dolaştırılıp tekrar soğutma tankında soğutulmak üzere, tank içinde pülverize edilir. Püskürtmede amaç, sıvının temas alanının artırılması ve

buharlaşmaya yardımcı olması gayesiyle yapılmaktadır. Yoğuşturucuda yoğuşan sıvı, yoğuşma pompası aracılığı ile emilir. Buradan emilen sıvının sıcaklığı, soğutma suyu sıcaklığından $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ daha yüksektir. Bu nedenle pompanın bastığı sıvı, bir ara soğutucuda, soğutma suyu aracılığıyla soğutulur. Soğutma tankında buharlaşan suyu tamamlamak üzere şamandıranın yanına verilir. Ejektörler, seri halde bağlanarak daha yüksek kapasiteli sistemleri yapılmıştır (Yamankaradeniz vd., 2002).

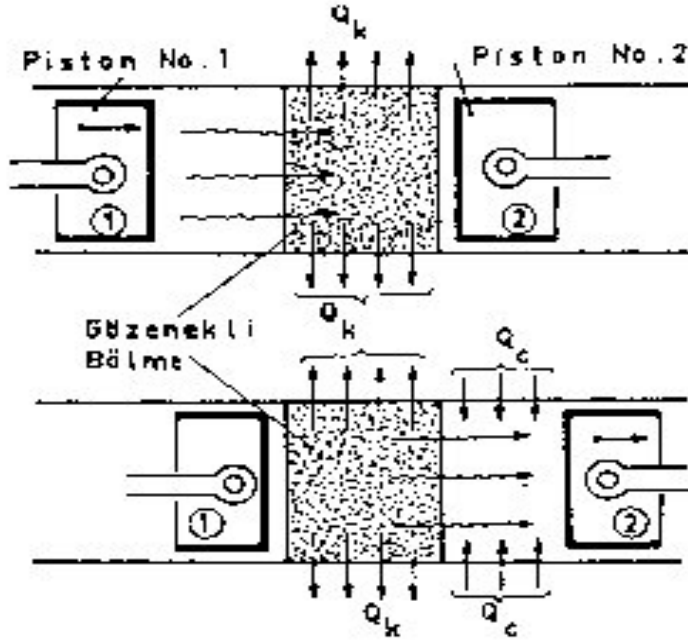


Şekil 2.5. Buhar-jet (ejektör) soğutma sistemi

2.2.6. Sterling soğutma sistemi

Bu sistem, bir silindir ile içersine yerleştirilmiş ve birbirinden gözenekli ve ısı tutumu yüksek bir bölmeyle (Regeneratör) ayrılmış iki pistondan meydana gelmiştir (Şekil 2.6). Sistemin silindir hacminde soğutucu bir gaz (Helyum, Hidrojen, vs.) bulunmaktadır. Başlangıç durumunda 1 No.'lu piston hareket ederek silindir boşluğundaki gazı sıkıştırır. Gözenekli bölmeye nüfuz eden ısınmış gaz ısını bu buraya verir. Bu ısı (Q_k) dışarıdan uygulanacak bir soğutma ile sistemden süratle uzaklaştırılmalıdır. 2 No'lu pistonun silindir boşluğuna doğru ilerleyen basınçlı gaz, 2 No'lu piston geriye doğru hareket ederken silindir boşluğunu doldurmaya devam eder. Bu durumda gaz civardan ısı almaya müsait durumdadır ve 2 No'lu silindir cidarına verilecek ısıyı hemen alabilecektir.

Soğutulmak istenen ortam ile ısı almaya müsait gaz arasında bir ısı geçişi sağlamak suretiyle soğutma işlemi yapılmış olacaktır. (Özkoç, 1985).

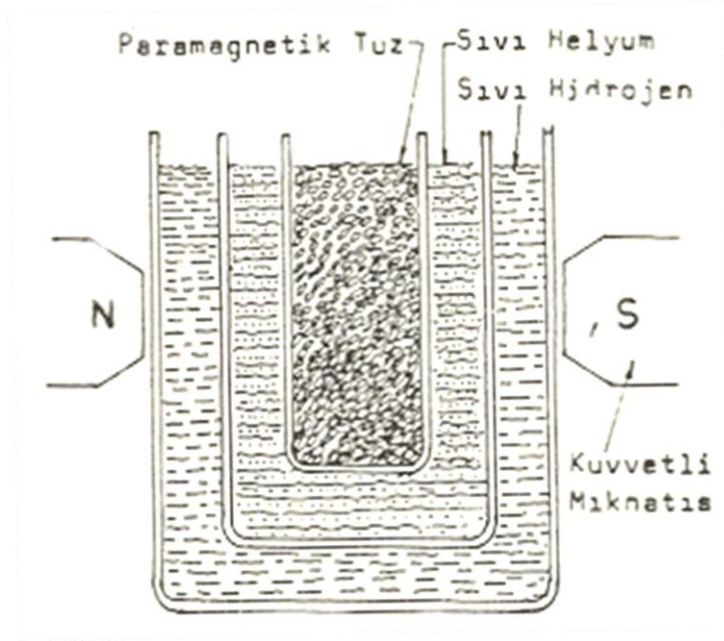


Şekil 2.6. Sterling soğutma sistemi

2.2.7. Paramagnetik soğutma sistemi

Mutlak sıfır sıcaklığı yakın seviyelerdeki sıcaklıklara ulaşmasını sağlamak amacıyla araştırmacılar tarafından kullanılan bir soğutma şeklidir. Paramagnetik maddeler basitçe “mıknatıs tarafından çekilmeyen maddeler” biçiminde tariflenir (Şekil 2.7). Bir paramagnetik madde önceden aşırı derecede soğutulduğunda, diğer maddelerde olduğu gibi moleküllerinin ısı iletimi çok azalır. Bu konumda şiddetli bir magnetik alana sokulduğunda, paramagnetik tuz moleküllerinin elementer birer magnet durumuna geldiği düşünülebilir. Bunu takiben, paramagnetik maddeye uygulanan magnetik alan kaldırıldığında, ısı alışverişi olmadığından (adyabatik soğutma durumu) paramagnetik tuzun sıcaklığı aşırı derecede düşmektedir. Bu olayı, moleküler seviyede bir sıkıştırma çevrimine benzetmek mümkündür. Şöyle ki, uygulanan şiddetli magnetik alan moleküllerin magnetik alan sıkışmasına yol açmakta ve molekül ısısı çevredeki helyum ve hidrojen tarafından alınmaktadır. Magnetik alan kaldırıldığında moleküller üzerindeki magnetik baskının azalması sonucu, aynen buhar sıkıştırma çevriminde

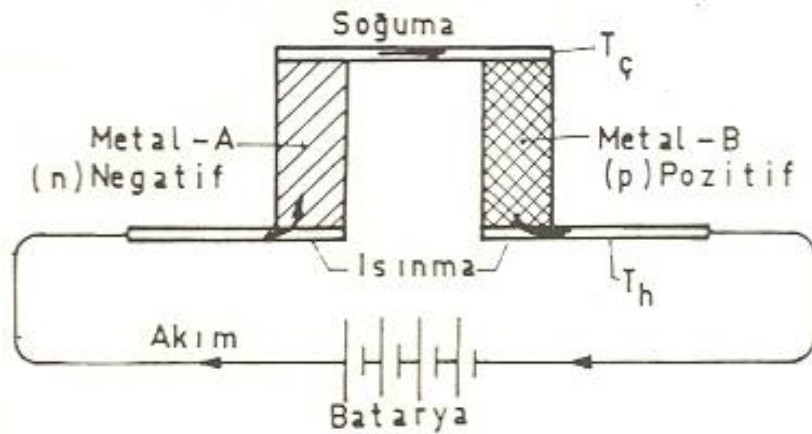
genişleme valfinden sonra olduğu gibi, sıcaklık daha alt seviyelere düşmektedir (Yamankaradeniz vd., 2002).



Şekil 2.7. Paramagnetik soğutma sistemi

2.2.8. Termoelektrik soğutma sistemi

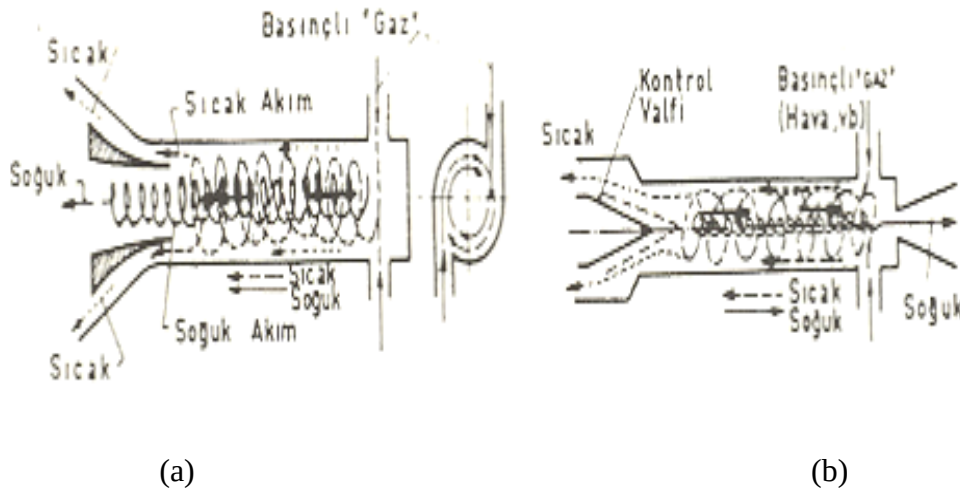
Peltier etkisi diye anılan ve iki farklı metal elemanın meydana getirdiği bir devreye elektrik akımı verildiğinde aksi uçlarda, akımın yönüne göre, ısınma veya soğuma meydana gelmesi olayına dayanan bu çevrimden, soğutma maksadı ile yararlanılabilmektedir (Şekil 2.8.). Hareket eden parçası olmaması yönünden diğer soğutma çevrimlerinden farklıdır (Özkoç,1985).



Şekil 2.8. Termoelektrik soğutma sistemi

2.2.9. Vorteks tüpü

Bu soğutma tekniği hareket eden parçası bulunmayan basit bir borudan ibarettir. Boruya, dışardan teğetsel şekilde verilen basınçlı gaz ses hızına yakın bir hıza ulaşır ve boruyu terk ederken dış zarfa yakın kısımlarda sıcak, çekirdek (eksene yakın) kısımda ise soğuk akımlar haline geldikten sonra; boruyu terk ediş yönüne göre “ Aynı Yönlü Akım” ve “ Ters Yönlü Akım” adlarıyla anılır (Şekil 2.9.). Bu soğutma çevriminde oldukça düşük sıcaklıklar elde edilebilmektedir (Özko1,1985).



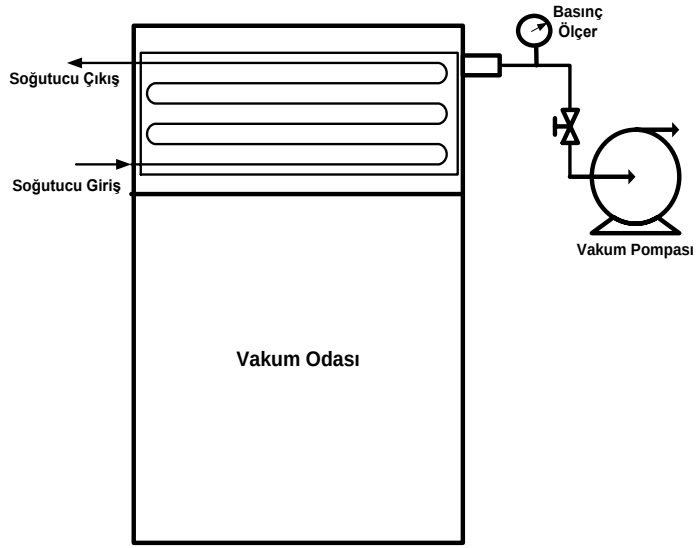
Şekil 2.9. Vorteks tüpü a) Aynı yönlü akım, b) Ters yönlü akım

2.2.10. Vakum soğutma

Vakum soğutma özellikle serbest su içeriği ve yüzey alanı fazla olan ürünler için uygun bir soğutma yöntemidir. Vakum soğutmanın en başarılı olduğu gıda ürünleri yüzey alanının hacmine oranının yüksek olduğu ürünlerdir. Ürün içerisinden su buharlaştığında, suyun buharlaşma gizli ısısı kadar bir soğuma gerçekleştirilmiş olunur.

Vakum soğutma gıdaların soğutulmasında özellikle ön soğutma olarak son yıllarda uygulanan bir soğutma yöntemidir. Sebzelerin soğutulmasında kullanıldığı gibi, son yıllarda pişirilmiş sebzeler ve et ürünleri için de kullanımı yaygınlaşmaktadır.

Temel olarak, vakum soğutma sistemleri, vakum odası, vakum pompası ve yoğuşturucudan oluşur (Şekil 2.10). Vakum odası, yiyeceklerin soğutulması işlemi sırasında, yiyeceklerin konulduğu yerdir ve sızdırmaz olmalıdır. Vakum pompaları ise, vakum işlemini oluşturmak için kullanılan pompalardır. Yoğuşturucular ise, vakum odasından emilen hava içindeki buhar (su) oranı çok büyük olduğunda, yüksek soğutma yükleri için, buharı hava ile birlikte emmek yerine, buharı yoğuşturarak suya dönüştürmek daha pratik ve ekonomik olduğu için tercih edilirler (Wang ve Sun, 2002a).

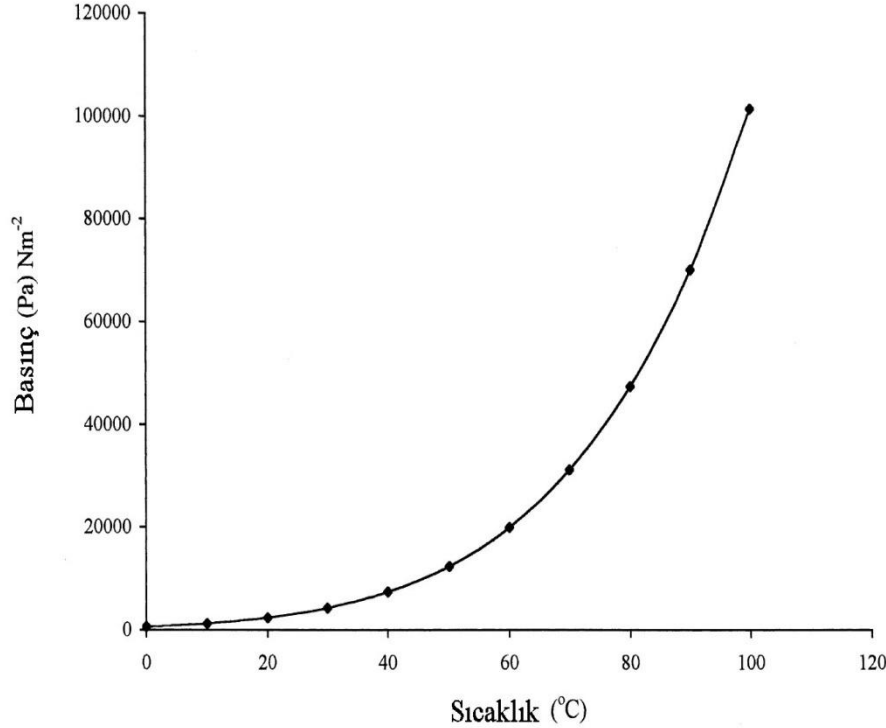


Şekil 2.10. Vakum soğutma sistemi

Vakum soğutma uygulaması birçok avantaj sağlamaktadır; bunlar kısa soğutma zamanı ve buna bağlı olarak enerji tasarrufu, yüksek ürün kalitesi, uzun raf ömrü ve güvenli çalışma tekniği olarak sayılabilir. Buna karşın sınırlı bir uygulama alanına sahiptir. Genellikle marul gibi yapraklı sebzelerde ve mantarlarda uygulanan bir yöntemdir. Ancak son zamanlarda yapılan çalışmalar vakum soğutmanın, et ürünleri, fırın ürünleri, meyve ve sebzeler için uygun bir uygulama olabileceğini ortaya koymuştur.

Vakum soğutma prosesi aşağıdaki gibidir: Şekil 2.11’de görüldüğü gibi sıcaklık, buharlaşma basıncının fonksiyonu olarak değişir. 0°C buharlaşma noktası için doyma basıncı 6,09 mbar’dır. Vakum odası içersindeki basınç atmosfer basıncının altına düşürüldüğünde, su kendiliğinden buharlaşmakta ve suyun buharlaşması için ihtiyaç duyulan enerji, buharlaşma gizli ısısı şeklinde ürünün kendisinden sağlanmaktadır. Çevre ve ürün içersindeki su arasındaki

buharlaşma basıncı farkından dolayı oluşan basınç farkı buharlaşmaya sebep olmakta, böylece ürün içerisindeki suyun buhar olarak çevreye geçmesiyle üründen ısı çekilirken ürünün sıcaklığı düşmektedir (McDonald ve Sun ,2000).



şekil 2.11. Basıncı sıcaklık değişimi (McDonald ve Sun ,2000).

Vakum pompasının görevi, soğutma için gerekli olan üründen suyun buharlaşması için vakum odası içindeki basıncı düşürmek olup, ürünü soğutmayı sağlayamaz. Bu yüzden, vakum odasındaki basıncı, buharlaşmanın başlayacağı en düşük basınç değerine mümkün olan en kısa sürede düşürmek hem kalite, hem de ekonomik nedenlerle zorunludur. Vakum odasındaki basıncın, ürün arzu edilen sıcaklığa gelinceye kadar veya bir noktada sıcaklığın düşmesi duruncaya kadar (ki bu noktada buharlaşma için serbest su kalmaz) düşürölmesine izin verilir.

Uygulama sırasında, vakum odasın içindeki üründen buharlaşan suyun havanın doymasına müsaade etmeden uzaklaştırılması gerekmektedir. Böylece daha etkin buharlaşma ve dolayısıyla verimli soğutma sağlanabilir. Mekanik vakum soğutmada, su buharı soğutma sarmalları üzerinden geçirilir. Burada su buharı soğuk yüzeyler üzerinde yoğuşur ve hava kanalı geçer. Eğer su buharı uzaklaştırılmazsa (yoğuşturulmaz ise) buharı uzaklaştırmak için çok daha büyük pompalara ihtiyaç duyulur. Suyun her bir kilogramı vakum soğutmada kullanılan

düşük basınçlarda yaklaşık 2000 m³ buhara genişler. Bu nedenle vakum soğutma sistemlerinde, vakum pompası önünde su buharını yoğuşturacak bir düzeneğin yapılmasında büyük yarar vardır.

Su buharının vakum soğutma ile üründen uzaklaştırılması esnasında açığa çıkan ısı miktarı yaklaşık olarak su buharının gizli ısısına eşittir. Özellikle %90'ları aşan su içeriğine sahip, mantar, marul, kıvırcık gibi ürünlerin su içeriklerindeki her %1 oranındaki azalma, yaklaşık olarak 5.5-6.0 °C bir soğutma etkisi yaratmaktadır. Gerçekte vakum soğutma ile ürünlerin dondurulmasını sağlamak da mümkündür. Bununla birlikte, çoğunlukla dondurma işlemi pek tercih edilmez, çünkü hücrelerde buz kristallerinin oluşması yapısal bozulmalara neden olmaktadır (McDonald ve Sun, 2000).

Vakum soğutmanın en büyük avantajlarından biri de, soğutma işleminin önceden belirlenen istenilen basınç ve sıcaklıkta durdurulabilme olanağı vermesidir. Endüstriyel anlamda, vakum teknolojisinin bugün uygulandığı alanlar, daha çok tarla mahsulleri ile sayılı sebze ve bitkilerle sınırlıdır. Bununla birlikte yapılan bilimsel çalışmalar, vakum soğutma teknolojisinin çok daha geniş bir alanda tarım ve yiyecek endüstrisinde kullanılabileceğini göstermektedir. Son yıllarda yapılan çalışmalar ayrıca göstermektedir ki, vakum soğutma tarla ürünlerinin bir çoğunda başarılı bir şekilde uygulanabilmektedir (McDonald ve Sun, 2000). Etin vakum soğutma yöntemi ile soğutulması konusunda da birçok çalışma yapılmıştır. Vakum soğutmanın unlu mamullerin soğutulmasına uygulanması konusunda da çalışmalar sürdürülmektedir. Vakum soğutma yönteminin pişirilmiş et ürünlerinin soğutulması gibi alanlarda emniyetli bir soğutma yöntemi olması nedeni ile, genel olarak yiyecek endüstrisi alanından ve bilimsel alanlardan büyük ilgi görmektedir

2.2.11. Vakum Soğutmanın Avantaj ve Dezavantajları

Çizelge 2.1'de vakum soğutmanın farklı gıda sektörler için kullanılmasının avantaj ve dezavantajları özetlenmektedir. Çoğu vakum soğutma aygıtı geri beslemeli bir şekilde çalışır. Şöyle ki, gıda maddesi vakum odasına yerleştirilir; vakum odası basıncı önceki belirlenmiş vakum değerine kadar getirilir; yiyecek soğutulur ve uzaklaştırılır. Oysaki bu üretim yöntemi zaman alır ve verimli

değildir. Bazı durumlarda, vakum soğutma ekipmanları kullanarak ürünler soğuyuncaya kadar yiyecekleri geçici olarak orada tutmak zorunlu olabilir. Bu durumda tutma süresi değişebilir. Örneğin bazı pişirilmiş ürün yığınlarının, yüksek sıcaklıklarda, diğer kimi gruplara göre daha fazla tutulması zorunlu olabilir ki bu her iki ürünün de kalitesi ve güvenliği açısından negatif bir etki yaratabilir.

Örneğin bazı pişirilmiş ürün yığınlarının, yüksek sıcaklıklarda, diğer kimi gruplara göre daha fazla tutulması zorunlu olabilir ki bu her iki ürünün de kalitesi ve güvenliği açısından negatif bir etki yaratabilir. Bununla birlikte son zamanlardaki gelişmelerde amaç, vakum soğutmayı sürekliliği olabilen bir hale dönüştürebilmektir. Soğutulacak ürünler, ürünün soğutulması amacıyla seçilmiş olan taşıyıcılar (kaplar) içine konur. Taşıyıcılar, ard arda silindirik bir kap içerisine bir uçtan yerleştirilirler. Taşıyıcılar içindeki basınç sonra eksenel yönde istenilen değere kadar yükseltilir ve böylece taşıyıcılar içerisinde bulunan gıda maddeleri istenilen değere soğutulmuş olur. Soğutma işlemi bittiğinde, taşıyıcılar silindirik kap içerisinden diğer uçtan alınırlar ve diğer bir grup silindirik kap içerisine yerleştirilir ve bu işlem ard arda tekrar edilir (Şekil 2.12., 2.13.).

Vakum soğutmanın diğer soğutma tekniklerine göre en büyük avantajı, soğutulacak ürünlerin istenilen sıcaklık değerine soğutulması için gerekli olan sürenin çok kısa olmasıdır. Yapılan birçok çalışmada, vakum soğutmanın diğer soğutma yöntemleri olan hava üflenmesi, suya daldırma veya geleneksel soğutma yöntemleri ile soğutma zamanı açısından karşılaştırılması yapılmış ve vakum soğutmanın diğer soğutma sistemleri ile karşılaştırıldığında hızlı bir soğutma tekniği olduğu görülmüştür (McDonald ve Sun, 2000).

Çizelge 2.1. Vakum soğutma sistemlerinin diğer soğutma sistemleri ile karşılaştırılması

Uygulama	Avantajları	Dezavantajları
Sebze ve Meyveler	Raf ömrü uzar Ürünün her noktasında eşit sıcaklık dağılımı ve hızlı soğutma zamanı Düşük işletme maliyeti ve doğru sıcaklık kontrolü	Geniş yüzey alanlı yiyecekler için uygun Soğutma tekniğinin özelliğinden dolayı su ve dolayısı ile ağırlık kaybı Yüksek ilk yatırım maliyeti
Mantar	Raf ömrü 24 saat uzar Üniform sıcaklık dağılımı sağlanır Soğutmadan dolayı bir zarar görmez	Belli bir topluluğa uygulanır Mantar yüzey alanı arttıkça ağırlık kaybı artar Düşük kaliteli mantarlarda renk bozulması olur
Et Ürünleri	Hijyen artar ve ürün daha güvenli olur Mikrobiyal yük sayısı azalır Çok hızlı soğutmadan dolayı finansal olarak bir kar sağlanır ve pişirilmiş etlerin soğutulması için uygundur Soğutma üniteleri bütün halindedir ve işletme giderleri düşüktür.	Uygulama alanları sınırlıdır ve su kayıpları yüksektir Su kaybından dolayı ürün verimi düşüktür Ürünün kalitesi su miktarı azaldığından düşer.
Soslar ve Çorbalar	Kapalı sistemlerin geliştirilmesi ile birlikte, soslar aynı yerde pişirilir ve soğutulur. Soğutmadan dolayı meydana gelebilecek ağırlık kayıpları, diğer vakum soğutma sistemlerine göre daha kolayca kontrol edilebilir Kurutulması zor olan kimi yiyeceklerin soğutulması mümkündür	Soğutmada süreklilik sağlamak zordur Vakum sırasında yiyecekler veya soslar vakum odası duvarlarına savrulabilir
Fırın Ürünleri	Pasta ve kek gibi hassas yiyecekler hızlı soğutulabilir Vakum soğutmanın uygulandığı diğer yiyeceklerle karşılaştırıldığında ağırlık kaybı daha azdır AVS kullanarak ürünün şeklindeki bozulmaların önüne geçilebilir ve ekmeğin kabuğunun raf ömrü uzar Soğutma sırasında kalıp kullanılmasının zorunlu olmamasından dolayı, çoğu ürünün raf ömrü uzar Soğutma süresi kısa olduğundan dolayı, üretim artar	Tatmin edici sonuç alabilmek için, özel Ayarlanabilir Vakum Soğutucular (AVS) kullanılması gerekir Vakum soğutmadan dolayı ürünün aromasının bir kısmı kaybolur
Hazır Gıdalar	Birçok hazır gıda soğutulma işleminde kullanıma uygundur Eğer entegre bir sistem kurulursa, soğutma ortamından ürünün uzaklaştırılması için zaman harcanmaz Kremalı yiyecekler gibi ısıya duyarlı yiyeceklerin soğutulması için uygundur.	Yüksek vakum, yiyeceklerin vakum pompası tarafından çekilmesine neden olabilir Düşük vakum soğutma süresini uzatır Sistemin emniyeti söz konusu olduğunda, geniş bir pozitif ve negatif basınç aralığında çalışmak gerekebilir.



Şekil 2.12. Vakum soğutma sistemi (SVC, 2004)

Diğer soğutma yöntemlerinden farklı olarak, vakum soğutmada soğuma yiyeceğin içinde gerçekleştiği için (buharlaşma nedeni ile yiyecek içindeki sıcaklığın düşmesi), çok sıkı paketlenmiş ürünler de dahil olmak üzere, ürün içerisinde çok homojen bir sıcaklık dağılımı sağlanmış olur ve her yerde sıcaklık düşüşü eş zamanlı olur. Bununla birlikte, ürün içerisinden suyun buharlaşması gerektiği için, buharlaşan suyun üründen uzaklaşmasına müsaade edecek şekilde paketlenmesi gereklidir. Eğer ürün yıkanmış ve ürünün kurutulması da gerekiyor ise, vakum soğutma sadece soğutma amacı ile değil, aynı zamanda ürün içerisindeki fazla suyun üründen uzaklaştırılması için de kullanılmış olacaktır.



Şekil 2.13. Vakum soğutma kapları (SVC,2004)

2.3. Gıdaların Soğutulmasında Uygulanan Yöntemler

Gıda endüstrisinde ürünlere ön soğutma veya doğrudan soğutma için çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Bunlar geleneksel soğutma, su ile soğutma, buzla temas ettirerek soğutma, hava ile soğutma ve vakum soğutma sistemi olarak adlandırılırlar. Bu yöntemlerin her biri kendine özgü avantaj, dezavantaj veya ürünlere göre değişebilen uygulamalara sahiptir.

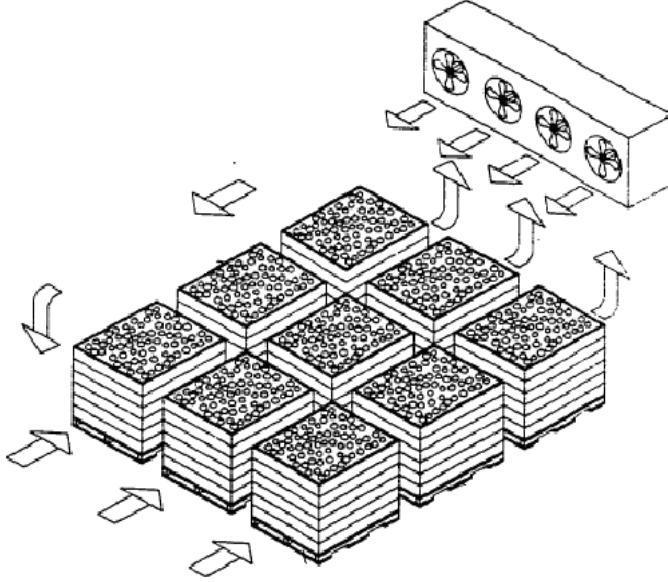
2.3.1. Geleneksel soğutma

Soğutma yöntemleri içerisinde en basit ve en yavaş olan geleneksel soğutmadır. Bu uygulamada ürünler soğutulmuş bir oda içerisinde birkaç saat ile birkaç gün arasında muhafaza edilmektedir. Soğuk hava evaporatörden fanlar yardımıyla oda içersine üflenmektedir (Şekil 2.14). Ürünlerin oda içersindeki yerleşimi hava sirkülasyonunu az etkileyecek ve üründe optimum soğumayı sağlayacak biçimde olmalıdır. Mekanik kompresyonlu soğutma yalnızca düşük solunum hızına sahip ürünlerde tatmin edici sonuçlar vermektedir (Dinçer, 2003).

2.3.2. Su ile soğutma

İsminden de anlaşılacağı üzere su ile soğutma yönteminde ürünler su ile temas ettirilerek soğutulmaktadır. Su havaya göre daha iyi bir ısı transferi sağlamaktadır. Suyun özgül ısı yüksek olduğundan daha yüksek oranda ısı çekebilme ve gıda maddelerinin birçoğunda suyun kullanımı ürüne zarar vermemektedir.

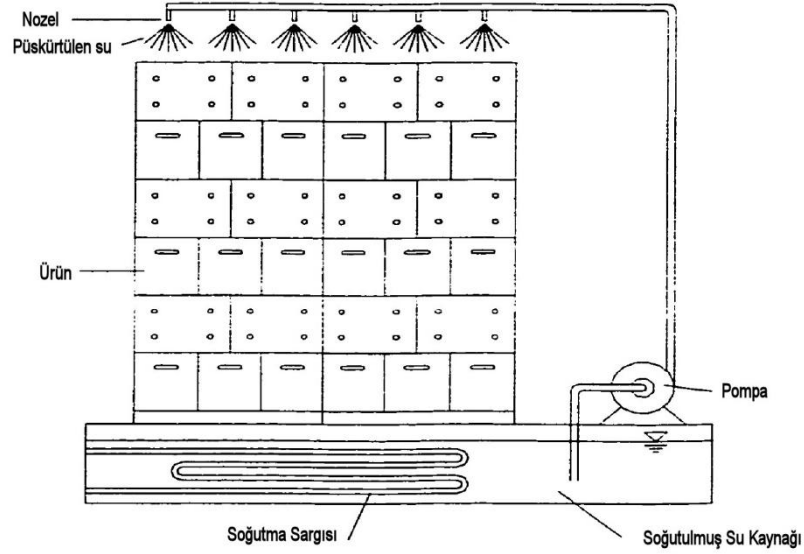
Soğutulmuş su ürün üzerine püskürtülür ve su ürünle temasa geçtiğinde üründen ısı alır ve yüzeyden başlayarak ürün soğumaya başlar. Su ile soğutmak için kullanılan sistem Şekil 2.15’de ayrıntılı olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.14. Mekanik kompresyonlu soğutma sistemi (Rennie, 1999)

Su ile soğutma yöntemi bazı ürünlerin hasat edilme sıcaklığını uygun olan değerlere indirmek için kullanılan etkili bir yöntemdir. Bu uygulamanın çeşitli avantajları vardır, bunlar; kolay uygulanabilmesi, etkili ve hızlı bir yöntem olması ve maliyetinin belli olmasıdır. Sisteme ait dezavantajlar ise;

- Paketleme ve elde ürün işlemede zorluklar,
- Yüksek kontaminasyon riski,
- Atık su problemi (Dinçer, 2003).



Şekil 2.15 Su ile soğutma sistemi

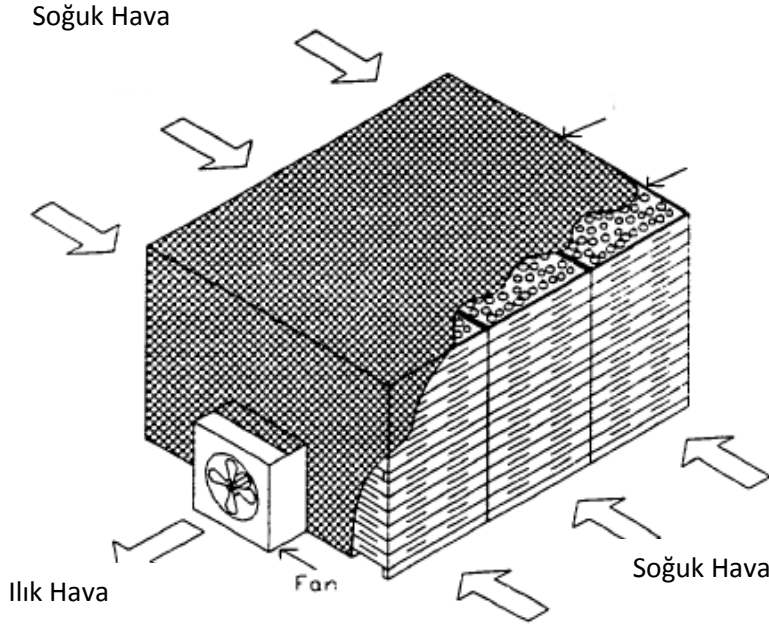
2.3.3. Hava Üfleli Soğutma (Zorlamalı hava ile soğutma)

Hava üfleli soğutma (zorlamalı hava ile soğutma) en çok uygulaması olan yöntemlerden biridir. Soğutulmuş hava ürün üzerine üflenerek üründen ısı çekilmek sureti ile soğutma gerçekleştirilir (Şekil 2.16). Ürünün soğutulması, ürünün türüne, yapısına, soğutma havasının ısı transfer kapasitesine, ürünün ısı transfer parametrelerine ve ürünün paketlenme şekline bağlıdır. Ürünün büyük hacimlerde stoklanması veya ısı iletim katsayısı düşük karton gibi malzemelerle sıkı bir şekilde paketlenmiş olması ısı transferini güçleştirmektedir. Bu nedenle zorlanmış hava üfleli soğutmada ürünün hava ile büyük alanlarda temasının sağlanması gerekmektedir.

Zorlamalı hava ile soğutmanın çok yaygın olarak kullanılmasının en önemli nedenleri, basit, ekonomik, sağlıklı olmasıdır. En önemli dezavantajları ise, ürünün aşırı su kaybetmesi ve sıcaklığın 0°C 'nin altına düşerek üründe donma meydana gelebilmesidir. Hava üfleli soğutulan bazı ürünler şöyle sıralanabilir; et, turuncgiller, üzüm, kavun, karpuz, yeşil fasulye, çilek, erik, şeftali, kiraz, vişne, karnabahar ve kayısı.

Hava üfleli soğutma sistemlerinde hava hızının 5 m/s değerinin üzerine çıkmaması gerekmektedir (Thompson, et al., 2002). Deneysel çalışmalarda hava hızı değerleri genel olarak 0.5 m/s ile 5 m/s arasında seçilmiştir. Bununla birlikte

birçok deneysel çalışmada hava hızı 1 m/s ile 4 m/s arasında seçilmiştir (Kumar et al., 2007).



Şekil 2.16. Zorlamalı hava ile soğutma tüneli (RENNIE, 1999)

2.3.4. Soğutma Sistemlerinde Güneş Enerjisinin Kullanımı

Bu bölümde güneş enerjisinin soğutma amaçlı kullanılması ayrıntılı bir şekilde ele alınacaktır. Fosil yakıtların tükeniyor olması, enerjide dışa bağımlılık, enerji maliyetlerindeki artış ve küresel ısınma gibi çevreci kaygılar yenilenebilir ve alternatif enerji kaynaklarına olan ilgiyi artırmaktadır. Günümüzde tüketicilerde yenilenebilir enerji kaynakları ile ilgili oluşan eğilim, Ar-Ge çalışmalarının artmasını ve yeni teknolojilerin birçok alanda kullanılmasını sağlamaktadır.

Soğutma amaçlı enerji tüketiminin yoğun olduğu zamanlarda ve güneş ışınımı da yüksektir. Bu da güneş enerjisinin soğutma sistemlerinde kullanımı ön plana çıkarmaktadır. Güneş enerjisinin soğutma sistemlerinde kullanılması durumunda, soğutma amaçlı tüketilen geleneksel enerji kaynaklarından sağlanan enerji miktarı, bu kaynakların kullanımına bağlı CO₂ emisyonları ve elektrik şebekelerinde yaz aylarında oluşan pik yükleri azaltılmaktadır. Güneş enerjisiyle soğutma bu nedenle oldukça akılcıdır. Güneş enerjisi ülkemizde de daha çok sıcak su ısıtmada kullanılmaktadır. Bu sistemlerin ısıtmanın yanında soğutma da

yapabilecek şekilde geliştirilmesi durumunda geleneksel enerji kaynaklarının kullanımı azalacak bu da çevreye olumlu katkılar sağlayacaktır.

Güneş enerjili soğutma sistemlerinin, gıdaların soğukta saklanması, buz üretimi ve konfor gibi çeşitli alanlarda kullanımı son zamanlarda hızla gelişmektedir. Bu sistemler yedi sınıfa ayrılmakla birlikte bunların içinde absorpsiyonlu soğutma sistemi düşük sıcaklık uygulamaları için en uygun olanlardan birisidir. Isıl enerjinin doğrudan soğutma etkisine dönüşümünü sağlaması, kapasite kontrolünün basitliği, teçhiz etme kolaylığı ve performans katsayısının yüksekliği güneş enerjisinin bir enerji kaynağı olarak kullanılması durumunda absorpsiyonlu soğutma sistemlerinin diğer soğutma sistemlerine göre avantajlı sayılmaktadır.

Güneş enerjili soğutma sistemleri aşağıdaki şekilde sınıflandırılır:

- Absorpsiyonlu sistem
- Rankine çevrimli mekanik buhar türbinli sistem
- Termoelektrik sistem
- Ejektörlü sistem
- Adsorpsiyonlu sistem
- Brayton çevrimli mekanik sistem
- Gece ısıtım etkili sistem
- PV kullanarak yapılacak sistem

Yukarıda sayılan soğutma çevrimlerinden mekanik buhar türbinli ve absorpsiyonlu sistem ekonomik olarak değerlendirilebilecek düzeydedir. Termoelektrik soğutma sisteminde, kullanılan güneş enerjisi hücrelerin aşırı derecede pahalı olması nedeniyle bugün için kullanım olanağı bulamamaktadır. Ancak uzak ve ulaşımı zor olan bölgelerde kullanımı yine de bir çözüm sayılmaktadır.

Güneş enerjili soğutma sistemleri genel olarak pasif ve aktif sistemler olmak üzere iki ana bölümde incelenebilir (Şekil 2.17). Şekil 2.17’de çevrimin açık-kapalı oluşuna göre sınıflandırılmaları soğutma tekniklerinin; soğutma prosesinin türüne, kullanılan aracı maddenin fazına göre gösterimi yer almaktadır.



Şekil 2.17. Güneş Enerjisiyle Soğutma Tekniklerinin Sınıflandırması (Büyükalaca ve Yılmaz, 2003).

2.3.4.1. Elektrikli Sistemler

Elektrikli soğutma sistemlerinde; fotovoltaik piller (PV) kullanılarak güneş enerjisinden üretilen doğru akım ya doğrudan kullanılabilir veya bir invertör yardımıyla alternatif akıma dönüştürülerek, bu yolla üretilen elektrik bir soğutma sistemini (klasik buhar sıkıştırma veya Peltier) çalıştırmak üzere kullanılmaktadır (Büyükalaca ve Yılmaz 2003).

Ancak her geçen gün PV maliyetleri düşmesine rağmen hala kullanılan fotovoltaik hücrelerin maliyetlerinin yüksek olması ve verimlerinin de diğer sistemlere kıyasla düşük olması bugün için bu sistemlerin ticari olarak kullanımını sınırlandırmaktadır. Isıl güneşli soğutma teknolojileri maliyet açısından düşünüldüğünde, PV elektrikli soğutma teknolojilerine kıyasla daha uygulanabilir görünmektedir (Kesten ve Tereci, 2005)...

2.3.4.2. Isıl Sistemler

Isıl sistemler, genel olarak ısı-mekanik sistemler ve ısı dönüştümlü sistemler olarak iki grupta değerlendirilmektedir.

2.3.4.3. Isıl-mekanik sistemler

Isıl-mekanik sistemlerde güneş enerjisi yardımıyla elde edilen ısı enerjisi bir güç çevrimine (örneğin Rankine) aktarılmakta, güç çevriminin çıktısı ise klasik buhar sıkıştırımlı soğutma çevrimini çalıştırmaktadır (Büyükalaca ve Yılmaz, 2003).

2.3.4.4. Isıl dönüşümlü sistemler

Isıl dönüşümlü sistemler absorpsiyonlu, adsorpsiyonlu ve kurutmalı soğutma sistemleri olarak üç ana gruba ayrılabilir. Kullanılan soğurucunun fazına (sıvı, katı) veya kullanılan çevrimin açık-kapalı olmasına göre değişik uygulamalar mevcuttur (Büyükalaca ve Yılmaz, 2003). Açık ve kapalı sistemlerin her ikisinde de hem katı hem sıvı sorbetler kullanılabilir. Isıl dönüşümlü güneşli soğutma sistemleri olan, absorpsiyonlu soğutma sistemleri, adsorpsiyonlu soğutma sistemleri ve kurutmalı (desisif) soğutma sistemlerinin çalışma şartları ve kapasiteleri hakkında ayrıntılı bilgi karşılaştırmalı olarak Çizelge 2.2.'de gösterilmiştir.

Çizelge 2.2. Isıl Dönüşümlü Güneşli Soğutma Sistemleri Karşılaştırması (Henning vd, 1998).

Proses	Absorpsiyon	Adsorpsiyon	Kurutmalı Soğutma
Hava Koşullandırma Türü	Soğutulmuş Su	Soğutulmuş Su	Koşullandırılmış Hava
Çalışma Gücü Aralığı	35 kW-2 MW (Soğutma Kapasitesi)	70 kW-350 kW (Soğutma Kapasitesi)	3000 m ³ /h-50000 m ³ /h (Hava Debisi)
Kullanılacak Kollektör Türü	Vakum Tüplü Kollektör	- Vakum Tüplü Kollektör - Düz Plaka Tipi Kollektör	- Düz Plaka Tipi Kollektör - Havalı Kollektör
Çalışma Sıcaklık Aralığı	80-110 °C	60-90°C	45-95°C

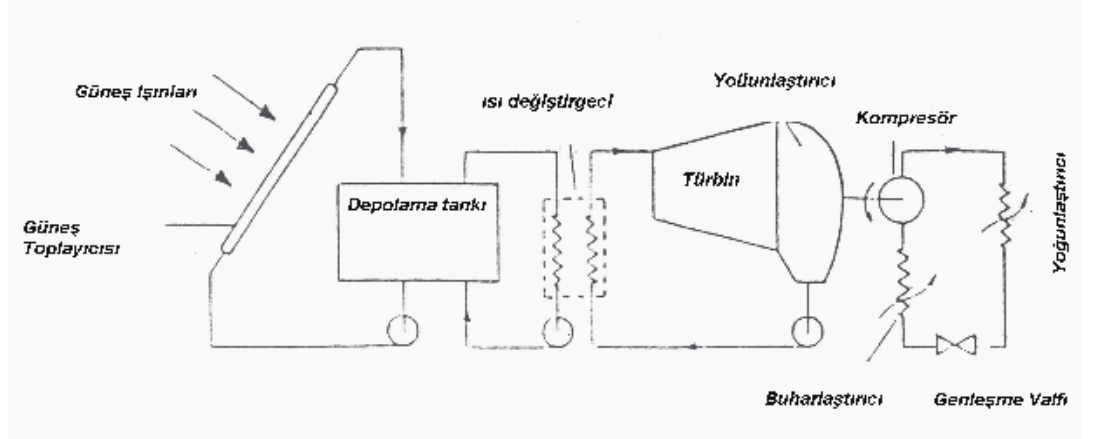
2.3.4.5. Güneş enerjili Rankine çevrimli-buhar sıkıştırırmalı soğutma sistemi

Güneş enerjisiyle çalışan Rankin çevrimli-buhar sıkıştırırmalı soğutma sistemi; bir kuvvet çevrimi ile sıkıştırırmalı soğutma çevriminin birlikte kullanıldığı bir çevrimdir. Güneş enerjili Rankine çevrimi mekanik buhar sıkıştırırmalı bu sistem üç bölümden oluşmaktadır.

1. Güneş toplayıcısı ve depolama
2. Isı makinesi
3. Soğutma sistemi

Güneş enerjisiyle çalışan Rankin çevrimli- buhar sıkıştırırmalı soğutma sisteminin şematik gösterimi Şekil 2.18.'de verilmiştir. Güneş enerjisi kollektörlerinden sağlanan enerjinin bir Rankine çevrimini ve bu çevrimden elde edilen mil işinin de klasik buhar sıkıştırırmalı soğutma çevriminin kompresörünü çalıştırması mümkündür (Büyükalaca ve Yılmaz, 2003, Kuzgun, 1997, Kesten ve Tereci, 2005 ve Yiğit, 1984.)

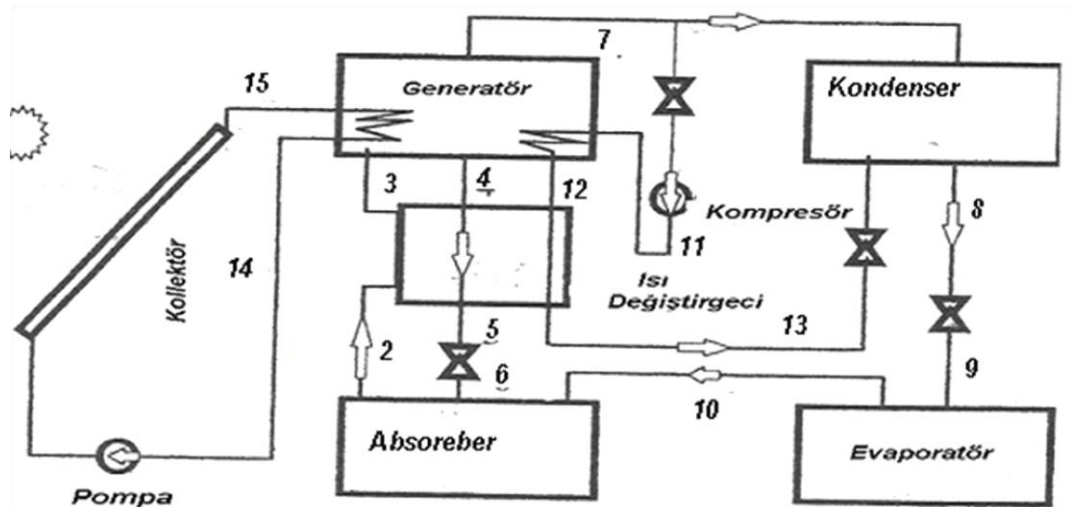
Şekil 2.18 'de gösterilen sistemin çalışması sırasında toplayıcıda güneş enerjisi ile ısınan akışkan önce depo kısmında toplanmaktadır. Buradan ısı değiştirgecine geçmekte ve ısı makinesi kısmından gelen akışkana ısısını transfer ederek geri göndermektedir. Depoda elde edilen enerji ısı değiştiriciler vasıtasıyla türbinde kullanılır. Sistemde ısı makinesi ile soğutma sistemi bölümleri mekanik olarak birleşiktir. Isısı arttırılmış akışkan buhar türbinini çalıştırmakta ve elde edilen güç ile soğutma sistemi kompresörü harekete geçirmektedir. Çalışan kompresör ise soğutucu akışkan buharını sıkıştırılmaktadır. Güç çevriminde dolaşan akışkana sabit basınç altında verilen ısı ile akışkan kızgın buhar olarak kazandan çıkar ve türbine gider. Şekil 2.18'de gösterilen sistemde kuvvet çevriminden elde edilen güç, sıkıştırırmalı çevrimde kompresör gücü olarak kullanılmaktadır.



Şekil 2.18. Güneş enerjili mekanik buhar türbinli soğutma sistemi (Edin ve Türe, 1994)

2.3.4.6. Absorbsiyonlu soğutma sisteminin tanıtılması

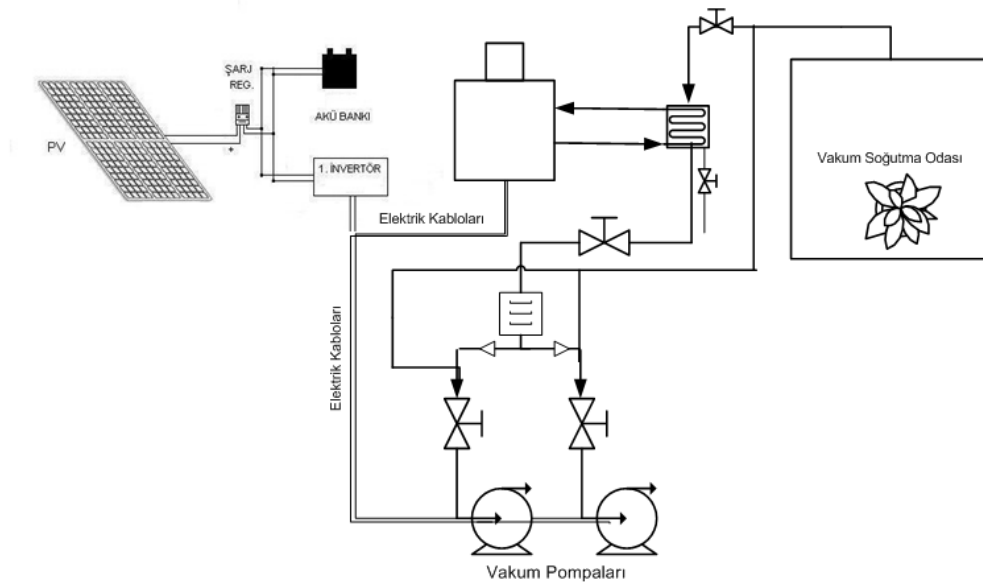
Şekil 2.19’te bir absorpsiyonlu soğutma sistemi gösterilmektedir. Şekilde de görüldüğü gibi, buharlaştırıcıda soğutulmak istenen ortamdan ısısının çekilmesiyle soğutucu akışkan ısı alarak buharlaşır. Buharlaşan madde, ayırıcıdan gelen soğuk-fakir çözelti tarafından absorberde soğurur. Soğutucu maddenin soğurulması ile birlikte zengin çözelti oluşur ve düşük soğutucu basıncından yüksek basınca pompalanarak üreteçe gider. Üreteçte alınan ısıyla akışkan buharlaşır, buhar yoğunlaştırıcıya gider ve burada ısı vererek burada sıvılaşır. Basıncı, kısılma vanasından geçerken azaltılan soğutucu akışkan buharlaştırıcıya geri döner. Absorpsiyonlu soğutma sistemi için gerekli ısı sağlayıcı olarak, güneş enerjisi kullanılabilir.



Şekil 2.19. Kompresörlü absorpsiyonlu yeni çevirim (Wood, 1999)

2.3.4.7. Güneş Enerjisinin Vakum Soğutma Sisteminde Kullanılması

Güneş enerjisinin vakum soğutma sisteminde kullanılması mümkündür. Bunun için en uygun yöntem, PV piller kullanarak elektrik elde edilmesi ve bu elektriğin vakum pompasının tahrik edilmesinde kullanılmasıdır. Şekil 2.20 de güneş enerjisinin vakum soğutucuda kullanılması gösterilmiştir.



Şekil 2.20. Vakum soğutma sisteminin güneş enerjisi ile kullanımı

3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Gıda muhafazası gıda işleme tekniklerinden en önemlisi olarak görülmektedir. Bu teknik ile gıdaların raf ömrünü uzatmak ve renk, tekstür ve lezzet gibi kalite özelliklerini korumak amaçlanmaktadır. İyi bir gıda muhafazası ile, gıdaları mümkün olduğu kadar taze ve güvenli tutulabilmekte, gıdanın kalitesi ve besinsel özellikleri korunabilmekte, bozulmanın önüne geçilebilmektedir (Dinçer, 2003).

Bitkisel ve hayvansal kaynaklı gıdalarda, mikrobiyal aktiviteyi etkileyen iç ve dış parametreler göz önünde bulundurulmalıdır. Gıdalarda dokuyla ilgili olan özellikler iç parametre olarak belirlenmiştir ki bunlar arasında pH, nem içeriği, oksidasyon-redüksiyon potansiyeli, besinsel bileşim, antimikrobiyal bileşim ve biyolojik yapı sayılabilir. Dış parametreler gıdayı çevreleyen ortama ait özelliklerdir ve hem gıdanın kendisini hem de mikroorganizma yükünü etkilemektedir. Bunlar; ortam sıcaklığı, ortamın nem içeriği, ortamda bulunan gazlar ve bu gazların konsantrasyonudur (Dinçer, 2003).

Günümüzde gıdaların muhafazası için çok çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemler fiziksel, kimyasal ve biyolojik olmak üzere üç temel kategori altında incelenebilir. Bunlar kurutma, tuzlama, tütsüleme ve fermantasyon gibi uygulamalar olup Çizelge 3.1’de gösterilmektedir. Bu yöntemlerin kullanılmasıyla yeni gıda ürünleri elde edilebilmektedir.

Soğutma temel olarak gıda ürünlerinin saklanma süresini artırmak için en çok kullanılan yöntemler arasında yer almaktadır. Bu amaçla çok farklı soğutma yöntemleri geliştirilerek gıdaların muhafazasında kullanılmıştır. Her soğutma tekniğinin avantaj ve dezavantajları vardır. Bu soğutma yöntemlerinden en yaygın olarak kullanılan geleneksel soğutma yöntemidir. Diğer taraftan, farklı soğutma yöntemlerine ilişkin çalışmalara da devam edilmektedir. Son yıllarda vakum soğutma sistemine ilişkin birçok çalışma yapılmıştır. Vakum soğutma sisteminin en temel özelliği hızlı bir soğutma yöntemi olmasıdır. Öte yandan, vakum soğutma sisteminin sınırlı gıda ürünleri için uygulanabilmesi çok yaygın olarak kullanılmasının önündeki en önemli engel olarak durmaktadır.

Çizelge 3.1. Yaygın kullanılan gıda muhafaza yöntemleri (Dinçer 2003)

YÖNTEM	ÖRNEK
FİZİKSEL	- <i>Yüksek sıcaklıkta muhafaza</i> • Konserve • Sterilizasyon • Aseptik proses hattı • Pastörizasyon - <i>Düşük sıcaklıkta muhafaza</i> • Önsoğutma • Soğutma ve soğukta muhafaza • Dondurma - <i>Dehidrasyon</i> • Kurutma • Dondurarak kurutma • Ozmotik dehidrasyon - <i>Ekstrüzyon pişirme</i> - <i>Işınlama</i>
KİMYASAL	• Renklendiriciler • Çeşni vericiler • Yoğunlaştırıcı ve jelleştirici ajanlar • Emülsifiyerler • Antioksidanlar • Gıda preservatifler • Asit, baz ve tuz • Besin takviyeleri
BİYOLOJİK	• Fermantasyon

Ön soğutma ve soğutma, sebze ve meyvelerin hasat sıcaklığının kısa bir zaman içinde hasat sonrası ve depolama öncesi yaklaşık olarak optimum depolama ve taşıma sıcaklığına indirildiği bir işlemdir. Bu tür bir uygulamanın ana amacı mikrobiyal ve biyokimyasal reaksiyonların hızını yavaşlatmak ve sırasıyla bozulmayı önlemek, kaliteyi korumak ve raf ömrünü uzatmaktır (Dinçer, 2003).

Vakum soğutmanın prensibi ortam basıncının düşürülmesiyle suyun buharlaşmasına izin vererek ürünün sıcaklığının düşürülmesidir (Jongen, 2005; Sofos, 2005).

Depolama öncesinde ön soğutma işlemi uygulayarak yeni hasat edilmiş ürünlerdeki bozulmanın önüne geçilebilmektedir. Hızlı soğutma teknikleri sadece raf ömrünü uzatmakla kalmaz aynı zamanda soğutucu sistemlerin boyutlarının azaltılmasına olanak tanır. Vakum soğutma yapraklı sebzelerin soğutulmasında oldukça etkili bir yöntemdir ancak ilk yatırım maliyetleri dezavantaj olarak görülmektedir. Rennie (1999) çalışmasında soğutma işlemini marul üzerinde laboratuvar ortamında modifiye edilmiş bir vakum soğutma sisteminde gerçekleştirmiştir. Sıcaklık dağılımı, kütle kaybı ve marulun kalitesi gibi soğutma karakteristikleri 4 farklı soğutma hızı için tanımlanmıştır. Vakum soğutma hızı ile maksimum soğutma noktası arasında matematiksel modelleme çalışmaları yapılmış ve elde edilen sonuçlar göstermiştir ki daha yavaş bir vakum uygulamasına sahip küçük ölçeklerde vakum soğutucuların tasarımı mümkündür (Rennie, 1999). Vakum soğutma aynı zamanda gözenekli yapıdaki gıdalarda da uygulanabilmektedir ve bu sayede gıdaların görsel özelliklerini geliştirdiği saptanmıştır (Jongen, 2002).

Vakum soğutma hızlı bir soğutma tekniğidir ve ağırlığına göre yüzey alanı fazla olan ürünlerde daha etkilidir. Bu yöntemin temeli atmosfer basıncının altına inilmesi sonucunda suyun kaynama noktasının düşmesidir (Bartz and Brecht, 2002).

Jin ve Xu (2006b) vakum soğutma yöntemini pişirilmiş gıdalarda uygulamışlardır. Önceki yapılan çalışmalarda kullanılan modellerden yararlanarak, pişirilmiş etlerin vakum soğutma sırasında buharlaşma olayını ve vakum soğutucuların performanslarını matematiksel olarak incelemişlerdir. Deneysel sonuçlar yapılan simülasyon sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Yapılan çalışmada deneysel ve simülasyon sonuçları arasında 5°C sıcaklık farkı bulunmuş ve kütle kaybı için ise fark %4 olarak elde edilmiştir.

Dostal ve Petera (2004) yaptıkları çalışmada vakum soğutma yöntemini matematiksel olarak incelemişlerdir. Bu amaçla suyu ele almışlar ve kullanılan

malzemelerin boyutlarının, vakum pompasının soğutulan suyun parametrelerindeki değişimi incelemişlerdir.

Zheng ve Sun (2004) vakum soğutma konusunda yapılan çalışmaları incelemişler ve vakum soğutma sistemlerini detaylı bir şekilde açıklamışlardır. Bu çalışmada vakum soğutmanın yapraksı ve gözenekli gıdalarda hızlı bir soğutma tekniği olduğu üzerinde durulmuştur.

Sun ve Zheng (2006) yaptıkları çalışmada vakum soğutma konusunda yapılan çalışmalar hakkında geniş bir literatür taraması vermişlerdir. Vakum soğutma sistemlerinin genel elemanlarını vererek, vakum soğutmanın avantaj ve dezavantajları üzerinde durmuşlardır. Vakum soğutmanın çiçeklerde, sebze ve meyvelerde, ekmek ve pastalarda, balık ürünlerinde, soslarda, pişirilmiş ürünlerde, hazır gıdalarda yapılan çalışmalar konusunda geniş bir özet sunmuşlardır.

Tao et al. (2007) yaptıkları çalışmada vakum soğutma ve depolama şartlarının mantardaki lipit oksidaz, süperoksidaz anyon üretimi, süperoksidaz enzimleri, katalaz, peroksidaz ve polyfenonoksidaz aktiviteler üzerine etkisini incelemişlerdir. Yapılan çalışma sonunda süperoksidaz enzimleri, katalaz, peroksidaz ve polyfenonoksidaz aktivitelerinin vakum soğutmada arttığını diğer yandan süperoksidaz anyon üretimi ve malondialdehit aktivitesinin az da olsa azaldığını gözlemlemişlerdir.

Cheng ve Sun (2006a) yaptıkları çalışmada farklı yöntemlerle pişirilmiş domuz etinin farklı yöntemlerle soğutulması ve bu süreçlerin her birisi için üretim zamanı, kütle kaybı ve domuz etinin özelliklerinin değişimini incelemişlerdir. Kullanılan pişirme ve soğutma yöntemleri şunlardır: suda pişirme-vakum altında soğutma, kuru hava ile pişirme-hava üfleyerek soğutma, kuru hava ile pişirme-soğuk ortamda soğutma, nemli hava ile pişirme-soğuk ortamda soğutma. Yapılan inceleme sonucunda suda pişirme-vakumda soğutma yönteminin en hızlı proses olduğu gözlenmiştir. Aynı zamanda bu yöntemde kütle kaybı ve ürünün kalitesi diğer yöntemlerdeki sonuçlar ile karşılaştırıldığında iyi sonuç vermektedir.

Jin (2007) yaptığı çalışmada pişirilmiş et ürünlerinin vakum soğutulmasında vakum odası içerisindeki sıcaklık değişimi, nem oranı ve buharlaşma miktarını

incelemişlerdir. Yapılan çalışmada vakum ortamında sıcaklığın dalgalanmalar gösterdiği görülmüştür. Aynı zamanda pişirilmiş etin ortalama nem miktarı %71,00 den %60,69'a düşmüştür. Vakum soğutma sırasında pişirilmiş etin ağırlığı %10,31 oranında azalmıştır.

Drummond ve Sun (2006) yaptıkları çalışmada soğutma öncesinde sığır etinin suda (85°C) pişirilmesi, kuru hava ile (120°C) fırında pişirilmesi, ve nemli hava ile (85°C) fırında pişirilmesinin ürünün kalitesi ve verimi üzerine etkisini ele almışlardır. Yapılan çalışmada ürün hava üfleyerek 4°C sıcaklığa soğutulmuştur. Yapılan çalışma sonucunda suda pişirme ve sonrasında vakum altında soğutmanın ürünün kalitesini olumlu yönde etkilediği görülmüştür.

Jin et al. (2006) yaptıkları çalışmada pişirilmiş et ürünlerinin nem oranındaki değişim, soğutma karakteristikleri ve İletim Elektro Mikroskop kullanarak, pişirilmiş ürünün iç yapısındaki kütle transferinin etkisi ve buharlaşma oranını incelemişlerdir. Yapılan deneysel çalışmalarda soğutmanın başlangıcında soğutma oranının daha büyük olduğunu görülmüştür. Vakum soğutmada ürünün yüzey sıcaklığının 4-5 dakika gibi kısa bir sürede 63°C'den 10 °C'ye düştüğü görülmüştür. Soğuma süresinde ortalama nem oranının ise %71 den %60,7'ye düştüğü gözlenmiştir. Etin kütle kaybı oranı ise %10,3 olarak ölçülmüştür.

3.1. Meyve ve sebzelerin vakum altında soğutulması

He et al. (2004), “baş salata” türündeki marulların soğutulma ve saklanma kalitesine, vakumlu soğutmada basınç düşürme oranlarının etkilerini incelemişlerdir. Yaptıkları çalışmada 600 Pa basınca, 15, 30 ve 60 dakikada inmişler ve sonrasında soğutulmuş marullar 1°C, %85 bağıl nemli bir ortamda 2 hafta süre ile depolanmışlardır. Orta derecede basınç düşürme oranı (30 dak) ile soğutulmuş ürünler mikroskopta incelendiğinde, mikro ve ultra yapıları ve ayrıca fiziksel ve kimyasal parametreleri açısından en verimli sonuçların alındığı gözlenmiştir.

Sebzelerin raf ömürlerini uzatmak için vakumlu soğutma sistemleri ile yapılan çalışmalarda gözle görünür bir artış vardır. Hsueh ve Cheng (2007) çok katlı bir sebze olan lahananın vakumda soğutulmasını incelemişler ve lahana benzeri sebzelerin vakum altında soğutulması amacıyla kademeli vakum uygulaması

yöntemini geliştirmişlerdir. Bu işlem esnasında, sebze yapraklarının donmaması ve minimum seviyede su kaybı için iç basınsın 8 mbar'ın altına düşmemesi gerektiğini rapor etmişlerdir.

Marullar tüketime sunulmadan önce genellikle polimerik filmlerle kaplanırlar. Martinez ve Artes (1999), yaptıkları bir çalışmada “baş salata” türü marullarda değişik paketlenme yöntemlerinin vakum altında soğutma üzerine etkilerini incelemişler ve bu tür marulların raf ömürlerini artırmak için kaplanan filmin hava almaması gerektiği sonucuna ulaşmışlardır. Hava geçirmeyen bir filmle kaplanan ve vakum altında soğutulan marullar 2 hafta boyunca 2°C sıcaklıkta ve bunu izleyen 2.5 gün ise 12°C’de saklanabilmektedir. Pazara sunum esnasında vakum altında soğutulan marullarda yaprak damarlarının pembeleşmesini ve yaprağın zedelenmesinin de engellemesi gerektiğinin bildirmişlerdir.

Vakumlu soğutmada en önemli parametrelerden birisi, vakumla beraber ürünlerdeki sıcaklık değişiminin incelenmesidir. Tambunan et al. (2000) yaptıkları bir çalışmada vakum altında soğutulan marulların farklı yerlerindeki sıcaklık değişimini inceleyerek, soğutma için en uygun basınç ve sıcaklık değerlerini bulmuşlardır. Marulun donması veya bozulmasını engelleyebilecek optimum sıcaklık ve basınç değerlerini tespit etmişlerdir. Vakum soğutma işleminde, yaprak veya bütün halindeki marullarda, numunelerin 4 farklı bölgesinde ölçülen sıcaklık değerleri birbirine yakın bulunmuştur.

Bambu filizleri Uzak Doğu’da popüler sebze ürünlerinin arasında sayılmaktadır. Cheng (2006) yaptığı çalışmada hidro-soğutma ve vakum kurutma teknikleriyle desteklenmiş vakum soğutma denemesini bambu filizlerinin soğutmasında kullanmıştır. Bambu filizleri, vakum soğutma sırasında ağırlık kaybını azaltmak için su içerisine batırılmıştır. Filizler su içerisine batırılmış halde vakum odasına yerleştirilmiştir. Bambu filizleri 0.5, 5, 10 ve 20 dakikalığına 133mbar’lık bir vakum ortamına maruz bırakılmıştır. Bambu filizleri çok basamaklı vakum soğutma sistemiyle soğutulmuştur. Kondansatör sıcaklığı -37°C’de, dış hava sıcaklığı ise 23°C’de tutulmuştur. Çalışmanın sonuçlarına göre, vakum soğutma ve hidro-soğutma işlemine maruz bırakılıp soğutulan ve daha sonra vakum altında kurutulan bambu filizlerinin raf ömürlerinde uzama ve kalitelerinde artış meydana gelmiştir.

Meyve ve sebzelerin ön soğutma işlemi için büyük soğutma kapasitesine sahip geniş odalara ihtiyaç duyulmaktadır. Meyve ve sebzelerin ön soğutması sulu soğutma, vakum soğutma, üfleli soğutma ve plakalı soğutma gibi farklı yöntemlerle gerçekleştirilir. Sulu soğutma ya soğuk su püskürterek ya da soğuk su içine batırmak suretiyle gerçekleştirilir. Çapraz kontaminasyon ihtimali yüksek olan bu soğutma türü, ürün üzerine fizyolojik zararlar verebilmektedir. Kuşkonmaz ve brokoli gibi ürünler için yarı-soğuma zamanı (ürün sıcaklığı ile ortam sıcaklığını yarısı) birkaç dakika iken mısır koçanı için yaklaşık yarım saat, lahana için bir saatten fazla olabilmektedir.

Yapraksı sebzelerin ön soğutulmasında vakum soğutma tekniği kullanılabilmektedir. Bu teknik lahana gibi sebzelere uygulandığında dikkat edilmesi gerekir çünkü lahananın iç kısımlarının soğuması yetersiz olabilmektedir. Cheng ve Hsueh (2007) yaptıkları çalışmada çok aşamalı vakum koruma işlemiyle lahananın yüzey ve merkez sıcaklığını azaltmayı denemişlerdir. Vakum ortamın atmosferik ortama geri dönüşü sırasında da, atmosferik havanın sıcaklığının yüksek olması nedeniyle, soğutulan ürünün sıcaklığında artışın meydana geldiğini gözlemişlerdir. Bunu engellemek için kondansatör yardımıyla dış havanın soğutulmasını sağlamışlardır. Cheng ve Hsueh (2007) dış hava sıcaklığı ile kondansatör sıcaklığını sırasıyla 23 ve -37°C olarak rapor etmişlerdir. Çok aşamalı vakum soğutma işlemi ise, vakumu 13.3mbar'da 600 saniye, 10.7 mbar'da 600 saniye, 8 mbar'da 600 saniye tutmak suretiyle gerçekleştirmişlerdir. Bir diğer işlem olarak ise vakum basıncını 600'er saniye 10.7, 8.0 ve 5.3mbar'a ayarlamışlardır. Kontrol olarak da 8mbar'lık vakumda 1800 saniyelik işlemi kullanmışlardır. Düşük basınçlı çok aşamalı vakum soğutma tavsiye edilmemiş olup, 5.3 mbar'lık bir vakumun lahana yüzeyinde buzlanmaya neden olduğu rapor edilmiştir. Lahana ve ıspanakların vakum altında soğutulmasında 8mbar üzerinde çok aşamalı bir vakum soğutmayı önermişlerdir.

Rennie et al. (2001) vakum soğutucuda basınç azaltma oranının soğutma ve depolama sırasında baş salataların kalitesi üzerine etkisini araştırmışlardır. Kullandıkları vakum pompası basıncı atmosfer basıncından 26.663 kPa'lık bir basınca 353 saniye içinde indirmektedir. Dondurarak kurutma sistemini kullanan vakum soğutma sistemi hızlı, orta ve ağır soğutma oranlarında çalıştırılmış ve

26.6 kPa basınçtan 800 Pa basınca ulaşmak için gerekli süre sırasıyla 515, 3945 ve 12226 saniye olarak ayarlanmıştır. Üç farklı vakum oranında soğutulan marullar 16 gün boyunca 1°C'de %85 bağıl nemde depolanmıştır. Depolama sırasında kütle kaybı, görsel kalite ve klorofil flüoresans ölçümü yapılmıştır. Basınç azaltma oranının marulları genel kalitesini etkilemediği görülmüştür. Klorofil flüoresans ölçüm sonuçlarına göre, soğutma işlemi bitki dokusunda stres ortaya çıkarmış fakat bu stres bir veya iki günlük depolama sonunda azalarak yok olmuştur. Çalışma sonucunda, marulların genel kaliteleri göz önüne alındığında, farklı basınç oranlarında vakum soğutmanın herhangi bir avantaj veya dezavantajı gözlenmemiştir.

Sun et al. (2005) yapraklı sebzelerle salatalığın vakum altında (1 veya 2kPa) ön soğutulması için etkin ısı akışı modelini geliştirmiş ve bu modelin nümerik prosedüre sahip olan geleneksel modellere göre daha avantajlı olduğunu belirtmiştir. Soğuma işlemi için termal iletim ile iç buharın uzaklaştırılmasının kombine etkisini içeren diferansiyel denklem elde etmişlerdir. Elde edilen model deneysel verilerle test edilmiş ve tahmin edilen değerlerin deney sonuçlarıyla iyi bir uyum içerisinde olduğu ortaya konmuştur.

Tao et al. (2006) vakum altında soğutmanın ve depolama koşullarının mantarların lipit oksidasyonu, süperoksit anyon oluşumu, süperoksit dismutaz, katalaz, peroksidaz ve polifenoloksidaz aktivitesi üzerine etkisini incelenmiştir. Bu enzimler mantarların antioksidan savunma mekanizmasının parçalarıdır. Vakum soğutma tekniğini kullanarak Tao et al. (2006) mantarları 0.5KPa'da 5 °C'ye kadar soğutmuşlardır. Soğutulan mantarların soğuk odada (4±1°C sıcaklık ve %75 bağıl nem) ve modifiye atmosfer (%5±1 O₂, %3±1 CO₂ LPDE membran, 4±1 °C sıcaklık ve %75 bağıl nem) koşullarında iki haftalık depolama sırasındaki lipit oksidasyonu ile bahsi geçen enzimlerdeki değişimler araştırılmıştır. Vakum altında soğutulan mantarlarda, bitkinin antioksidan savunma mekanizmasını oluşturan bu enzimlerde 1.1-1.2 kat arasında değişen oranlarda artış meydana gelmiştir. Vakum soğutma işleminin mantarlarda lipit oksidasyonunun bir göstergesi olan malondialdehit seviyesi ve süperoksit anyon üretiminde az da olsa azalmaya neden olduğu bulunmuştur. Çalışmada deneysel çalışmanın sonuçları üzerinde durulmuş, bulguların nedenleri irdelenmemiştir. Vakum soğutma sırasında mantarlarda gözenekli yapının gelişmesi ve membranla dokuların

parçalanmasıyla lipit yapılarının ortaya çıkması hakkındaki literatür çalışmaları (McDonald et al., 2000) göz önüne alındığında, bunun muhtemel nedenleri arasında vakum işleminin mantarlarda oluşturduğu fiziksel ve biyokimyasal değişiklik olduğu ortaya çıkmaktadır. Tao et al. (2006) vakum soğutma sırasında mantarlardaki kütle kaybını rapor etmemişlerdir. Kütle kaybından dolayı da ağırlık başına düşen enzim aktivitesinde bir artış meydana gelebilmektedir ki, enzim aktivitesinin kuru ağırlık bazında verilmesiyle daha sağlıklı bir karşılaştırma yapmak mümkün olurdu.

Vakum soğutma gözenekli ve nemli gıdaların hızlı soğutulmasında kullanılan bir yöntemdir. Vakum altında gıdadan uçurulan su için gerekli enerji gıdadan alınır ve bu olay kendinin gıdanın ısısında azalma şeklinde gösterir. Ağırlık kaybı vakum soğutmanın önemli bir görünse de bu dezavantaj gıdaya vakum işlemi öncesinde su ilavesiyle azaltılabilir. Marul, çilek, brokoli ve mantar gibi meyve ve sebzelerin hasat sonrasında bozulmalarını geciktirmek ve raf ömürlerini artırmak maksadıyla başarılı bir şekilde kullanılmıştır. Vakum soğutma, fırıncılık ürünlerinin soğuma sürelerini kısaltmak amacıyla da başarıyla kullanılmıştır. Bu teknik, mikrobiyal gelişmeyi kontrol altına almak ve ürün kalitesini korumak maksadıyla et ürünleri, balık ürünleri ve hazır yemeklerin hızla soğutulmalarında etkin bir yöntemdir ve gelecekte yaygın olarak kullanım potansiyeli bulunmaktadır.

Zhang ve Sun (2006a) pişirilmiş brokoli ve havuç dilimlerini vakum, üfleme, soğuk odada ve plakalı soğutma yöntemlerinin kullanarak soğutmuşlardır. Vakum soğutmada havuçlar için 540 Pa, brokoli için 470 Pa basınçlar kullanılmıştır. Üfleme soğutma ise yaklaşık 3 °C’de sıcaklıkta, 1.92 m/s hızda ve %90 bağıl nemde olan havanın 1 °C’ye ayarlanmış bir odada gerçekleştirilmiştir. Soğuk oda olarak ise 2.5±2.6 °C sıcaklıkta bir buzdolabı, plakalı soğutucu olarak ise -10±1 °C’ye ayarlanmış plakalar kullanılmıştır. Bu üç soğutma yönteminin soğutma verimlilikleri ile sebzelerin soğutma sonrasındaki (tekstür, renk, toplam canlı sayısı, nem, karoten içeriği ve C vitamini gibi) kaliteleri karşılaştırılmıştır. Bahsi geçen dört soğutma yönteminden en etkili olanının vakum soğutma olduğu belirtilmiştir. Vakum soğutmada 65 °C sıcaklıktaki brokolileri 4 °C’ye getirmek için gereken süre yaklaşık olarak 12dakika iken bu süre üfleme, soğuk oda ve plakalı soğutmada sırasıyla 44, 212 ve 244 dakika olarak bulunmuştur. Havuç

dilimlerinin sıcaklıklarını 70 °C'den 4 °C'ye getirmek için gereken süre vakum soğutmada 7.8 dakika olurken, üfleme, soğuk oda ve plakalı soğutmada sırasıyla 44, 193 ve 216 dakika bulunmuştur. Vakum soğutma sırasında ağırlık kaybının sebzelerin üzerine su püskürterek azaltılabileceği ve diğer üç soğutma yöntemiyle kıyaslandığında vakum soğutmanın sebzelerin kalitesi üzerine olumsuz bir etkisinin olmadığı ortaya konmuştur.

3.2. Et ürünlerinin vakum altında soğutulması

Son zamanlarda birçok çalışmada vakum soğutma pişmiş etler için de uygulanmaktadır. Cheng ve Sun (2006b) ortalama 2.2 kg ağırlığındaki pişmiş domuz etinin soğutulmasında vakumlu soğutma ve geleneksel bir metot olan hava akımlı soğutma (air blast cooling) sistemlerini karşılaştırmışlardır. Vakumlu soğutma 470 Pa basınç altında pişmiş et, sulu ve susuz ortamda uygulanmıştır ve sırasıyla %6.99 ile %13.71 oranlarında su kayıpları elde edilmiştir. Özellikle ortama su ilave edilerek yapılan vakumlu soğutma, kalite bakımından hem etkili hem de güvenilir olmuştur.

Cheng ve Sun (2006) yaptıkları bu çalışmada ise 470 Pa basınç altında, tuzlu su ile tamamı kaplanmış pişmiş domuz etini özel bir kapta vakumda soğutulma işlemine tabi tutmuşlardır. Vakum soğutma işlemi pompa durdurulup çalıştırılarak gerçekleştirilmiştir. Pompanın durdurulup çalıştırılması, 2 ile 8 kez tekrarlanmıştır. Aynı numunede çoklu tekrar yapıldığında etin kalitesinin arttığı gözlenmiştir. Dörtlü tekrara kadar kalite artmış, daha sonra sabitlenmiştir. Bu çalışma göstermiştir ki, pişmiş etlerin vakumlu soğutmasında, tuzlu su ortamında maksimum dörtlü ardı ardına yapılan vakum işlemi ürün kalitesinde olumlu sonuçlar vermekte, bunun üzerinde daha fazla tekrar kalitede artış yapmamaktadır. Bu ise zaman ve para kaybına neden olacağından gereksizdir.

Günümüzde soğutmada yoğun olarak vakumlu, hava akımlı ve yavaş soğutma sistemleri kullanılmaktadır. Bu üç teknik, 3-4 kg pişirilmiş jambon etinin soğutulmasında, soğuma oranları, kütle kaybı ve kalite parametrelerinin incelenmesine dönük olarak deneysel bir çalışma ile incelenmiştir (Desmond et al., 2000). Vakumlu soğutma diğer tekniklere göre çok hızlı olması gibi bir avantaj sağlamasının yanı sıra (1.9 saat, 11.7 saat, 14.3 saat) kütle kaybı yönünden

de dezavantajlıdır (%11, %4, %4). Kütle kaybının yüksek olması etin yenmesi sırasında daha sert ve ağızda kuruluk hissi yaratmaktadır. Bunun yanı sıra kalite ve verim açısından vakumlu soğutma diğ r soğutma sistemleri ile karşılaştırıldığında avantajlıdır.

Büyük pişirilmiş domuz bacağı veya jambon (5-6 kg) geleneksel ve vakum soğutma sistemleri ile soğutulmuştur (Desmond et al., 2002). Et içerisine %20 veya %30 oranlarında salamura karışımı enjekte edilmiştir. Soğutmadan sonra etin lif ve kimyasal analizleri yapılmıştır. %30 salamura karışımı ilave edilen pişirilmiş etlerin vakumda soğutma testleri geleneksel metotların kullanıldığı metotlara e değ r verimlilikte sonuçlar verdiğı gözlenmiştir. Mikrobiyolojik testleri de uygun sonuçlar vermiştir.

Eğ r pişirilmiş et marinatlanmış ise ve vakumlu soğutma ile saklanacaksa dikkat edilmesi gereken birkaç nokta vardır. Bu noktalara dikkat edilmezse etin lezzetinde azalmalar olabilmektedir. Houska et al. (2005) yaptıkları bir çalışmada, pişirilmiş et 2 farklı proses ile vakumda soğutulmuştur. Birincisinde, pişmiş et ile sosu beraber vakumda soğutmaya tabi tutulmuş. İkincisinde ise, et pişirilmeden önce sos ile beraber 3 gün boyunca bekletilmiş ve daha sonra pişirilip sosu ile beraber vakumda soğutulmuştur. İkinci proseste kütle kaybı yaklaşık %5.1 olup, bu sonuç geleneksel bir metot olan hava akımlı soğutma ile rekabet edebilir değ rdedir. Ayrıca, ikinci proseste soğutulan etin tadı ve kıvamı birinci metoda göre çok daha iyi bulunmuştur.

Houska et al. (2003) yaptıkları deneysel çalışmada pişirilmiş sığır etinin vakum soğutmasını çalışmışlardır. Etin boyutunun soğutma süresinde parametre olarak etki gösterip göstermediğinin belirlenmesi için zaman-sıcaklık, zaman-basınç ve kütle kaybı ölçülmüştür. Bu çalışmanın ikinci amacı ise vakum soğutma sırasında ette meydana gelen kütle kaybını azaltacak bir metot bulunmasıdır. Bir   z m olarak, etin vakum soğutma işleminden önce salamura içersinde bekletilmesi (marinatlama) düşünülmüştür. 16 deney için ortalama kütle değişimi +%0.48 olarak tespit edilmiştir. Bu, soğutma sırasında kütle kazanımının gerçekleştiğini göstermektedir. Salamura enjekte edilmiş sığır filetosu için kütle %7.7'lik bir artış göstermiştir. 75  C'den 5  C'ye vakum soğutma süresi, bütün örnekler için ortalama 762 saniyedir. Bu  alışma göstermiştir ki vakum soğutma

işleminin sonunda vakum pompası durduğunda ve havalandırma valfinden ortama hızla hava geldiğinde marinat, etin gözenekleri içine işlemektedir. Bu etki hazır gıda endüstride etin istenen doğal sos aromasıyla (ya da yemek sosu) çeşnilendirilmesinde ve daha sonra vakum altında soğutulmasında pratik olarak kullanılabilir olduğunu işaret etmektedir.

Gıda endüstrisinde hazır gıda üretiminin artması, insanları bu tür gıdaları hızlı bir biçimde soğutmak amacıyla yeni teknikler bulmaya itmiştir. Vakumlu soğutma çok hızlı bir prosestir. Soğutma esnasında dışardan herhangi bir kontaminasyon olmaz. Huber ve Laurindo (2006) farklı boyutlarda kesilen sığır, domuz ve tavuk etlerini pişirip vakum altında soğutarak kütle transfer katsayılarını incelemiştir. Sonuçlar istatistiksel olarak değerlendirilmiş ve kütle transfer katsayıları pişirilmiş tavuk göğsünün vakum altında başarılı bir şekilde soğutulabileceğini ortaya çıkarmıştır. Kütle transfer katsayısının örnek hacmine bağlı olduğu bulunmuştur.

Jin et al. (2006a)'nın yaptığı çalışmada vakum altında soğutulan pişirilmiş etlerin hücre yapıları transmisyon elektron mikroskopuyla (TEM) incelenerek nem hareketliliğini gözlemişlerdir. Deneysel sonuçlara göre soğuma oranı başlangıçta oldukça hızlı bulunmuş; ilk 4-5 dakikada sıcaklık 63°C'den 10°C'ye düşerken nem oranı da %71'den %61'e düşmüştür. Gıdadaki serbest suyun içeriden yüzeye hareketinin vakum altında soğutma esnasında iki aşamadan oluştuğunu ve bu aşamalardan ilkinin kimyasal potansiyelin serbest suda neden olduğu içeriden dışarıya olan hareket, diğeri ise buharlaşmanın neden olduğu su buharının hareketidir. Vakum altında soğutulan et ürünlerinde et yüzeyinde ve merkezindeki hücre bütünlüğünün soğutma sonrasında da korunduğu bulunmuştur.

Vakum altında soğutma çok hızlı olmasından dolayı meyve, sebze ve et ürünlerinin soğutma teknolojisinde kullanılma potansiyeli bulunmaktadır. Landfeld et al. (2002) pişirilmiş havuç, patates, maydanoz, kemiksiz sığır, domuz ve tavuk etlerinin vakum altında soğutma sırasında farklı koşullarda kütle transfer katsayılarını incelemişler ve kinetik değişimin matematiksel modellemesini yapmışlardır. Yapılan denemelerde sığır ve tavuk etinin kütle transfer katsayıları örnek hacmine bağlı bulunurken; havuç, patates, maydanoz ve domuz eti için kütle transfer katsayısı örnek hacminden bağımsız olduğu tespit edilmiştir.

Kırmızı et oldukça fazla miktarda yağ ve su içerebilmektedir. Masengi et al. (2001) haşlanmış kırmızı etlerin yağ ve su içeriğini vakum soğutma tekniği ile düşürmeye çalışmışlar ve bu amaçla, haşlanmış kırmızı etleri 400 Pa basınç altında 30 dakika süreyle vakuma maruz bırakarak soğuma ve kısmi kurutma işlemi yapmışlardır. Haşlanan etler vakum işlemi sonrasında 0°C sıcaklıkta 10 gün süreyle tutulmuş, -20°C sıcaklıkta ise 90 gün süreyle bekletilmiştir. Kontrol grubu olarak soğuk odada soğutulan haşlanmış kırmızı et kullanılmış ve bu etin yağ ve su içeriğindeki değişim ile yağda gerçekleşen oksidasyon incelenmiştir. Vakumlu soğutmaya maruz bırakılan haşlanmış etlerde lipid oranında %0.5’lik bir azalma meydana gelirken, yağlarda oksidasyonun bir göstergesi olan tiyobarbütirik asit oranı da soğuk odada soğutulan ete göre daha düşük bulunmuştur.

Midyeler endüstriyel ölçekte işlendiğinde öncelikle sıcak su veya buhara maruz bırakılır ve daha sonra ön soğutma uygulanır. Ön soğutma işlemi, midyeleri soğuk su içine daldırılmasıyla gerçekleştirilir. Huber et al. (2006) yaptıkları çalışmada midyelerin hızlı bir şekilde soğutulması maksadıyla vakum soğutma tekniği kullanılmıştır. Vakum soğutmaya birlikte midyelerin sıcaklıkları yaklaşık 3 dakika içinde 90°C’den 20°C’ye ulaşmıştır. Et ve kabuktan oluşan midyelerin soğutulması sırasında %8’e varan oranda ağırlık kaybı gözlenmiştir. Bu durumda midyelerde her bir %1’lik ağırlık kaybına karşılık yaklaşık olarak 8.7°C’lik bir sıcaklık düşüşü tespit edilmiştir. Midyelerden kabuklar uzaklaştırılıp midye et halinde soğutulduğunda ise her %1’lik ağırlık kaybına karşılık sıcaklıkta 7.5°C’lik düşüş görülmüştür. Vakum soğutma tekniği, hızlı olması ve çapraz-kontaminasyonu sınırlandırması bakımından midyelerin soğutulmasında kullanım potansiyeli olan bir işlemdir. Vakum soğutma düzeneği olarak 13.4L hacme sahip, cam bir desikatör ile pompalama hızı 200 L/min olan bir pompa kullanılmıştır. Kondansatör olarak buz banyosuna gömülü bir tüp kullanılmıştır. Atmosfer basıncından 7mbar’a 420saniye içinde inilmiştir.

Wang ve Sun (2004) vakum soğutmada işlem parametrelerinin pişmiş haldeki iri et parçaları için soğutma performansı üzerine etkileri matematiksel bir model yardımıyla araştırılmıştır. Simülasyon sonuçlarına göre vakum odasının hacmi, pompa hızı ve kondansatör sıcaklığı soğutma oranını önemli seviyede etkilemektedir. Pompa hızının artmasıyla soğutma oranı artmakta, hacim ve

kondansatör sıcaklığı azaldıkça soğutma oranı artmaktadır. Wang ve Sun (2004), sistemde kondansatör kullanılmadığında, oluşacak büyük miktarlardaki su buharını uzaklaştırmak için pompanın zorlandığını rapor etmişler ve çalıştıkları işlem parametrelerinin vakum soğutma sırasında üründe oluşabilecek ağırlık kaybı üzerine etkisinin çok az olduğunu bildirmişlerdir.

Değişik işlem koşullarının (enjeksiyon seviyesi, tamburlama ve yoğurma), paketlenmenin, pişirme ve vakum soğutmanın pişirilmiş bir et ürününün görünen yoğunluğu, gerçek yoğunluğu, gözenek yapısı, sünme ve nem seviyesine etkisini araştıran McDonald ve Sun (2001a), örnekteki gözenek yapısının vakum soğutma hızını doğrudan etkilediğinin göstermiştir. Bahsi geçen işlemlerin ürün üzerinde gözenek yapının gelişmesinde etkili olduğunu; vakum altından tamburlanan etlerin vakum soğutmada daha hızlı soğuduğu gözlenmiştir. Merkez sıcaklığı yaklaşık olarak 72 °C olan et örneklerinin sıcaklıkları 6.5 mbar'lık bir vakum ortamında 4 °C'ye kadar soğutulmuştur. 500 m³/dakikalık bir tahliye hızı kullanılmıştır. Vakum soğutma öncesinde gözenek yapısı fazla olan ürünlerin daha hızlı soğuduğu ve gözenek yapısının oluşumundan sorumlu olan tüm parametrelerin vakum soğutma verimi üzerine etkili olduğu rapor edilmiştir.

Salamura enjekte edilmiş iri et parçalarının pişirilmesi sonrasında soğutulması amacıyla McDonald et al. (2000) vakum soğutma tekniğinin kullanmış ve bu tekniği, üfleli, durağan soğuk havalı ve soğuk suya daldırma yöntemi gibi geleneksel yöntemlerle karşılaştırmışlardır. Et örnekleri 80°C'lik bir fırında merkez sıcaklığı 70°C olana kadar pişirilmiş ve farklı soğutma yöntemleri kullanılmak suretiyle merkez sıcaklıkları 4°C'ye kadar soğutulmuştur. Her biri 3.75kg olan et örneklerinin vakum altında soğutulması diğer yöntemlere göre oldukça hızlı gerçekleşmiştir. Etlerin merkez sıcaklığının 70°C'den 4°C'ye düşmesi için gereken süre vakum soğutmada 2.8saat iken, hava üfleli sistemde 8saat, durağan soğuk havalı sistemde 10.3saat, soğuk suya daldırmada ise 14.2saat olarak bulunmuştur. Vakum altında soğutulan ürünlerde soğutma kaybı fazla olmuştur. Vakum altında soğutulan ürünlerde TBARS cinsinden ölçülen lipid oksidasyonu ise diğer yöntemlere göre daha yüksek olmuş ve yazarlar bu artışı vakum soğutmadaki nem kaybı ile 5-6mbar'da gerçekleşen membran ve kas fibrinlerinin parçalanarak demir gibi (Fe³⁺) prooksidantların açığa çıkmasına

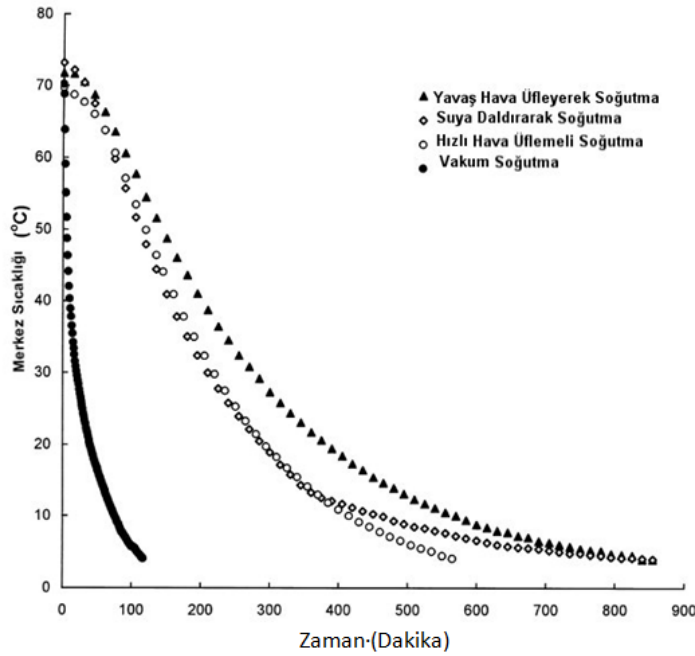
bağlamışlardır. Vakum soğutulan etlerin renklerinin ise diğer yöntemlerle soğutulanlarla kıyaslandığında daha iyi olduğu gözlenmiştir.

McDonald et al. (2001b) vakum soğutmanın pişmiş marine et ürününün kalitesi üzerine etkisi suya daldırarak soğutma tekniği (1 ± 1 °C) ile kıyaslamak suretiyle araştırmıştır. Farklı miktarlarda marinasyona maruz bırakılan et ürünleri 82 °C'lik fırında pişirilip, merkez sıcaklığı 72 °C'ye geldikten sonra vakum soğutma tekniği ile sıcaklığı 4 °C'ye düşürülmüştür. 1.5-2.0 kg arasındaki marine et ürünleri vakum altında 4 °C'ye soğutulması 64 dakika sürerken, bu süre suya daldırmada 300 dakikaya uzamıştır. Vakum altında soğutulan ürünlerin ağırlıklarında ortalama olarak %10.6'lık bir kayıp meydana gelirken, bu oran suya daldırmak suretiyle soğutulan ürünlerde yaklaşık olarak %1.9 olmuştur. Renk ve lezzet bakımından vakumda soğutulan örnekler daha yüksek duyuşsal puanlar alırken, marinasyon miktarı artırılmış ürünlerin vakumda soğutulmasıyla tuzluluk puanları artmış ve istenmeyen duyuşsal puanlar almıştır.

McDonald et al. (2002) vakum soğutma (6.5 mbar), hava üfleli soğutma (1 ± 1 °C hava sıcaklığı, 2 ± 0.02 m/s hava hızı ürün üzerinde), suya daldırma ile soğutma (1 ± 1 °C sirkülasyonlu su banyosu) ve düşük hızda havayla soğutma (1 ± 1 °C hava sıcaklığı, 1 ± 0.02 m/s hava hızı ürün üzerinde) tekniklerinin pişmiş dana eti ürününün termofiziksel özellikleri üzerine etkisini araştırmıştır. Bu çalışmada, 3.75 kg çiğ et 82 °C'lik bir fırın içinde pişirilip merkez sıcaklığı 82 °C'ye getirilmiş ve farklı soğutma teknikleriyle merkez sıcaklığı 4 °C'ye getirilmiştir. Pişmiş ve soğutulmuş ürünlerin ısı iletkenliği, özgül ısı sığası, termal diffüzivite, porozite, gerçek yoğunluk ile görünür yoğunlukları tespit edilmiştir. Vakum altında soğutulmuş ürünlerin ısı iletkenlikleri ile su içeriği ve porozite arasında iyi bir korelasyon bulunmuştur. Görünür yoğunluk azaldıkça ürünlerin ısı iletkenliği azalmıştır. Vakum soğutma sırasındaki nemdeki kayıp ile gözenekli yapının gelişmesi, soğutulmuş ürünlerin termofiziksel özelliklerini önemli seviyede etkilemektedir.

Piştirilmiş etin kalitesi ve gıda güvenliği için hızlı bir soğutma uygulaması piştirme işlemi sonrasında canlı kalan organizma sayısını azaltmaktadır. Sun ve Wang (2000) yaptıkları çalışmada vakum altında soğutmanın (6.5 mbar) yanında soğuk hava üfleli (0-1 °C, hava hızı 2.2 m/s, bağıl nem %90.7), soğuk suya

daldırmalı (1 °C) ve düşük hızda soğuk havada (1 °C) olmak üzere 4 farklı soğutma yöntemi uygulayarak pişirilmiş etin soğutulması sırasında etin ısı transferi özelliklerini incelemişlerdir. Deneysel sonuçlara göre; yaklaşık 6.7 kg'lık pişmiş et parçalarının sıcaklığı 74 °C'den 10 °C'ye vakum soğutma yöntemiyle 117 dakikada düşmüş iken bu süre soğuk hava üfleme, soğuk suya daldırma ve düşük hızda soğuk havalı yöntemlerde sırasıyla 565, 855 ve 855 dakika olarak gözlenmiştir (Şekil 3.1). Diğer yöntemlere kıyasla vakum soğutma farklı ısı transfer özellikleri göstermektedir ki, vakum altında soğutmada soğutma hızı gıdadan suyun uçurulmasına bağlı iken, diğer üç soğutma yönteminde soğutma hızı gıdanın ısı iletkenliğine ve ortamdan gıdaya olan yalıtım şeklindeki ısı transferine bağlı olmaktadır.



Şekil 3.1. Pişmiş etlerin dört farklı yöntemle soğutulması sırasında zamana bağlı olarak merkez sıcaklıklarındaki değişimler (Sun and Wang, 2000).

Wang ve Sun (2002b), %10, 20, 30 ve 40'lık tuz çözeltisi enjekte edilmiş ve daha sonra fırında pişirilmiş iri et parçalarının soğutulması amacıyla vakum soğutma tekniğini kullanmıştır. Saatte 250 m³ hava çekme hızına sahip iki adet vakum pompası ile buhar kondansatörü kullanan vakum soğutma sistemi kullanılarak, başlangıç sıcaklığı 74 °C olan 5-8 kg arasındaki et parçalarının iç sıcaklıkları 10 °C'ye 6.5 mbar'lık vakum altında 2 saatte ulaşmıştır. Vakum soğutma sırasında, et parçalarının başlangıç ağırlıklarının soğuma hızı üzerine

etkisi önemsiz bulunmuştur. Vakum soğutma et parçalarında ağırlık kaybına neden olmuştur. Ağırlıktaki her bir %1'lik kayıp sıcaklıkta 6-6.5 °C'lik bir azalmaya neden olmuştur. Et parçalarının sıcaklıkları 74 °C'den 10 °C'ye getirildiğinde ağırlık kaybı yaklaşık olarak %9-12 olmuştur. Vakum soğutmada oluşan ağırlık kaybı marinasyon seviyesinin değiştirilmesiyle azaltılmasının mümkün olabildiği Wang ve Sun (2002a) tarafından belirtilmiştir.

Sun ve Wang (2006) vakum altında soğutulan pişmiş iri et parçalarındaki eş zamanlı transient ısı ve kütle transferi matematiksel olarak modellemiş ve bu modeli deneysel çalışmalarla sınımlamışlardır. Pişmiş et ürünleri mikrobiyal gelişmenin önlenmesi için pişirme işlemi sonunda hızla soğutulmalıdır ve vakum soğutma su içeriği yüksek ve gözenekli yapıya sahip bu gibi ürünlerin hızlı bir biçimde soğutulabilmeleri için ideal bir soğutma yöntemidir. Sun ve Wang (2006), 5.3 kg ağırlıktaki et ürünlerinin merkez sıcaklığını 74 °C'den 10 °C'nin altına getirecek vakum soğutma işlemi için merkez ve yüzey sıcaklıklarını en yüksek 2.5 °C'lik bir sapmayla tahmin edebilecek bir model ortaya koymuşlar ve süreyi 17-18 dakika, ağırlık kaybını da %8.7 olarak hesaplamışlardır.

Otuzaltı adet dana eti örneği farklı nem içerikleri elde etmek amacıyla, suya daldırma, vakum altında, hava üfleme ve soğuk odada soğutma gibi dört farklı yöntemle soğutulmuş ve farklı nem içeriklerine sahip örneklerin renkleri Kırmızı-Yeşil-Mavi (RGB) ve Hue-Saturasyon-Intensite (HSI) skalaları kullanılarak bilgisayar ortamında incelenmiştir (Zheng et al. 2006). Örneklerin renk ve nemleri arasındaki ilişki kısmi en küçük kareler yöntemi (PLSR) ve nöral network (NN) modelleriyle ortaya konmuştur. Çalışma, ortaya konulan modellere en büyük katkıyı saturasyonun yaptığı ancak etlerin renk ve nem içerikleri arasındaki ilişkiyi ortaya koymakta saturasyonun tek başına yeterli olmadığı şeklinden sonuçlanmıştır.

3.3. Çiçek ve benzeri ürünlerin vakum altında soğutulması

Brosnan and Sun (2001) sebzelerin vakum altında soğutmalarında elde edilen başarılı sonuçlardan esinlenerek, zambak çiçeğinin raf ömrünü uzatmak için vakumlu soğutma tekniğini kullanmışlardır. Ürünün ömrü iki şekilde gözlenmiştir; soğukta depolanarak ve depolama işlemi uygulamadan. Sonuç

olarak, kesilip satışa sunulan zambak benzeri çiçeklerin raf ömrünü uzatabilmek ve kütle kaybının önleyebilmek için, vakumlu soğutma öncesinde çiçeklere belirlenen miktarlarda su serpilmiş ve bu şekilde başarılı sonuçlara ulaşılmıştır. Bu tür kesilerek satışa sunulan çiçeklerin, satış noktalarına uzak noktalardan geldikleri dikkate alınır ve depolama bölmelerinde vakumlu soğutmalı sistemlerde saklandığı düşünülürse, bu işlemin çiçeklerin raf ömürlerini belirgin bir şekilde uzatabildiği düşünülebilir.

Yeni hasat edilen bitkilerdeki %65-95 arasındaki suyun bir kısmının vakum soğutma esnasında kaybolması bitkinin görünür kalitesini olumsuz etkileyebilmektedir. Brosnan and Sun (2003) bunu dikkate alarak, kesilip satışa sunulan çiçeklerde raf ömürlerini artırmak için, farklı basınçlardaki kütle kayıp oranlarının önemini vurgulamışlardır. 374 mbar/dak gibi hızlı basınç düşmelerinde kütle kaybı %5.4 civarında bulunurken, 8.5 mbar/dak gibi yavaş basınç düşmelerinde %3.4 bulunmuştur. İncelen çiçekler için elde edilen sonuçlar vakum indirgeme oranının kütle kaybı üstüne etkisi olduğunu göstermiştir.

Sun and Brosnan (1999) taze kesimi yapılmış nergis çiçeklerinin soğutulması amacıyla vakum soğutma tekniğini kullanmışlardır. Vakum altında soğutulan nergislerin vazodaki ömürlerinin arttığını, çiçeklere su püskürtmenin soğutma hızını azaltmadığını, çiçeklerin vazodaki ömürleri üzerine herhangi bir negatif etkisinin olmadığını ve de ağırlık kaybının oluşmadığını bildirmişlerdir. Oda sıcaklığındaki nergis çiçekleri 5.33 mbar'lık bir vakum altında soğutulduğunda 65 saniye içinde sıcaklığın 2 °C'ye düştüğü rapor edilmiştir. Vakum altında soğutulan nergislerin oda sıcaklığında vazo ömürlerinin 3-4 gün olduğu, 2 °C'de depo edildiğinde ise bu ömrün 10 güne kadar uzadığı gözlenmiştir. Vakum hücresinde nergislere su püskürtüldüğünde ise soğuma süresi 40-45 saniye arasında olmuş (püskürtme olmazsa bu süre en az 50 saniye) ve ağırlık kaybı yaklaşık olarak yarı yarıya azalmıştır.

3.4. Vakum altında soğutmayla ilgili modelleme çalışmaları

He and Li (2003) vakum soğutmada kütle azalmasını ve maddenin farklı bölmelerindeki sıcaklık değişimlerini algoritma kullanılarak incelemişlerdir. Matematik modellemede, sıcaklık, basınç ve kütle kaybı değişimlerinin yanı sıra,

pompalama hızı, hücre hacmi ve başlangıç sıcaklıkları da belirlenmiştir. Modelleme sonuçları, deneysel sonuçlar ile karşılaştırılarak sonuçlar doğrulanmıştır.

Vakumlu soğutma hızlı bir prosestir, fakat soğutulmak istenen gıdada nem kaybına neden olur. Jin and Xu (2006b)'nın yaptıkları bir çalışmada vakum altında soğutulmuş pişmiş etlerdeki nem hareket modeli oluşturup, deneysel verilerle modeli test etmişlerdir. Pişirilen etler silindirik olarak kesilmiş, vakum altında sıcaklık değişimi, nem miktarı ve buharlaşma miktarları belirlenmiştir. Yapılan modelleme sonuçları deneysel sonuçlarla karşılaştırıldığında en yüksek sıcaklık farkı 10 °C bulunmuştur. Bu sonuçlar, prosesteki nem hareket modelinin pişirilmiş ette basınç ve sıcaklık değerlerini tahmin etmekte kullanılabildiğini ve vakum odasının boyutunun örnekteki su kaybı düzeyinde etkili bir parametre olduğunu ortaya çıkarmıştır.

Wang ve Sun (2002c) bir vakum soğutucunun performans analizini gerçekleştirmek için vakum hücresindeki havanın ve buharın kütle korunumu prensibine dayalı olarak matematiksel bir model kullanmışlardır. Vakum altında gıdadan uzaklaştırılan buhar ile vakum pompası ve kondansatörden uzaklaştırılan buhar, buharın kısmi buhar basıncından farklılıklar meydana getirmektedir. Pompanın çektiği hava ile içeri giren hava, havanın kısmi basıncını değiştirmektedir. Wang ve Sun (2002c), bu parametreleri kullanarak geliştirdikleri matematiksel modeli, pişmiş et parçalarının soğutulmasında denemişler ve vakum hücresinin basıncı 12000 ve 2200 Pa arasında olduğunda modelde en fazla sapmanın oluştuğu gözlemişlerdir.

Wang ve Sun (2002c) yaptıkları bir diğer çalışmada sonlu elemanlar yöntemini kullanarak pişmiş etin üç boyutlu, transient, kütle ve ısı transferini modellemişlerdir. Geliştirilen model, gıdanın içinde buhar oluşumu sırasındaki kütle transferi ile iç ısının oluşumundaki ısı transferinin tanımlayan iki alt modelden oluşmaktadır. Etin fiziksel özellikleri ile etin vakum soğutma sırasındaki sünmesindeki değişiklikler de modelin içine entegre edilmiştir. Tuğla şeklinde 5.3 kg ağırlığındaki pişmiş et parçalarının merkez sıcaklığı vakum soğutmayla 17-18 dakika içerisinde yaklaşık 74 °C'den 10 °C'ye getirilmiştir. Yazarlar, bu sürenin 0 °C'de, hızı 3 m/s olan soğuk havanın üflemesiyle

gerçekleştirildiğinde 330 dakika olduğunu rapor etmişlerdir. Wang ve Sun (2002c) sonlu elemanlar yöntemiyle tahmin edilen merkez, yüzey ve ortalama sıcaklık değerleri ile deneysel yöntemle bulunan sıcaklık değerleri arasındaki farkı 2.5 °C'nin altında bulurken, ağırlık kaybı bakımından ise bu farkın yaklaşık %7.5 olduğunu tespit etmişlerdir.

Sun ve Hu (2002) yaptıkları çalışmada Sayısal Akışkanlar Dinamiği (CFD) kodu kullanmak suretiyle pişmiş etlerin vakum altında soğutulması sırasında merkez sıcaklığı ve ağırlık kaybı profilini tahmin etmişlerdir. Çapı 150 mm, uzunluğu 380 mm olan silindir şeklinde pişmiş domuz etlerinin sıcaklıkları 75 °C'den 4 °C'ye vakum soğutma ünitesinde indirilmiştir. CFD modeli vakum altındaki etlerde (sıcaklık dağılımı, ağırlık kaybı ve su içerikleri gibi) ısı ve kütle transferinin eş zamanlı olarak tahmin etmeye yaramaktadır. Sayısal simülasyon silindir şeklindeki etlerin vakum altında soğutulmasıyla test edilmiştir.

Sun ve Hu (2003) CFD simülasyon yönteminin kullanmak suretiyle vakum soğutma işlemi sırasında gözenekli gıdalardaki ısı ve kütle transferinin incelemişlerdir. Vakum soğutma ünitesinde, çapı 150 mm, uzunluğu 380 mm olan silindir şeklinde pişmiş domuz etlerinin sıcaklıkları 75 °C'den 4 °C'ye indirilmiştir. Geliştirdikleri modele, basınç, sıcaklık, gıdanın yoğunluğu ve su içeriği, ısıl çökme (shrinkage) ve anizotropisinin ısı ve kütle transferine etkisi dahil edilmiştir. Model, silindir şeklindeki pişmiş et parçalarının vakum altında soğutulmasıyla doğrulanmış ve tahmin edilen değerlerle gerçek değerler arasında iyi bir örtüşme elde edilmiştir.

3.5. Vakum altında soğutmayla ilgili diğer çalışmalar

Zhang ve Sun (2006b), pişirilmiş pirincin soğutulması için vakum soğutma tekniğini kullanmışlardır. Bu çalışmada, vakum soğutmanın verimi ile üfleli soğutma, plakalı soğutma ve soğuk odada soğutma gibi geleneksel soğutma sistemlerinin verimleri karşılaştırılmıştır. Pişmiş pirinç ağırlığı, son vakum basıncı, kaynama süresi, fazlalık su ve su püskürtme gibi faktörlerin vakum soğutma süresi ve pirinç kalitesi üzerine etkisi araştırılmıştır. 1.1 kg pişmiş pirincin sıcaklığını 80 °C'den 4 °C'ye getirmek için gereken süre vakum soğutmada (4.7 mbar) 3.85 dakika, üfleli soğutmada (1 °C) 62.5 dakika, soğuk

odada (2.5 °C) 180.55 dakika, plakalı soğutucuda (-7.5 °C) 89.60 dakika olarak bulunmuştur. Pirinçteki ağırlık kaybı vakum, üfleli, soğuk odada ve plakalı soğutmada sırasıyla %11.42, %5.65, %4.12, %0.04 olarak tespit edilmiştir. Pirincin vakum altında soğutulması sırasında ağırlıktaki her %1'lik kayıp, sıcaklığında 6.7 °C'lik bir düşüşü meydana getirmiştir. Çiğ pirincin ağırlığının iki katına çıkarılmasıyla hazırlanan pişmiş pirincin vakum altında soğutulması için gereken süre 3.85 dakikadan 8.52 dakikaya çıkmaktadır. Pişmiş pirinçlerin yüzeyine su püskürtüldüğünde soğuma süresi 4.86 dakikaya yükselirken, pirincin soğutulmasında herhangi bir ağırlık kaybına neden olmamıştır.

Cheng ve Lin (2007)'in ise yaptıkları bir çalışmada suyun vakumlu soğutma sisteminde morfolojik değişimi incelemişlerdir. Suyun sıcaklığının vakum altında ilk 120 saniyede fazla değişmezken, izleyen 67 saniyede hızla bir şekilde düştüğü gözlenmiştir.

Cheng and Sun (2005) soğuk odada, hava üfleli sistemde ve vakum altında soğutma tekniklerinin domuz butlarından yapılmış jambonlarının fiziksel ve kimyasal özellikleri arasında ilişkiyi ortaya koymak için kısmi en düşük kareler yöntemiyle regresyon (PLSR) tekniğini kullanmıştır. Fiziksel matriksteki değişikliklerin yaklaşık %70'ini kimyasal matriksin açıklayabildiği sonucuna ulaşmışlardır. Soğutma türünün jambonların fiziksel özelliklerini etkileyebildiğini belirtmişlerdir. Yağ ve bağdokularından arındırılmış olan et örneklerine tuz, sodyum nitrit, sodyum tripolifosfat, şeker ve sodyum askorbattan oluşmuş marinasyon solusyonu enjekte edilmiş, 4 °C sıcaklıkta vakum tamburundan 3 saat işlendikten sonra bu sıcaklıkta 21 saat bekletilmiştir. Daha sonra örnekler elips şeklinde kılıflara doldurulup (yaklaşık 2.2 kg) -18 °C'de dondurulmuştur. Isıl işlem öncesinde örnekler 4 °C sıcaklıkta çözündürülüp, merkez noktası 4 °C'den 72 °C sıcaklığa çıkana kadar ısıtılmıştır. Yukarıda belirtilen üç farklı soğutma işlemi ile etler merkez noktası 4 °C sıcaklığa ulaşana kadar soğutulmuştur. Vakum soğutma işlemi son basınç 6.5 mbar olarak ayarlanmıştır. Denemeler sonucunda su bağlama kapasitesi, sertlik, elastikiyet, sakızımsı yapı ve Hunter kırmızı renk değeri a gibi bazı fiziksel özelliklerin varyasyonlarının örneklerin su, kurumadde, tuz, kül, protein, yağ gibi kimyasal özellikler ile soğutma türüne açıklanabileceği tespit edilmiştir. Soğutma türü değişikçe ürünlerin fiziksel özelliklerinde de

değişmeler ortaya çıkmıştır. Örneğin su içeriğinin artmasıyla vakum altında soğutulan jambonların ‘tenderness’ özelliğinin iyileştiği görülmüştür.

Cheng ve Sun (2007) üç farklı paketlenme türü (pişirme filesiz, tek örgülü ve çift örgülü file) ile paketlenerek, su içinde haşlandıktan sonra vakum altında soğutulan jambon türü bir et ürününün (domuz eti) fiziksel ve kimyasal özelliklerini araştırmışlardır. Etlerin fiziksel özelliklerinin ise bu üç paketlenmeden etkilenmediği bildirilirken, fileli paketlenerek haşlanıp vakum altında soğutulan ürünlerde ete ait pigmentlerin daha iyi korunduğu görülmüştür. Jambon türü et ürünlerinin vakum altında soğutulmasında suyun buharlaşmasını kolaylaştırmak amacıyla pişirme filelerinin ayrılması tavsiye edilmektedir. Cheng and Sun (2007) tek örgülü filelerin vakum soğutmada performansının çift örgülüye göre daha yüksek ve fiyat bakımından çift örgülü fileye göre daha avantajlı olduğunu bildirmiştir.

McDonald and SUN (2001c) yaptıkları çalışmada (6.5 mbar) vakum altında soğutulan (salamura enjekte edilmiş ve ağırlığı 3.75 ± 0.5 kg olan) pişirilmiş et ürünlerinin gerçek ve görünür yoğunlukları ile porozite büyüklüğü dağılımını ölçmüşlerdir. Klasik yöntemlerle soğutulan ürünlerler kıyaslandığında vakum altında soğutulan ürünlerde yüksek porozite ve düşük yoğunluk tespit etmişlerdir. Yüksek porozitenin et ürünündeki içi boş küçük alanlardan oluştuğunu görmüşlerdir. Difüzyon katsayısı analizi sonucuna göre, vakum soğutma verimi ile porozite oluşumunun birbirine bağlı olduğunu bulmuşlardır. Porozite oluşan ürünlerde daha etkili bir soğutma süresi ve yüksek difüzyon hızı bulunmuştur.

Van Loon et al. (2005) kızartılmış parmak patates (pomfrit) üretiminde yeni bir yöntem geliştirerek, vakum altında soğutma aşamasını ürünü dondurmak maksadıyla kullanmıştır. Bu yöntemle üretilen patatesler geleneksel yöntemle üretilenlerin kalitesiyle kıyaslandığında düşük kalmakta; yağlı görünüme sahip sert bir kabuk oluşumu nedeniyle ürünün duyuusal özelliklerinde istenmeyen değişiklikler meydana gelmektedir. Süper ısıtılmış buhar uygulamasıyla birlikte kullanılan vakum soğutmanın kızartılmış parmak patates (pomfrit) üretiminde uygun olmadığı bildirilmektedir. Bu tür ürünlerin üretiminde kızartma aşamasının gerekli bir aşama olduğu rapor edilmektedir.

Vakum soğutma su buharlaşması yoluyla üründe ağırlık kaybına neden olmakla birlikte hızlı bir soğutma yöntemidir. Huber and Lauringo (2005) ön pişirilmiş piliç göğüslerinin vakum altında soğutulması sırasında basınç düşüşünün ağırlık kaybına etkisini araştırmıştır. Soğutma sırasında ortam havanın düşük hızda emilmesi ağırlık kaybını azaltmıştır. Yazarlar, sıcaklık-süre verisinin kullanmak suretiyle numerik bir model geliştirmişler ve deneysel sonuçlarla uyumlu sonuçlar elde etmişlerdir. Piliç göğüslerinin merkez sıcaklığı 90 °C'den 20 °C'ye vakum altında 10 dakikadan kısa bir sürede düşmüştür.

Jackman et al. (2007) yaptıkları çalışmada soğutma kayıpları ve soğutma zamanını kısaltmak amacı ile iki bileşik soğutma metodu kullanarak pişmiş sığır eti üzerinde deneysel çalışma yürüttüler. Yaptıkları çalışmada vakum soğutma ve hava üfleli soğutma yöntemlerini kullandılar. Bu çalışmada öncelikle hava üfleli soğutma yöntemi kullanarak pişirilmiş sığır eti ara sıcaklık olarak 35 °C, 30 °C, 25 °C veya 20 °C soğutulduktan sonra vakum soğutma yöntemi ile bu sıcaklıklardan son sıcaklık olan 10 °C ve 4 °C'ye soğutuldu. Diğer bir deneme olarak da vakum soğutma yöntemi ile ara sıcaklık olan 35 °C, 30 °C, 25 °C veya 20 °C'ye soğutuldu ve sonrasında üfleli soğutucu ile bu sıcaklıklardan son sıcaklık 10 °C ve 4 °C'ye soğutuldu. Bu çalışmada bu iki farklı yöntem kullanarak farklı soğutma yöntemlerinin kullanılmasının etkisi incelendi ve sonuç olarak önce vakum soğutma ile ara sıcaklıklara soğutup sonra bu sıcaklıklardan arzu edilen 10 °C ve 4°C sıcaklığa soğutmanın soğutma yükünü azaltmada etkili bir yöntem olduğu sonucuna ulaşıldı.

Thompson and Chen (1994) yaptıkları çalışmada vakum soğutma, soğuk suya daldırma soğutma, su püskürterek vakum soğutma ve hava üfleli soğutma yöntemlerini enerji verimlilikleri açısından incelemiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda vakum soğutmanın bu yöntemler içerisinde en enerji verimli yöntem olduğu ortaya konulmuştur.

Cheng and Sun (2008) vakum soğutma, hava üfleli soğutma ve yavaş hava üfleli soğutma yöntemlerini kullanarak soğutma hızları, kütle kayıpları ve ürün kalitesini inceledikleri çalışmalarında, vakum soğutmadaki kütle kaybının (%11,3), hava üfleli soğutma (%4,7) ve yavaş hava üfleli soğutmaya (%4,4)

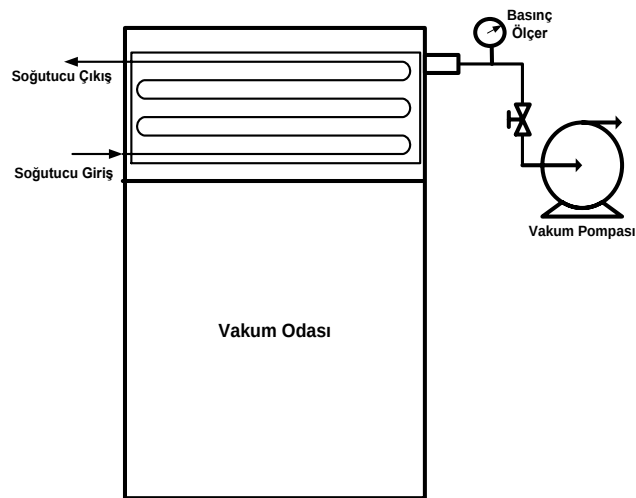
göre daha yüksek olduğunu ortaya koymuştur. Öte yandan 70-74 °C sıcaklıktan 4 °C sıcaklığa düşürmede soğutma hızları açısından bakıldığında ise vakum soğutmanın (2-2.5 saat), hava üflemeli soğutma (9.4-11.7 saat) ve yavaş hava üflemeli soğutmaya (12.1-14.3 saat) göre çok daha hızlı bir teknik olduğunu göstermişlerdir.

4. MATERYAL VE YÖNTEM

Tez çalışması kapsamında gıda ürünlerinin soğutulması konusundaki deneysel çalışmalar üç farklı soğutma sistemi ile yürütülmüştür. Bu soğutma sistemleri, vakum soğutma sistemi, geleneksel soğutma sistemi ve hava üfleli soğutma sistemidir. Bu bölümde öncelikle deneylerin yürütüldüğü soğutma sistemleri tanıtılacak, ölçüm cihazları hakkında bilgi verilecek ve sonrasında deneylerin nasıl yürütüldüğü açıklanacaktır. Gıda ürünlerinin soğutulmasının yanı sıra et ürünlerindeki mikrobiyal gelişmeye de bakılacaktır. Mikrobiyal gelişme ile ilgili analizlerin nasıl yapıldığı konusu da bu bölümde geniş bir şekilde açıklanacaktır.

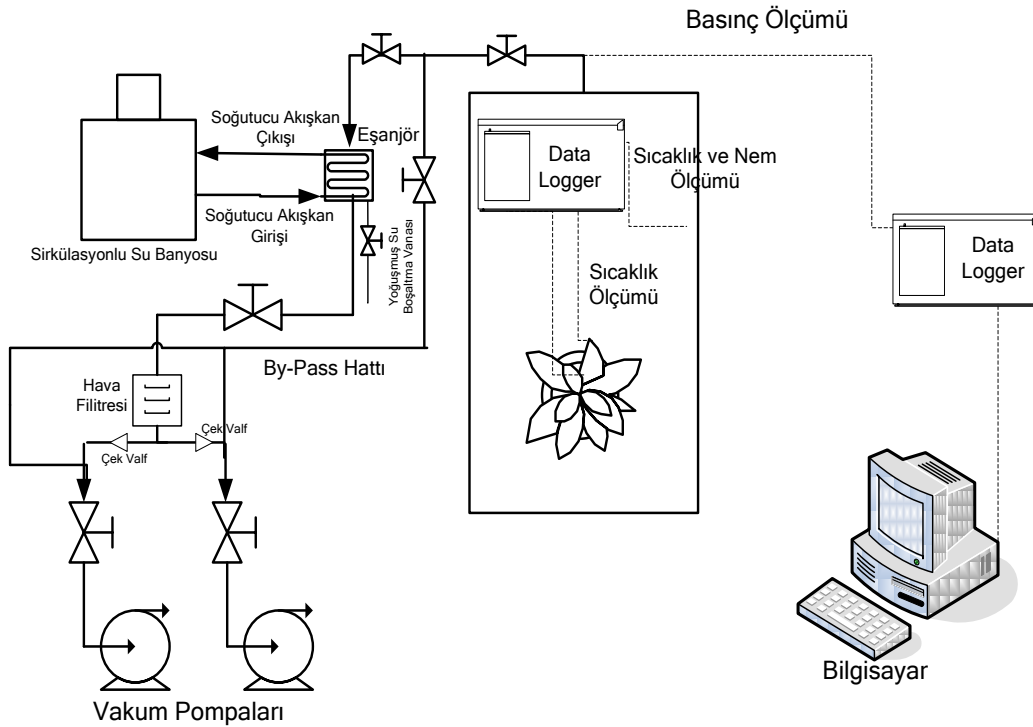
4.1. Vakum Soğutma Sistemi

Temel olarak, vakum soğutma sistemleri, vakum odası, vakum pompaları ve vakum yoğuşturucularından oluşmaktadır (Şekil 4.1). Vakum odası, yiyeceklerin soğutulması işlemi sırasında, yiyeceklerin konulduğu yerdir ve iyi bir sızdırmazlık sağlanmalıdır. Vakum pompaları ise, vakum işlemini oluşturmak için kullanılan pompalardır. Buhar ve su oranları çok büyük olduğunda, yüksek soğutma yükleri için, buharı hava ile birlikte emmek yerine, buharı yoğuşturarak suya dönüştürmek daha pratik ve ekonomik olduğu için tercih edilmektedir. Bu durumda vakum pompası ve vakum odası arasına hava içerisindeki suyun yoğuşturulması amacı ile bir yoğuşturucu koymak gerekliliği vardır.



Şekil 4.1. Vakum soğutma düzeneği

Bu çalışmada kullanılan vakum soğutma sistemi Şekil 4.2’de görüldüğü gibidir. İki pompa paralel kullanılarak vakum hızının artırılması sağlanmıştır. Çalışma iki pompanın paralel kullanılması durumu ve aynı zamanda tek pompa kullanılarakta yürütülmüş ve vakum hızının soğutma üzerindeki etkisi incelenmiştir. Sisteme ayrıca bir hava filtresi eklenerek toz ve benzeri istenmeyen parçacıkların pompaya ulaşması engellenmiştir. Ayrıca, hava filtresinin nemi tutabilme özelliğinden de yararlanılmıştır. Sisteme eklenen her eleman basınç kaybına neden olmaktadır. Hava filtresi kullanılmadan, 4 mbar basıncına düşülebilirken hava filtresi kullanıldıktan sonra 6 mbar’ın altına inmek mümkün olmamıştır. Eşanjörün ve çek valfin montajından sonra da benzer bir basınç kaybı oluşmuştur. Bu nedenle, 4 mbar vakum basıncında da çalışabilmek amacıyla sisteme “by-pass” hattı eklenmiştir.



Şekil 4.2. Gıdaların soğutulması amacıyla kullanılan vakum soğutma sistemi

Deneylerin gerçekleştirilmesinde kullanılan vakum soğutma düzeneği, esas itibarıyla vakumlu bir etüv (MEMMERT VO-200, Schwabach, Almanya) ile vakum pompalarından (ULVAC GVD-050A Yokohama City, Kanagawa, Japonya ve Edwards, Model RV8 New Jersey, ABD) oluşmaktadır. Vakum odası vakum ürünlerin içerisinde soğutulduğu ve vakumun oluşturulması için kullanılmıştır. Ürünler sızdırmazlığı iyi bir şekilde sağlanan bu odada vakuma tabi

tutulmuştur. Bu amaçla kullanılan vakumlu etüv; 29 litre iç hacme sahip, dijital göstergeli, mikroprosesör kontrollü, paslanmaz çelik, basınç göstergesi dijital olarak ayarlanabilen ve iç kısmının gözlenebilmesi için ön panelde cam bir kısım bulunan bir etüvdür (Şekil 4.3).

Vakum pompaları vakum odası içerisinde vakum oluşturmak amacı ile kullanılmıştır. İki pompa paralel olarak bağlanmış ve böylece vakum hızını artırarak, vakum hızının soğutma hızı üzerindeki etkisini görmek mümkün olmuştur. Ulvac pompa 50 l/dak pompalama hızına sahiptir ve devir sayısı 1450 (devir/dk) dir. Edwards pompa ise 8.5 m³/h pompalama hızına sahiptir (Şekil 4.4).



Şekil 4.3. Vakum odası (vakumlu etüv, MEMMERT VO-200)

Vakum odası ile pompa arasına hava içerisindeki nemi tutarak pompaya gitmesini önlemek için sirkülasyonlu su banyosu ve eşanjörden oluşan bir nem tutucu yerleştirilmiştir (Şekil 4.2). Soğutucu olarak sirkülasyonlu su banyosu (POLYSCIENCE 9506, Niles, Illinois, ABD) kullanılmıştır (Şekil 4.5). Vakum odasına vakum uygulandığında gıda ürünlerinden buharlaşma gerçekleşmekte ve su kaybı olmaktadır. Düşük basınçlarda, su buharının özgül hacmi oldukça büyüktür. Soğutma çevrimini kabul edilebilir kısa zaman aralığında tutabilmek için, su buharının yoğunlaştırılması gerekmektedir. Bu amaçla sirkülasyonlu su banyosunda soğutulan akışkan, bir eşanjörden geçirilerek hava içerisindeki suyun yoğunlaştırılması sağlanmaktadır. Cihazın sirkülasyon hızı 9-15 L/dak ve dijital göstergelidir.



(a)

(b)

Şekil 4.4. Vakum pompası (a) Edwards marka pompa, (b) Ulvac marka pompa.



Şekil 4.5. Sirkülasyonlu su banyosu

4.2. Hava Üflemleri Soğutma Sistemi

Tez çalışması kapsamında tasarlanan ve imal edilen hava üflemleri soğutucu (Şekil 4.6), havanın farklı sıcaklık derecelerine getirilerek, istenilen hava hızları ile havanın soğutulacak ürün üzerine gönderilmesini sağlayan bir soğutucudur. Soğutucu içerisindeki hava sıcaklığı, ayarlanan sıcaklığın $\pm 1^\circ\text{C}$ aralığında değişmektedir. Fan devri inverter ile ayarlanabilmektedir. Hava hızı, hız problu ile

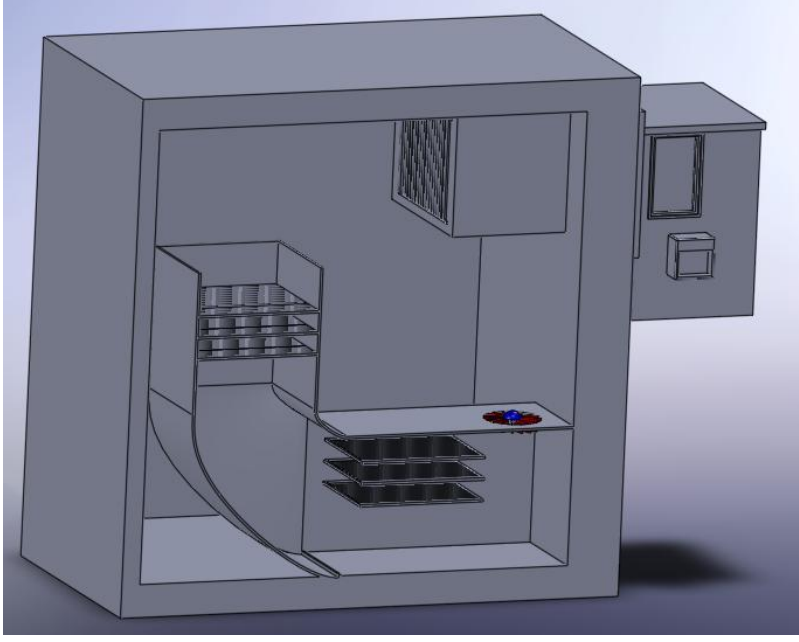
ölçülerek deney yapılması istenilen hava hızına getirilmesi sağlanmaktadır. Hız probu ürünün soğutulduğu raftan 15 cm yukarıya ve ürünlerin yerleştirildiği rafın tam ortasına konularak hava hızı ölçülmüştür. Hava ürün üzerine yukarıdan aşağı doğru üflenmektedir. Şekil 4.7 de hava üfleli soğutucunun iç kısmı görünmektedir. Şekilde de görüldüğü gibi soğutulacak ürüne soğutucuda raflar düşeyde veya yatayda yerleştirilmiştir. Düşeydeki raflarda soğuk hava ürüne yukarıdan aşağı doğru üflenebilmektedir. Yataydaki raflara ürün yerleştirildiğinde ise hava ürüne yatayda üflenmektedir. Bu çalışmada düşeydeki raflar kullanılmıştır. Deneyler, hava üfleli soğutucuda sıcaklık deneylerin yürütüleceği sıcaklığa geldikten sonra başlatılmıştır.



Şekil 4.6. Hava üfleli soğutucu resmi

4.3. Geleneksel Soğutma Sistemi

Geleneksel soğutma sıcaklığın sabit tutulduğu ve havanın durgun olduğu bir ortamda yapılmıştır. Bunun için ev tipi bir buzdolabı (Beko D 9470 NE, Türkiye) kullanılmıştır. Buzdolabı sıcaklığı istenilen sıcaklığa set edilmiş ve deneyler başlamadan önce soğutmanın yapılacağı sıcaklığa getirilmiştir. Deney boyunca sıcaklık ölçülerek kaydedilmiştir. Numuneler buzdolabının üst ve alt bölmelerinde 5°C, -16°C ve -20°C’de soğutulmuş ve elde edilen veriler Data Logger aracılığı ile kaydedilmiştir.



Şekil 4.7. Hava üflemeli soğutucu iç kısmı

4.4. Veri Toplama ve Ölçüm Cihazları

Deneyler esnasında sıcaklık, basınç, nem oranı gibi değerler ölçülerek zamana bağlı olarak kaydedilmiştir. Sıcaklık, basınç, nem oranı gibi değişkenler data logger kullanarak 10 saniyede bir kaydedilmiştir.

Kullanılan Data Logger (TESTO 350-XL-450, Lenzkirch, Almanya) bir kontrol ünitesi ve bir depolama ünitesi olmak üzere iki parçadan oluşmaktadır (Şekil 4.8). Kontrol ünitesi depolama ünitesinden bağımsız bir şekilde de çalışabilmektedir. Soğutulacak ürünlerin yüzey ve merkez sıcaklıkları 2 adet batırma tipi sıcaklık probu (T10000, TESTO, Lenzkirch, Almanya) kullanılarak ölçülmüştür. Sıcaklık problemlerinin çalışma aralığı -30°C ile 240°C ve hassasiyeti 0.2°C 'dir. Vakum soğutma sırasında vakum odasının ortam sıcaklığı ile ortamın bağıl nem değerlerindeki dalgalanmalar özel bir prob yardımıyla (T6000, TESTO, Lenzkirch, Almanya) ölçülmüştür. Veriler Data Logger kullanılmak suretiyle depo edilmiş ve soğutma işlemi sonunda elde edilen veriler Data Logger ile birlikte gelen Comfort Software (TESTO, Lenzkirch, Almanya) aracılığı ile bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Basınç (düşük basınç probu, TESTO, Lenzkirch, Germany) ile ölçülmüştür ve basınç probunun hassasiyeti $\pm 0.1\%$ 'dir. Basınç, vakum odası ve vakum pompaları arasında ölçülmüş (Şekil 4.2) ve kontrol ünitesinde kaydedilmiştir. Ürünün sıcaklıkları ile ortam sıcaklık ve nemi ise

depolama ünitesi ile vakum odası içerisinde ölçülmüştür. Kontrol ünitesi ve data loggerın zamanları aynı zamana ayarlanmış ve böylece eş zamanlı ölçüm alabilmek mümkün olmuştur.

Ürünlerin soğutma öncesi ve sonrası sıcaklık dağılımı termal kamera (Flir Systems, Danderyd, İsveç, Şekil 4.9) yardımıyla görüntülenmiş ve beraberinde gelen ThermaCAM QuickView (Flir Systems, Danderyd, İsveç) ile bilgisayar ortamına aktarılmıştır.

Ürünlerin ağırlığı hassas bir terazi ile (Precisa XT 1220 M, Şekil 4.10) ölçülmüştür ve terazinin hassasiyeti ± 0.001 g'dır.



Şekil 4.8 Data Logger kontrol ünitesi (üstte) ve depolama ünitesi (altta)



Şekil 4.9 Gıda ürünlerinin soğutma öncesi ve soğutma sonrası termal resimlerinin alındığı termal kamera



Şekil 4.10. Hassas terazi

4.5. Deneylerin Yapılışı

Deneyisel çalışmalarda kullanılan mantar, marul, semiz otu gibi sebzeler günlük olarak pazardan alınmış patates, karpuz, tavuk eti, kıyma, döner ise yerel süpermarketlerden temin edilmiştir. Deneylerde süreklilik sağlamak maksadıyla aynı ürün için, yaklaşık aynı boyutlara sahip ürünler tercih edilmiştir. Vakum altında soğutmaya başlamadan önce gıda ürünlerinin aynı sıcaklıkta olması sağlanmaya çalışılmıştır. Pişirilmemiş gıda ürünlerinin aynı sıcaklığa getirilmesi için inkübatör (MEMMERT I P P-400, Schwabach, Almanya) kullanılmıştır. Cihaz dijital göstergeli ve elektronik termostatik kontrollüdür (Şekil 4.11). Elektronik hava sirkülasyon fan sistemine sahip olan 53 l. hacmindeki inkübatöre yerleştirilen gıdalar nem kaybını azaltmak için polietilen torbalar içinde eşit sıcaklığa getirilmiştir. Sıcaklık $20 \pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 'ye ayarlanmıştır.

Hangi basınçlarda soğutma yapılacağına karar vermek için ön denemeler yapılmıştır. Her bir basınç değeri için en az 5 tekrar yapılmıştır. Denemeler neticesinde 7 mbar, 10 mbar ve 15 mbar basınç değerlerinin çalışmalar için uygun olacağına karar verilmiştir. 15 mbar ve daha yüksek basınç değerlerinin istenen soğutma etkisini yaratmadığı görülmüştür. Denemeler yapılırken amaçlanan, farklı gıda ürünleri için hangi basınç değerlerinde minimum hangi sıcaklıklara erişilebileceğini de gözlemlemek mümkün olmuştur. Vakum altında (7 mbar, 10 mbar ve 15 mbar) soğutulan gıda ürünlerinin, geleneksel yöntemlerle soğutularak karşılaştırılması yapılmıştır.

Geleneksel soğutma ve hava üfleli soğutma sisteminde soğutma işlemleri 5 °C, -16 °C ve -20 °C sıcaklıklarda yürütülmüştür. Hava üfleli soğutucuda ayrıca 1 m/s, 2 m/s ve 4 m/s gibi üç farklı hava hızı kullanılmıştır.



Şekil 4.11. İnkübatör

Vakum, geleneksel ve hava üfleli soğutucuların her üçü için de soğutma öncesinde numunelerin tartımı yapılmıştır. Tartımı yapıldıktan sonra ürünlerin termal kamera ile resimleri çekilmiştir. Görüntüleme işleminin ardından, ürünün biri merkezine diğeri de yüzeyine olmak üzere iki sıcaklık probu yerleştirilerek ürün soğutma ünitesi içerisine yerleştirilmiştir. Ürünlerin iç kısımda (merkez) meydana gelen soğumayı tespit etmek için yüzeyden belli bir mesafeye (ürünün merkezi bir noktasına) kadar prob batırılmıştır ve bu noktada ölçülen sıcaklık her ürün için merkez sıcaklığı olarak ifade edilmiştir. Yüzey sıcaklığının ölçümü için prob yüzeye (yaklaşık olarak 1-2 mm) batırılmıştır. Numunelerin merkez ve yüzey sıcaklıkları ile ortam sıcaklığı ve nem oranı her 10 saniyede bir ölçülmüştür. Merkez sıcaklığı data loggerin ekranından sürekli olarak izlenmiş ve ürünün merkez sıcaklığı 5 °C ye geldiğinde deney sonlandırılmıştır. Numune ağırlıkları, soğutma öncesi ve sonrasında 0,001 g hassasiyet ile ölçülmüştür. Böylece kütle kaybı da belirlenmiştir.

4.5. 1.Vakum soğutma deneylerinin yapılışı

Vakum soğutma için deneyler genel olarak şu şekilde yapılmıştır: Ortam sıcaklığına getirilen numunelerin öncelikle termal kamera ile sıcaklık dağılımını gösteren resimleri çekilmiş ve numunelerin tartımı gerçekleştirilerek not

edilmiştir. Her bir denemede bir adet numune kullanılmıştır. Vakum odasına yerleştirilen ürüne yüzey ve merkez sıcaklıklarını ölçecek problar uygun noktalara yerleştirilmiştir. Ayrıca ürün içerisindeki sıcaklığı görebilmek için göstergeli bir sıcaklık probu da ürünün merkezine yerleştirilmiş ve vakum odası camından merkez sıcaklığı gözlenmiştir. Vakum odası içersine bağıl nemi ve ortam sıcaklığını ölçen prob da konulmuştur. Data logger’da ölçüm aralıkları her bir deney için ayarlanarak cihaz ölçüme hazır hale getirilmiştir. Ortam sıcaklığı, ortam nemi, ürünün merkez sıcaklığı ve yüzey sıcaklığı data logger’a kaydedilmeye başlanmıştır. Vakum odası kapatılarak vakum pompaları çalıştırılmıştır. Aynı zamanda kontrol ünitesinden de basıncın ölçülmesi için kayıt başlatılmıştır. Denemeler başlamadan önce sirkülasyonlu su banyosu çalıştırılarak sirkülasyonlu su banyosu içerisindeki akışkanın istenen sıcaklığa gelmesi (-20°C) ve böylece eşanjörün de sıcaklığının bu değere ulaşması sağlanmıştır. Deneme süresince sirkülasyonlu su banyosu çalışır durumda tutulmuştur.

Göstergeli sıcaklık probundan numunenin merkezinde istenen sıcaklığa ulaşıldığında veya sıcaklık değişimi olmadığında vakum odası emme hattındaki vana kapatılarak vakum işlemi sonlandırılmıştır. Numune vakum odası dışına alınarak termal kamera ile görüntüsü alınmış ve tartımı gerçekleştirilerek not edilmiştir.

Vakum altında soğutma 7 mbar, 10 mbar ve 15 mbar altında gerçekleştirilmiştir.

4.5.2. Buzdolabında deneylerinin yapılışı

Buzdolabında ürünlerin soğutulması ile ilgili deneyler buzdolabı için 5°C, -16°C ve -20°C sıcaklıklarda gerçekleştirilmiştir. Deneylerde izlenen adımlar vakum soğutmada izlenen adımların benzeridir. Ortam sıcaklığına getirilen numunelerin öncelikle tartımı gerçekleştirilerek not edilmiştir. Buzdolabı veya derin dondurucu içerisine yerleştirilen ürünlerin yüzey ve merkez sıcaklıklarını ölçecek problar ile ortam sıcaklığını ölçen problar uygun noktalara yerleştirilmiştir. Data logger buzdolabı veya derin dondurucunun dışına alınarak merkez sıcaklığı gözlemlenmiştir. Merkez sıcaklığı istenen değere geldiğinde deney sonlandırılmıştır. Numune buzdolabı veya derin dondurucu dışına alınarak tartımı gerçekleştirilerek not edilmiştir.

4.5.3. Hava üflemeli soğutucuda deneylerinin yapılışı

Hava üflemeli soğutucuda ürünlerin soğutulması ile ilgili deneyler buzdolabındakine benzer olarak 5°C, -16°C ve -20°C sıcaklıklarda ve her bir sıcaklık için 1 m/s, 2 m/s ve 4 m/s hızlarda gerçekleştirilmiştir. Deneylerde izlenen adımlar vakum soğutmada ve buzdolabında izlenen adımların benzeridir. Öncelikle hava üflemeli soğutucu istenen sıcaklığa set edilmiştir. Daha sonra hava üfleme fanı hız ayarı değiştirilerek, hız probundan hız değerleri okunmuştur. İstenilen sıcaklık ve hız değerlerine ulaşıldığında deney başlatılmıştır. Ortam sıcaklığına getirilen numunelerin öncelikle termal kamera ile sıcaklık dağılımını gösteren resimleri çekilmiş ve numunelerin tartımı gerçekleştirilerek not edilmiştir. Hava üflemeli soğutucu içerisine yerleştirilen ürünlerin yüzey ve merkez sıcaklıklarını ölçecek probalar ile ortam sıcaklığını ölçen probalar uygun noktalara yerleştirilmiştir. Data logger buzdolabı veya derin dondurucunun dışarısına alınarak merkez sıcaklığı gözlemlenmiştir. Merkez sıcaklığı istenen değere geldiğinde deney sonlandırılmıştır. Numune hava üflemeli soğutucu dışına alınarak termal kamera ile görüntüsü alınmış ve tartımı gerçekleştirilerek not edilmiştir.

4.6. Pişirilmiş Ürünlerin Soğutulması

Pişirilmiş ürünlerin soğutulmasına ilişkin deneyler şu şekilde gerçekleştirilmiştir: Öncelikle ürünlerin pişirilmeden önceki ağırlıkları ölçümleri hassas terazide yapılmıştır. Sonrasında ürünler suda veya etüvde (fırın gibi kullanılmıştır) pişirilmiştir. Ürünler pişirildikten sonra tekrar ağırlık ölçümleri yapılarak kütle kazanımları/kayıpları tespit edilmiştir. Daha sonra ürünlerin soğutulması, pişirilmemiş ürünlerde olduğu gibi;

- Vakum altında
- Buzdolabında düşük sıcaklıklarda
- Hava üflemeli soğutucuda düşük sıcaklıklarda

soğutulmuştur.

4.6.1. Pişirilmiş et ürünlerinin soğutulması deneyleri

Geleneksel ve hava üflemeli soğutucular önceden istenilen deney sıcaklığına getirildi. Buzdolaplarında ölçüm yapacak olan proplar bir gün önceden

hepsi denge haline getirildi. Propların biri pişmiş olan et ürünlerinin yüzeyine diğeri ise merkezine yerleştirildi. Sıcaklık probu ile de ortam sıcaklığı okundu.

Bir gün önceden sıcaklığı hassas olarak belirleyen etüvler istenilen sıcaklığa getirilerek hazırlandı. Deneyde kullanılacak olan küçük alüminyum kaplar alkol ile temizlenerek 180 °C de bir gün bekletilip steril hale getirildi. Köfte, tavuk eti ve döner deney için hazırlandı. Bu ürünlerin içine koyulacağı steril alüminyum kapların hassas terazilerde daraları alınarak not edildi. Böylece pişmeden önceki ve sonraki ağırlıklarının tespiti olanaklı hale geldi. Köfte, döner ve tavuk eti hazırlandıktan sonra hassas terazide ölçülerek kaplara konuldu. Bir gün önceden sıcaklığı hazırlanmış olan ısıtıcı fırınlarda 200 °C de köfte ve döner pişirilmeye başlandı. Yaklaşık 45 dakika sonra köfte ve döner fırınlardan çıkartılarak tekrar ağırlıkları ölçüldü ve hızlı bir şekilde, 5 °C, -16 °C ve 20 °C ayarlanmış olan buzdolabı ve hava üflemleri soğutucu içerisine konularak merkez sıcaklığı 5 °C sıcaklığa gelene kadar beklendi. Vakum soğutucu da benzer işlemler 7 mbar, 10 mbar ve 15 mbar sıcaklıkları için yürütüldü. Mikrobiyal analiz yapılan durumlarda, sıcaklık ölçümleri de alındıktan sonra bakteriyel analiz yapılması için hazırlıklar yapıldı.

Tavuklar ise hazırlandıktan sonra hassas terazilerde yaklaşık 100 gr kadar ölçülerek kaplara konuldu. Tavuklar sıcak suda haşlandı tekrardan ağırlıkları ölçüldü sonrasında hızlı bir şekilde, 5 °C, -16 °C ve 20 °C ayarlanmış olan buzdolabı ve hava üflemleri soğutucu içersine yerleştirildi. Ürünlerin merkez ve yüzeylerine probalar yerleştirilerek, merkez sıcaklığı 5 °C'ye geldiğinde deneyler sonlandırıldı. Vakum soğutucu da benzer işlemler 7 mbar, 10 mbar ve 15 mbar sıcaklıkları için yürütüldü.

4.7. Kütle Kaybının Hesaplanması

Kütle kaybı soğutma öncesi (m_1) ve soğutma sonrası (m_2) kütleleri ölçülerek aşağıdaki formülasyon kullanılarak hesaplanmıştır.

Kütle kaybı (kg),

$$\Delta m = (m_1 - m_2)$$

Kütle kaybı oranı (%)

$$\Delta m = (m_1 - m_2) / m_1 * 100$$

m_1 : Soğutma öncesi ürün kütlesi (kg)

m_2 : Soğutma sonrası ürün kütlesi (kg)

4.8. Gıda Ürünlerinin Nem Analizi

Nem analizi yapılacak olan ürünler küçük parçalara ayrılmıştır. Etüv sıcaklığı 110 °C dereceye ayarlanmıştır. Nem analizi yapılacak ürünlerin içerisine konulacağı kurutma kapları nem analizinden önce bir gün boyunca etüvde bekletilmiş ve ardından desikatöre alınarak soğuması için beklenmiştir. Sabit tartıma getirilmiş ve darası alınmış kurutma kaplarının içine yaklaşık 10 g homojen halde kesilmiş ürün konulmuştur. Tartılan örnek (T1) ve kurutma kabı, 110 °C sıcaklığındaki etüv içerisine yerleştirilmiştir. Ürünler etüvde 110 °C derece sıcaklıkta 24 saat bekletilerek kurutmaya alınmış ve bu süre sonunda desikatöre alınarak sabit tartıma getirilmiştir. Desikatörde soğutulan ve sabit tartıma getirilen örnekler tartıma alınmış (T2) ve ürünün nem oranı aşağıdaki denklemlerle hesaplanmıştır:

$$\% \text{ Nem} = [(T_1 - T_2) / T_1] \times 100$$

T_1 = Nem Oranı Hesaplanacak Ürünün Başlangıç Ağırlığı

T_2 = Kurutulmuş Ürünün Ağırlığı

4.9. Mikrobiyal Analizi

Köfte ve tavuk vakum altında ve farklı sıcaklıklarda soğutulması durumları için mikrobiyal analiz yapılmış ve karşılaştırılmıştır. Yapılan bu çalışma ile vakum altında soğutmanın mikrobiyal yüklerin gelişmesini nasıl etkilediği bulunmaya çalışılmıştır. Böylece vakum soğutmanın mikrobiyal gelişmeyi yavaşlatıp yavaşlatmadığı bulunulmaya çalışılmıştır. Bu nedenle mikrobiyal testlerin yapılacağı ürünlerden soğutulmalarından hemen sonra örnekler alınarak gerekli hazırlıklar yapılmış ve 5 °C sıcaklıkta bekletilmiştir. 1. gün ve 1. hafta sonunda mikrobiyal gelişmeler not edilmiştir. Deney hazırlıkları ve yapılış şekli aşağıda detaylı olarak verilmiştir.

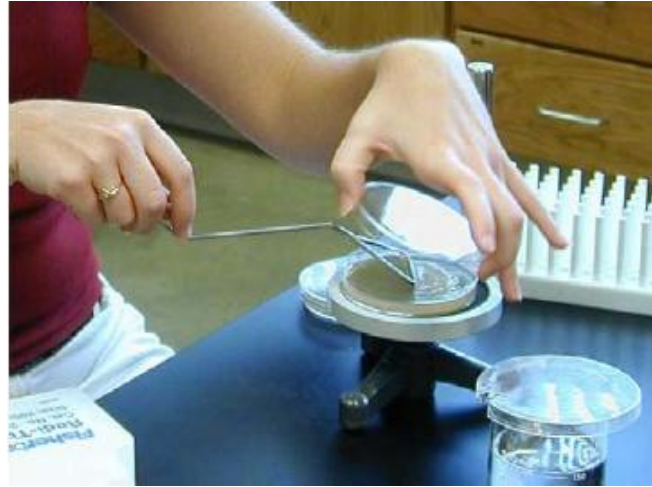
4.9.1. Mikrobiyal Analiz için Malzemelerinin Hazırlanışı ve Steril Hale Getirilmesi

Deney için gerekli olan saf su temiz enerji evinden sağlandı. Sonra %0.85 teknik sodyum klorür içeren Steril Fizyolojik Su (SFS) hazırlığı yapıldı. Bu amaçla 500 ml saf su üzerine 4.25g NaCl ilave edilerek homojen bir karışım oluşturuldu. Sonrasında elde edilen SFSlerden 225mL Erlenmayerler içine dolduruldu. Dilüsyon sıvısı hazırlamak amacıyla deney tüplerine hassas pipetlerle 9'ar ml kadar SFS ilave edildi. Bakterilerin üremesi için uygun ortam sağlamak amacıyla Potato Dextrose Agar (PDA) ve Plate Count Agar (PCA) besiyerlerinden üretici firmanın tavsiye ettiği miktarlarda tartılarak, Erlenmayerler içine alındı ve gerekli saf su ilave edilerek agar çözeltisi hazırlandı. PCA besiyeri toplam aerobik mezofilik canlıların sayılması amacıyla kullanılırken, PDA besiyeri maya-küf sayımı amacıyla kullanıldı. PDA besiyerine %10'luk tartarik asit çözeltisinden uygun hacimde ilave edildi. Hazırlanan deney malzemeleri (9mL'lik dilüsyon sıvıları, 225mL'lik SFSler, besiyerleri, tartarik asit çözeltisi ve mikropipet uçları) steril hale getirilmek amacıyla 120°C'de 15 dakika otoklavlandı. Otoklav sonrasında tartarik asit çözeltisi ve besiyerleri yaklaşık 45°C'ye getirildi ve çözelti besiyerine ilave edildi. Yüzeyi %75'lik alkolle steril hale getirilmiş bir tezgah üzerinde ve bek alevi altında besiyerleri çapı 90mm olan tek kullanımlık petri plaklarına dökülerek mikroorganizmaların gelişmesi için gerekli besiyeri hazırlandı.

Hazırlanan besiyerleri ve dilüsyon sıvıları mikrobiyal ekim ve sayım işlemlerinde kullanıldı. Daha sonra farklı koşullar altında soğutulan köfte, döner ve tavuklardan 25 g'lık örnekler steril koşullarda kesilerek steril haldeki Stomacher poşetlerine konuldu. Poşet içine steril haldeki 225 mL SFS su ilave edilerek, su ve "köfte, pane, döner ve tavuk" homojen olarak karışana kadar ezme işlemi gerçekleştirildi. 25 g 'köfte, döner ve tavuk' ve 225 ml SFS çözeltisinden oluşan bu karışımla 10⁻¹'lik bir seyreltme sağlanmış oldu. Daha sonra torbaların içersinden ucunda steril pipet ucu bulunan mikropipet yardımıyla 1 mL sıvı çekilerek önceden hazırlanmış, içinde steril 9 ml SFS bulunan deney tüplerine konuldu. Böylece örnekte 10⁻²'lik seyreltme elde edildi. Daha sonra bunun içersinde 1 ml çekilip diğer 9 ml'lik SFS çözeltisine konuldu böylece 10⁻³'lük bir

karişım oluşturuldu. Gerekli dilüsyonlar yapılırken deney tüpleri her defasında vorteks tüp kariştırıcısında homojen bir karişım elde edilene kadar kariştırıldı. Bu şekilde daha homojen bir karişım oluşturuldu. Toplam canlı sayımı ve maya-küf analizi için ekim yöntemi olarak yayma plak yöntemi kullanıldı. Bu amaçla önceden petri kutularına dökölüp katılaştırılmış ve belirli bir düzeyde kurutulmuş PCA (Plant Count Agar) ve PDA (Potato Dextrin Agar) besiyerleri hazırlandı

Her bir dilüsyondan steril koşullar altında mikropipet yardımıyla 0.1 mL çekilerek içerisinde besiyeri (PDA veya PCA) bulunan steril petri plaklarında boşaltıldı. Dragalski ubukları alkolle yakılarak steril hale getirildi ve bek alevi yanında soğutuldu. Bu ubuklar kullanılarak, petrilere ekilen 0,1 mL’lik örnek besiyeri yüzeyine homojen bir şekilde yayıldı (şekil 4.12). PDA besiyerleri 32 °C’de bekletilirken PCA besi yerleri 25 °C’lik inkübatörlere yerleştirildi. inkübasyon bitiminde petri kutularında sayım vakit geçirmeden yapıldı ve gerekli hesaplamaların yapılması amacıyla not edildi. Sayım sırasında koloni oluşturan birimler sayıldı (kob).



şekil 4.12. Yayma yöntemi ile ekim

Koloni Sayısının Hesaplanması

$N = C / [V(n_1 + 0,1 \times n_2) \times d]$ şeklindedir ve 15-300 arasındaki koloni sayımları dikkate alınmaktadır.

N = Atık amur örneğinin 1 g ya da 1 ml'sinde mikroorganizma sayısı

C = Sayımı yapılan tüm petri kutularındaki koloni sayısı toplamı

V = Sayımı yapılan petri kutularına aktarılan hacim (ml)

n_1 = İlk seyreltiden yapılan sayımlarda sayım yapılan petri kutusu adedi

n_2 = İkinci seyreltiden yapılan sayımlarda sayım yapılan petri kutusu adedi

d = Sayımın yapıldığı ardışık 2 seyreltiden daha konsantre olanın seyreltme oranıdır.

4.10. Referans Basıncı ve Gösterimi

Basınç değeri grafikte uyumlu olması açısından mbar olarak değil kPa olarak verilmiştir. mbar olarak verilmesi durumunda, sıcaklık ve nem değerleri 0-100 arasındaki değerlerde değişirken, basınç değeri 1000 mertebesinde alacağı için sıcaklık ve nem değişimi çok iyi bir şekilde görülememektedir.

Denizli’de atmosferik basınç (referans basıncı) deniz seviyesindeki 101,3 kpa basınç değerinden farklılıklar göstermektedir. Pamukkale Üniversitesi Temiz Enerji Evindeki meteoroloji istasyonundan ölçülen basınç değerlerine göre atmosferik basıncın (2009-2010 yıllarında) en düşük ve en yüksek basınçlar arasında 35 mbar (3,5 kPa) fark oluşmaktadır. Denizli’de basınç değeri ortalama 958 mbar (95,8 kPa) olarak ölçülmüş ve teorik olarak da hesaplanmıştır. Bu nedenle raporda atmosferik basınç 958 mbar olarak alınmıştır.

4.11. Vakum Soğutma Teorisi

Vakum soğutma sistemi ile soğutmanın temel prensibi daha önce de açıklandığı gibi gıda ürünü içerisinde suyun buharlaştırılmasıdır. Bu bölümde vakum soğutmanın teorisi açıklanarak, mantar için 20°C sıcaklıktan saklama sıcaklığı olan 5°C sıcaklığa soğutma sırasında teorik olarak gerçekleşen kütle kaybı hesaplanmıştır.

Bilindiği gibi vakum soğutma, ürün içerisinde suyun buharlaşması ve buharlaşan suyun gizli ısıyı kadar ısının ürün içerisinde çekilmesi sonucunda ürünün soğuması prensibine dayanır.

Bir gıda ürününün özgül ısısı genel olarak aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanabilir;

$$C_{ort}=3349a+837,36 \text{ (J/kgK)} \quad (4.1)$$

Burada a gıda ürününün su içeriğidir. Özgül ısısı bilinen bir ürün için, kütle kaybı (suyun buharlaşması nedeni ile) ile sıcaklık değişimi arasındaki ilişki aşağıda mantar örneği için verilmiştir.

4.11.1. Kütle kaybının hesaplanması (mantar için)

Mantarın su içeriği yaklaşık %91 dir ve dolayısı ile $a=0,91$ olur. Denklem 4.1 kullanılarak mantarın özgül ısısı;

$$C_{\text{mantar}}=3884,95 \text{ J/kgK}$$

olarak bulunur. Bu durumda 1 kg kütleinde ve 20 °C sıcaklıktaki mantarı 5 °C'ye indirmek için gerekli olan ısı:

$$Q=mC\Delta T \quad (4.2)$$

denkleminde hesaplanabilir. 1 kg kütleinde mantarı 15 °C soğutmak gerekli olan ısı,

$$Q=1 \times 3884,95 \times 15 = 58274,25 \text{ J}$$

veya

$$Q=58,3 \text{ kJ}$$

olarak hesaplanır. Mantarın vakum soğutma ile soğutulması durumunda vakum basıncına bağlı olarak suyun gizli ısısının bilinmesi gerekecektir. 7 mbar basınçta suyun gizli ısısı:

$$h_{fg}=2495,6 \text{ kJ/kg dir.}$$

Gıda ürünü içerisinden su buharlaştırdığında üründe soğuma gerçekleşecektir. Yani;

$$mC\Delta T= \Delta m h_{fg}$$

Burada Δm , ürünü ΔT kadar buharlaştırmak için gereken su miktarıdır ve aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$58,3= \Delta m \cdot 2495,6$$

$$\Delta m=0,023 \text{ kg}$$

veya %2.3 kütle kaybı.

5. BULGULAR

5.1. Soğutma Deneyleri

Bu bölümde vakum soğutma, klasik soğutma ve hava üfleli soğutucularda yürütülen deneylere ilişkin sonuçlar verilmiştir. Deneyler bazı sebzeler (mantar, marul, baş salata ve semizotu), meyve (karpuz), pişirilmiş sebze (pişirilmiş patates), ve pişirilmiş et ürünleri (köfte, tavuk eti ve döner) için yürütülmüş ve sonuçları sunulmuştur. Deneylerde yeknesaklık sağlamak için bütün vakum altındaki deneyler 7 mbar, 10 mbar ve 15 mbar için yürütülmüştür. Klasik soğutma ve hava üfleli soğutma için ise deneyler 5°C, -16°C ve -20°C sıcaklıklarda yürütülmüştür. Hava üfleli soğutucuda hava hızları 1 m/s, 2 m/s ve 4 m/s olarak seçilmiştir. Tavuk eti, köfte, ve döner için ayrıca raf ömrüne soğutmanın etkisini görmek için mikrobiyal analizler yapılmış ve sonuçlar verilmiştir.

Vakum deneyleri için vakum odası içindeki basınç, soğutulan ürünün merkez ve yüzey sıcaklığı ile ortam sıcaklığı ve vakum ortamının bağıl nemindeki zamana göre değişimi 7 mbar, 10 mbar ve 15 mbar vakum basınçları için ayrı ayrı verilmiştir. Bunun yanı sıra ürünün soğutma öncesi ve soğutma sonrası termal kamera ile alınan görüntüleri de sunulmuştur. Ürünlerin soğutma öncesi ve soğutma sonrası kütleleri, kütle kaybı ve kütle kayıp oranları da çizelgeler halinde sunulmuştur. Böylece üç farklı vakum basıncı için zamana bağlı sıcaklık değişimi, soğuma süresi ve kütle kaybını belirlemek mümkün olmuştur.

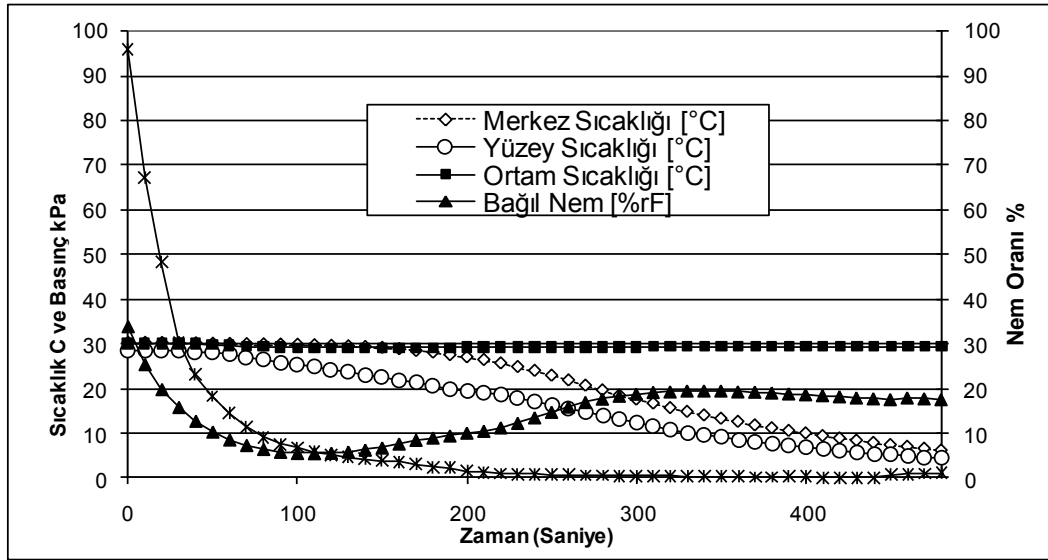
Klasik soğutmada ve hava üfleli soğutmada da ürünlerin merkez ve yüzey sıcaklığı ile ortam sıcaklığındaki zamana bağlı değişim sunulmuştur. Ayrıca vakum soğutmadakine benzer olarak ürünlerin soğutma öncesi ve soğutma sonrası kütleleri, kütle kaybı ve kütle kayıp oranları da Çizelgeler halinde verilmiştir. Böylece vakum soğutma ile klasik soğutma ve hava üfleli soğutma sonuçlarını; soğuma süreleri, merkez ve yüzey sıcaklıklarındaki değişim, kütle kayıpları ve kütle kayıp oranları açısından karşılaştırmak mümkün olmuştur. Pişirilmiş ürünler için ayrıca pişirme sonrası kütle değerleri de verilmiştir. Böylece pişirme sırasında üründe kütle kaybı mı yoksa kütle kazancı mı olduğunu görmek mümkün olmuştur.

5.2. Mantarın (*Agaricus bisporus*) Soğutulması

Mantar vakum altında, klasik soğutma yöntemi ile ve hava üfleli soğutucu ile soğutulmuş ve sonuçlar karşılaştırılabilir bir şekilde aşağıda detaylı olarak verilmiştir.

5.2.1 Mantarın vakum altında soğutulması

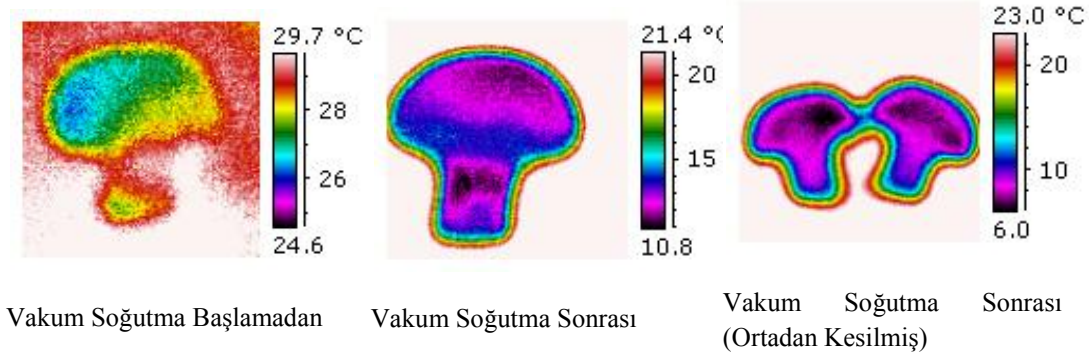
7 mbar basınçta soğutma sırasındaki, mantarın yüzey ve merkez sıcaklığı ile ortam sıcaklığı ve ortamın bağıl nem oranındaki değişim ile vakum odasının basıncındaki değişim Şekil 5.1 de verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi başlangıçta basınç hızlı bir şekilde düşmüş (ilk 100 s), sonrasında basınçtaki değişim çok küçük olmuştur veya hemen hemen sabit kalmıştır.



Şekil 5.1. 7 mbar sabit basınç altında mantarın yüzey, merkez ve ortam sıcaklığı, nem oranı ve basınç değişimi.

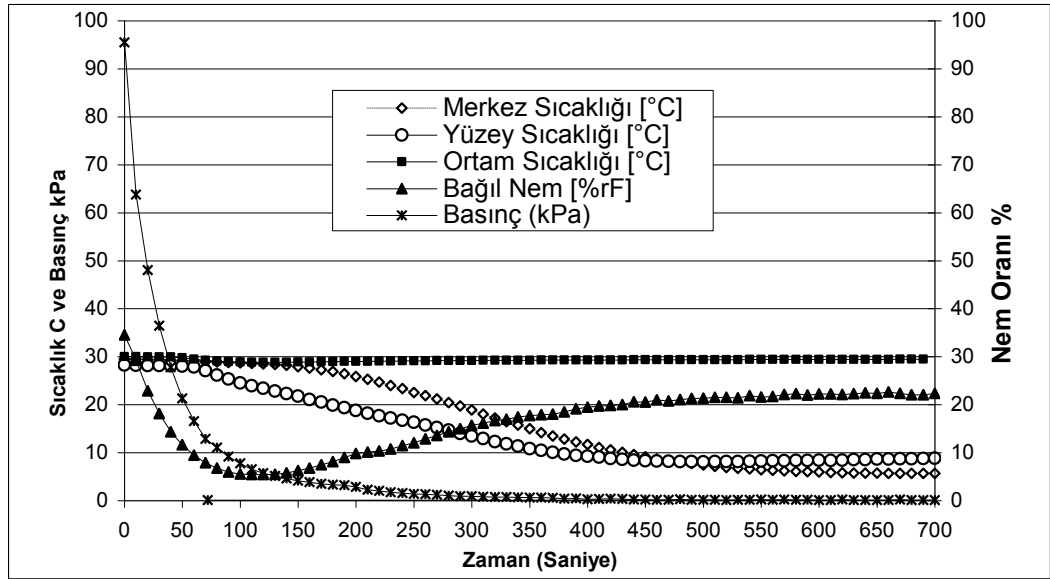
Mantarın sıcaklığı başlangıç sıcaklığından (yaklaşık 30°C) arzu edilen 5°C sıcaklığa 480 saniye'de inmiştir. Mantarın başlangıç kütlesi ile vakum soğutma sonrası kütlesi ile kütle kaybı ve kütle kayıp oranı Çizelge 5.1 de verilmiştir. Çizelgeden de görüldüğü gibi, 7 mbar altında mantar soğurken %4.6 bir kütle kaybı gerçekleşmiştir. Şekil 5.1 de görüldüğü gibi mantarın sıcaklığı düşerken, ortam sıcaklığı değişmemiştir. Aynı zamanda merkez ve yüzey sıcaklıklarındaki değişim birbirine çok yakın bir şekilde düşmüş, merkez ve yüzey sıcaklıkları hemen hemen eş zamanlı olarak depolama sıcaklığı olarak alınan 5°C sıcaklığa

gelmiştir. Mantarın vakum soğutma öncesi ve vakum soğutma sonrası termal kamera görüntüleri de Şekil 5.2 de verilmiştir.

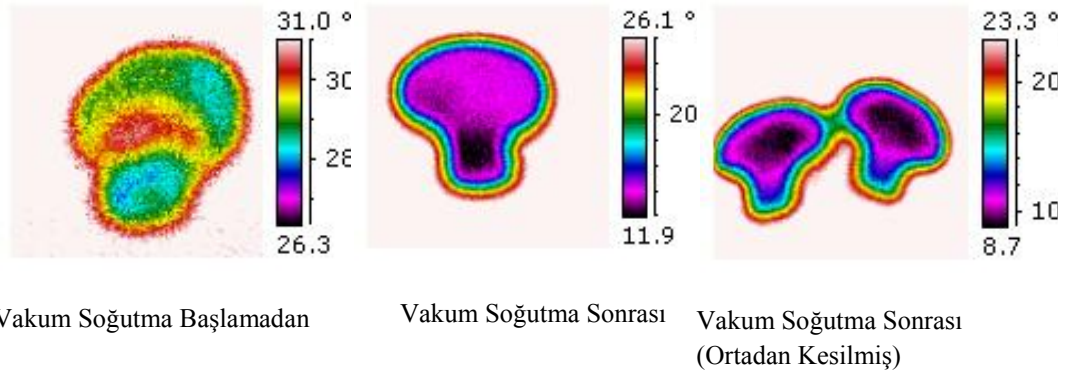


Şekil 5.2. 7 mbar basınç altında mantarın vakum soğutma öncesi ve sonrası sıcaklık değişimi resmi

10 mbar basınçta mantarın soğuması sırasındaki mantarın yüzey ve merkez sıcaklığı ile ortam sıcaklığı ve ortamın bağıl nem oranındaki değişim ile vakum odasının basıncındaki değişim Şekil 5.3 de verildiği gibidir. 10 mbar’da yapılan deneylerde merkez sıcaklığı 5°C’ye düşerken yüzey sıcaklığı 8°C’nin altına düşmemiştir. Bu basınç değerinde soğuma süresi de uzamış ve 700 saniye (11,67 dakika) olarak gerçekleşmiştir. 10 mbar basınçta yapılan deneyde mantarın başlangıç kütlesi ile vakum soğutma sonrası kütlesi ile kütle kaybı ve kütle kayıp oranı Çizelge 5.1 de verilmiştir. Mantarın vakum soğutma öncesi ve sonrası termal kamera görüntüleri ise Şekil 5.4 de verilmiştir. Şekil 5.3 de görüldüğü gibi, 10 m bar basınçta da 7 mbar basınçtakine benzer olarak mantarın sıcaklığı düşerken, ortam sıcaklığı değişmemiştir. Aynı zamanda merkez ve yüzey sıcaklıklarındaki değişim birbirine çok yakın bir şekilde düşmüş, merkez ve yüzey sıcaklıkları hemen hemen eş zamanlı olarak depolama sıcaklığı olarak alınan 5°C sıcaklığa gelmiştir. Öte yandan yüzey sıcaklığı arzu edilen sıcaklığa (5°C) düşmemiştir. Bunun nedeni yüzeyden buharlaşmanın fazla olması ve bu nedenle 5 °C sıcaklığa düşebilmek için daha fazla suyun buharlaşmasının zor olmasından kaynaklanabilir.



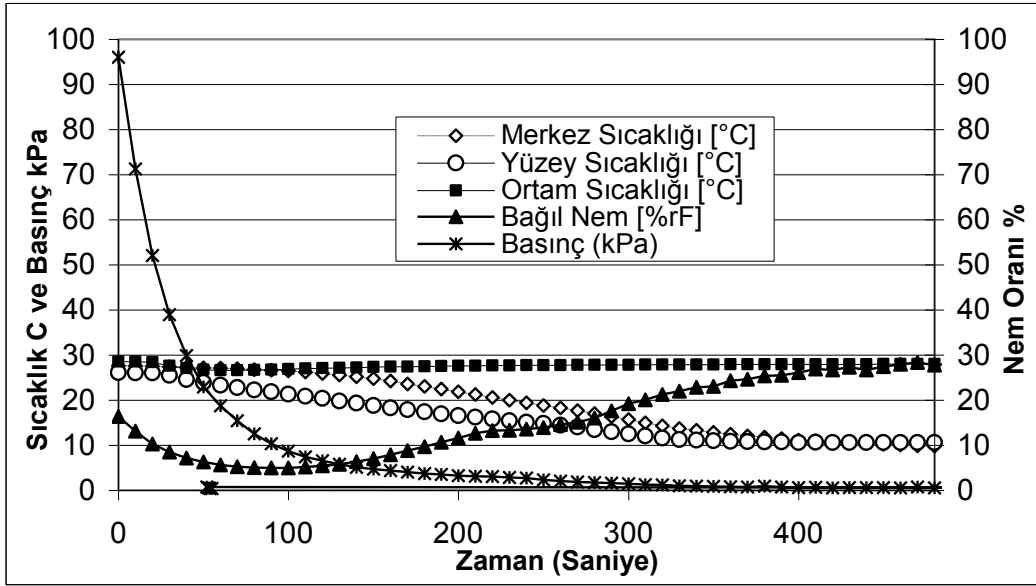
Şekil 5.3. 10 mbar sabit basınç altında mantarın yüzey, merkez ve ortam sıcaklığı, nem oranı ve basınç değişimi.



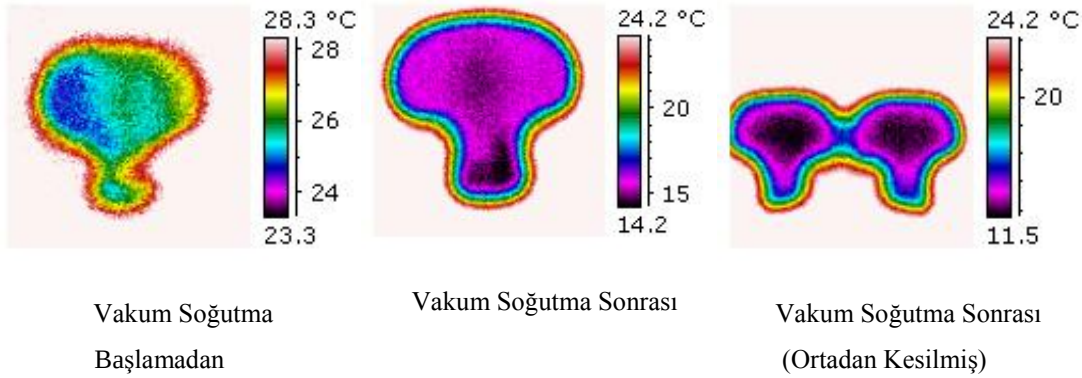
Şekil 5.4. 10 mbar basınç altında mantarın vakum soğutma öncesi ve sonrası sıcaklık değişimi resmi

15 mbar basınçta yapılan deney sonuçları da 7 mbar ve 10 mbar basınç altındaki sonuçlarla paralellik göstermektedir. 15 mbar basınç altında merkez, yüzey ve ortam sıcaklığı ile basınç ve ortam neminin zamanla değişimi Şekil 5.5 de verilmiştir. Mantarın kütleindeki değişimler de yine Çizelge 5.1 de verilmiştir. Şekil 5.5’de görüldüğü gibi 15 mbar basınçta yüzey ve merkez sıcaklıkları sırası ile 9°C ve 8°C olarak gerçekleşmiştir ve bu değerlerin altına sıcaklık değeri gelmemiştir. Bu nedenle mantarın 15 mbar basınçta depolama sıcaklığı olan 5°C’ye getirmenin mümkün olmadığı söylenebilir. Çizelge 5.1’da görüldüğü gibi, kütle kaybı 0.937 gr olarak gerçekleşmiş ve mantar %3,69 oranında kütle kaybına uğramıştır. Yine 7 mbar ve 10 mbar basınçta olduğu gibi, merkez ve yüzey

sıcaklıkları eş eğriler şeklinde azalmıştır. Mantarın 15 mbar basınçtaki soğuma öncesi ve sonrası termal kamera ile alınan resimleri Şekil 5.6 da verilmiştir.



Şekil 5.5. 15 mbar sabit basınç altında mantarın yüzey, merkez ve ortam sıcaklığı, nem oranı ve basınç değişimi.



Şekil 5.6. 15 mbar basınç altında mantarın vakum soğutma öncesi ve sonrası sıcaklık değişimi resmi

Çizelge 5.1. Vakum altında soğutmada mantarın başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı

Basınç (mbar)	7	10	15
Başlangıç Kütle (g)	31,30	20,167	25,336
Son Kütle (g)	29,864	19,191	24,399
Kütle Kaybı (g)	1,436	0,976	0,937
Kütle Kaybı Oranı (%)	4,6	4,8	3,69

5.2.2. Mantarın klasik yöntemle soğutulması

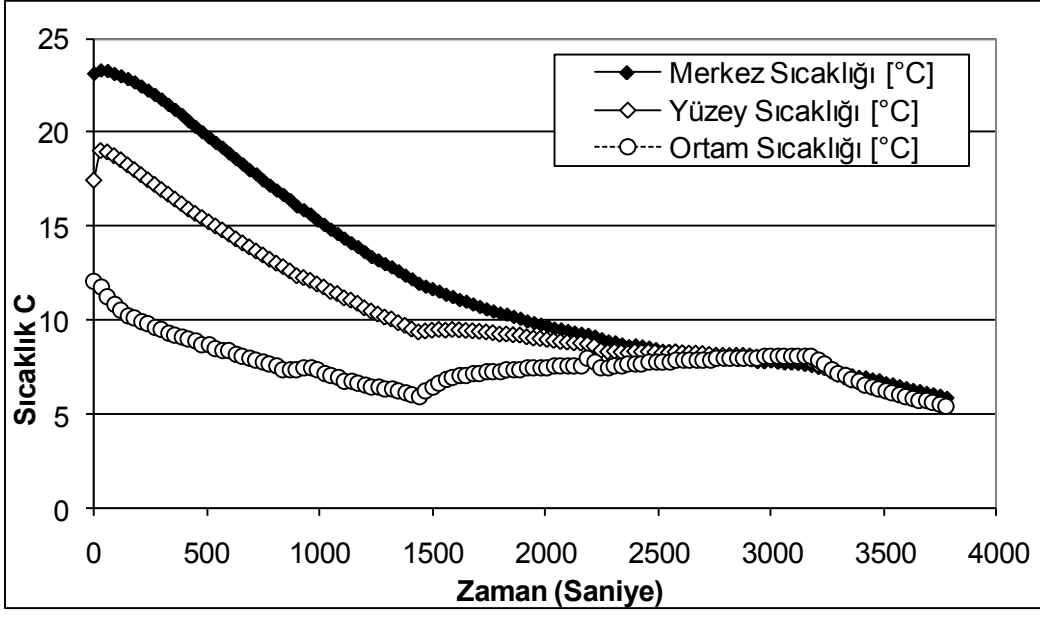
Mantarın klasik olarak soğutulması buzdolabında (5°C , -16°C ve -20°C sıcaklıkta) yapılmıştır. -16°C ve -20°C sıcaklıklarda yapılan deneylerde, yüzey sıcaklığı 0°C 'ye geldiğinde donma olayı gerçekleştiği not edilmiştir.

Klasik soğutma yapılmadan ve yapıldıktan sonra da mantarın ağırlıkları ölçülmüş ve kütle kaybı belirlenmiştir. Şaşırtıcı bir şekilde klasik soğutma altında da mantarda vakum soğutmadaki oranlara yakın (bazı durumlar için daha fazla) bir kütle kaybı meydana geldiği görülmüştür (Çizelge 5.2). Bunun nedeni 5°C sıcaklıkta soğuma süresinin çok fazla olması ve bu nedenle de kütle kaybının yüksek olması olabilir. 5°C sıcaklıkta, klasik soğutmada mantarın sıcaklık değişimi Şekil 5.7'de verilmiştir. Mantarın 5°C 'ye soğuması için geçen süre 3780 saniye (63 dakika) olmuştur. Vakum soğutmada bu süre vakum basıncına bağlı olmakla birlikte 6 ile 10 dakika arasında bir süre almaktadır. Diğer bir deyişle vakum soğutma klasik soğutmaya göre bazı durumlarda 10 kat daha hızlı bir soğutma yöntemidir.

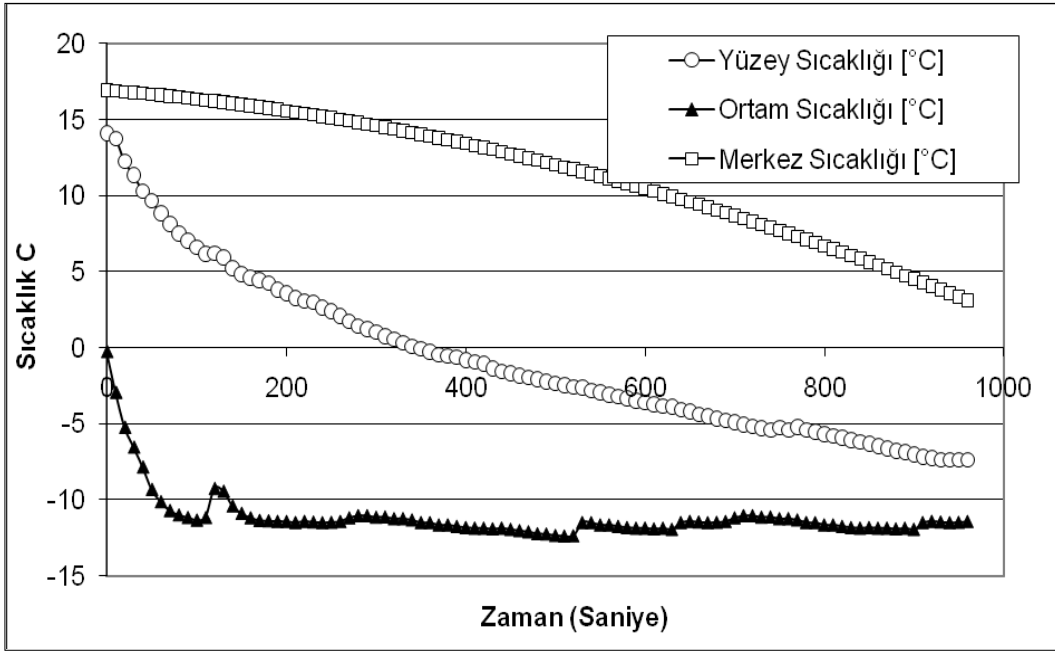
Klasik soğutmada -16°C altında yürütülen deneye ilişkin sıcaklık değişimleri Şekil 5.8 de verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi, düşük sıcaklıklarda mantarın yüzeyinde hızlı bir soğuma gerçekleşirken, merkezdeki sıcaklık değişimi yavaş olmaktadır. Mantarın merkez sıcaklığı 970 saniyede depolama sıcaklığı olan 5°C sıcaklığına gelmektedir. Oysaki yüzey sıcaklığı 310 saniyede 0°C 'nin altına düşerek yüzeyde donma gerçekleşmektedir. Bu ürün için istenmeyen bir özelliktir ve ürünün hem raf ömrünü kısaltmakta hem de kalitesi bozulmaktadır. Mantarın ağırlıkları ve kütle kayıplarına ilişkin veriler Çizelge 5.2'da görülebilir.

-20°C sıcaklıkta yürütülen deneysel sonuçlar Şekil 5.9 da görülebilir. Bu sonuçlar -16°C 'de soğutma verileri ile paralellik göstermektedir, sadece soğuma daha kısa sürede gerçekleşmiştir. Mantarın ağırlıkları ve kütle kayıplarına ilişkin veriler Çizelge 5.2'de verilmiştir.

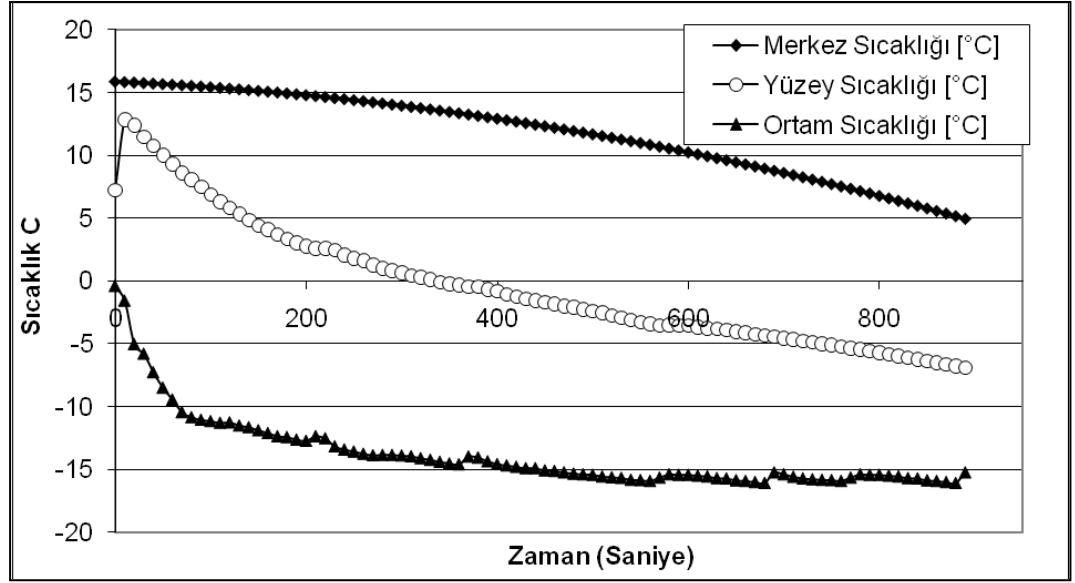
Çizelge 5.1 ile Çizelge 5.2 karşılaştırıldığında kolayca görülebileceği gibi, yüksek sıcaklıklarda soğutma sırasında kütle kayıpları daha fazla olurken düşük soğukluklarda soğutmada bu değer daha düşüktür.



Şekil 5.7. Buzdolabında 5°C sıcaklık altında mantarın yüzey sıcaklığı, merkez sıcaklığı ve ortam sıcaklığındaki değişim.



Şekil 5.8. Buzdolabında -16 °C sıcaklık altında mantarın yüzey sıcaklığı, merkez sıcaklığı ve ortam sıcaklığındaki değişim.



Şekil 5.9. Buzdolabında -20 °C sıcaklık altında mantarın yüzey sıcaklığı, merkez sıcaklığı ve ortam sıcaklığındaki değişim.

Çizelge 5.2. Mantarın klasik soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı

Set edilen sıcaklık (°C)	5	-16	-20
Başlangıç Kütle (gr)	38,01	24,61	26,12
Son Kütle (gr)	36,57	24,45	25,92
Kütle Kaybı (gr)	1,44	0,16	0,2
Kütle Kaybı Oranı (%)	3,79	0,65	0,76

5.2.3. Mantarın Hava Üfleli Soğutucu Altında Soğutulması

Mantarın hava üfleli soğutucu altında soğutulmasına ilişkin deneyler; -20°C, -16°C ve 5°C için, hız değeri istenilen 4m/s, 2m/s ve 1m/s değerlerinde gerçekleştirilmiştir. Soğutma deneyleri hava akış yönü yukarıdan aşağıya doğru uygulanmıştır.

Sıcaklık probu merkez, yüzey ve ortam sıcaklıklarını ölçerken hız probu hava hızı değerlerini ölçerek deney gerçekleştirilmiştir.

a) 5°C de 4 m/s hız altında

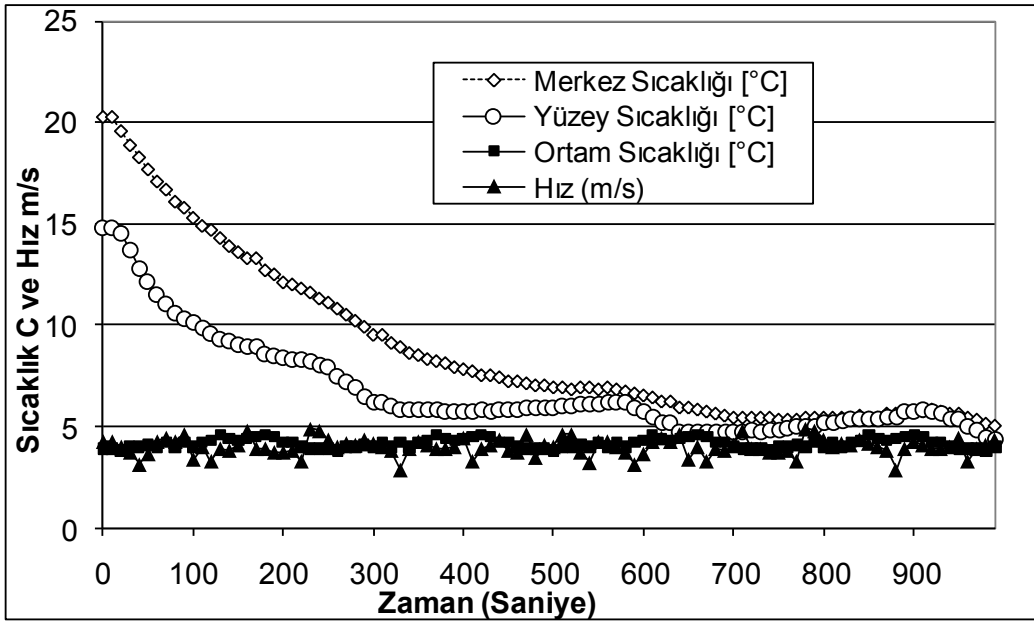
İlk deneyde ortam sıcaklığı 5°C getirilmiş ve hava akış hızı 4m/s de gerçekleştirilmiştir. Şekil 5.10'de görüldüğü gibi, merkez ve yüzey sıcaklığı birbirine paralel bir şekilde düşmüştür. 17 dakikada merkez sıcaklığı 5°C düşmüş

ve deney sona ermiştir. Sıcaklıktaki değişim ve hızdaki değişim Şekil 5.10 da verilmiştir. Şekil 5.11 de soğutma öncesi ve sonrasına ait termal kamera görüntülerine yer verilmiştir.

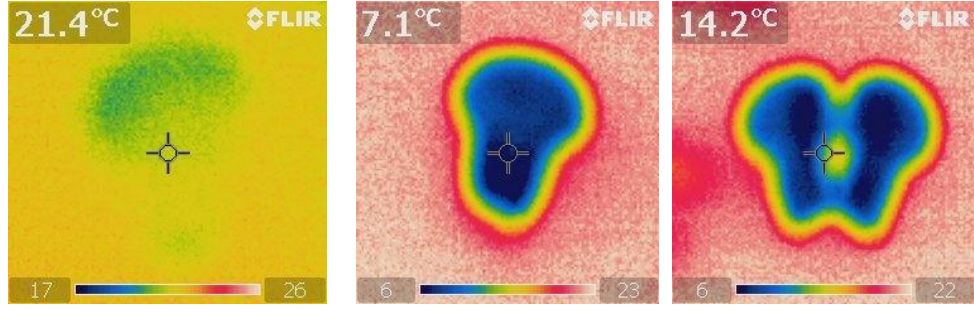
Çizelge 5.3'te ise mantarın kütlesindeki değişim verilmektedir. Bu deneyde mantarın merkez sıcaklığı başlangıç sıcaklığı olan 21°C'den 5°C'ye gelirken kütle kaybı 0,258 gr olmuştur. Kütle kaybı %3.04 olmuştur.

Çizelge 5.3. Mantarın 5°C 4m/s için hava üflemeli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı

Başlangıç Kütle:	8,479 gr
Son Kütle:	8,221 gr
Kütle Kaybı	0,258 gr
Kütle Kaybı Oranı	%3,04



Şekil 5.10. Hava üflemeli soğutucuda 5°C 4m/s için, mantarın yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi



Soğutma Başlamadan Soğutma Sonrası Soğutma Sonrası (Ortadan Kesilmiş)

Şekil 5.11. Mantarın 5°C 4m/s de hava üflemeli soğutma sonrası sıcaklık değişimi resmi

b) 5°C de 2 m/s hız altında

Deneyde ortam sıcaklığı 5°C getirilmiş ve hava akış hızı 2m/s de gerçekleştirilmiştir. Şekil 5.12’de görüldüğü gibi, merkez ve yüzey sıcaklığı paralel bir şekilde azalmış, 30 dakikada merkez sıcaklığı 5°C’ye düşmüş ve deney sona ermiştir. Sıcaklıktaki ve hızdaki değişim Şekil 5.12 de verilmiştir. Şekil 5.13 de soğutma öncesi ve sonrasına ait termal kamera görüntülerine yer verilmiştir.

Çizelge 5.4’te ise mantarın kütlesindeki değişim verilmektedir. Deneyde mantarın merkez sıcaklığı başlangıç sıcaklığı olan 18 °C’den 5 °C’ye gelirken kütle kaybı 0,218 gr olmuştur. Kütle kaybı %2,2 olmuştur

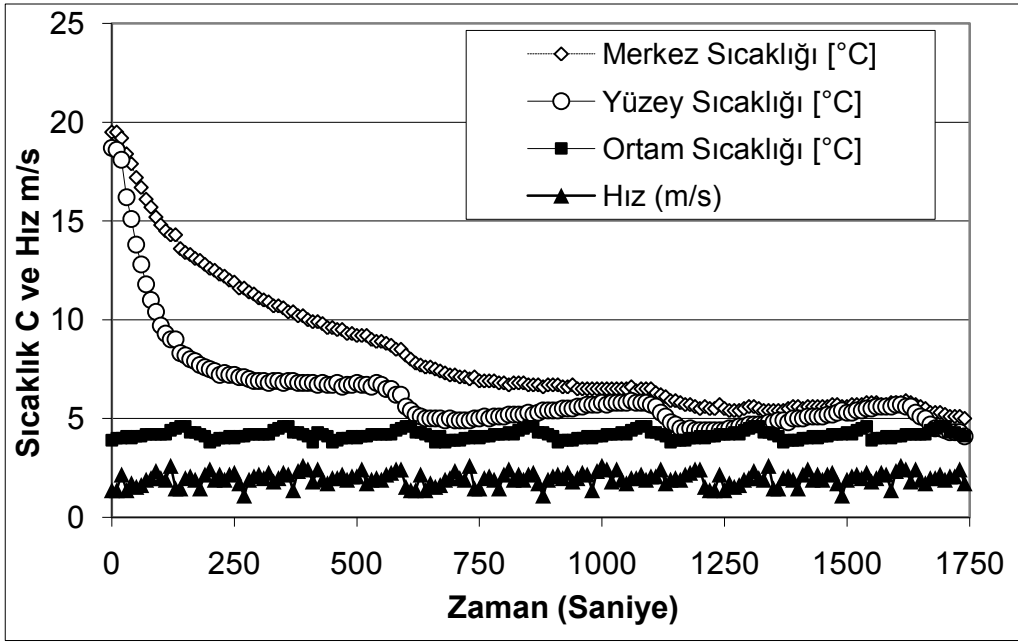
Mantara ait özellikler Çizelge 5.4’te verilmiştir.

Çizelge 5.4. Mantarın 5°C 2m/s için hava üflemeli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı

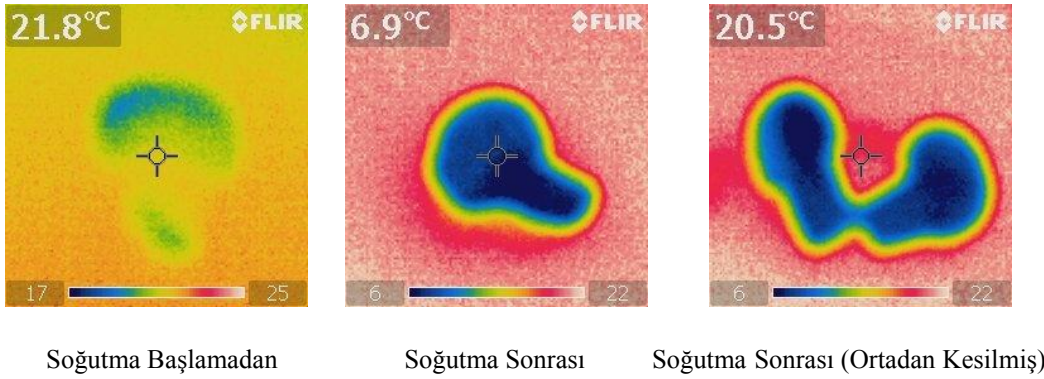
Başlangıç Kütle:	9,883 gr
Son Kütle:	9,665 gr
Kütle Kaybı	0,218 gr
Kütle Kaybı Oranı	% 2,2

c) 5°C de 1 m/s hız altında

Deneyde ortam sıcaklığı 5°C getirilmiş ve hava akış hızı 1m/s de gerçekleştirilmiştir. Şekil 5.14’de görüldüğü gibi, merkez ve yüzey sıcaklığı eş eğriler şeklinde düşmüştür. 28 dakikada merkez sıcaklığı 5°C düşmüş ve deney sona ermiştir. Sıcaklıktaki değişim ve hızdaki değişim Şekil 5.14 de verilmiştir. Şekil 5.15 de soğutma öncesi ve sonrasına ait termal kamera görüntülerine yer verilmiştir.



Şekil 5.12. Hava üfleli soğutucuda 5°C 2m/s için, mantarın yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi



Şekil 5.13. Mantarın 5°C 2m/s de hava üfleli soğutma sonrası sıcaklık değişimi resmi

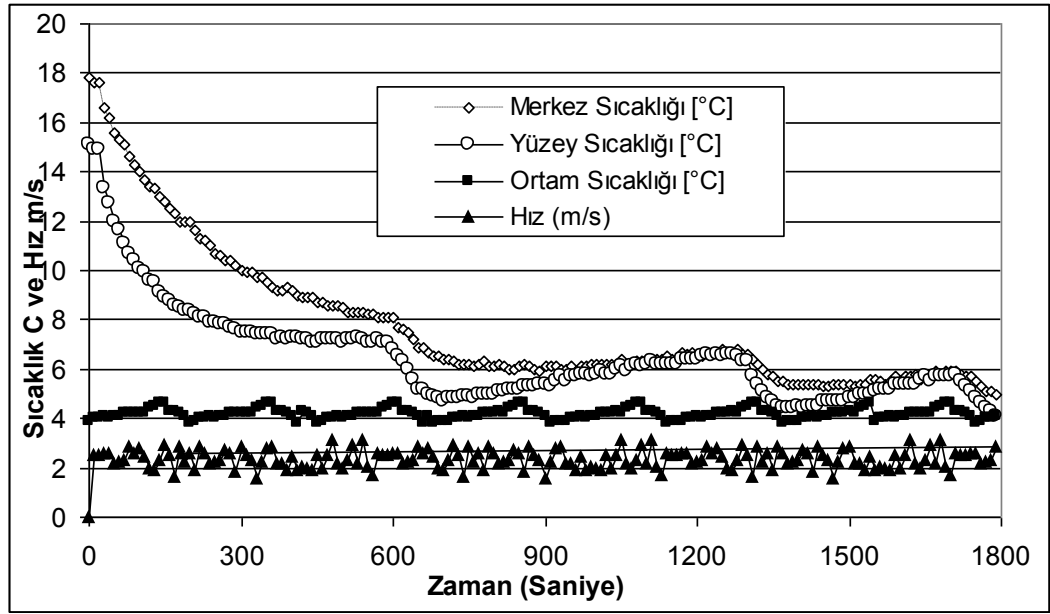
Çizelge 5.5'te ise mantarın kütlesindeki değişim verilmektedir. Deneyde mantarın merkez sıcaklığı başlangıç sıcaklığı olan 18 °C'den 5 °C'ye gelirken kütle kaybı 0,252 gr olmuştur. Kütle kaybı %2 olmuştur.

d) -16°C de 4 m/s hız altında

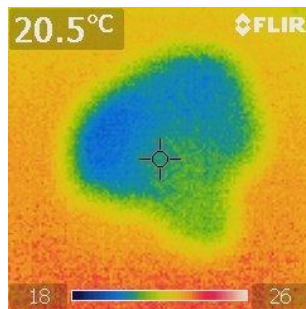
Deneyde ortam sıcaklığı -16°C getirilmiş ve hava akış hızı 4 m/s de gerçekleştirilmiştir. Şekil 5.16'de görüldüğü gibi, merkez ve yüzey sıcaklığı düşmüştür. 90 saniyede merkez sıcaklığı 5°C düşmüş ve deney sona ermiştir. Sıcaklıktaki değişim ve hızdaki değişim Şekil 5.16 de verilmiştir. Şekil 5.17 de soğutma öncesi ve sonrasına ait termal kamera görüntülerine yer verilmiştir.

Çizelge 5.5. Mantarın 5°C 1m/s için hava üfleli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı

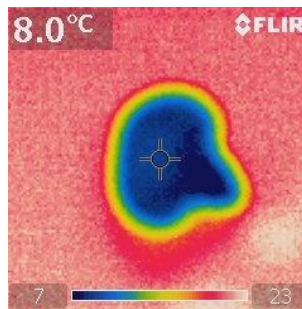
Başlangıç Kütle:	12,782 gr
Son Kütle:	12,530 gr
Kütle Kaybı	0,252 gr
Kütle Kaybı Oranı	% 2



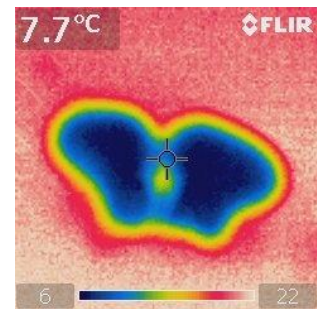
Şekil 5.14. Hava üfleli soğutucuda 5°C 1m/s için, mantarın yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi



Soğutma Başlamadan



Soğutma Sonrası



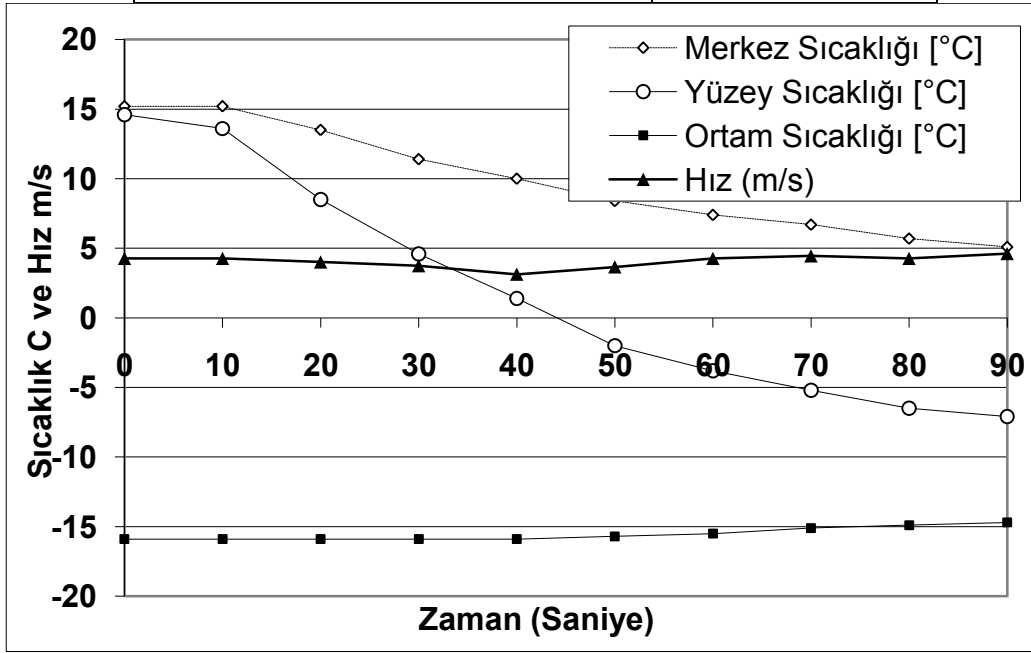
Soğutma Sonrası (Ortadan Kesilmiş)

Şekil 5.15. Mantarın 5°C 1m/s de hava üfleli soğutma sonrası sıcaklık değişimi resmi

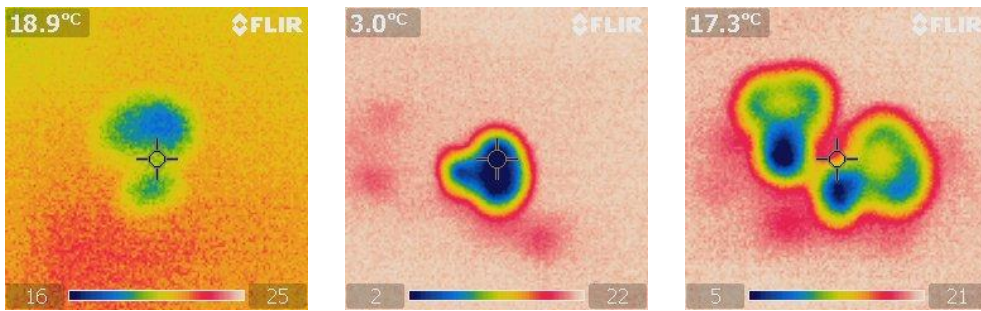
Çizelge 5.6'da ise mantarın kütlesindeki değişim verilmektedir. Deneyde mantarın merkez sıcaklığı başlangıç sıcaklığı olan 15°C'den 5°C'ye gelirken kütle kaybı 0,136 gr olmuştur. Kütle kaybı %1,2 olmuştur. Mantara ait özellikler Çizelge 5.6'da verilmiştir.

Çizelge 5.6. Mantarın -16°C 4m/s için hava üflemeli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı

Başlangıç Kütle:	11,267 gr
Son Kütle:	11,131 gr
Kütle Kaybı	0,136 gr
Kütle Kaybı Oranı	%1,2



Şekil 5.16. Hava üflemeli soğutucuda -16°C 4m/s için, mantarın yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi



Soğutma Başlamadan

Soğutma Sonrası

Soğutma Sonrası (Ortadan Kesilmiş)

Şekil 5.17. Mantarın -16°C 4m/s de hava üflemeli soğutma sonrası sıcaklık değişimi resmi

e) -16°C de 2m/s hız altında

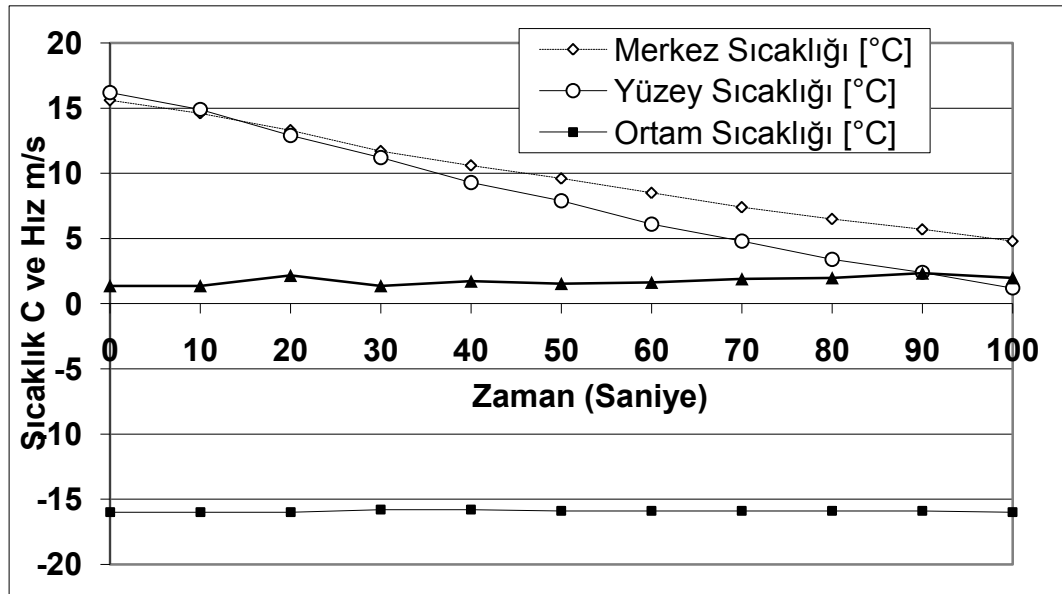
Deneyde ortam sıcaklığı -16°C getirilmiş ve hava akış hızı 2m/s de gerçekleştirilmiştir. Şekil 5.18'de görüldüğü gibi, merkez ve yüzey sıcaklığı

düşmüştür. 100 saniye merkez sıcaklığı 5°C düşmüş ve deney sona ermiştir. Sıcaklıktaki değişim ve hızdaki değişim Şekil 5.18 de verilmiştir. Şekil 5.19 de soğutma öncesi ve sonrasına ait termal kamera görüntülerine yer verilmiştir.

Çizelge 5.7’da ise mantarın kütlesindeki değişim verilmektedir. Deneyde mantarın merkez sıcaklığı başlangıç sıcaklığı olan 20°C ’den 5°C ’ye gelirken kütle kaybı 0,353 gr olmuştur. Kütle kaybı %1,6 olmuştur. Mantara ait özellikler Çizelge 5.7’te verilmiştir.

Çizelge 5.7. Mantarın -16°C 2m/s için hava üfleli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı

Başlangıç Kütle:	22,640 gr
Son Kütle:	22,287gr
Kütle Kaybı	0,353 gr
Kütle Kaybı Oranı	%1,6

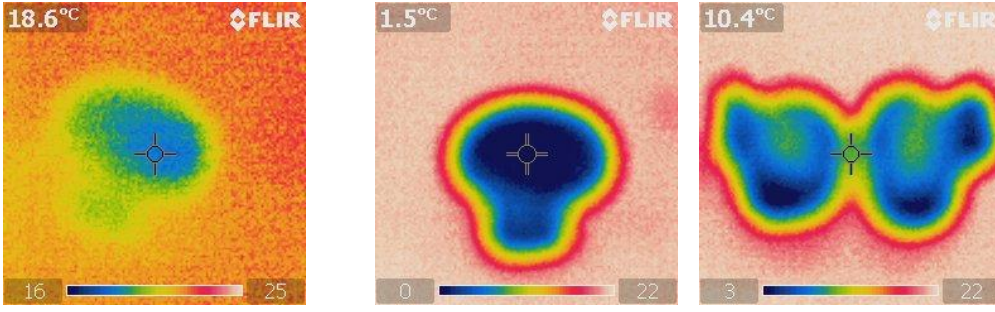


Şekil 5.18. Hava üfleli soğutucuda -16°C 2m/s için, mantarın yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi

f) -16°C de 1 m/s hız altında

Deneyde ortam sıcaklığı -16°C getirilmiş ve hava akış hızı 1 m/s de gerçekleştirilmiştir. Şekil 5.20’de görüldüğü gibi, merkez ve yüzey sıcaklığı düşmüştür. 220 saniye merkez sıcaklığı 5°C düşmüş ve deney sona ermiştir.

Sıcaklıktaki değişim ve hızdaki değişim Şekil 5.20 de verilmiştir. Şekil 5.21 de soğutma öncesi ve sonrasına ait termal kamera görüntülerine yer verilmiştir.



Soğutma Başlamadan

Soğutma Sonrası

Soğutma Sonrası (Ortadan Kesilmiş)

Şekil 5.19. Mantarın -16°C 2m/s de hava üfleli soğutma sonrası sıcaklık değişimi resmi

Çizelge 5.8’de ise mantarın kütlesindeki değişim verilmektedir. Deneyde mantarın merkez sıcaklığı başlangıç sıcaklığı olan 15°C’den 5°C’ye gelirken kütle kaybı 0,114 gr olmuştur. Kütle kaybı %0.8 olmuştur. Mantara ait özellikler Çizelge 5.8’te verilmiştir.

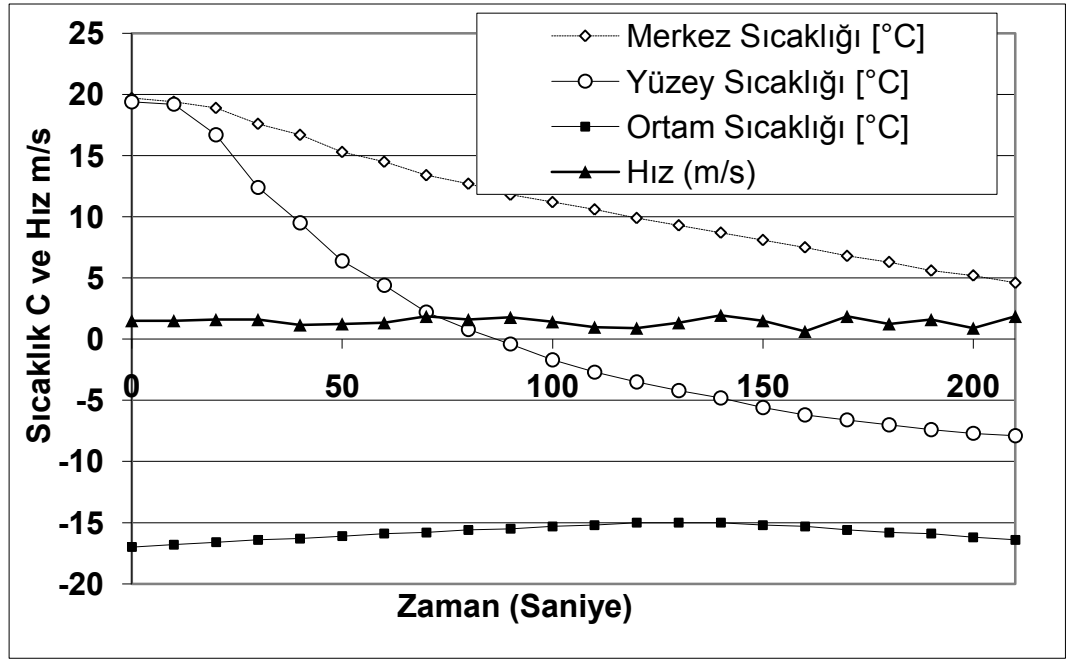
Çizelge 5.8 Mantarın -16°C 1m/s için hava üfleli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı

Başlangıç Kütle:	13,794 gr
Son Kütle:	13.680 gr
Kütle Kaybı	0,114 gr
Kütle Kaybı Oranı	%0.8

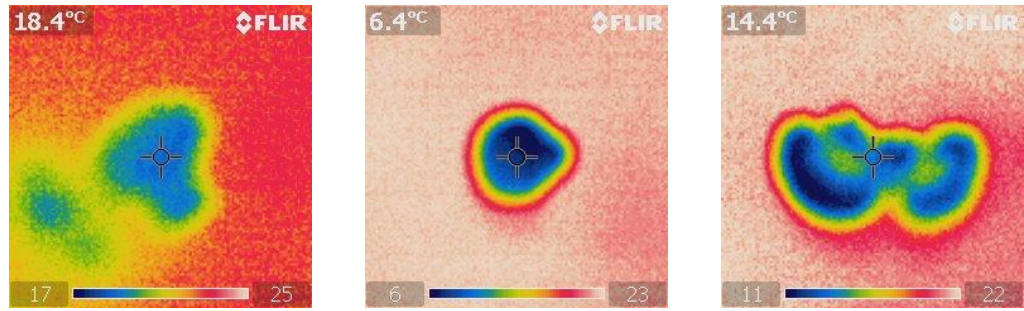
g) -20°C de 4 m/s hız altında

Deneyde ortam sıcaklığı -20°C getirilmiş ve hava akış hızı 4 m/s de gerçekleştirilmiştir. Şekil 5.22’de görüldüğü gibi, merkez ve yüzey sıcaklığı düşmüştür. 90 saniyede merkez sıcaklığı 5°C düşmüş ve deney sona ermiştir. Sıcaklıktaki değişim ve hızdaki değişim Şekil 5.22 de verilmiştir. Şekil 5.23 da soğutma öncesi ve sonrasına ait termal kamera görüntülerine yer verilmiştir.

Çizelge.4.9’de ise mantarın kütlesindeki değişim verilmektedir. Deneyde mantarın merkez sıcaklığı başlangıç sıcaklığı olan 18°C’den 5°C’ye gelirken kütle kaybı 0,163 gr olmuştur. Kütle kaybı %1,5 olmuştur. Mantara ait özellikler Çizelge 5.9’de verilmiştir.



Şekil 5.20. Hava üfleli soğutucuda -16°C 1m/s için, mantarın yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi



Soğutma Başlamadan

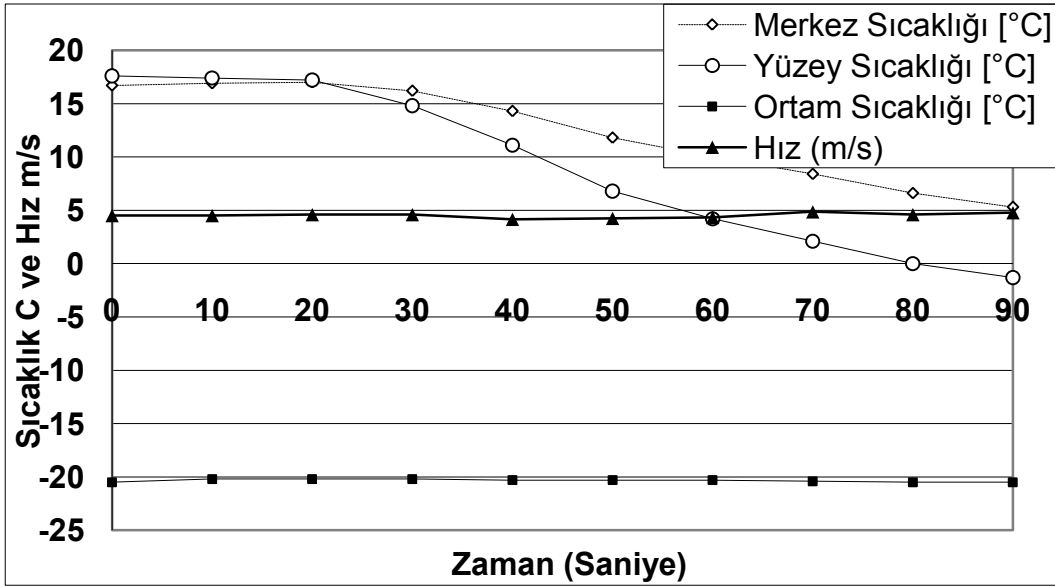
Soğutma Sonrası

Soğutma Sonrası (Ortadan Kesilmiş)

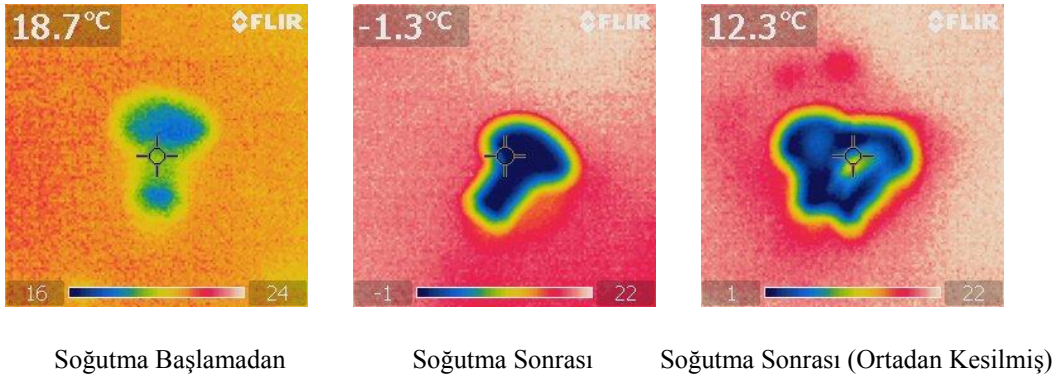
Şekil 5.21. Mantarın -16°C 1m/s de hava üfleli soğutma sonrası sıcaklık değişimi resmi

Çizelge 5.9 Mantarın -20°C 4m/s için hava üfleli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı

Başlangıç Kütle:	10,429 gr
Son Kütle:	10,266 gr
Kütle Kaybı	0,163 gr
Kütle Kaybı Oranı	%1,5



Şekil 5.22. Hava üflemeli soğutucuda -20°C 4m/s için, mantarın yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi



Şekil 5.23. Mantarın -20°C 4m/s de hava üflemeli soğutma sonrası sıcaklık değişimi resmi

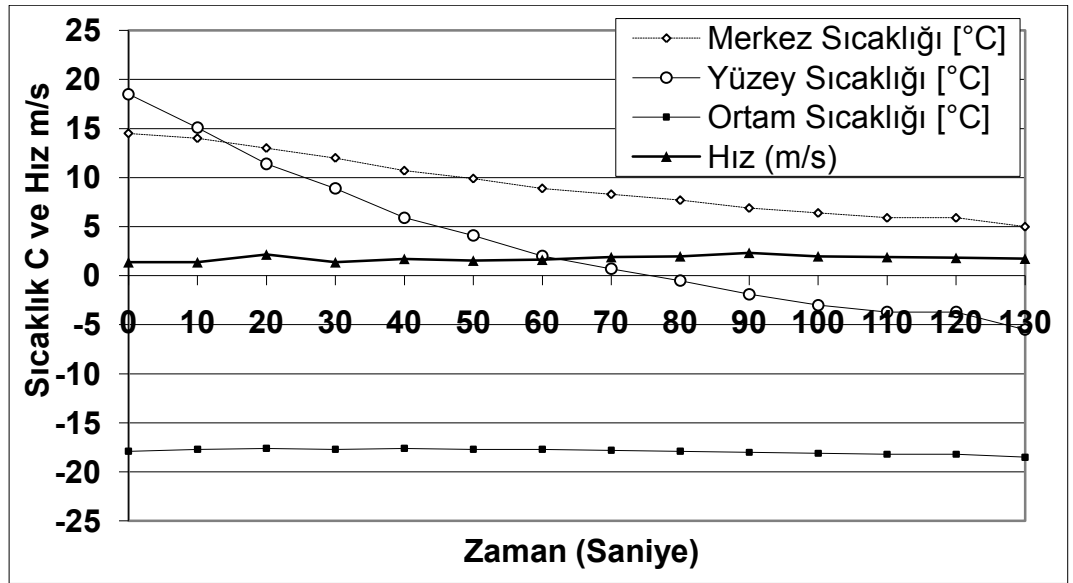
h) -20°C de 2 m/s hız altında

Deneyde ortam sıcaklığı -20°C getirilmiş ve hava akış hızı 2 m/s de gerçekleştirilmiştir. Şekil 5.24’de görüldüğü gibi, merkez ve yüzey sıcaklığı düşmüştür. 130 saniye merkez sıcaklığı 5°C düşmüş ve deney sona ermiştir. Sıcaklıktaki değişim ve hızdaki değişim Şekil 5.24 de verilmiştir. Şekil 5.25 de soğutma öncesi ve sonrasına ait termal kamera görüntülerine yer verilmiştir.

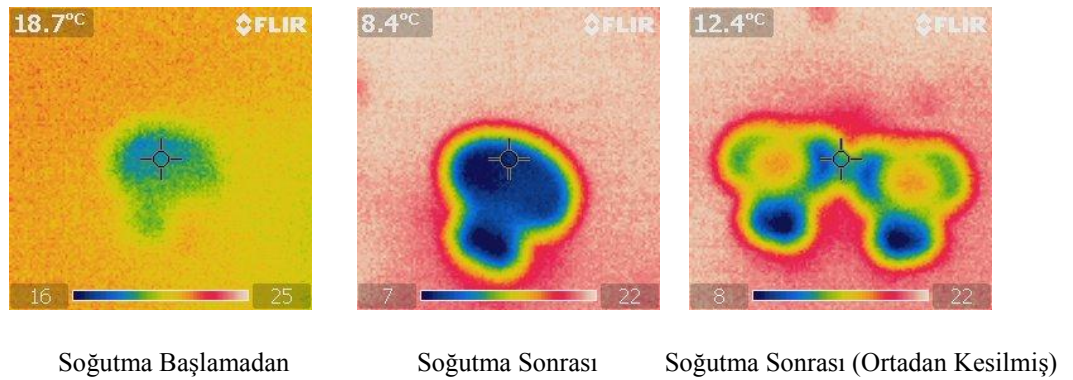
Çizelge 5.10.’te ise mantarın kütlesindeki değişim verilmektedir. Deneyde mantarın merkez sıcaklığı başlangıç sıcaklığı olan 16°C’den 5°C’ye gelirken kütle kaybı 0,098 gr olmuştur. Kütle kaybı %0,6 olmuştur. Mantara ait özellikler Çizelge 5.10’te verilmiştir.

Çizelge 5.10. Mantarın -20°C 2m/s için hava üflemeli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı

Başlangıç Kütle:	14,688 gr
Son Kütle:	14,590 gr
Kütle Kaybı	0,098 gr
Kütle Kaybı Oranı	%0.6



Şekil 5.24. Hava üflemeli soğutucuda -20°C 2m/s için, mantarın yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi



Şekil 5.25. Mantarın -20°C 2m/s de hava üflemeli soğutma sonrası sıcaklık değişimi resmi

i) -20°C de 1 m/s hız altında

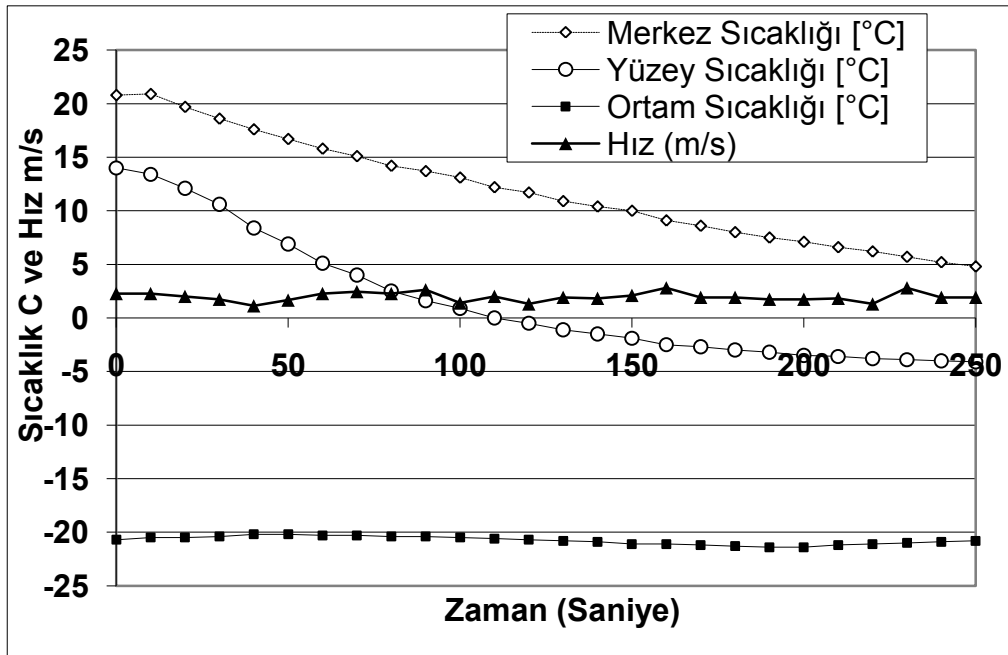
Deneyde ortam sıcaklığı -20°C getirilmiş ve hava akış hızı 1 m/s de gerçekleştirilmiştir. Şekil 5.26'de görüldüğü gibi, merkez ve yüzey sıcaklığı

düşmüştür. 250 saniyede merkez sıcaklığı 5°C düşmüş ve deney sona ermiştir. Sıcaklıktaki değişim ve hızdaki değişim Şekil 5.26 de verilmiştir. Şekil 5.27 de soğutma öncesi ve sonrasına ait termal kamera görüntülerine yer verilmiştir.

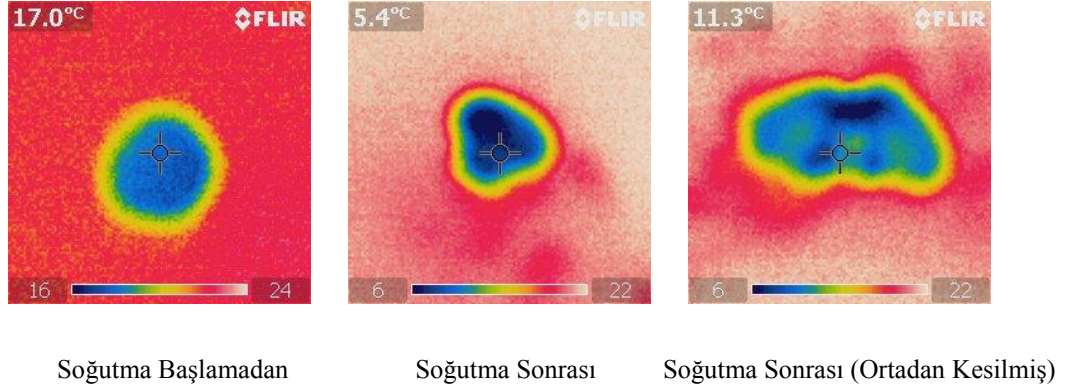
Çizelge.1.11’te ise mantarın kütlesindeki değişim verilmektedir. Deneyde mantarın merkez sıcaklığı başlangıç sıcaklığı olan 16°C ’den 5°C ’ye gelirken kütle kaybı 0,091 gr olmuştur. Kütle kaybı %0,7 olmuştur. Mantara ait özellikler Çizelge 5.11’te verilmiştir.

Çizelge 5.11 Mantarın -20°C 1m/s için hava üfleli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı

Başlangıç Kütle:	11,731 gr
Son Kütle:	11,640 gr
Kütle Kaybı	0,091 gr
Kütle Kaybı Oranı	%0.7



Şekil 5.26. Hava üfleli soğutucuda -20°C 1m/s için, mantarın yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi



Şekil 5.27. Mantarın -20°C 1m/s de hava üfleli soğutma sonrası sıcaklık değişimi resmi

5.3. Marulun (*L.actuva Sativa Var. Longifolia*) Soğutulması

Marul vakum altında, klasik soğutma yöntemi ile ve hava üfleli soğutma ile soğutulmuş ve sonuçlar karşılaştırılabilir bir şekilde aşağıda detaylı olarak verilmiştir.

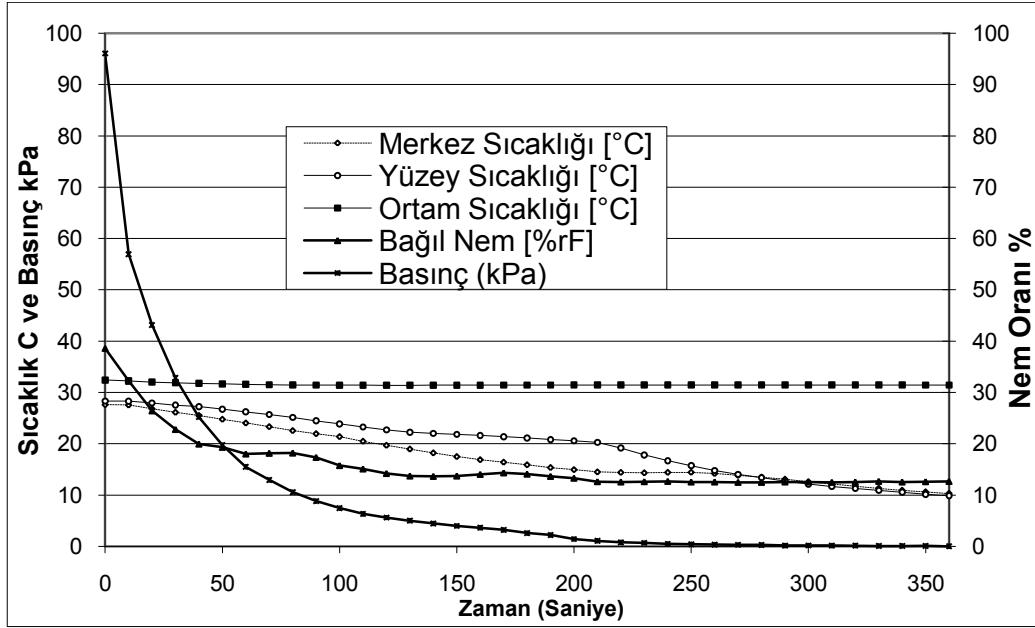
5.3.1. Marulun vakum altında soğutma

Marulun vakum altında soğutulmasına ilişkin deneyler de mantarda olduğu gibi; 7mbar, 10 mbar ve 15 mbar basınçlar için yürütülmüştür. Mantar için olduğu gibi marul için de deneylerde merkez ve yüzey sıcaklıkları verilmiştir. Yapraksı marullarda merkez sıcaklığı olarak marulun sap kısmındaki merkez sıcaklığı ölçülmüştür ve bu nedenle de sıcaklığının ölçülmesinde zorluklarla karşılaşmıştır. Marulun yüzey sıcaklığının ölçülmesi esnasında sıkça prob çıkmış ve bu nedenle deneyler yarıda kalarak tekrar edilmiştir. Bu nedenle de her bir basınç için çok sayıda deney yürütülmüş, bunlardan doğru sonuç verenlerin ortalaması kullanılarak sonuçlar sunulmuştur.

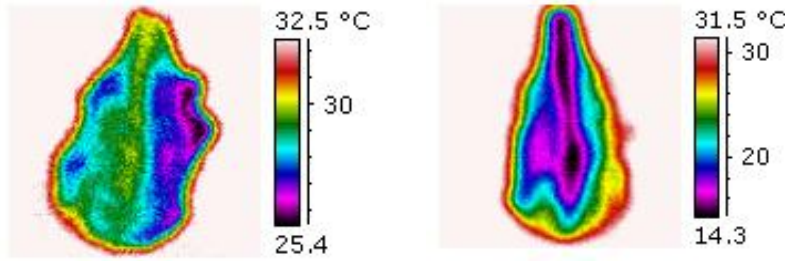
7 mbar basınçta marulun vakum altında soğutulmasına ilişkin değerler Çizelge 5.12’te verilmiştir. Vakum altında ve 7 mbar basınçta marulun soğuması esnasında yüzey, merkez ve ortam sıcaklığı ve basınç ve nem değişimleri Şekil 5.28’te gösterilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi, mantara ilişkin deneylerde olduğu gibi, başlangıçta vakum hızlı bir şekilde gerçekleşmiş, fakat sonrasında basınç değişimi çok küçük gerçekleşmiş veya hemen hemen sabit kalmıştır. 360 saniyede sıcaklık 9°C’ye inmiş ve bu süreden sonra sıcaklıkta bir değişim olmamıştır. Bunun nedeni marulun yüzey alanının kütlesine oranla çok fazla olması nedeni ile kütle kaybının fazla olması ve bu nedenle 9°C sıcaklığın altına soğuyabilecek buharlaşmanın gerçekleşmemesidir veya yaz aylarında deneylerin

gerçekleşmiş olması nedeni ile ürünün soğutuluncaya kadar geçen zamanda kendiliğinden kütle kaybetmiş olmasıdır. Bu nedenle marulun soğuyabilmesi için, marulun üzerine su püskürterek mutlaka nemlendirilmesi gerekmektedir. Ayrıca marulun çok taze olması ve dışarıda bekletilmemesi gereklidir.

Şekil 5.29 de ise marulun 7 mbar da soğutma öncesi ve soğutma sonrası termal kamera ile alınmış görüntüleri verilmiştir.



Şekil 5.28. 7 mbar sabit basınç altında marulun yüzey, merkez ve ortam sıcaklığı, nem oranı ve basınç değişimi.



Vakum Soğutma Başlamadan

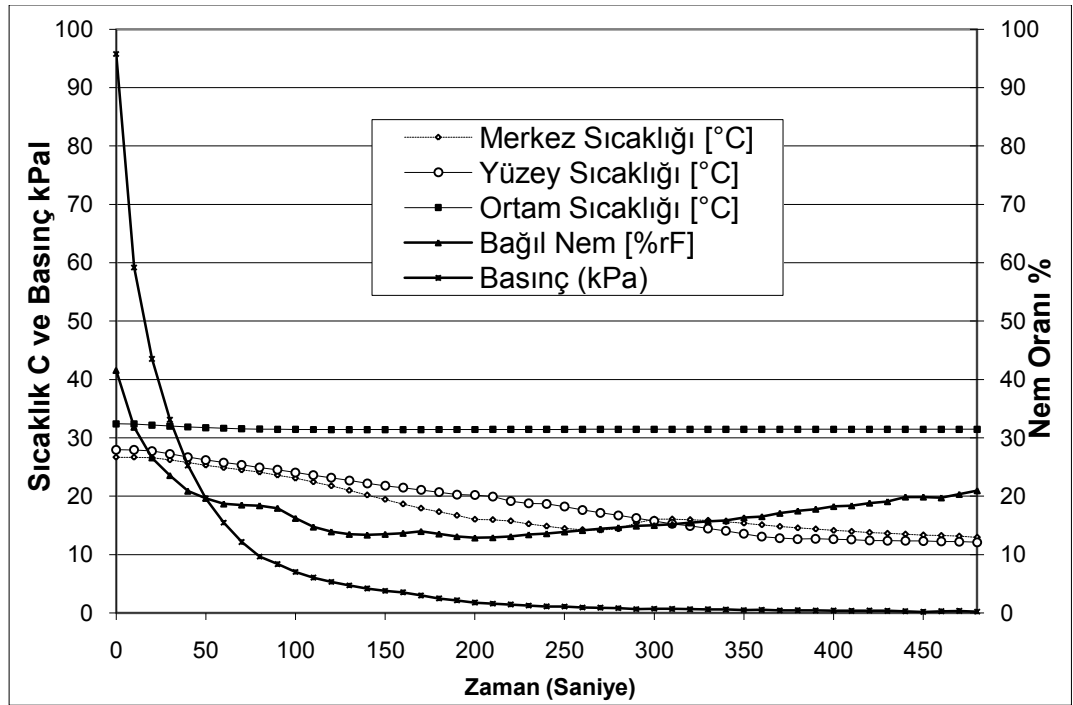
Vakum Soğutma Sonrası

Şekil 5.29. 7 mbar basınç altında marulun soğutma öncesi ve sonrası sıcaklık değişimi resmi

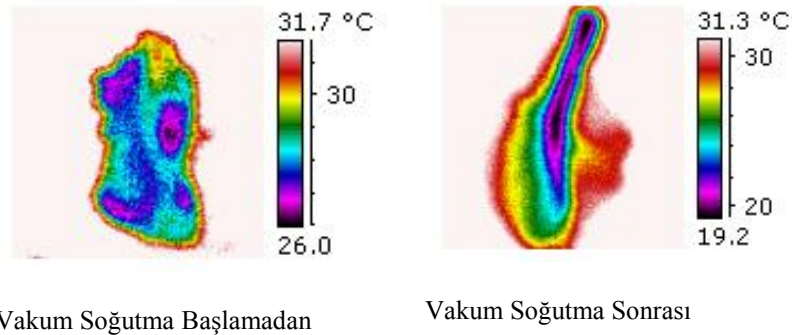
Marulun 10 mbar basınçta soğutulması durumu için sonuçlar Çizelge 5.12 ve Şekil 5.30 de verilmiştir. Şekil 5.30'da 10 mbar basınç altında merkez ve yüzey ve ortam sıcaklığı ile basınç ve ortam neminin zamanla değişimi verilmiştir. Bu deneyde merkez sıcaklığı 12°C'nin altına düşmemiştir. Marulun sıcaklığı yaklaşık 480 saniyede 12 °C sıcaklığa düşmüş bu sıcaklığın altına düşülmesi mümkün

olmamıştır. Genel olarak birçok durumda 10 mbar için 10 °C sıcaklığın altına inilememiştir. Teorik olarak da suyun buharlaşma basıncı 10 mbar'da (1 kPa) 6,97 °C olduğundan, bu basınç değeri için minimum inilecek sıcaklık değerleri birçok durumda 10 °C civarında olmuştur.

10 mbar'da marulun soğuma öncesi ve sonrası termal kamera ile alınmış resimleri Şekil 5.31 de verilmiştir. Vakum soğutma sonrası sıcaklıklarının yüksek olmasının nedeni vakum odasının açılabilmesi için içeri hava alınması ve bu esnada da marulun yüzey alanı büyük olduğundan dışarıdan gelen sıcak hava nedeni ile kısa sürede ısınmasıdır.



Şekil 5.30. 10 mbar sabit basınç altında marulun yüzey, merkez ve ortam sıcaklığı, nem oranı ve basınç değişimi.



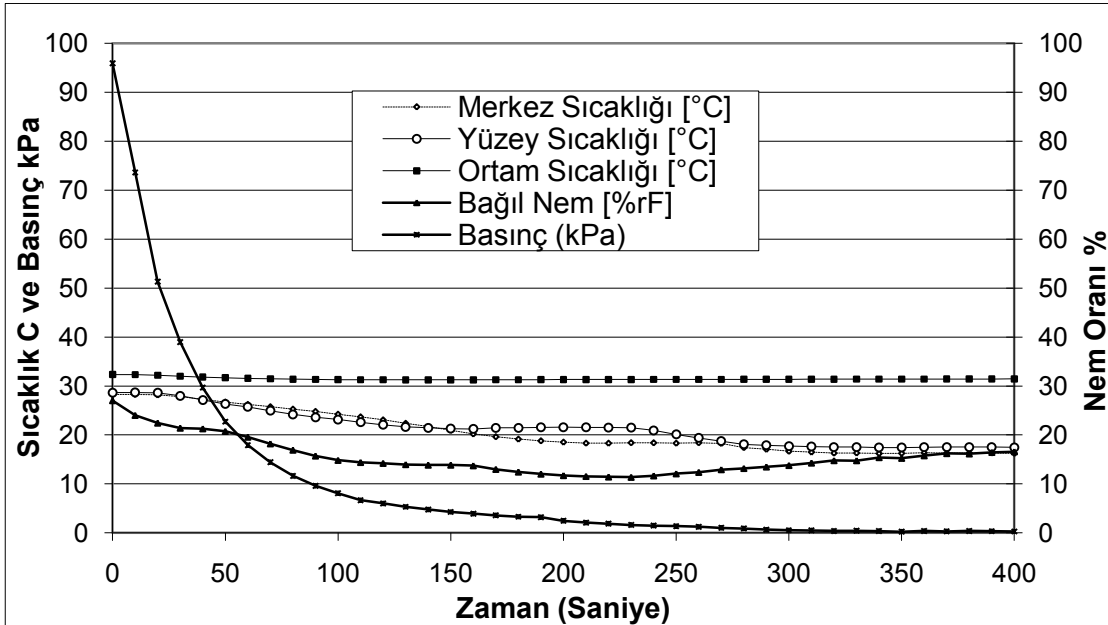
Şekil 5.31. 10 mbar basınç altında marulun soğutma öncesi ve sonrası sıcaklık değişimi resmi

Çizelge 5.12’de de görüldüğü gibi marulun vakum soğutma sırasındaki kütle kaybı %6 dolaylarındadır. En yüksek kütle kaybı 7 mbar, en düşük ise 15mbar basınç altında olmuştur. Bununla birlikte değerler arasında çok büyük bir fark yoktur.

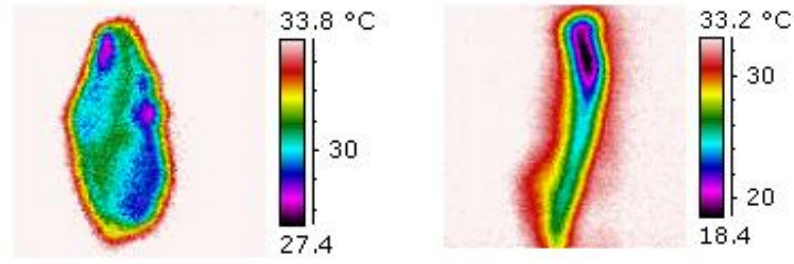
Çizelge 5.12. Vakum altında soğutmada marulun başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı

Basıç (mbar)	7	10	15
Başlangıç Kütle (g)	9,680	13,307	8,242
Son Kütle (g)	9,063	12,543	7,777
Kütle Kaybı (g)	0,617	0,764	0,465
Kütle Kaybı Oranı (%)	6,37	5,74	5,64

Şekil 5.33 de 15 mbar basınç değeri için marulun termal kamera ile alınmış resmi verilmiştir. 10 mbar’da olduğu gibi 15 mbarda da, vakum soğutma sonrası sıcaklıklarının yüksek olmasının nedeni vakum odasının açılabilmesi için içeri hava alınması ve bu esnada da marulun yüzey alanı büyük olduğundan dışarıdan gelen sıcak hava nedeni ile kısa sürede ısınmasıdır.



Şekil 5.32. 15 mbar sabit basınç altında marulun yüzey, merkez ve ortam sıcaklığı, nem oranı ve basınç değişimi.



Vakum Soğutma Başlamadan Vakum Soğutma Sonrası

Şekil 5.33. 15 mbar basınç altında marulun soğutma öncesi ve sonrası sıcaklık değişimi resmi

5.3.2. Marulun klasik yöntemle soğutulması

Marulun geleneksel olarak soğutulması denemeleri mantarınkine benzer olarak buzdolabında (5°C, -16°C, -20°C sıcaklıkta) gerçekleştirilmiştir. -16°C ve -20°C sıcaklıklarda yapılan denemelerde, yüzey sıcaklığı 0°C'ye geldiğinde donma olayı gerçekleşmeye başlamıştır.

Marulun 5°C, -16°C ve -20°C için soğutma öncesi ve soğutma sonrası kütle değerleri ile, kütle kaybı ve kütle kaybı oranı Çizelge 5.13 de verilmiştir. Çizelge 5.13de de görüldüğü gibi kütle kaybı oranları %2,84 ile %0,6 arasındadır ve bu değerler vakum soğutmadaki değerlerin oldukça altındadır.

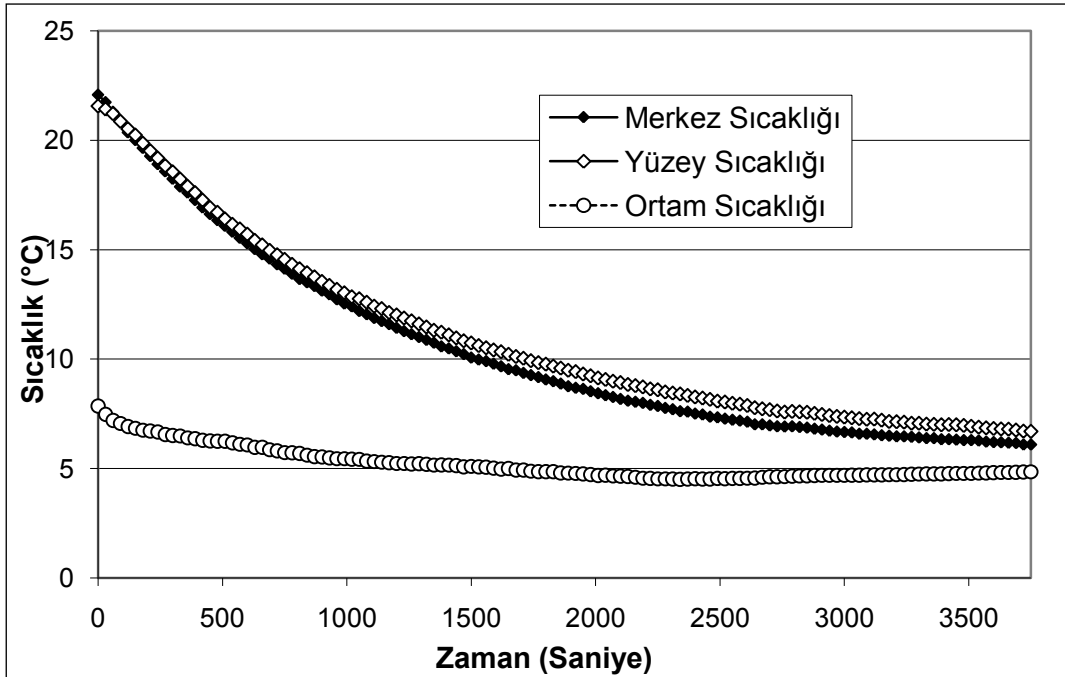
Çizelge 5.13. Marulun klasik soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı

Set edilen sıcaklık (°C)	5	-16	-20
Başlangıç Kütle(gr)	5,168	5,471	7,14
Son Kütle (gr)	5,021	5,435	7,08
Kütle Kaybı (gr)	0,147	0,036	0,06
Kütle Kaybı Oranı (%)	2,844	0,658	0,8403

Marulun klasik soğutma öncesi ve sonrasında ağırlıkları ölçülmüş ve kütle kaybı belirlenmiştir, buna göre 5 °C sıcaklıktaki bir ortamda marulun soğutulması sırasında, kütle kaybı %3,8 olarak bulunmuştur. Bu değer vakum soğutma ile kıyaslandığında daha düşüktür. 5°C sıcaklıkta, buzdolabında soğutmada marulun sıcaklık değişimi Şekil 5.34'de verilmiştir. Marulun 5°C'ye soğutulması için geçen süre 3780 saniye (63 dakika) olmuştur. Vakum soğutmada bu süre vakum basıncına bağlı olmakla birlikte 6 ile 10 dakika arasında sürmektedir.

Marulların geleneksel yöntemle soğutulmasında ikinci deneme -16°C altında yürütülmüştür. Marulun kütle kaybı %0,65 olarak bulunmuştur. -16°C sıcaklıkta, klasik soğutmada marulun sıcaklık değişimi Şekil 5.35'te verildiği gibidir. Şekilden de görüldüğü gibi, düşük sıcaklıklarda marulun yüzeyinde ve merkezinde eş zamanlı olarak hızlı bir soğuma gerçekleşmiştir. 3 dakika gibi kısa bir sürede marul hızlı bir şekilde soğutulmuştur. Marul yüzeyinde donma meydana gelmiştir ve bu istenmeyen bir özelliktir, çünkü ürün tekrar ortam sıcaklığına geldiğinde görünümünü değiştirmiştir. Marul bozulmuştur.

Dondurucuda -20°C 'de marulun soğutulmasına ilişkin deneysel sonuçlar Şekil 5.37'de verilmiştir. -16°C 'de soğutma verilerden farklı olarak yüzey ve merkez sıcaklıkları arasında farklılık meydana gelmektedir. Bunun nedeni çok düşük sıcaklıklarda yüzeydeki soğumanın merkeze göre daha çabuk olmasından kaynaklanmaktadır. Bu denemede kütle kaybı %0,76 olarak bulunmuştur, -16°C 'de gerçekleşen soğutmada da yakın değerler elde edilmiştir.

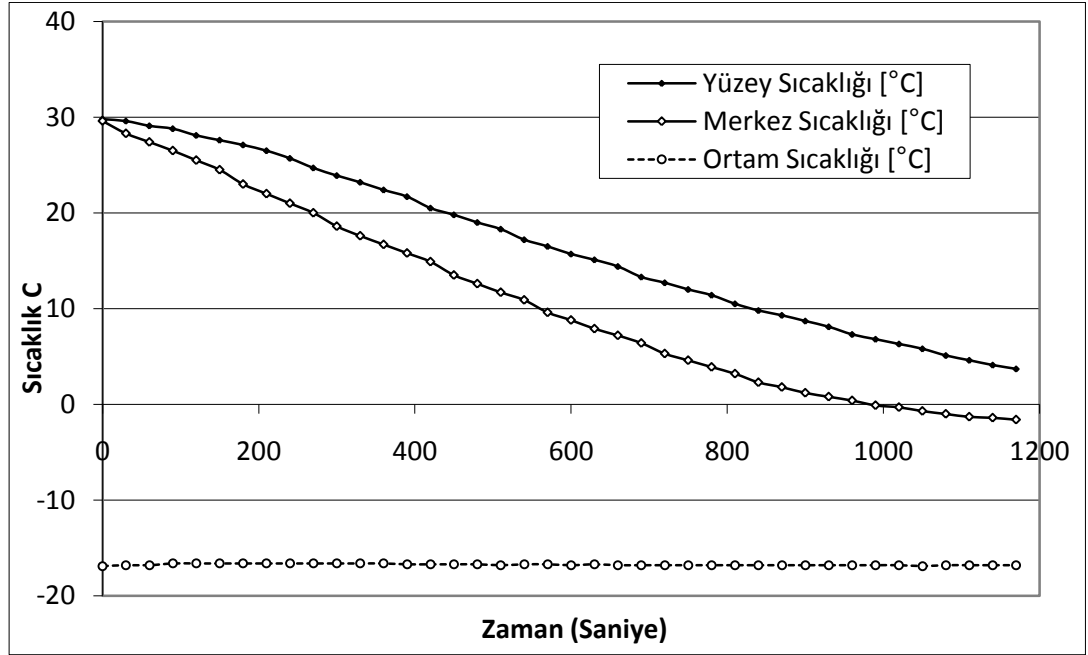


Şekil 5.34. Buzdolabında 5°C sıcaklık altında marulun yüzey sıcaklığı, merkez sıcaklığı ve ortam sıcaklığındaki değişim.

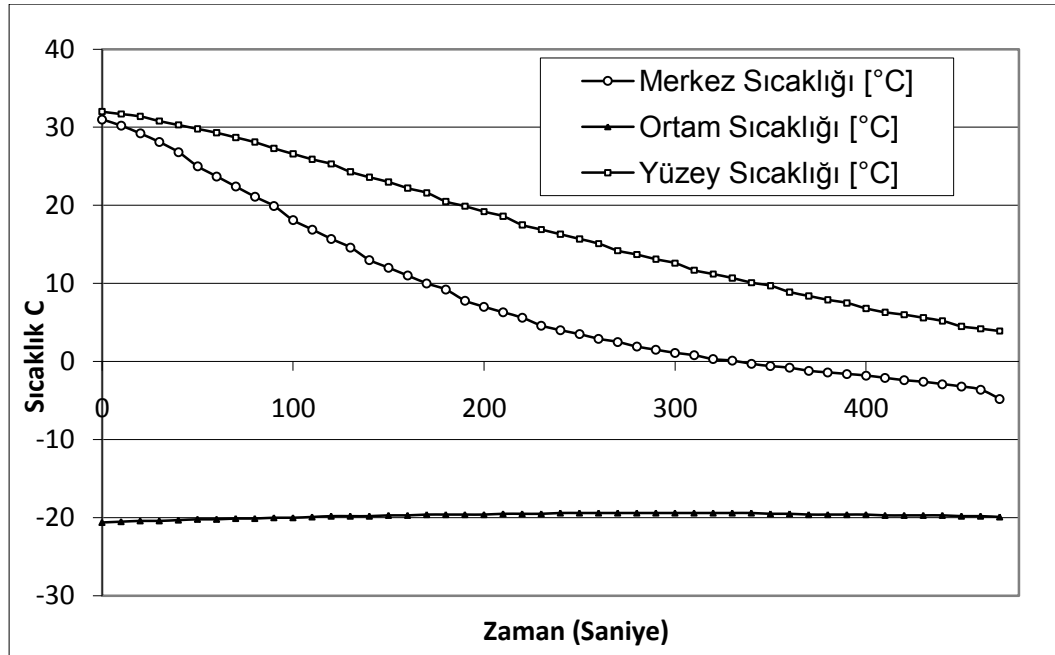
5.3.3. Marulun Hava Üfleli Soğutucuda Soğutulması

Marulun hava üfleli soğutucuda soğutulmasına ilişkin deneyler; -20°C , -16°C , 5°C derecelerde, 1 m/s, 2 m/s, 4 m/s hızlarda yapılmıştır. Soğutma deneyleri hava akış yönü yukarıdan aşağıya doğru gerçekleşmektedir.

Sıcaklık probu merkez, yüzey ve ortam sıcaklıklarını ölçerken hız probu hava hızı değerlerini ölçerek deney gerçekleştirilmektedir.



Şekil 5.35. Buzdolabında -16°C sıcaklık altında marulun yüzey sıcaklığı, merkez sıcaklığı ve ortam sıcaklığındaki değişim.



Şekil 5.36. Buzdolabında -20°C sıcaklık altında marulun yüzey sıcaklığı, merkez sıcaklığı ve ortam sıcaklığındaki değişim.

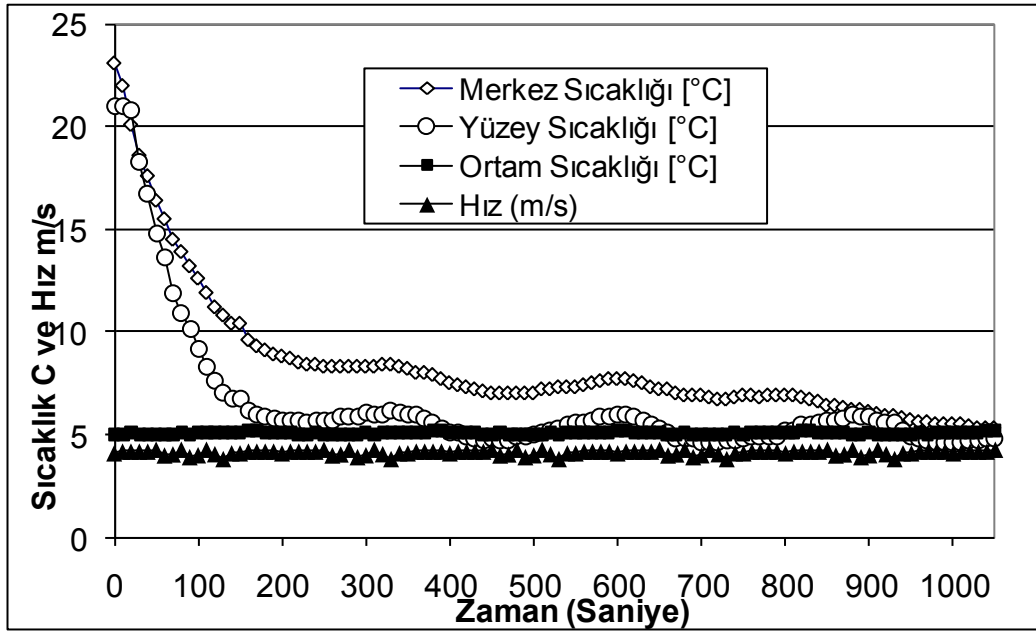
a) 5°C de 4 m/s hız altında

Deneyde ortam sıcaklığı 5°C getirilmiş ve hava akış hızı 4m/s' ye ayarlanmıştır. Şekil 5.37'de görüldüğü gibi, merkez ve yüzey sıcaklığı düşmüştür. 17 dakikada merkez sıcaklığı 5°C düşmüş ve deney sona ermiştir.

Çizelge 5.14'te ise marulun kütlesindeki değişim verilmektedir. Deneyde marulun merkez sıcaklığı başlangıç sıcaklığı olan 20°C'den 5°C'ye gelirken kütle kaybı 0,593 gr olarak gerçekleşmiştir. Kütle kaybı %0,74 olmuştur.

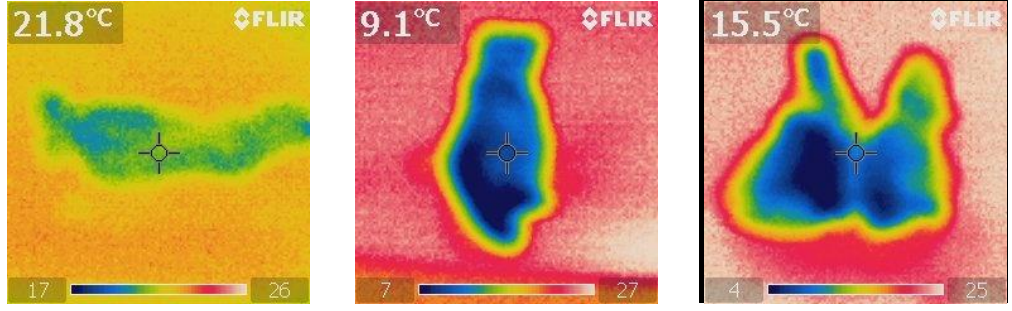
Çizelge 5.14. Marulun 5°C 4m/s için hava üflemeli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı

Başlangıç Kütle:	79,417 gr
Son Kütle:	78,824 gr
Kütle Kaybı	0,593 gr
Kütle Kaybı Oranı	%0,74



Şekil 5.37. Hava üflemeli soğutucuda 5°C 4m/s için, marulun yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi

Şekil 5.38.'de soğutma öncesi ve sonrasına ait termal kamera görüntülerine yer verilmiştir.



Soğutma Başlamadan

Soğutma Sonrası

Soğutma Sonrası (Ortadan Kesilmiş)

Şekil 5.38. Marulun 5°C 4m/s de hava üflemeli soğutma sonrası sıcaklık değişimi resmi

b) 5°C de 2 m/s hız altında

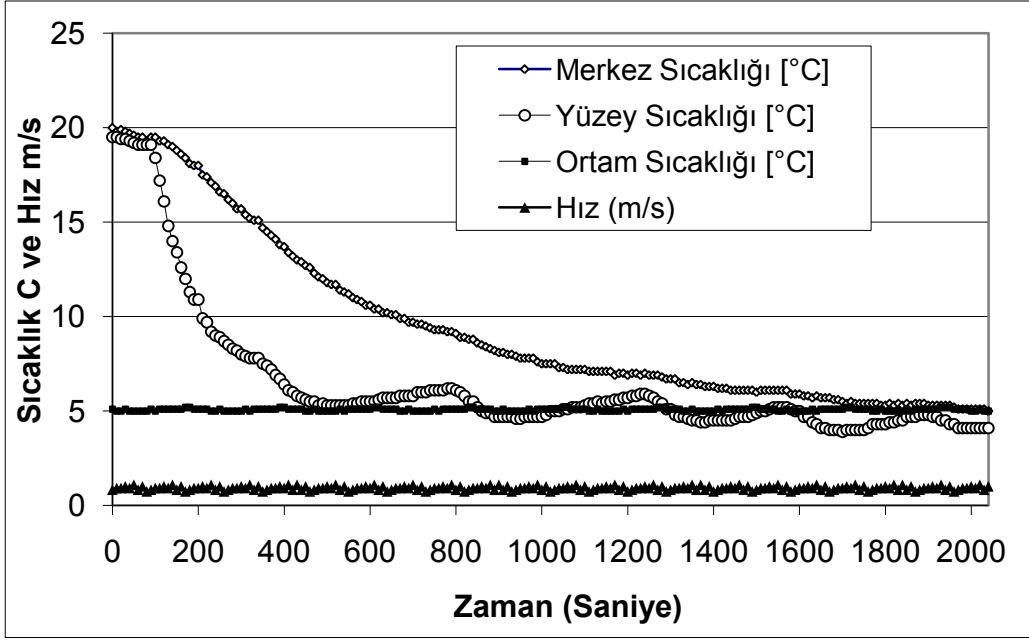
Deneyde ortam sıcaklığı 5°C getirilmiş ve hava akış hızı 2m/s' ye ayarlanmıştır. Şekil 5.39'de görüldüğü gibi, merkez ve yüzey sıcaklığı düşmüştür. 35 dakikada merkez sıcaklığı 5°C düşmüş ve deney sona ermiştir.

Çizelge 5.15'te ise marulun kütlesindeki değişim verilmektedir. Deneyde marulun merkez sıcaklığı başlangıç sıcaklığı olan 20°C'den 5°C'ye gelirken kütle kaybı 1,114 gr olarak gerçekleşmiştir. Kütle kaybı %1,7 olmuştur.

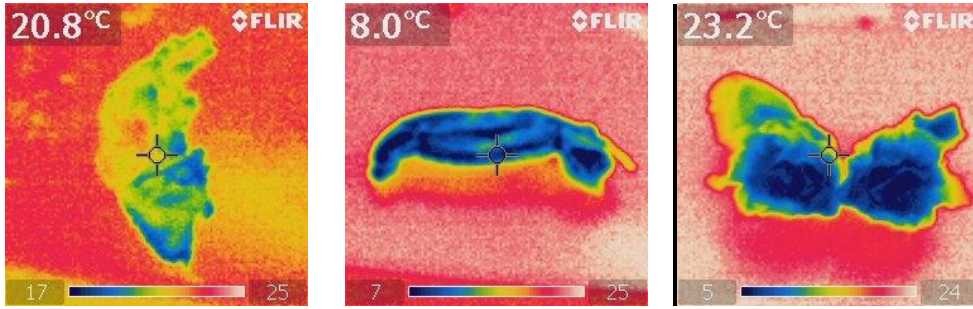
Çizelge 5.15. Marulun 5°C 2m/s için hava üflemeli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı

Başlangıç Kütle:	65,510 gr
Son Kütle:	64,396 gr
Kütle Kaybı	1,114 gr
Kütle Kaybı Oranı	%1,7

Şekil 5.40'da soğutma öncesi ve sonrasına ait termal kamera görüntülerine yer verilmiştir.



Şekil 5.39. Hava üflemeli soğutucuda 5°C 2m/s için, marulun yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi



Soğutma Başlamadan

Soğutma Sonrası

Soğutma Sonrası (Ortadan Kesilmiş)

Şekil 5.40. Marulun 5°C 2m/s de hava üflemeli soğutma sonrası sıcaklık değişimi resmi

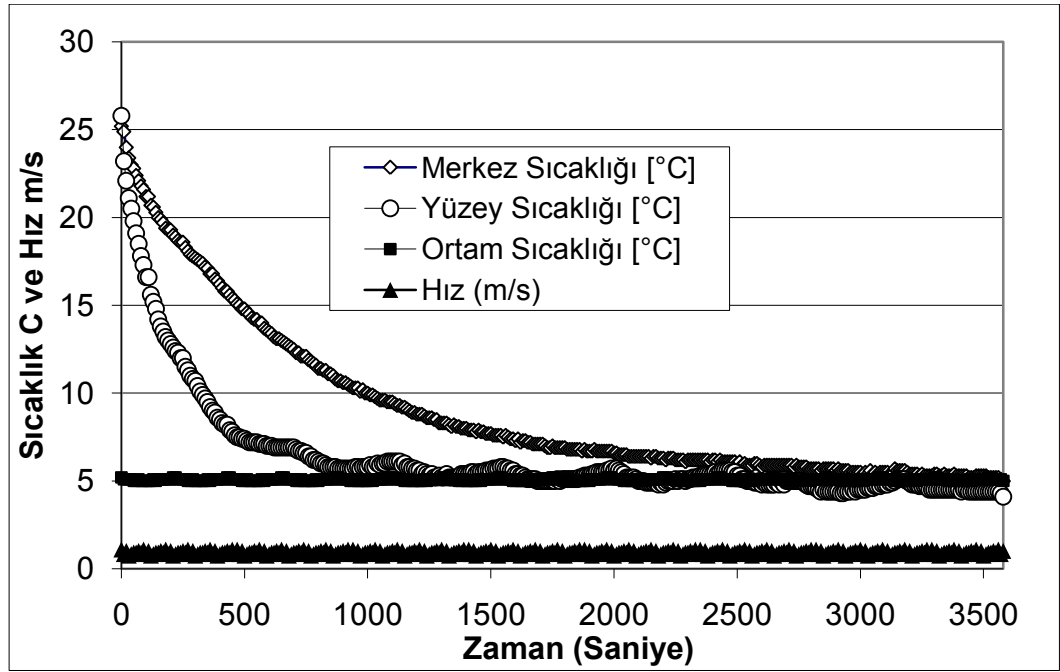
c) 5°C de 1 m/s hız altında

Deneyde ortam sıcaklığı 5°C getirilmiş ve hava akış hızı 1m/s' ye ayarlanmıştır. Şekil 5.41'de görüldüğü gibi, merkez ve yüzey sıcaklığı düşmüştür. 60 dakikada merkez sıcaklığı 5°C düşmüş ve deney sona ermiştir.

Çizelge 5.16'te ise marulun kütlesindeki değişim verilmektedir. Bu deneyde marulun merkez sıcaklığı başlangıç sıcaklığı olan 20°C'den 5°C'ye gelirken kütle kaybı 0,581 gr olarak gerçekleşmiştir. Kütle kaybı %1,05 olmuştur.

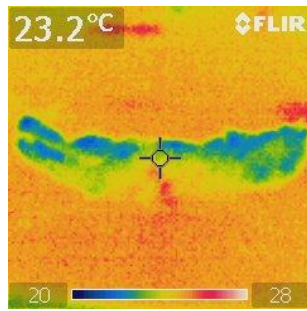
Çizelge 5.16. Marulun 5°C 1m/s için hava üflemeli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı

Başlangıç Kütle:	52,551 gr
Son Kütle:	51,970 gr
Kütle Kaybı	0,581 gr
Kütle Kaybı Oranı	%1,105

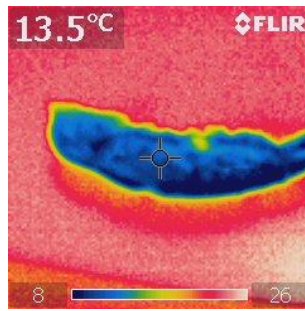


Şekil 5.41. Hava üflemeli soğutucuda 5°C 1m/s için, marulun yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi

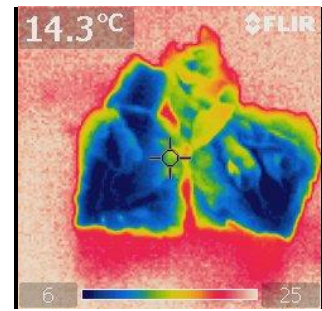
Şekil 5.42'de soğutma öncesi ve sonrasına ait termal kamera görüntülerine yer verilmiştir.



Soğutma Başlamadan



Soğutma Sonrası



Soğutma Sonrası (Ortadan Kesilmiş)

Şekil 5.42. Marulun 5°C 1m/s de hava üflemeli soğutma sonrası sıcaklık değişimi resmi

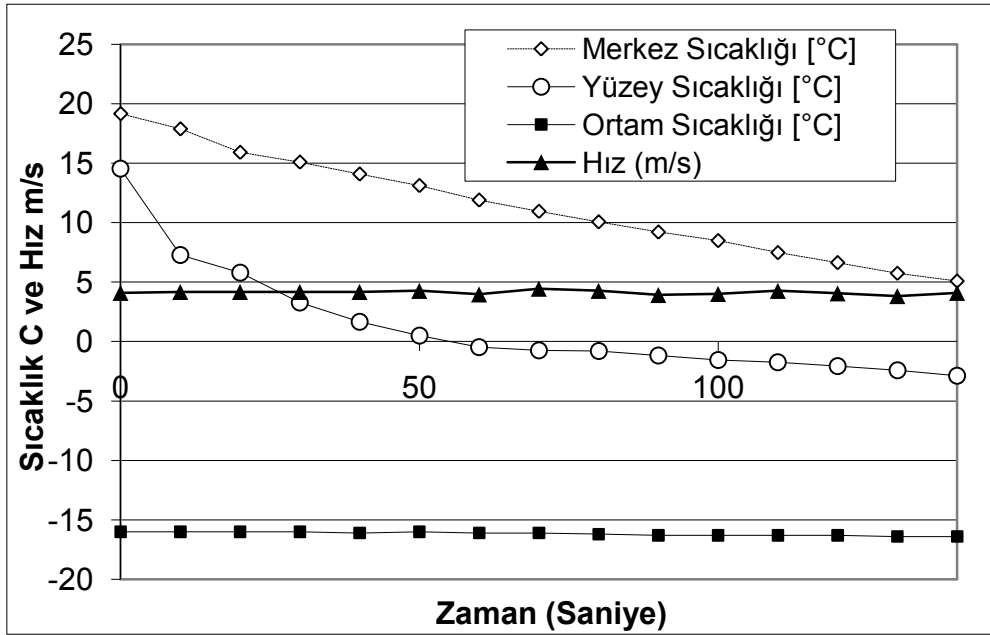
d) -16°C de 4 m/s hız altında

Deneyde ortam sıcaklığı -16°C getirilmiş ve hava akış hızı 4m/s' ye ayarlanmıştır. Şekil 5.43'de görüldüğü gibi, merkez ve yüzey sıcaklığı düşmüştür. 2 dakikada merkez sıcaklığı 5°C düşmüştür ve deney sona ermiştir.

Çizelge4.17'te ise marulun kütesindeki değişim verilmektedir. Deneyde marulun merkez sıcaklığı başlangıç sıcaklığı olan 20°C'den 5°C'ye gelirken kütle kaybı 0,205 gr olarak gerçekleşmiştir. Kütle kaybı %0,40 olmuştur.

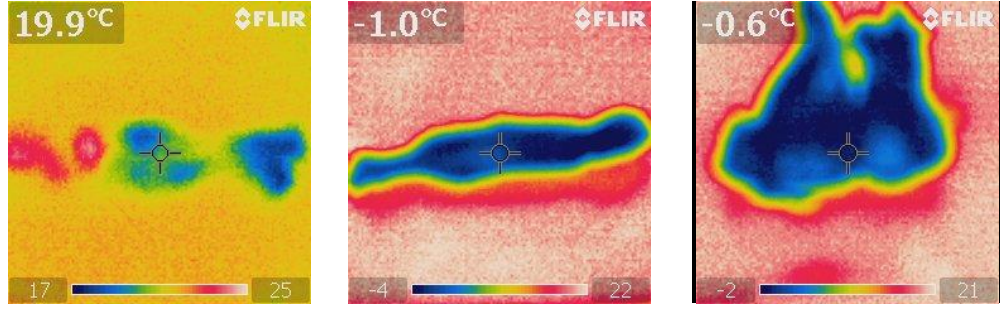
Çizelge 5.17. Marulun -16°C 4m/s için hava üflemeli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı

Başlangıç Kütle:	50,347 gr
Son Kütle:	50,142 gr
Kütle Kaybı	0,205 gr
Kütle Kaybı Oranı	%0,40



Şekil 5.43. Hava üflemeli soğutucuda -16°C 4m/s için, marulun yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi

Şekil 5.44'de soğutma öncesi ve sonrasına ait termal kamera görüntülerine yer verilmiştir.



Soğutma Başlamadan

Soğutma Sonrası

Soğutma Sonrası (Ortadan Kesilmiş)

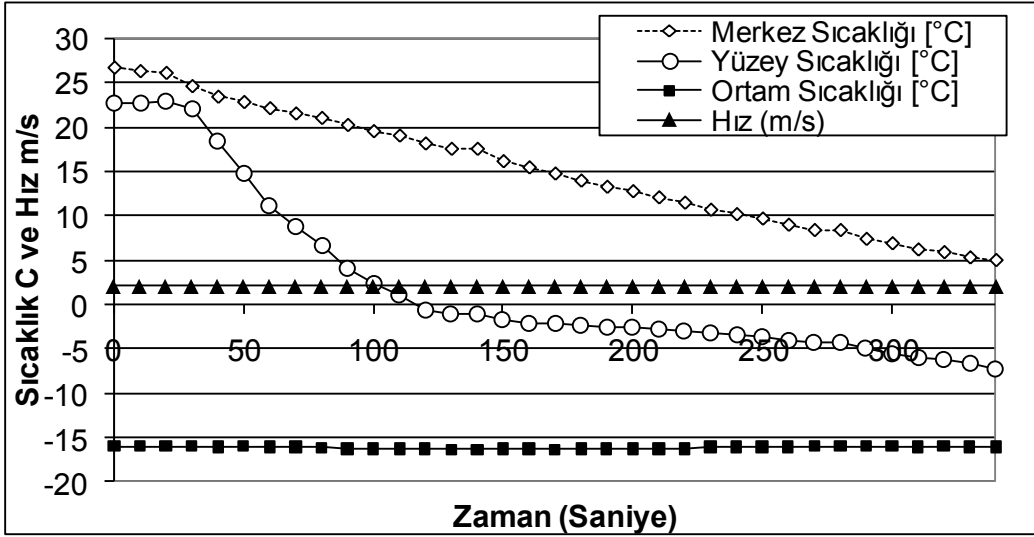
Şekil 5.44. Marulun -16°C 4m/s de hava üflemeli soğutma sonrası sıcaklık değişimi resmi
e) -16°C de 2 m/s hız altında

Deneyde ortam sıcaklığı -16°C getirilmiş ve hava akış hızı 2m/s' ye ayarlanmıştır. Şekil 5.45'de görüldüğü gibi, merkez ve yüzey sıcaklığı düşmüştür. 7 dakikada merkez sıcaklığı 5°C düşmüş ve deney sona ermiştir.

Çizelge 5.18'te ise marulun kütlesindeki değişim verilmektedir. Deneyde marulun merkez sıcaklığı başlangıç sıcaklığı olan 20°C 'den 5°C 'ye gelirken kütle kaybı 0,650 gr olarak gerçekleşmiştir. Kütle kaybı %2,09 olmuştur.

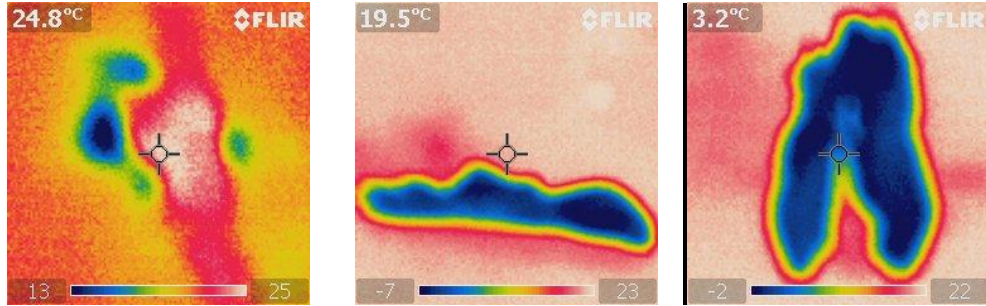
Çizelge 5.18. Marulun -16°C 2m/s için hava üflemeli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı

Başlangıç Kütle:	30,980 gr
Son Kütle:	30,330 gr
Kütle Kaybı	0,650 gr
Kütle Kaybı Oranı	%2.09



Şekil 5.45. Hava üflemeli soğutucuda -16°C 2m/s için, marulun yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi

Şekil 5.46'de soğutma öncesi ve sonrasına ait termal kamera görüntülerine yer verilmiştir.



Soğutma Başlamadan

Soğutma Sonrası

Soğutma Sonrası (Ortadan Kesilmiş)

Şekil 5.46. Marulun -16°C 2m/s de hava üflemeli soğutma sonrası sıcaklık değişimi resmi

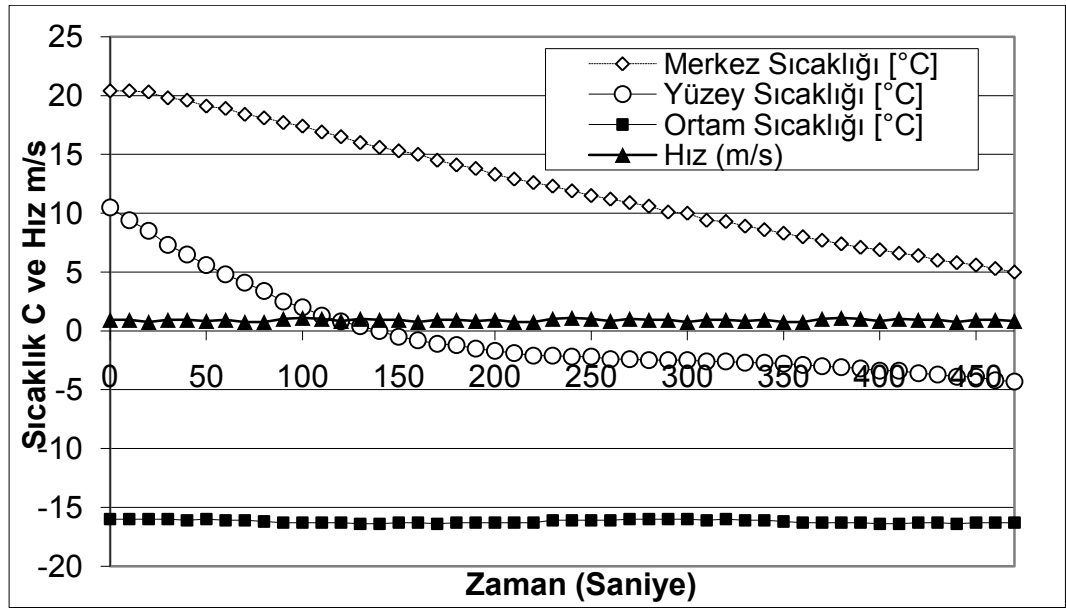
f) -16°C de 1 m/s hız altında

Deneyde ortam sıcaklığı -16°C getirilmiş ve hava akış hızı 1m/s' ye ayarlanmıştır. Şekil 5.47'de görüldüğü gibi, merkez ve yüzey sıcaklığı düşmüştür. 8 dakikada merkez sıcaklığı 5°C düşmüş ve deney sona ermiştir.

Çizelge 5.19'te ise marulun kütesindeki değişim verilmektedir. Deneyde marulun merkez sıcaklığı başlangıç sıcaklığı olan 20°C'den 5°C'ye gelirken kütle kaybı 0,752 gr olarak gerçekleşmiştir. Kütle kaybı %2,52 olmuştur.

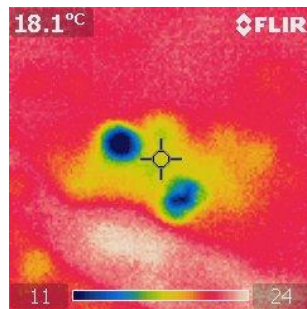
Çizelge 5.19. Marulun -16°C 1m/s için hava üfleli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı

Başlangıç Kütle:	29,670 gr
Son Kütle:	28,918 gr
Kütle Kaybı	0,752 gr
Kütle Kaybı Oranı	%2.52

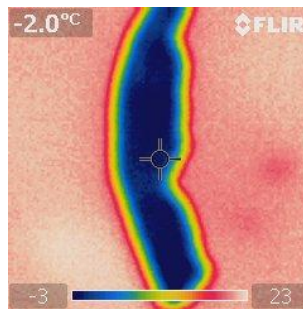


Şekil 5.47. Hava üfleli soğutucuda -16°C 1m/s için, marulun yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi

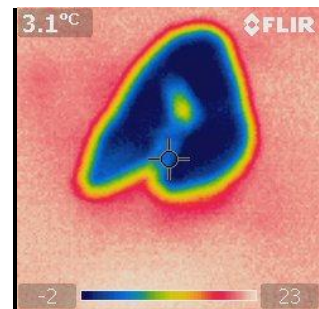
Şekil 5.48’de soğutma öncesi ve sonrasına ait termal kamera görüntülerine yer verilmiştir.



Soğutma Başlamadan



Soğutma Sonrası



Soğutma Sonrası (Ortadan Kesilmiş)

Şekil 5.48. Marulun -16°C 1m/s de hava üfleli soğutma sonrası sıcaklık değişimi resmi

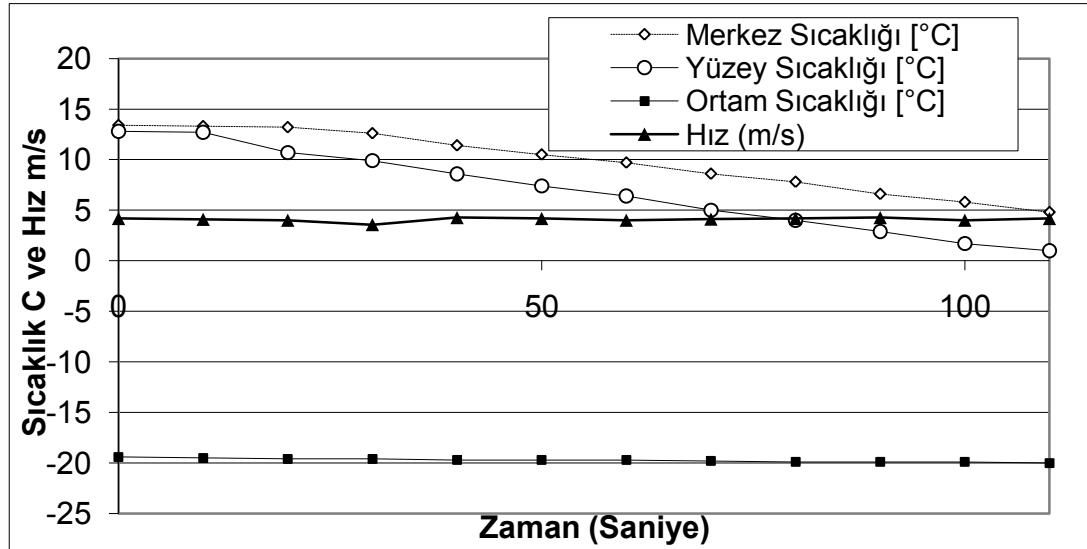
g) -20°C de 4 m/s hız altında

Deneyde ortam sıcaklığı -20°C getirilmiş ve hava akış hızı 4m/s' ye ayarlanmıştır. Şekil 5.49'de görüldüğü gibi, merkez ve yüzey sıcaklığı düşmüştür. 2 dakikada merkez sıcaklığı 5°C düşmüş ve deney sona ermiştir.

Çizelge 5.20'te ise marulun kütlesindeki değişim verilmektedir. Deneyde marulun merkez sıcaklığı başlangıç sıcaklığı olan 13°C'den 5°C'ye gelirken kütle kaybı 0,417 gr olarak gerçekleşmiştir. Kütle kaybı %0,48 olmuştur.

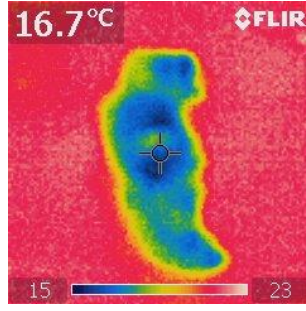
Çizelge 5.20. Marulun -20°C 4m/s için hava üflemeli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı

Başlangıç Kütle:	85,700 gr
Son Kütle:	85,283 gr
Kütle Kaybı	0,417 gr
Kütle Kaybı Oranı	%0.48

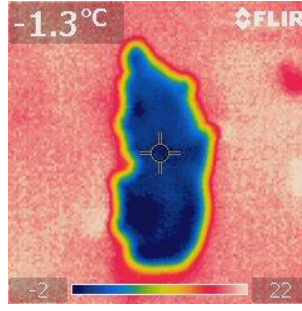


Şekil 5.49. Hava üflemeli soğutucuda -20°C 4m/s için, marulun yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi

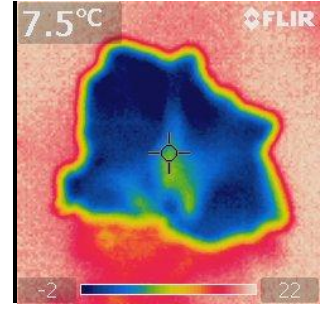
Şekil 5.50'de soğutma öncesi ve sonrasına ait termal kamera görüntülerine yer verilmiştir.



Soğutma Başlamadan



Soğutma Sonrası



Soğutma Sonrası (Ortadan Kesilmiş)

Şekil 5.50. Marulun -20°C 4m/s de hava üflemeli soğutma sonrası sıcaklık değişimi resmi
h) -20°C de 2 m/s hız altında

Deneyde ortam sıcaklığı -20°C getirilmiş ve hava akış hızı 2m/s' ye ayarlanmıştır. Şekil 5.51'de görüldüğü gibi, merkez ve yüzey sıcaklığı düşmüştür. 3 dakikada merkez sıcaklığı 5°C düşmüş ve deney sona ermiştir.

Çizelge 5.21'te ise marulun kütlesindeki değişim verilmektedir. Deneyde marulun merkez sıcaklığı başlangıç sıcaklığı olan 30°C 'den 5°C 'ye gelirken kütle kaybı 0,149 gr olarak gerçekleşmiştir. Kütle kaybı %0,31 olmuştur.

Çizelge 5.21. Marulun -20°C 2m/s için hava üflemeli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı

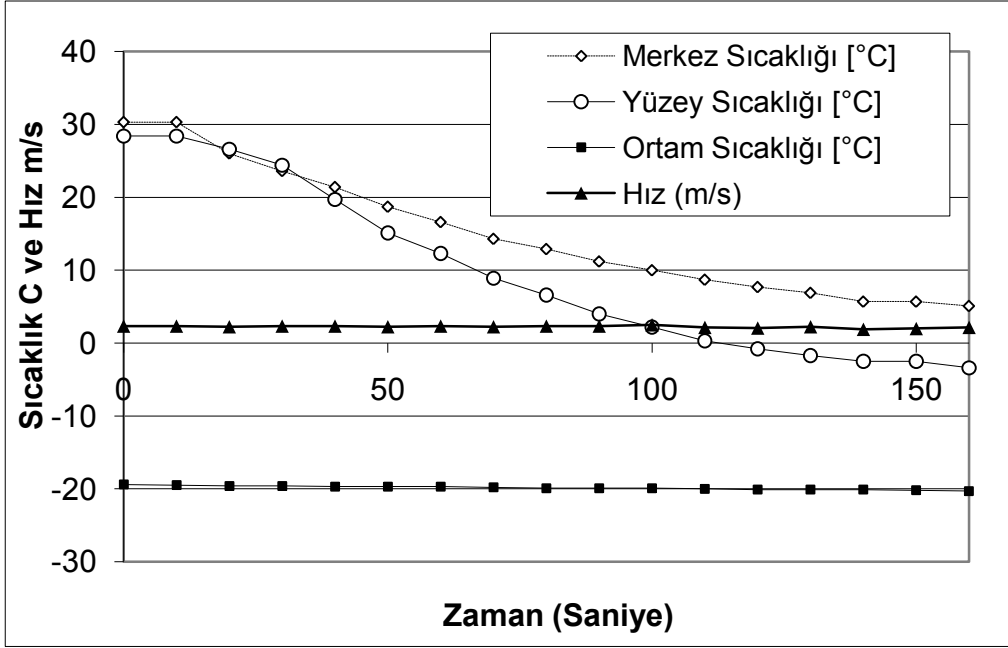
Başlangıç Kütle:	31,217 gr
Son Kütle:	31,120 gr
Kütle Kaybı	0.097 gr
Kütle Kaybı Oranı	%0.31

Şekil 5.52'de soğutma öncesi ve sonrasına ait termal kamera görüntülerine yer verilmiştir.

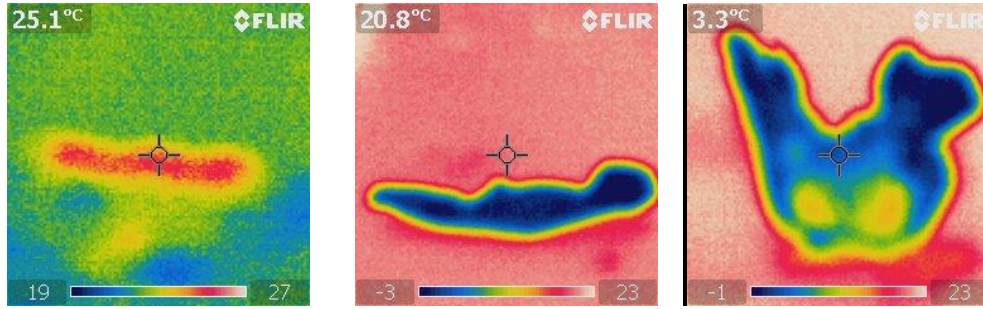
i) -20°C de 1 m/s hız altında

Deneyde ortam sıcaklığı -20°C getirilmiş ve hava akış hızı 1m/s' ye ayarlanmıştır. Şekil 5.53'de görüldüğü gibi, merkez ve yüzey sıcaklığı düşmüştür. 10 dakikada merkez sıcaklığı 5°C düşmüş ve deney sona ermiştir.

Çizelge 5.22'te ise marulun kütlesindeki değişim verilmektedir. Deneyde marulun merkez sıcaklığı başlangıç sıcaklığı olan 16°C 'den 5°C 'ye gelirken kütle kaybı 0,161 gr olarak gerçekleşmiştir. Kütle kaybı %0,45 olmuştur.



Şekil 5.51. Hava üfleli soğutucuda -20°C 2m/s için, marulun yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi



Soğutma Başlamadan

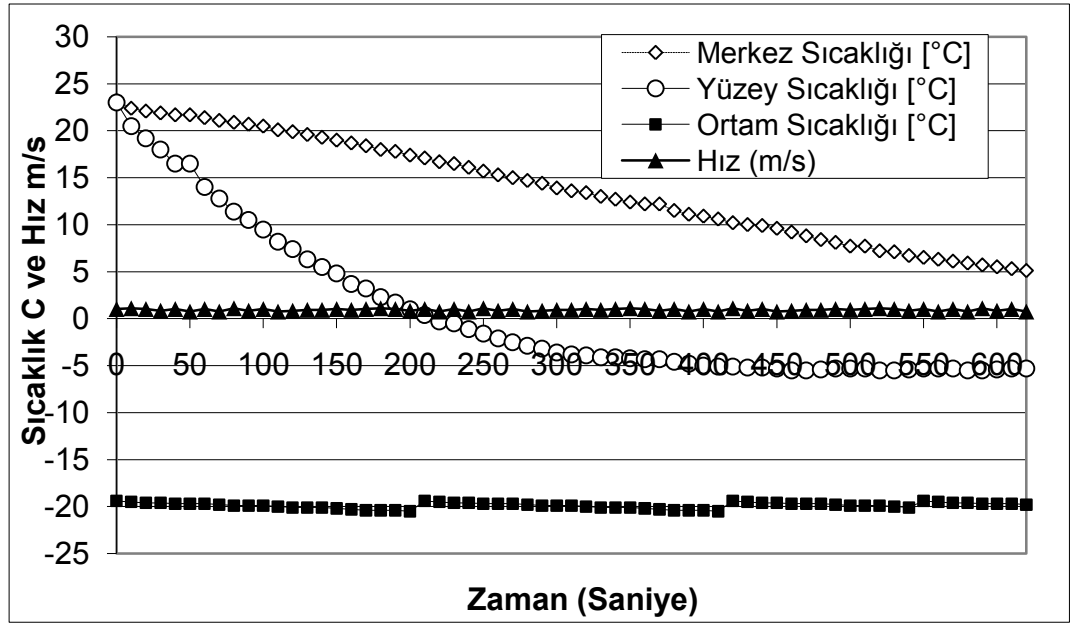
Soğutma Sonrası

Soğutma Sonrası (Ortadan Kesilmiş)

Şekil 5.52. Marulun -20°C 2m/s de hava üfleli soğutma sonrası sıcaklık değişimi resmi

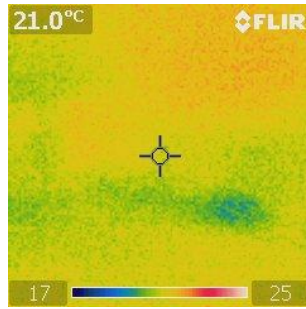
Çizelge 5.22. Marulun -20°C 1m/s için hava üfleli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı

Başlangıç Kütle:	35,747 gr
Son Kütle:	35,586 gr
Kütle Kaybı	0,161 gr
Kütle Kaybı Oranı	%0,45

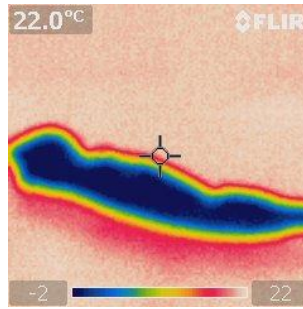


Şekil 5.53. Hava üflemeli soğutucuda -20°C 1m/s için, marulun yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi

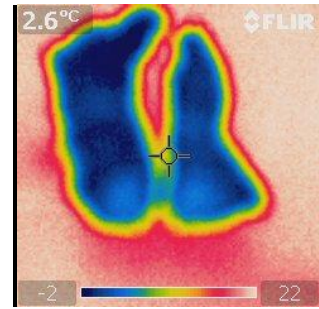
Şekil 5.54'de soğutma öncesi ve sonrasına ait termal kamera görüntülerine yer verilmiştir.



Soğutma Başlamadan



Soğutma Sonrası



Soğutma Sonrası (Ortadan Kesilmiş)

Şekil 5.54. Marulun -20°C 1m/s de hava üflemeli soğutma sonrası sıcaklık değişimi resmi

5.4. Baş Salatanın (*Lactuca Sativa Var. Capitata*) Soğutulması

Baş salata, yapraksı marulardan farklı olarak yuvarlak, küre şeklindedir ve yaprakları sıkı bir şekilde birbirini sarmıştır. Bu nedenle de bu tip marulunda vakum altında soğutulması deneyleri ayrıca gerçekleştirilmiştir.

5.4.1. Baş salatanın vakum altında soğutulması

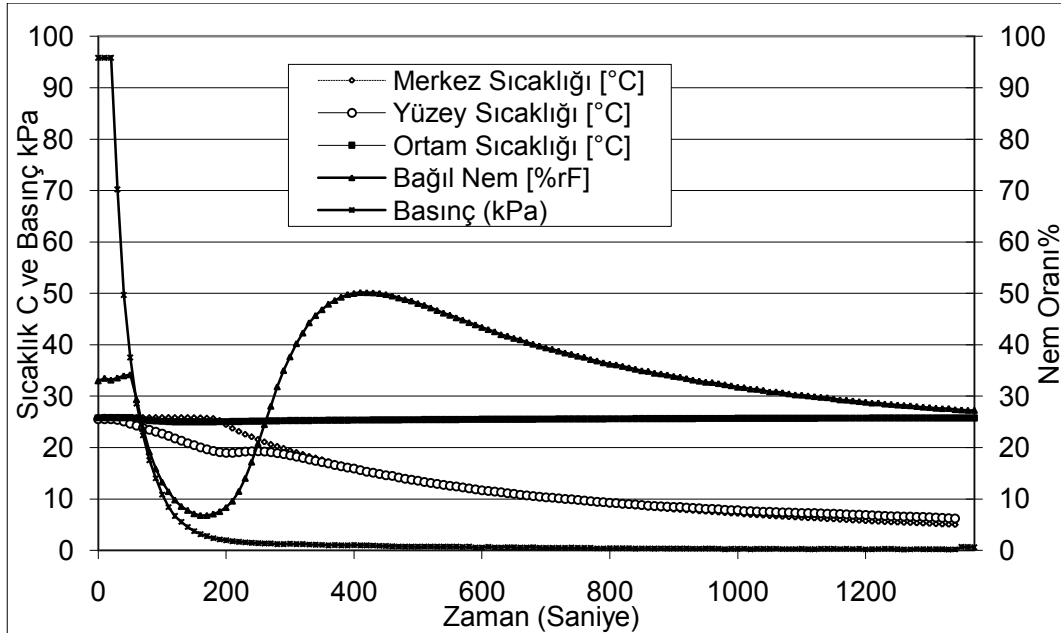
Baş salatanın vakum altında soğutulmasına ilişkin deneyler de 7 mbar, 10 mbar ve 15 mbar vakum basınçları için yürütülmüştür. Deneyler esnasında iki pompa birbirine paralel olarak çalıştırılmıştır.

Baş salata için yapılan deneylerde merkez, yüzey ve ortam sıcaklıklar ölçülerek grafiklerde verilmiştir. Baş salata türü marullarda merkez sıcaklığı marulun çapı belirlenmiş ve prob merkeze gelecek şekilde dik olarak batırılarak ölçülmüştür.

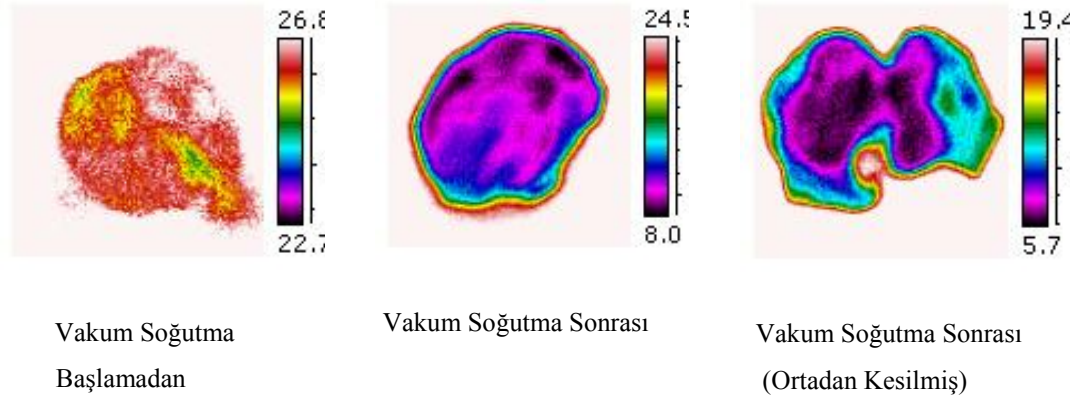
İlk deneyde ortam basıncı iki pompa çalıştırılarak 7 mbar'a getirilmiş, vakum pompası bu basınçta çalışır durumdayken deney gerçekleştirilmiştir. Şekil 5.55.'de görüldüğü gibi, merkez ve yüzey sıcaklığı hızla düşmüştür. 250 saniye (yaklaşık 4 dakika) sonra merkez ve yüzey sıcaklıklarının her ikisi de eşit değere (5°C) gelmiştir. Bu değerden sonra her ikisi de birlikte düşmeye devam etmiş ve 1370 saniyede merkez ve yüzey sıcaklıkları sırası ile 5°C değerine gelmiştir. Basınç değeri ise diğer bütün deneylerde olduğu gibi 200 saniyede çok hızlı bir şekilde düşmüş sonrasında düşüş hemen hemen sabit kalmıştır.

Çizelge 5.23'da ise baş salatanın kütlesindeki değişim ve set edilen basınç değerleri verilmektedir. 7 mbar için yapılan deneyde baş salatanın merkez sıcaklığı başlangıç sıcaklığı olan 26°C 'den 5°C 'ye gelirken kütle kaybı 9,497 gr olarak gerçekleşmiştir. Kütle kaybı %3,85 olmuştur.

Şekil 5.56'de soğutma öncesi ve sonrasına ait termal kamera görüntülerine yer verilmiştir.



Şekil 5.55. 7 mbar sabit basınç altında baş salatanın yüzey, merkez ve ortam sıcaklığı, nem oranı ve basınç değişimi.

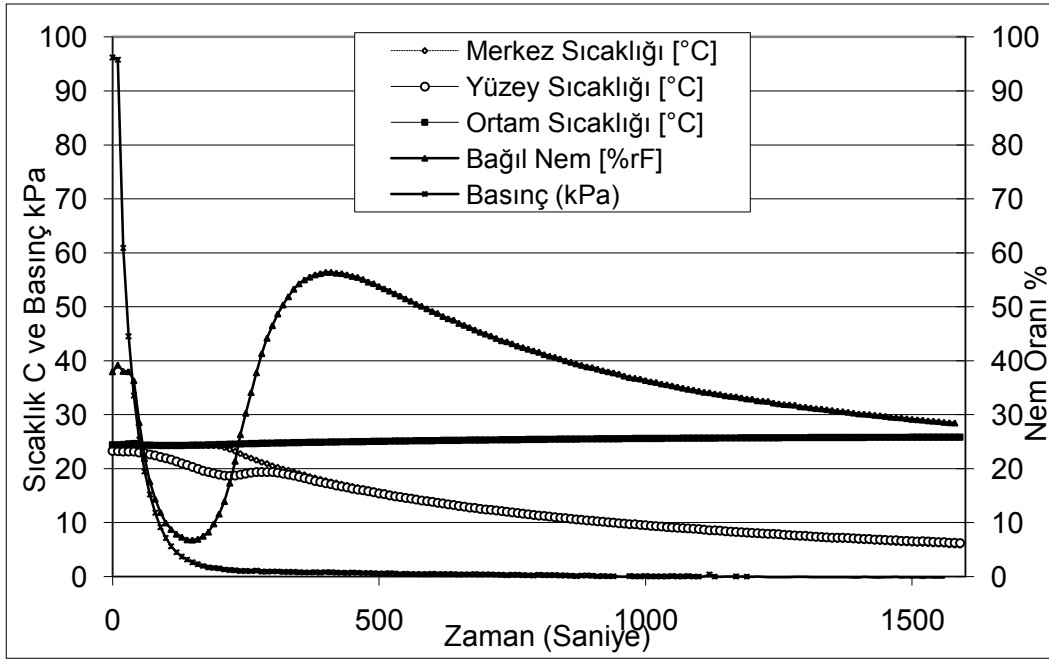


Şekil 5.56. 7 mbar basınç altında baş salatanın vakum soğutma öncesi ve sonrası sıcaklık değişimi resmi

Çizelge 5.23. Vakum altında soğutmada baş salatanın başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı

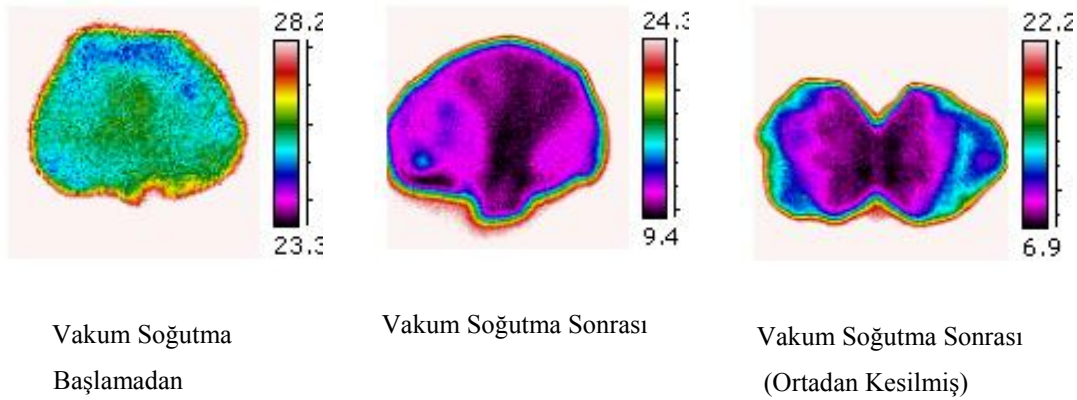
Basıç (mbar)	7	10	15
Başlangıç Kütle (g)	246,766	338,108	448,559
Son Kütle (g)	237,269	326,043	437,481
Kütle Kaybı (g)	9,497 gr	12,065	11,078
Kütle Kaybı Oranı (%)	3,85	3,57	2,47

10 mbar basınçta yürütülen baş salataya ilişkin kütle değerleri Çizelge 5.23’de verilmiştir. İki pompanın paralel olarak çalışması durumunda yüzey, merkez ve ortam sıcaklığı ve basınç ve nem değişimleri Şekil 5.57’te gösterilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi, baş salatada soğuma hızı yapraksı marula göre daha uzun olmaktadır. Sıcaklık 1590 saniyede (26 dakika) sıcaklık 5°C’ye inmiştir.



Şekil 5.57. 10 mbar sabit basınç altında baş salatanın yüzey, merkez ve ortam sıcaklığı, nem oranı ve basınç değişimi.

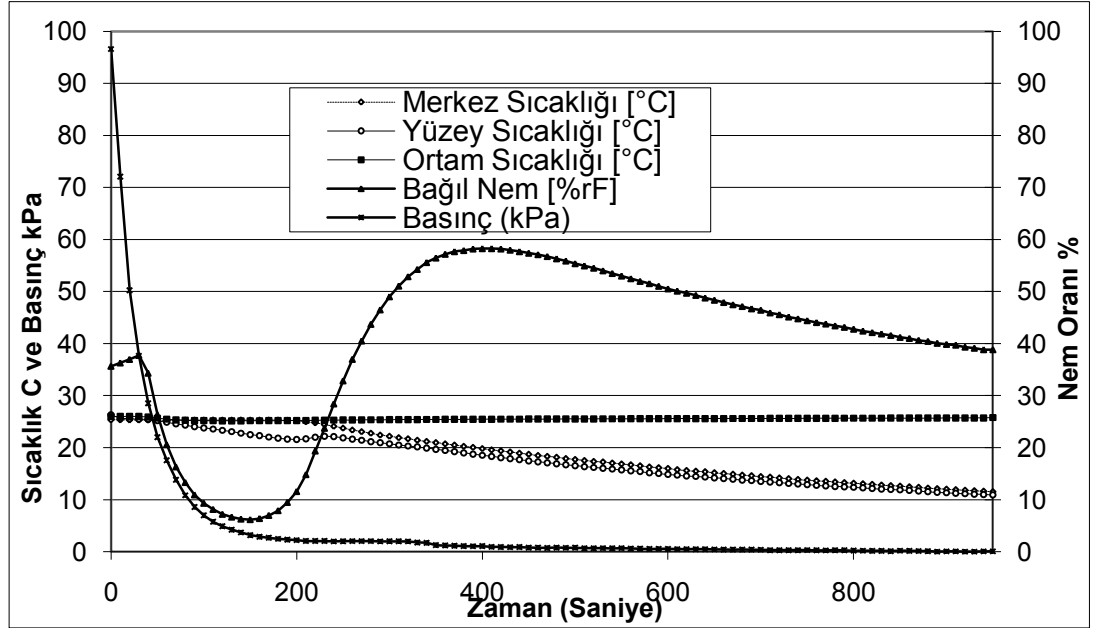
Şekil 5.58 de ise baş salatanın vakum soğutma öncesi ve sonrası sıcaklık dağılımını gösteren termal kamera görüntüleri verilmiştir.



Şekil 5.58. 10 mbar basınç altında baş salatanın vakum soğutma öncesi ve sonrası sıcaklık değişimi resmi

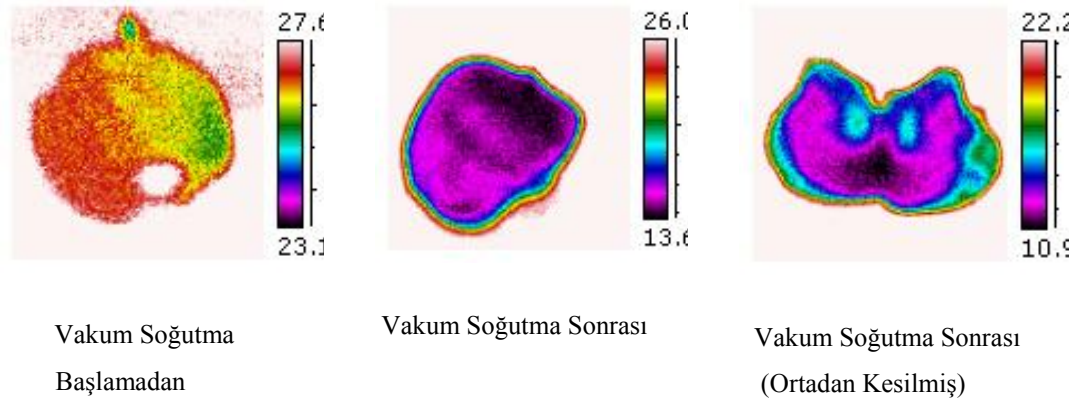
Vakum basıncı 15 mbar'a getirilmiştir ve bu durum için vakum ortamında yüzey, merkez ve ortam sıcaklığındaki ve basınç ve nemdeki değişimler incelenmiştir. Şekil 5.59 de merkez, yüzey ve ortam sıcaklığı ile nem ve basınçtaki değişim verilmiştir. 15 mbar basınç altında yüzey sıcaklığı 950 saniye içerisinde 11°C sıcaklığa gelmiş ve bu sürenin sonrasında sıcaklıkta bir değişim olmamıştır.

İceberg marula ait soğutma öncesi ve sonrası kütle değerleri ve kütle kaybı ile kütle kaybı oranı Çizelge 5.23’de, vakum öncesi ve sonrası sıcaklık dağılımı ise Şekil 5.60 de verilmiştir.



Şekil 5.59. 15 mbar sabit basınç altında baş salatanın yüzey, merkez ve ortam sıcaklığı, nem oranı ve basınç değişimi.

Şekil 5.60’de soğutma öncesi ve sonrasına ait termal kamera görüntülerine yer verilmiştir.



Şekil 5.60 15 mbar basınç altında baş salatanın vakum soğutma öncesi ve sonrası sıcaklık değişimi resmi

5.4.2. Baş salatanın klasik yöntemle soğutulması

Baş salatanın geleneksel olarak soğutulması denemeleri mantarinkine benzer olarak buzdolabında (5°C, -16°C, -20°C sıcaklıklarında) gerçekleştirilmiştir. -16°C ve -20°C sıcaklıklarda yapılan denemelerde, yüzey

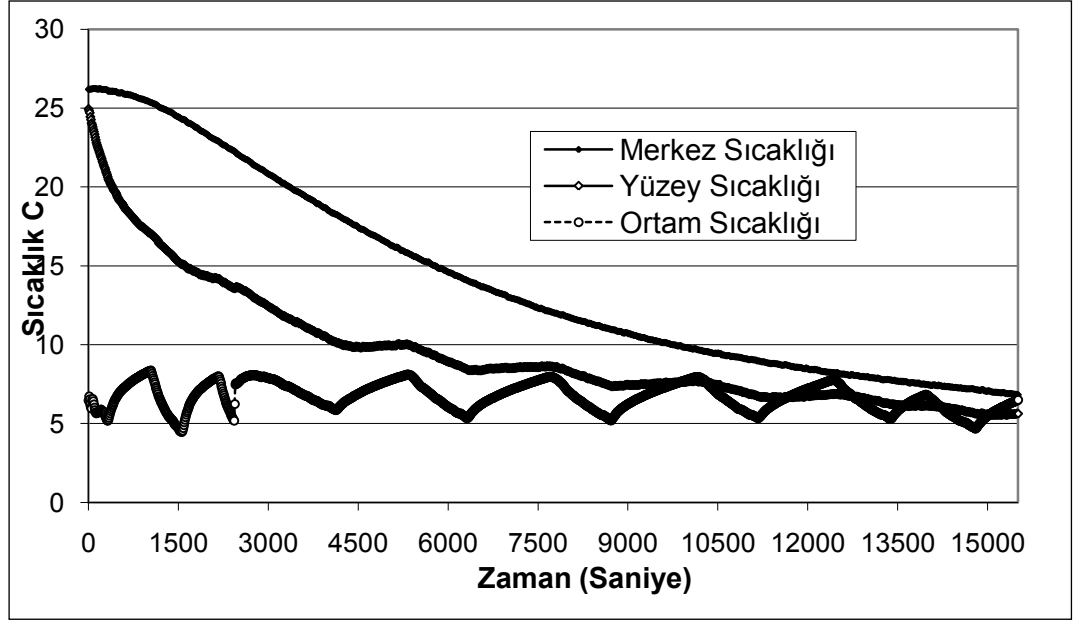
sıcaklığı 0°C'ye geldiğinde donma olayı gerçekleşmeye başladığı için deney durdurulmuştur.

Baş salatanın klasik soğutma öncesi ve sonrasında ağırlıkları ölçülmüş ve kütle kaybı belirlenmiştir, buna göre kütle kaybı %2,4 olarak bulunmuştur (Çizelge 5.24). Bu değer vakum soğutma ile kıyaslandığında daha büyük olduğu görülebilir. Bunun nedeni buzdolabında bu sıcaklıkta soğutma süresinin oldukça uzun olmasıdır. 6°C sıcaklıkta, buzdolabında soğutmada baş salatanın sıcaklık değişimi Şekil 5.61'da verilmiştir. Baş salatanın 6°C'ye soğutulması için geçen süre 15510 saniye (258 dakika, 4,3 saat) olmuştur. Vakum soğutma ile karşılaştırıldığında süre oldukça uzamıştır.

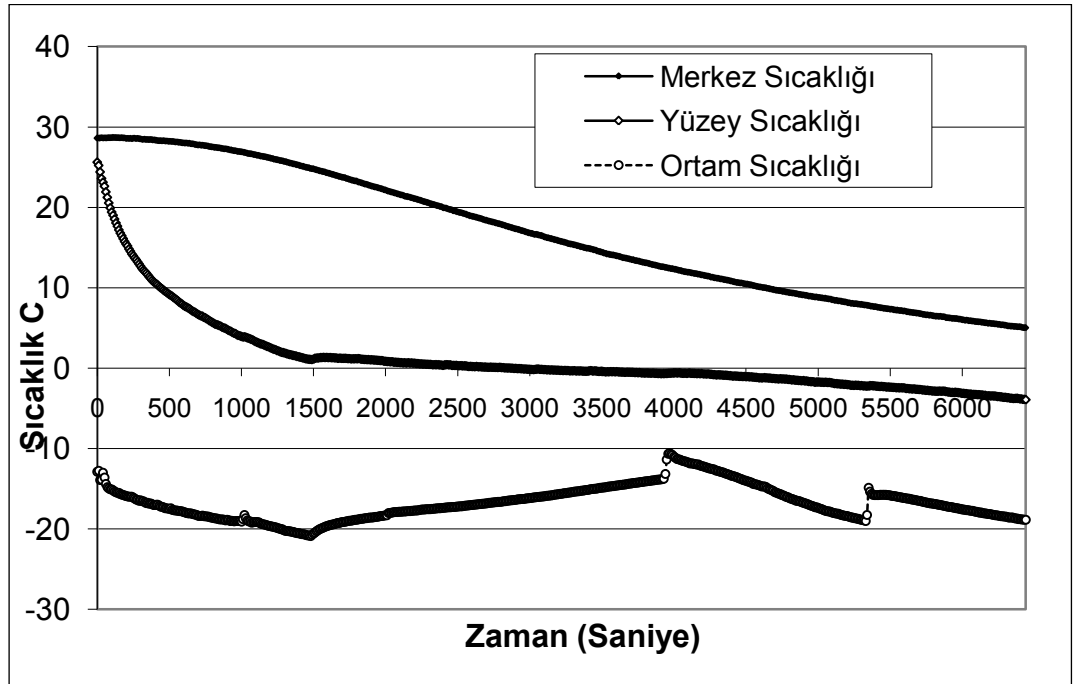
Baş salatanın geleneksel yöntemle soğutulmasında ikinci deneme -16°C altında yürütülmüştür. Marulun kütle kaybı %0,87 olarak bulunmuştur (Çizelge 5.24). 6°C ile karşılaştırıldığında görüldüğü gibi kütle kaybı azalmaktadır. -16°C sıcaklıkta, klasik soğutmada baş salatanın sıcaklık değişimi Şekil 5.62'de verildiği gibidir. Şekilden de görüldüğü gibi, düşük sıcaklıklarda baş salatanın yüzeyinde ve merkezinde farklı bir şekilde değişim göstermektedir. Yüzeyde hızlı bir sıcaklık düşüşü görülürken merkezde sıcaklık değişimi daha yavaş olmaktadır. Baş salatanın merkez sıcaklığının 5°C'ye gelmesi 6440 saniye (107 dakika) almaktadır. Oysaki yüzeyde 1500 saniye içerisinde sıcaklık donma sıcaklığı olan 0°C'ye gelmekte ve böylece yüzeyde donma gerçekleşmektedir. Ortam sıcaklığındaki dalgalanmanın nedeni buzdolabının set edilen sıcaklık etrafında dur-kalk yaparak çalışması ve bu esnada sıcaklığın değişmesinden kaynaklanmaktadır. Süre uzun olduğunda bu belirgin hale gelmektedir.

Çizelge 5.24. Baş salatanın klasik soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı

Set Edilen Sıcaklık °C	5	-16	-20
Başlangıç Kütle (g)	246.766	338.108	448.559
Son Kütle (g)	237.269	326.043	437.481
Kütle Kaybı (g)	9.497	12.065	11.078
Kütle Kaybı Oranı (%)	2.4	0.87	0.85



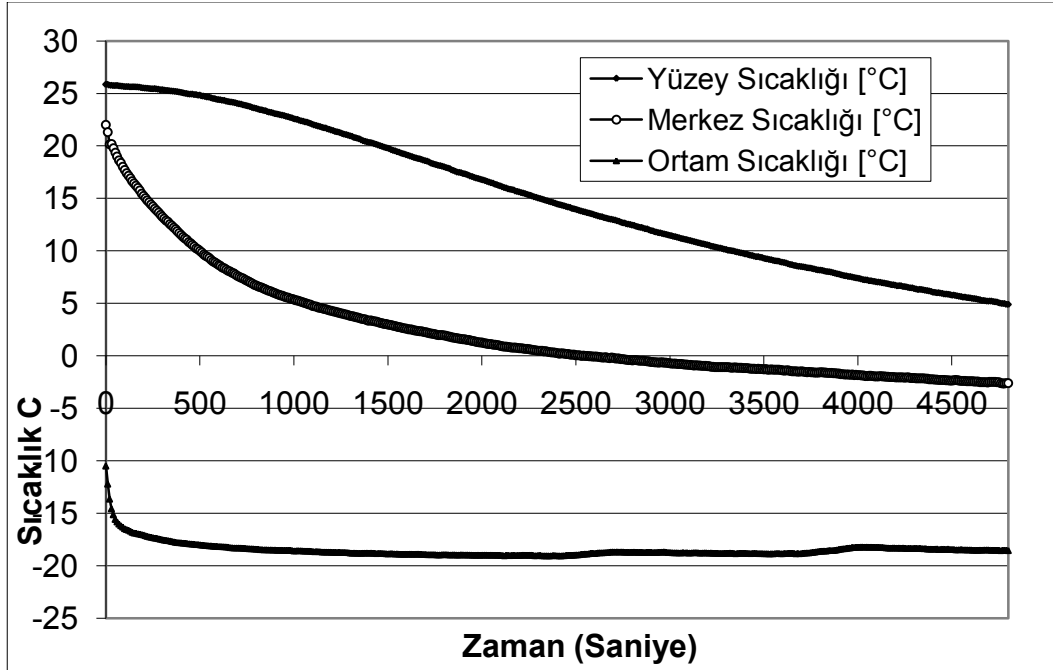
Şekil 5.61. Buzdolabında 5°C sıcaklık altında baş salatanın yüzey sıcaklığı, merkez sıcaklığı ve ortam sıcaklığındaki değişim.



Şekil 5.62. Buzdolabında -16°C sıcaklık altında baş salatanın yüzey sıcaklığı, merkez sıcaklığı ve ortam sıcaklığındaki değişim.

Dondurucuda -20°C'de marulun soğutulmasına ilişkin deneysel sonuçlar Şekil 5.63'de verilmiştir. -20°C'de baş salatanın 5°C'ye soğuması 4550 saniye (76 dakika) bir zaman almakta ve yine -16°C'de olduğu gibi yüzeyde donmalar meydana gelmektedir. Kütle kaybı %0,85 olarak gerçekleşmiştir (Çizelge 5.24). Kütle kaybı oranı 5°C sıcaklıkta soğutmada %2,4 değerini almaktadır. Bu değer

-16°C ve -20°C’de soğutulması esnasındaki kütle kaybının yaklaşık 3 katı bir değere karşılık gelmektedir. Bunun nedeni 5°C’de soğutma süresinin çok uzun zaman almasıdır. Soğutma süresi arttıkça kütle kaybı da artmaktadır. Diğer yandan düşük sıcaklıklarda soğutma durumunda ürünün özellikle yüzeylerinde donmalar meydana gelmektedir ki bu istenmeyen bir sonucu ortaya çıkarmaktadır. Ürün tekrar çevre sıcaklığına ısındığında üründe bozulmalar meydana gelmektedir. Bu nedenle de her ne kadar düşük sıcaklıklarda (-16°C, -20°C) hem soğuma süresi kısalıp hem de kütle kaybı azalsa da ürünün bozulması nedeni ile istenmeyen bir durumdur.



Şekil 5.63. Buzdolabında -20°C sıcaklık altında baş salatanın yüzey sıcaklığı, merkez sıcaklığı ve ortam sıcaklığındaki değişim.

5.4.3. Baş salatanın Hava Üfleli Soğutucuda Soğutulması

Baş salatanın hava üfleli soğutucuda soğutulmasına ilişkin deneyler; 5°C, -16°C, -20°C derecelerde, 4 m/s, 2 m/s, 1 m/s hızlarda yapılmıştır. Soğutma deneyleri hava akış yönü yukarıdan aşağıya doğru gerçekleşmektedir. Sıcaklık probu merkez, yüzey ve ortam sıcaklıklarını ölçerken hız probu hava hızı değerlerini ölçerek deney gerçekleştirilmektedir.

a) 5°C de 4 m/s hız altında

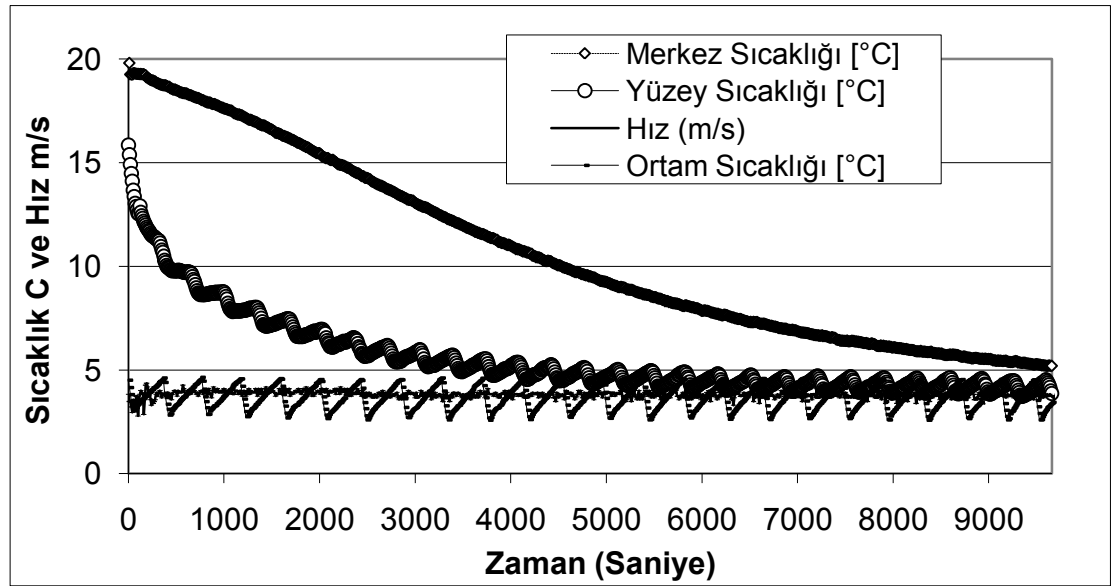
Deneyde ortam sıcaklığı 5 °C getirilmiş ve hava akış hızı 4 m/s de gerçekleştirilmektedir. Şekil 5.64’de görüldüğü gibi, merkez ve yüzey sıcaklığı

düşmüştür. 2 saat 45 dakikada merkez sıcaklığı 5°C düşmüş ve deney sona ermiştir.

Çizelge 5.25'te ise baş salatanın kütlesindeki değişim verilmektedir. Deneyde baş salatanın merkez sıcaklığı 5°C 'ye gelirken kütle kaybı 6,240 gr olarak gerçekleşmiştir. Kütle kaybı %1,58 olmuştur.

Çizelge 5.25. Baş salatanın 5°C 4m/s için hava üflemeli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı

Başlangıç Kütle:	392,570 gr
Son Kütle:	386,330gr
Kütle Kaybı	6,24 gr
Kütle Kaybı Oranı	%1,58



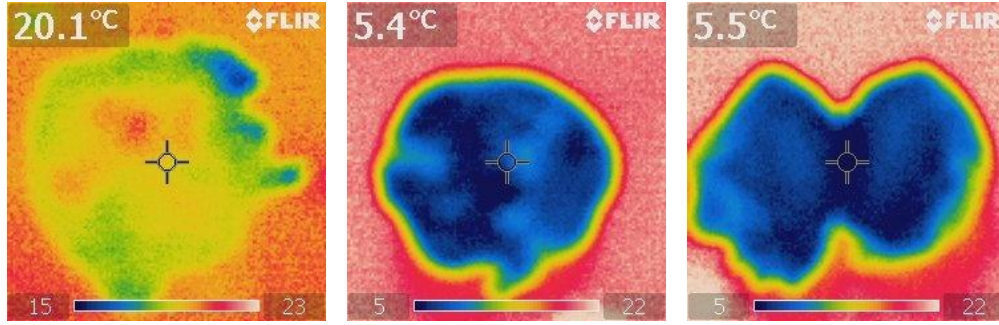
Şekil 5.64. Hava üflemeli soğutucuda 5°C 4m/s için, baş salatanın yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi

Şekil 5.65 de soğutma öncesi ve sonrasına ait termal kamera görüntülerine yer verilmiştir.

b) 5°C de 2 m/s hız altında

Deneyde ortam sıcaklığı 5°C getirilmiş ve hava akış hızı 2 m/s de gerçekleşmektedir. Şekil 5.66'de görüldüğü gibi, merkez ve yüzey sıcaklığı

düşmüştür. 2 saat 40 dakikada merkez sıcaklığı 5°C düşmüş ve deney sona ermiştir.



Soğutma Başlamadan

Soğutma Sonrası

Soğutma Sonrası (Ortadan Kesilmiş)

Şekil 5.65 Baş salatanın 5°C 4m/s de hava üflemeli soğutma sonrası sıcaklık değişimi resmi

Çizelge 5.26'te ise baş salatanın kütlesindeki değişim verilmektedir. Deneyde baş salatanın merkez sıcaklığı 5°C 'ye gelirken kütle kaybı 4,379 gr olarak gerçekleşmiştir. Kütle kaybı %1,04 olmuştur. Şekil 5.67'de soğutma öncesi ve sonrasına ait termal kamera görüntülerine yer verilmiştir.

Çizelge 5.26. Baş salatanın 5°C 2m/s için hava üflemeli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı

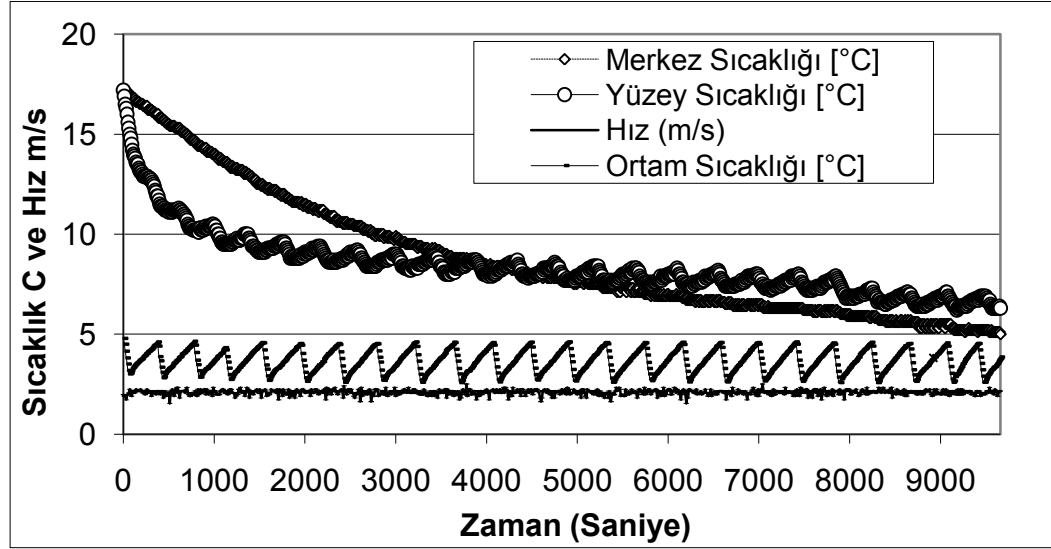
Başlangıç Kütle:	417,265 gr
Son Kütle:	412,889 gr
Kütle Kaybı	4,379 gr
Kütle Kaybı Oranı	% 1,04

c) 5°C de 1 m/s hız altında

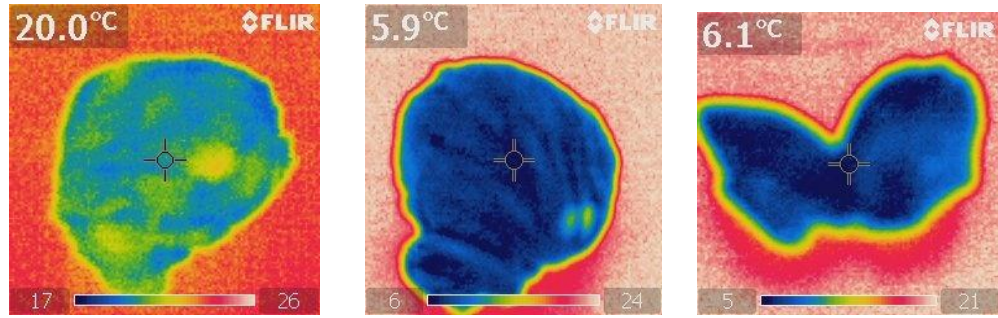
Deneyde ortam sıcaklığı 5°C getirilmiş ve hava akış hızı 1 m/s de gerçekleşmektedir. Şekil 5.68'de görüldüğü gibi, merkez ve yüzey sıcaklığı düşmüştür. 4 saat 56 dakikada merkez sıcaklığı 5°C düşmüş ve deney sona ermiştir.

Çizelge 5.27.'te ise baş salatanın kütlesindeki değişim verilmektedir. Deneyde baş salatanın merkez sıcaklığı 5°C 'ye gelirken kütle kaybı 3,325 gr

olarak gerçekleştirilmiştir. Kütle kaybı %0,81 olmuştur. Şekil 5.69 de soğutma öncesi ve sonrasına ait termal kamera görüntülerine yer verilmiştir.



Şekil 5.66. Hava üfleli soğutucuda 5°C 2m/s için, baş salatanın yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi



Soğutma Başlamadan

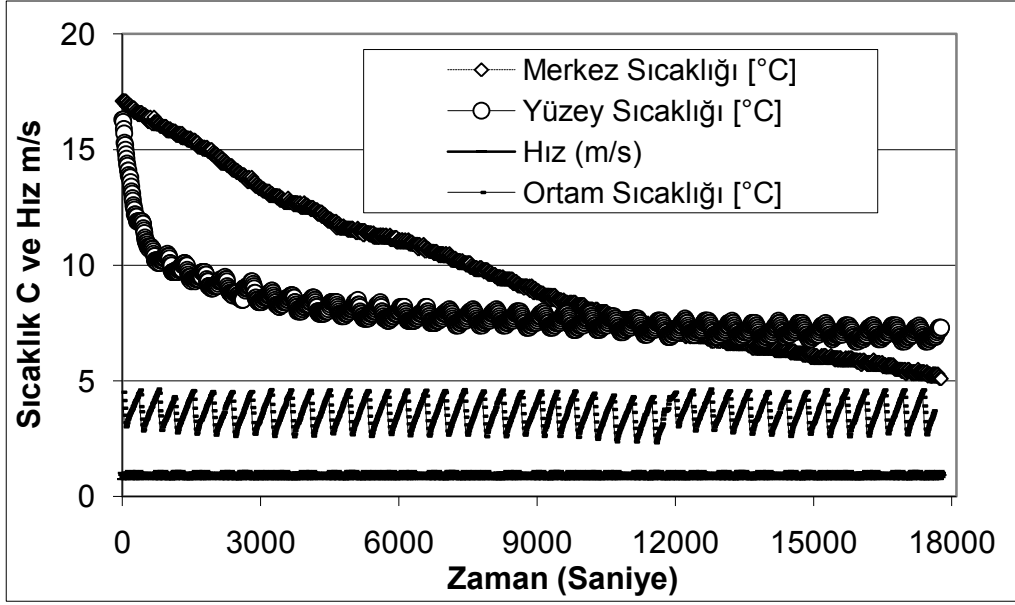
Soğutma Sonrası

Soğutma Sonrası (Ortadan Kesilmiş)

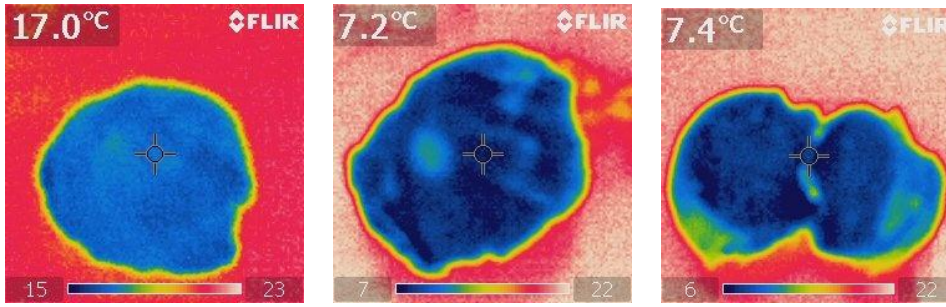
Şekil 5.67. Baş salatanın 5°C 2m/s de hava üfleli soğutma sonrası sıcaklık değişimi resmi

Çizelge 5.27. Baş salatanın 5°C 1m/s için hava üfleli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı

Başlangıç Kütle:	406,842 gr
Son Kütle:	403,517 gr
Kütle Kaybı	3,325 gr
Kütle Kaybı Oranı	%0,81



Şekil 5.68. Hava üfleli soğutucuda 5°C 1m/s için, baş salatanın yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi



Soğutma Başlamadan

Soğutma Sonrası

Soğutma Sonrası (Ortadan Kesilmiş)

Şekil 5.69. Baş salatanın 5°C 1m/s de hava üfleli soğutma sonrası sıcaklık değişimi resmi

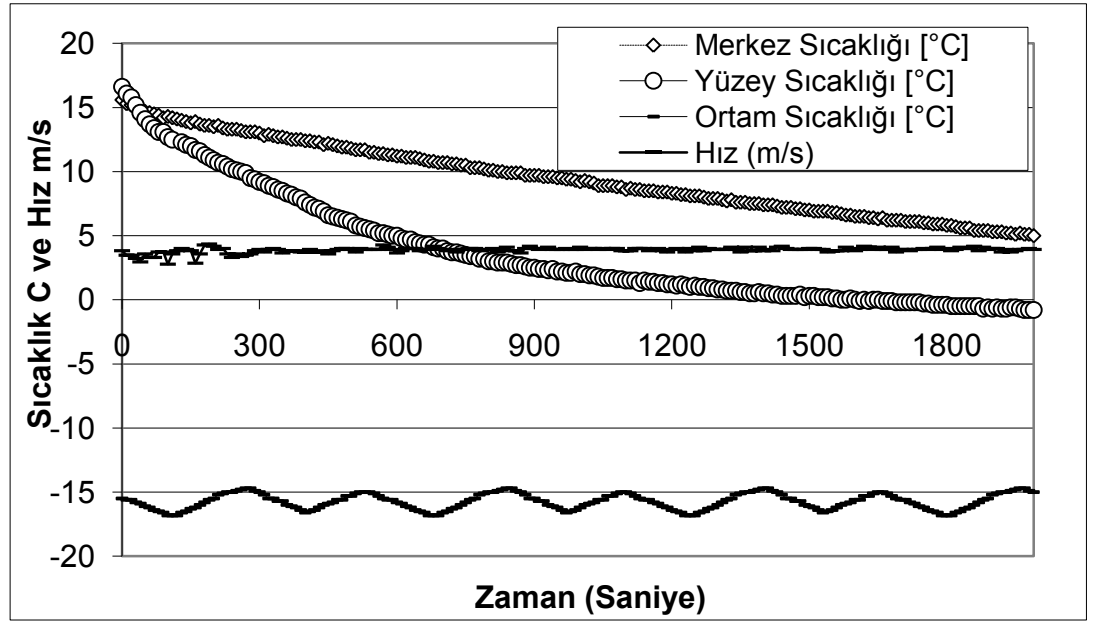
d) -16°C de 4 m/s hız altında

Deneyde ortam sıcaklığı -16°C getirilmiş ve hava akış hızı 4 m/s de gerçekleşmektedir. Şekil 5.70'de görüldüğü gibi, merkez ve yüzey sıcaklığı düşmüştür. 34 dakikada merkez sıcaklığı 5°C düşmüş ve deney sona ermiştir.

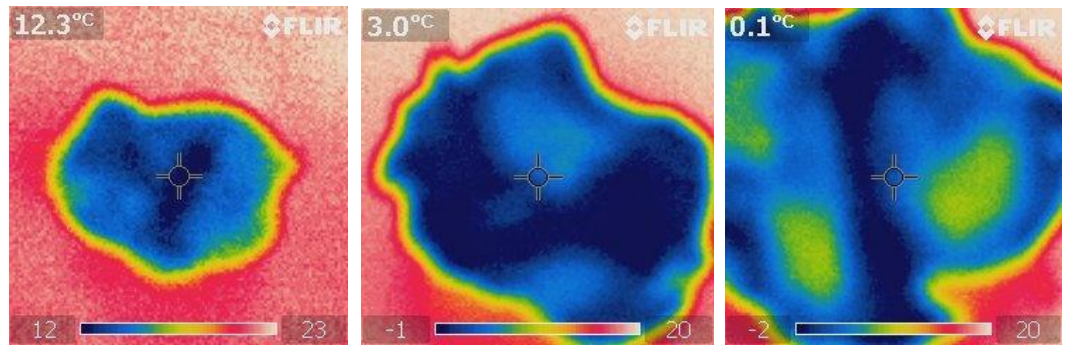
Çizelge 5.28'te ise baş salatanın kütleindeki değişim verilmektedir. Deneyde baş salatanın merkez sıcaklığı 5°C'ye gelirken kütle kaybı 1,712 gr olarak gerçekleşmiştir. Kütle kaybı %0,716 olmuştur. Şekil 5.71 de soğutma öncesi ve sonrasına ait termal kamera görüntülerine yer verilmiştir.

Çizelge 5.28. Baş salatanın -16°C 4m/s için hava üflemeli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı

Başlangıç Kütle:	239,015 gr
Son Kütle:	237,303 gr
Kütle Kaybı	1,712 gr
Kütle Kaybı Oranı	%0,716



Şekil 5.70. Hava üflemeli soğutucuda -16°C 4m/s için, baş salatanın yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi



Soğutma Başlamadan

Soğutma Sonrası

Soğutma Sonrası (Ortadan Kesilmiş)

Şekil 5.71. Baş salatanın -16°C 4m/s de hava üflemeli soğutma sonrası sıcaklık değişimi resmi

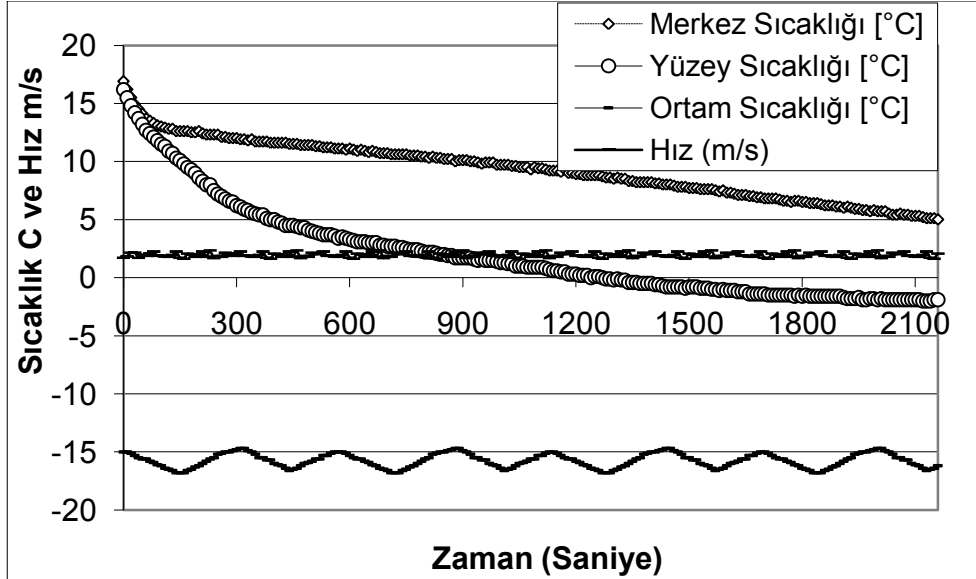
e) -16°C de 2 m/s hız altında

Deneyde ortam sıcaklığı -16°C getirilmiş ve hava akış hızı 2 m/s de gerçekleşmektedir. Şekil 5.72’de görüldüğü gibi, merkez ve yüzey sıcaklığı düşmüştür. 36 dakikada merkez sıcaklığı 5°C düşmüştür ve deney sona ermiştir.

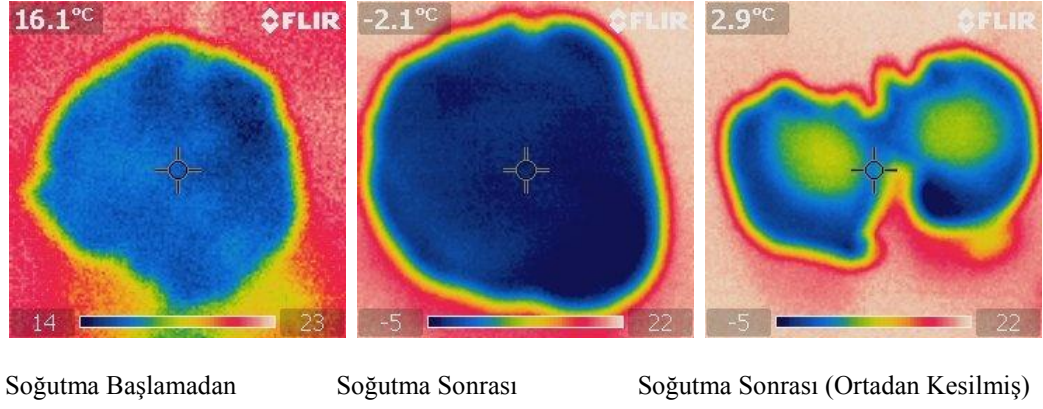
Çizelge 5.29’te ise baş salatanın kütleindeki değişim verilmektedir. Deneyde baş salatanın merkez sıcaklığı 5°C’ye gelirken kütle kaybı 1,701 gr olarak gerçekleşmiştir. Kütle kaybı %0,69 olmuştur. Şekil 5.73 de soğutma öncesi ve sonrasına ait termal kamera görüntülerine yer verilmiştir.

Çizelge 5.29. Baş salatanın -16°C 2m/s için hava üfleli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı

Başlangıç Kütle:	244,616 gr
Son Kütle:	242,915 gr
Kütle Kaybı	1,701 gr
Kütle Kaybı Oranı	%0,69



Şekil 5.72. Hava üfleli soğutucuda -16°C 2m/s için, baş salatanın yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi



Şekil 5.73 Baş salatanın -16°C 2m/s de hava üfleli soğutma sonrası sıcaklık değişimi resmi
f) -16°C de 1 m/s hız altında

Deneyde ortam sıcaklığı -16°C getirilmiş ve hava akış hızı 1 m/s de gerçekleşmektedir. Şekil 5.74'de görüldüğü gibi, merkez ve yüzey sıcaklığı düşmüştür. 38 dakikada merkez sıcaklığı 5°C düşmüş ve deney sona ermiştir.

Çizelge 5.30'te ise baş salatanın kütesindeki değişim verilmektedir. Deneyde baş salatanın merkez sıcaklığı 5°C 'ye gelirken kütle kaybı 1,041 gr olarak gerçekleşmiştir. Kütle kaybı %0,41 olmuştur. Şekil 5.75 de soğutma öncesi ve sonrasına ait termal kamera görüntülerine yer verilmiştir.

Çizelge 5.30. Baş salatanın -16°C 1m/s için hava üfleli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı

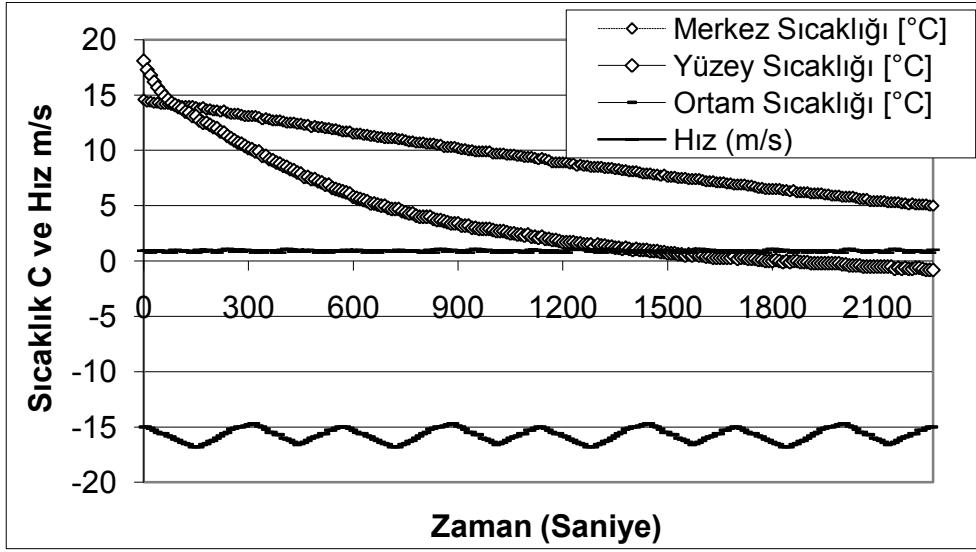
Başlangıç Kütle:	251,832 gr
Son Kütle:	250,791 gr
Kütle Kaybı	1,041 gr
Kütle Kaybı Oranı	% 0,41

g) -20°C de 4 m/s hız altında

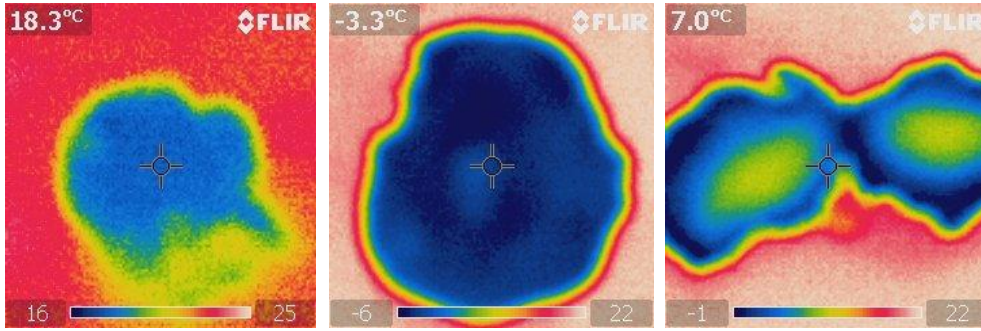
Deneyde ortam sıcaklığı -20°C getirilmiş ve hava akış hızı 4 m/s de gerçekleşmektedir. Şekil 5.76'de görüldüğü gibi, merkez ve yüzey sıcaklığı düşmüştür. 38 dakikada merkez sıcaklığı 5°C düşmüş ve deney sona ermiştir.

Çizelge 5.31'te ise baş salatanın kütesindeki değişim verilmektedir. Deneyde baş salatanın merkez sıcaklığı 5°C 'ye gelirken kütle kaybı 1,859 gr

olarak gerçekleştirilmiştir. Kütle kaybı %0,514 olmuştur. Şekil 5.77 de soğutma öncesi ve sonrasına ait termal kamera görüntülerine yer verilmiştir.



Şekil 5.74. Hava üfleli soğutucuda -16°C 1m/s için, baş salatanın yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi



Soğutma Başlamadan

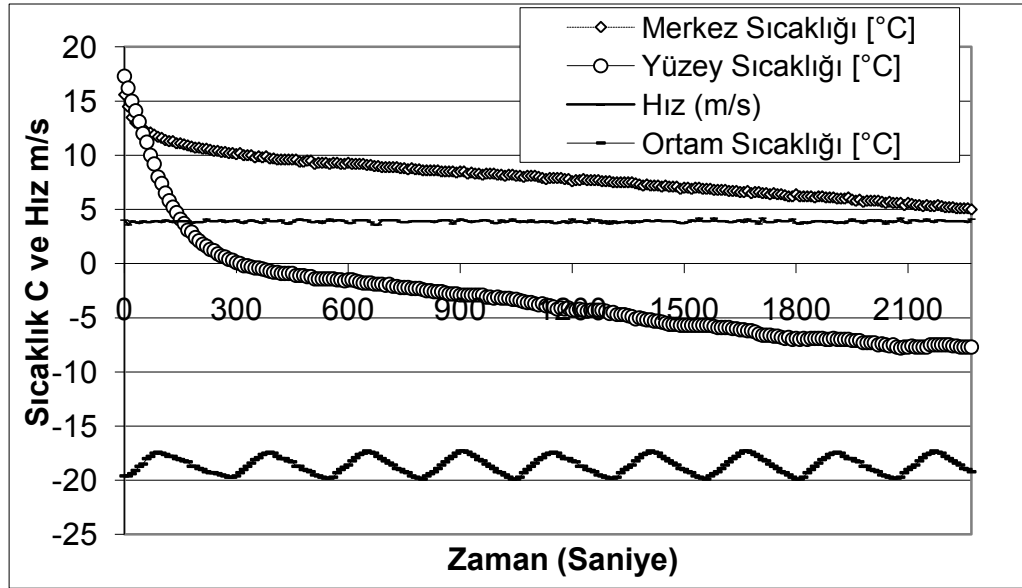
Soğutma Sonrası

Soğutma Sonrası (Ortadan Kesilmiş)

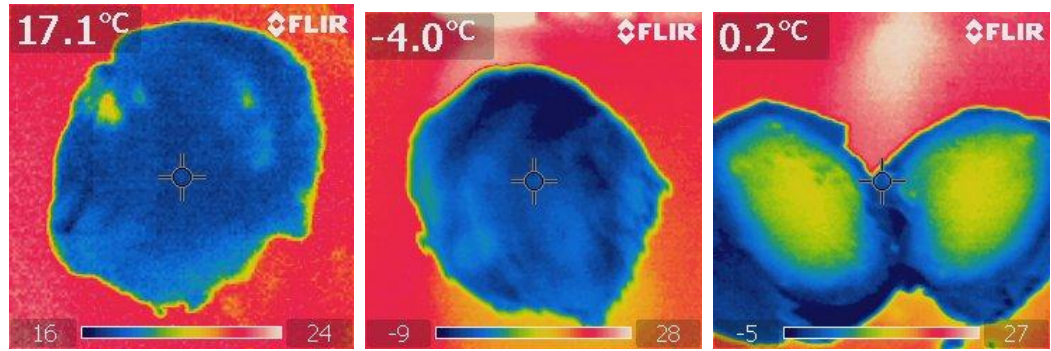
Şekil 5.75. Baş salatanın -16°C 1m/s de hava üfleli soğutma sonrası sıcaklık değişimi resmi

Çizelge 5.31. Baş salatanın -20 °C 4m/s için hava üfleli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı

Başlangıç Kütle:	361,009 gr
Son Kütle:	359,150 gr
Kütle Kaybı	1,859 gr
Kütle Kaybı Oranı	% 0,514



Şekil 5.76. Hava üfleli soğutucuda -20°C 4m/s için, baş salatanın yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi



Soğutma Başlamadan

Soğutma Sonrası

Soğutma Sonrası (Ortadan Kesilmiş)

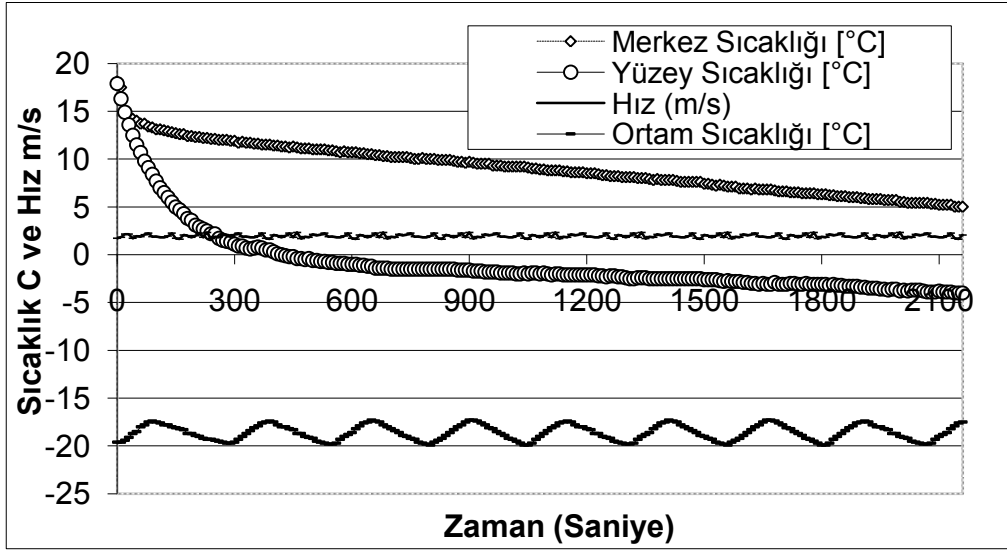
Şekil 5.77. Baş salatanın -20°C 4m/s de hava üfleli soğutma sonrası sıcaklık değişimi resmi
h) -20°C de 2 m/s hız altında

Deneyde ortam sıcaklığı -20°C getirilmiş ve hava akış hızı 2 m/s de gerçekleşmektedir. Şekil 5.78’de görüldüğü gibi, merkez ve yüzey sıcaklığı düşmüştür. 36 dakikada merkez sıcaklığı 5°C düşmüş ve deney sona ermiştir.

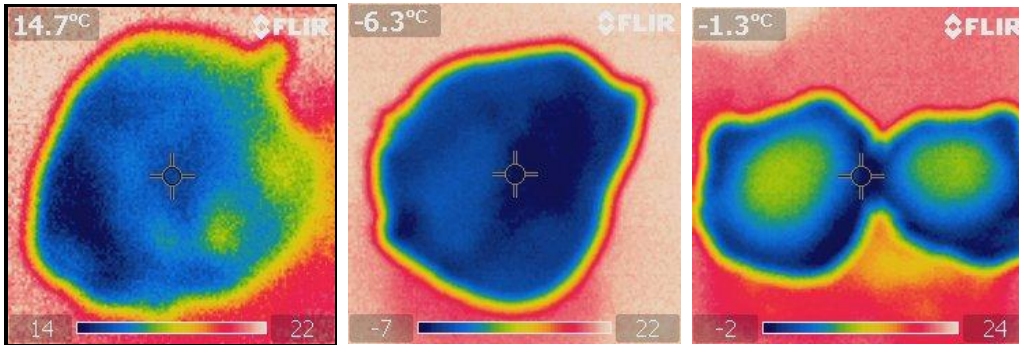
Çizelge 5.32’te ise baş salatanın kütlesindeki değişim verilmektedir. Deneyde baş salatanın merkez sıcaklığı 5°C’ye gelirken kütle kaybı 3,052 gr olarak gerçekleşmiştir. Kütle kaybı %0,922 olmuştur. Şekil 5.79’de soğutma öncesi ve sonrasına ait termal kamera görüntülerine yer verilmiştir.

Çizelge 5.32. Baş salatanın -20 °C 2m/s için hava üflemeli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı

Başlangıç Kütle:	330,912 gr
Son Kütle:	327,860 gr
Kütle Kaybı	3,052 gr
Kütle Kaybı Oranı	%0.922



Şekil 5.78. Hava üflemeli soğutucuda -20°C 2m/s için, baş salatanın yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi



Soğutma Başlamadan

Soğutma Sonrası

Soğutma Sonrası (Ortadan Kesilmiş)

Şekil 5.79 Baş salatanın -20°C 2m/s de hava üflemeli soğutma sonrası sıcaklık değişimi resmi

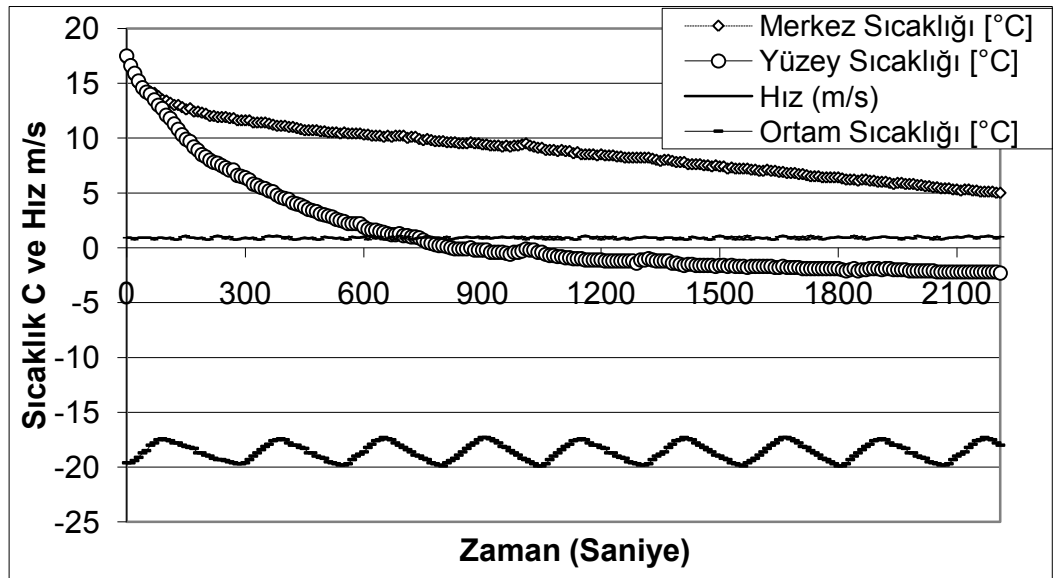
i) -20°C de 1 m/s hız altında

Deneyde ortam sıcaklığı -20°C getirilmiş ve hava akış hızı 1 m/s de gerçekleşmektedir. Şekil 5.80.'de görüldüğü gibi, merkez ve yüzey sıcaklığı düşmüştür. 37 dakikada merkez sıcaklığı 5°C düşmüş ve deney sona ermiştir.

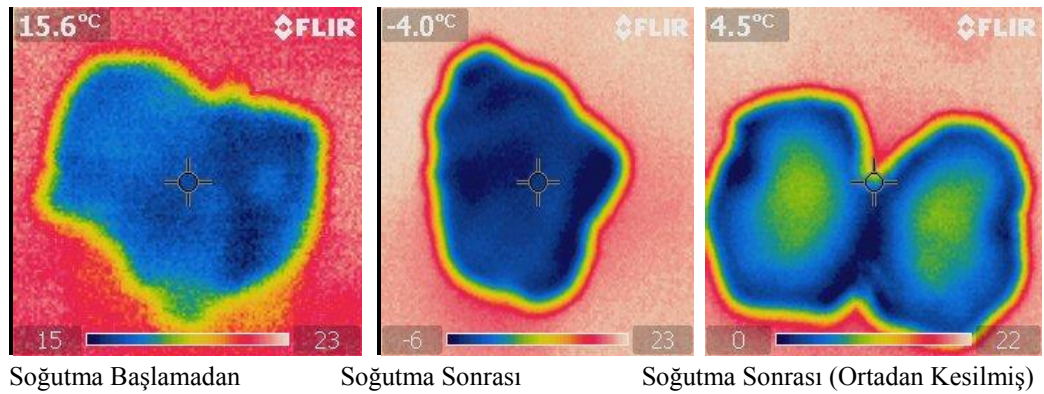
Çizelge 5.33'te ise baş salatanın kütesindeki değişim verilmektedir. Deneyde baş salatanın merkez sıcaklığı 5°C'ye gelirken kütle kaybı 1,492 gr olarak gerçekleşmiştir. Kütle kaybı %0,537 olmuştur. Şekil 5.81'de soğutma öncesi ve sonrasına ait termal kamera görüntülerine yer verilmiştir.

Çizelge 5.33. Baş salatanın -20 °C 1m/s için hava üflemeli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı

Başlangıç Kütle:	277,386 gr
Son Kütle:	275,894 gr
Kütle Kaybı	1,492 gr
Kütle Kaybı Oranı	% 0,537



Şekil 5.80. Hava üflemeli soğutucuda -20°C 1m/s için, baş salatanın yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi



Şekil 5.81. Baş salatanın -20°C 1m/s de hava üflemeli soğutma sonrası sıcaklık değişimi resmi

5.5. Semizotunun (*Portulaca oleracea*) Soğutulması

Bu bölümde literatürde de vakum soğutulması yapılmamış bir ürün olan semizotunun vakum ile soğutulmasına ilişkin yürütülen deney sonuçlarına yer verilmiştir. Her bir deney için semizotu bir deste olarak alınmış ve yüzey sıcaklığı ölçümü için prob yüzeydeki semizotuna, merkez sıcaklığı için de prob semizotu destesinin merkezi bir yerine batırılmıştır. Destenin dağılmaması için plastik bandaj ile sarılmış ve vakum ortamında ölçümler alınmadan önce termal kamera ile semizotunun resmi çekilerek sonrasında tartımı yapılmış ve kaydedilmiştir.

5.5.1. Semizotunun vakum altında soğutulması

Semizotunun vakum ortamında soğutulması da diğer ürünlerde olduğu gibi 7 mbar, 10 mbar ve 15 mbar basınçlar için ve vakum değeri istenilen basınçlarında yürütülmüştür. Semizotuna ilişkin yapılan deneylerde de merkez, yüzey ve ortam sıcaklıklar ölçülerek sonuçlar grafiklerde verilmiştir. Ayrıca, vakum soğutma sonrası ürünün tekrar termal kamera ile görüntüsü alınmış ve sonrasında ağırlığı ölçülerek vakum soğutma esnasındaki kütle kaybı belirlenmiştir.

Semizotunun soğutulmasına ilişkin ilk deneyde ortam basıncı iki pompa çalıştırılarak 7 mbar'a getirilmiş, vakum pompası bu basınçta çalışır durumdayken deney gerçekleştirilmiştir. Şekil 5.82'de da görüldüğü gibi, merkez ve yüzey sıcaklığı hızla düşmüştür. 670 saniye (yaklaşık 11 dakika) sonra merkez ve yüzey sıcaklıklarının her ikisi de eşit değere (yaklaşık 5°C) gelmiştir.

Çizelge 5.34'da ise semizotunun kütleindeki değişim ve set edilen basınç değerleri verilmektedir. 7 mbar basınçta yürütülen deneylerde semizotunun merkez sıcaklığı başlangıç sıcaklığı olan 23°C'den 5°C'ye gelirken kütle kaybı 2,276 gr olarak gerçekleşmiştir. Kütle kaybı %2,55 olmuştur.

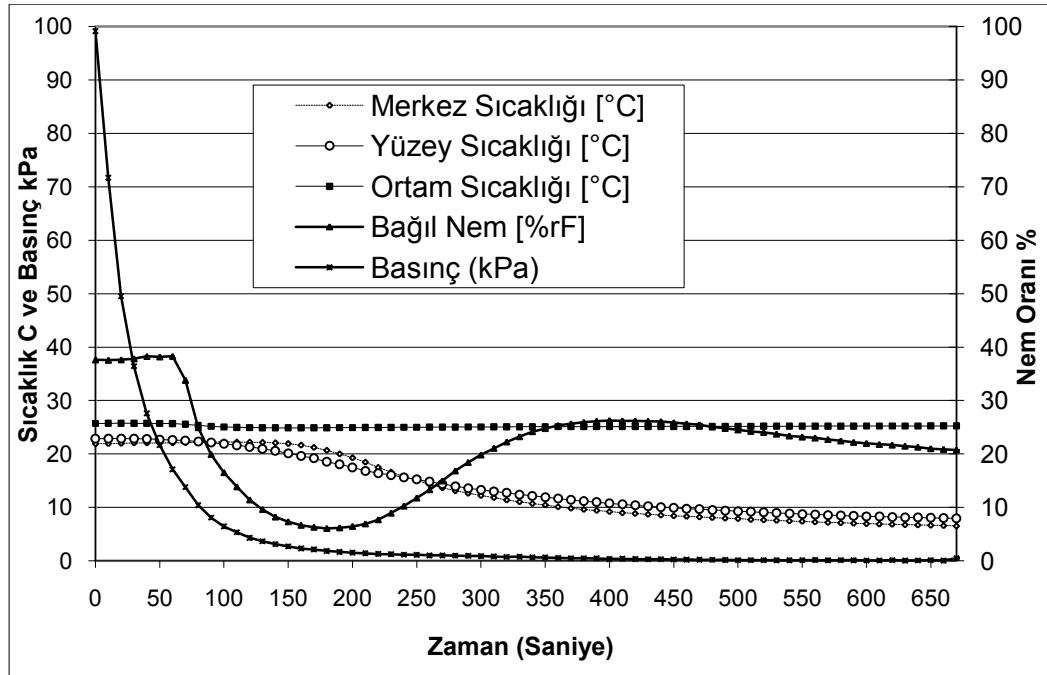
Semizotunun vakum öncesi ve vakum sonrası termal kamera görüntüleri Şekil 5.83 da gösterilmiştir.

Semizotuna ilişkin iki nolu deneyde 10 mbar basınçta yürütülmüştür ve vakum değeri istenilen değere geldikten sonra da pompalar çalışır durumda tutulmuştur. Semizotuna ilişkin değerler Çizelge 5.34'da verilmiştir. İki pompanın çalışması durumunda yüzey, merkez ve ortam sıcaklığı ve basınç ve nem değişimleri Şekil 5.84'de gösterilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi, semizotunun sıcaklık değişiminde merkez ve yüzey sıcaklıkları birbirine çok yakın bir şekilde

düşmektedir. Sıcaklık 660 saniyede (11 dakika) sıcaklık 10°C'ye inmiştir, bu değerden sonra sıcaklıkta bir değişim olmamıştır. 10 mbar basınçta kütle kaybı ise %2 civarında gerçekleşmiştir. Termal kamera görüntüleri ise Şekil 5.85de verilmiştir.

Çizelge 5.34. Vakum altında soğutmada semizotunun başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı

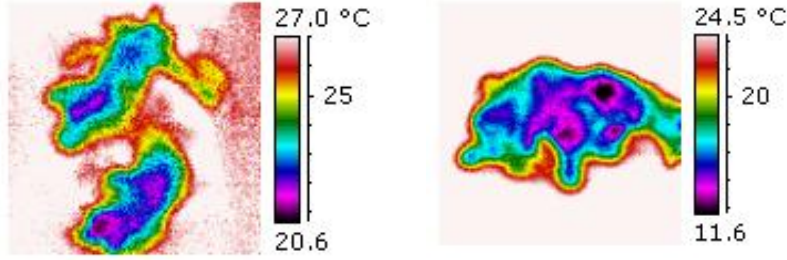
Basıç (mbar)	7	10	15
Başlangıç Kütle (g)	89,203	113,233	109,926
Son Kütle (g)	86,927	110,886	108,336
Kütle Kaybı (g)	2,276	2,347	1,59
Kütle Kaybı Oranı (%)	2,55	2,07	1,45



Şekil 5.82. 7 mbar sabit basınç altında semizotunun yüzey, merkez ve ortam sıcaklığı, nem oranı ve basınç değişimi.

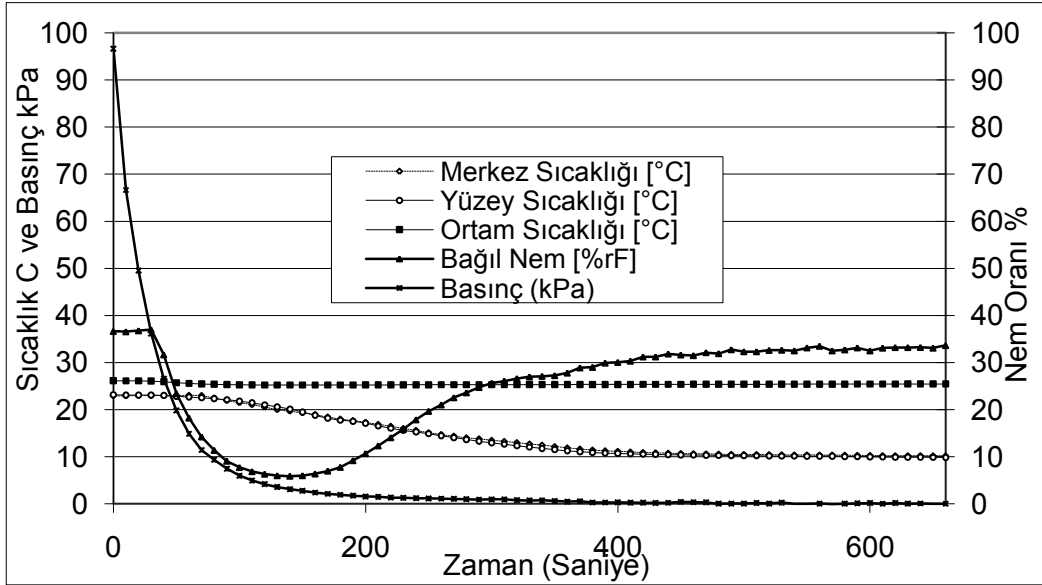
Bu deneyde ortam basıncı 15 mbar'a getirilmiştir ve bu durum için vakum ortamında yüzey, merkez ve ortam sıcaklığındaki ve basınç ve nemdeki değişimler incelenmiştir. Şekil 5.86'de merkez, yüzey ve ortam sıcaklığı ile nem ve basınçtaki değişim verilmiştir. 15 mbar basınç altında yüzey sıcaklığı 400 saniyede 17 °C inmiş ve sonrasında bu değer altına gelmemiştir. Deney süresi

700 saniye olarak alınmış ve sıcaklığın 17 °C'nin altına inmediği gözlenmiştir. Semizotuna ait kütle değerleri Çizelge 5.34 de verilmiştir. Sıcaklık değişimlerini gösteren termal kamera görüntüleri Şekil 5.34 de verilmiştir.

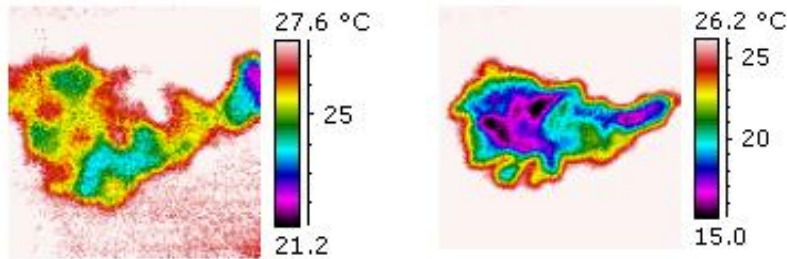


Vakum Soğutma Başlamadan Vakum Soğutma Sonrası

Şekil 5.83. 7 mbar basınç altında semizotunun vakum soğutma öncesi ve sonrası sıcaklık değişimi resmi

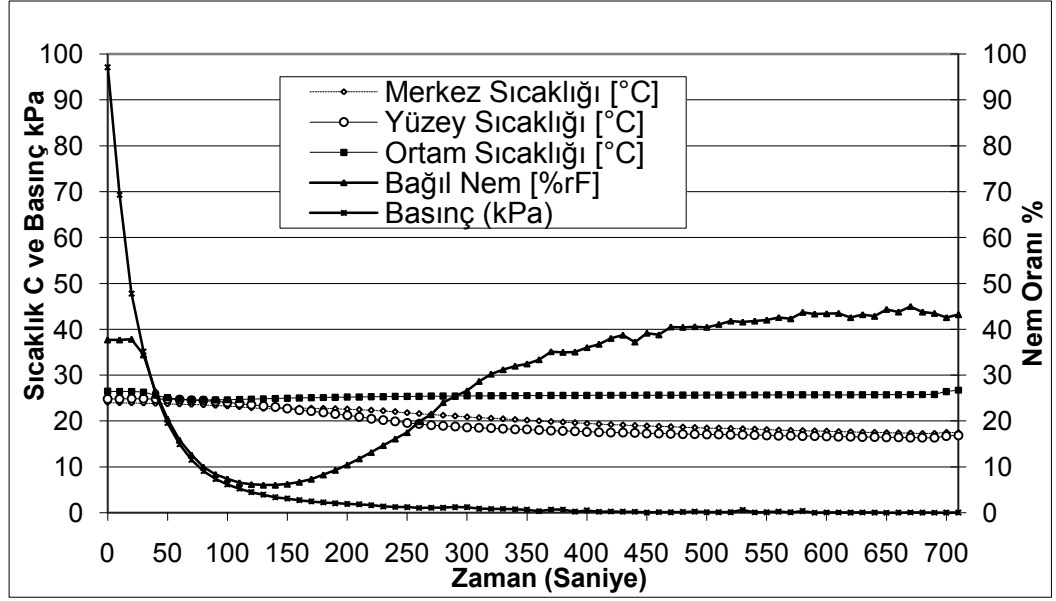


Şekil 5.84. 10 mbar sabit basınç altında semizotunun yüzey, merkez ve ortam sıcaklığı, nem oranı ve basınç değişimi.

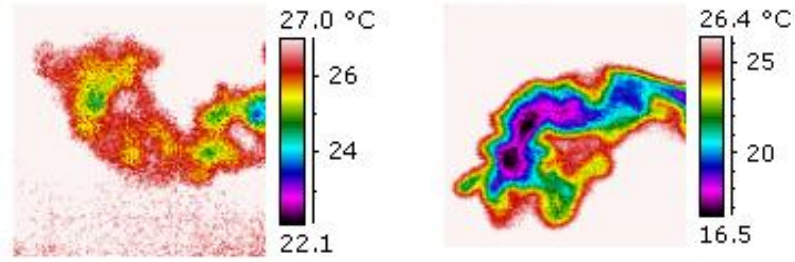


Vakum Soğutma Başlamadan Vakum Soğutma Sonrası

Şekil 5.85. 10 mbar basınç altında semizotunun vakum soğutma öncesi ve sonrası sıcaklık değişimi resmi



Şekil 5.86. 15 mbar sabit basınç altında semizotunun yüzey, merkez ve ortam sıcaklığı, nem oranı ve basınç değişimi..



Vakum Soğutma Başlamadan

Vakum Soğutma Sonrası

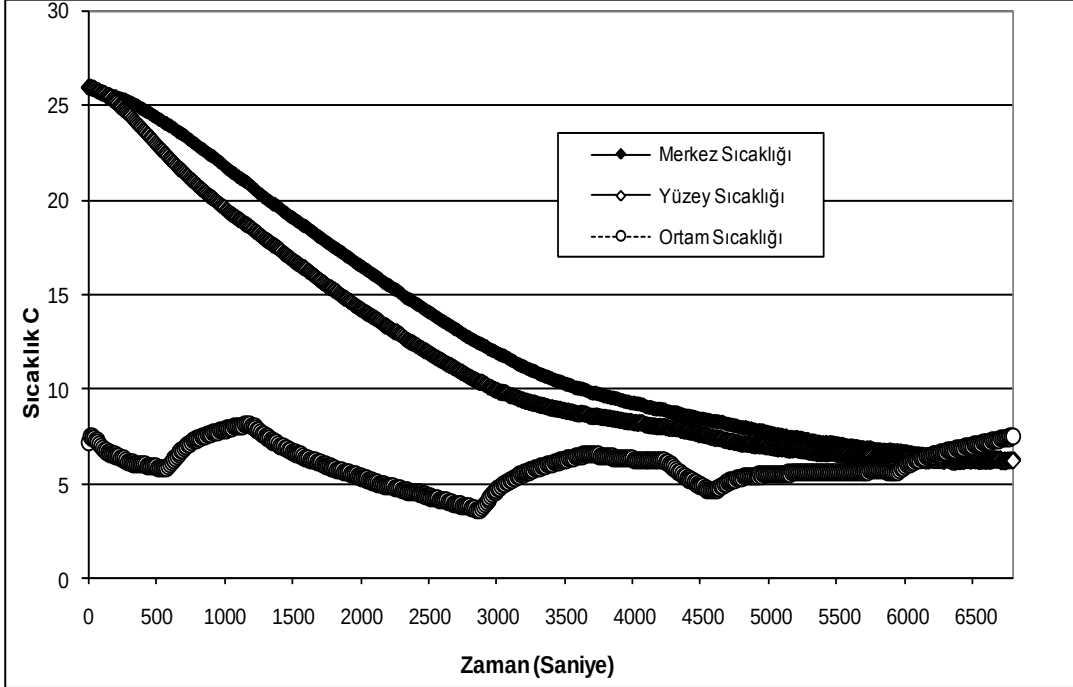
Şekil 5.87. 15 mbar basınç altında semizotunun vakum soğutma öncesi ve sonrası sıcaklık değişimi resmi

5.5.2. Semizotunun klasik yöntemle soğutulması

Semizotunun geleneksel olarak soğutulması denemeleri marulda olduğu gibi buzdolabında ve buzdolabının dondurucusunda (5°C, -16°C ve -20°C sıcaklıklarında) gerçekleştirilmiştir. -16°C ve -20°C sıcaklıklarda yapılan deneylerde, semiz otunun da yüzey sıcaklığı 0°C'ye geldiğinde donma olayı gerçekleşmiştir.

Semizotunu klasik soğutma öncesi ve sonrasında ağırlıkları ölçülmüş ve kütle kaybı belirlenmiştir, buna göre kütle kaybı %1,4 olarak bulunmuştur (Çizelge 5.35). Bu değer vakum soğutma ile kıyaslandığında vakum soğutmadaki değerlere yakın olduğu görülebilir. Semizotu için buzdolabında soğutmadaki

sıcaklık değişimi Şekil 5.88’de verilmiştir. Semizotunun 5°C’ye soğutulması için geçen süre 6800 saniye (113 dakika) olmuştur. Vakum soğutma ile karşılaştırıldığında sürenin 10 kat daha büyük olduğu görülebilir.



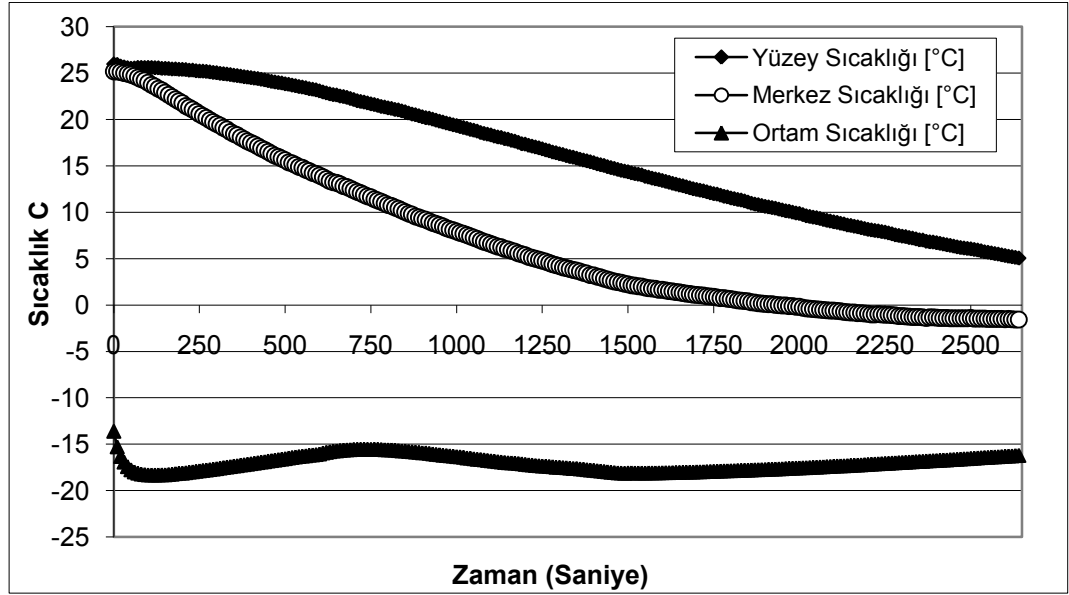
Şekil 5.88. Buzdolabında 5°C sıcaklık altında semizotunun yüzey sıcaklığı, merkez sıcaklığı ve ortam sıcaklığındaki değişim.

Çizelge 5.35. Semizotunun klasik soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı

Set edilen Sıcaklık (°C)	5	-16	-20
Başlangıç Kütle (gr)	143,114	110,995	117,191
Son Kütle (gr)	140,915	110,553	116,634
Kütle Kaybı (gr)	1,536	0,398	0,475
Kütle Kaybı Oranı (%)	1,07327	0,358575	0,405321

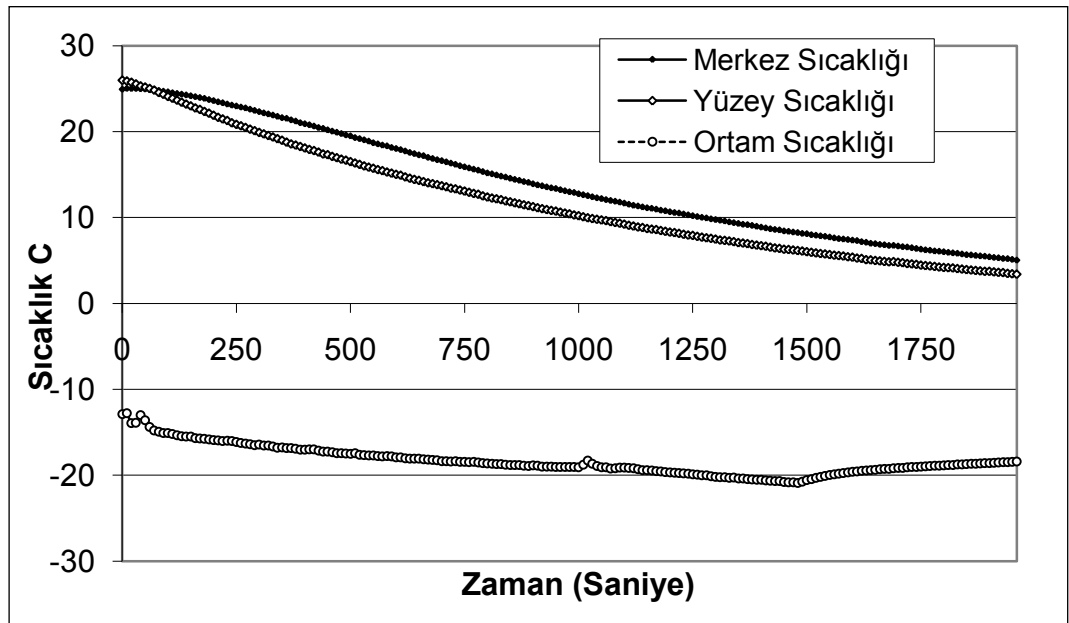
Semizotunun geleneksel yöntemle soğutulmasında ikinci deney -16°C altında yürütülmüştür. Semizotunun kütle kaybı %0,36 olarak bulunmuştur (Çizelge 5.35). 5°C ile karşılaştırıldığında görüldüğü gibi kütle kaybı azalmaktadır. -16°C sıcaklıkta, klasik soğutmada semizotunun sıcaklık değişimi Şekil 5.89’de verildiği gibidir. Şekilden de görüldüğü gibi, düşük sıcaklıklarda semizotunun yüzeyinde ve merkezin yaklaşık eş bir sıcaklık değişimi

gerçekleşmektedir. Semizotunun merkez sıcaklığının 5°C'ye gelmesi 2640 saniye almaktadır. Oysaki vakum soğutmada 650 saniyede bu değerlere inilebilmektedir.



Şekil 5.89. Buzdolabında -16°C sıcaklık altında semizotunun yüzey sıcaklığı, merkez sıcaklığı ve ortam sıcaklığındaki değişim.

-20°C'de semizotunun soğutulmasına ilişkin deneysel sonuçlar Şekil 5.90'te verilmiştir. -20°C'de semizotunun 5°C'ye soğuması 1960 saniye bir zaman almakta ve şekilden de görüldüğü gibi yüzeyde donmalar meydana gelmektedir. Kütle kaybı %0,47 olarak gerçekleşmiştir (Çizelge 5.35).



Şekil 5.90. Buzdolabında -20 °C sıcaklık altında semizotunun yüzey sıcaklığı, merkez sıcaklığı ve ortam sıcaklığındaki değişim.

5.5.3. Semizotunun Hava Üflemeli Soğutucuda soğutulması

Semizotunun hava üflemeli soğutucuda soğutulmasına ilişkin deneyler; 5°C, -16°C ve -20°C derecelerde, 4 m/s, 2 m/s, 1 m/s hızlarda yapılmıştır. Soğutma deneyleri hava akış yönü yukarıdan aşağıya doğru gerçekleşmektedir. Sıcaklık probu merkez, yüzey ve ortam sıcaklıklarını ölçerken hız probu hava hızı değerlerini ölçerek deney gerçekleşmektedir.

a) 5°C de 4 m/s hız altında

Deneyde ortam sıcaklığı 5°C getirilmiş ve hava akış hızı 4 m/s de gerçekleşmektedir. Şekil 5.91’de görüldüğü gibi, merkez ve yüzey sıcaklığı düşmüştür. 2 saat 41 dakikada merkez sıcaklığı 5°C düşmüş ve deney sona ermiştir.

Çizelge 5.36’te ise Semizotu’nun kütlesindeki değişim verilmektedir. Deneyde Semizotu’nun merkez sıcaklığı başlangıç sıcaklığı olan 22°C’den 5°C’ye gelirken kütle kaybı 2,879 gr olarak gerçekleşmiştir. Kütle kaybı %2,18 olmuştur. Şekil 5.92’de soğutma öncesi ve sonrasına ait termal kamera görüntülerine yer verilmiştir.

Çizelge 5.36. Semizotunun 5°C 4m/s için hava üflemeli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı

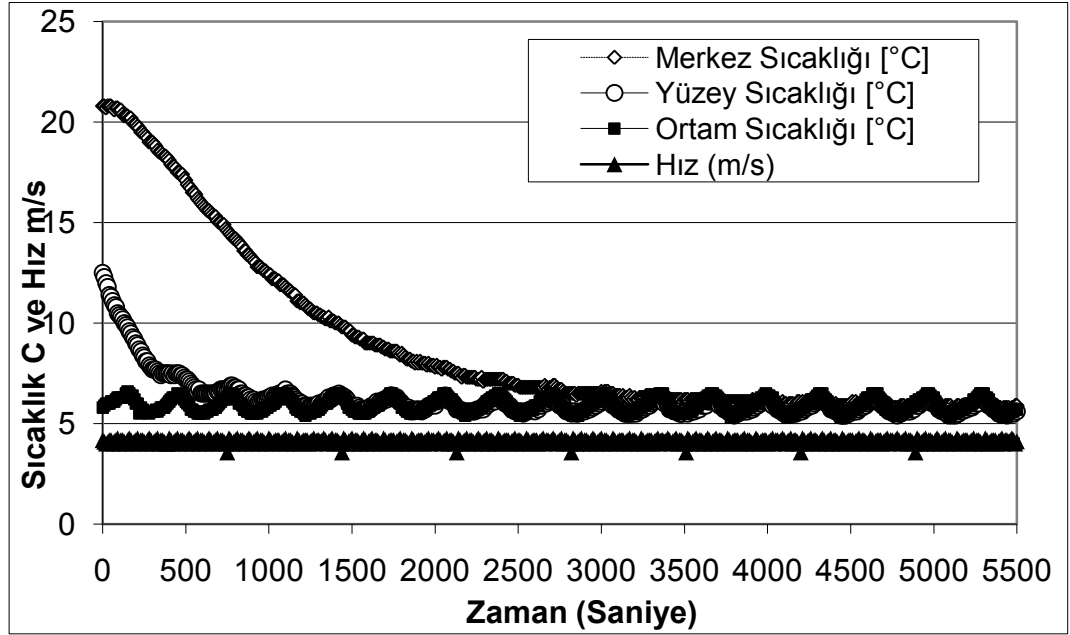
Başlangıç Kütle:	131,701 gr
Son Kütle:	128,822 gr
Kütle Kaybı	2,879 gr
Kütle Kaybı Oranı	%2,18

b) 5°C de 2 m/s hız altında

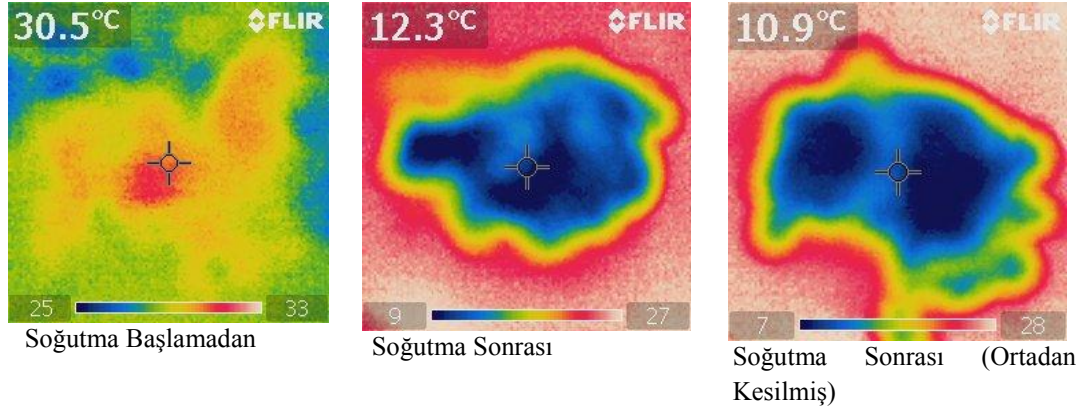
Deneyde ortam sıcaklığı 5°C getirilmiş ve hava akış hızı 2 m/s de gerçekleşmektedir. Şekil 5.93’de görüldüğü gibi, merkez ve yüzey sıcaklığı düşmüştür. 3 saat 42 dakikada merkez sıcaklığı 5°C düşmüş ve deney sona ermiştir.

Çizelge 5.37’te ise Semizotu’nun kütlesindeki değişim verilmektedir. Deneyde Semizotu’nun merkez sıcaklığı başlangıç sıcaklığı olan 23°C’den 5°C’ye gelirken kütle kaybı 1,932 gr olarak gerçekleşmiştir. Kütle kaybı %1,79 olmuştur.

Şekil 5.94 de soğutma öncesi ve sonrasına ait termal kamera görüntülerine yer verilmiştir.



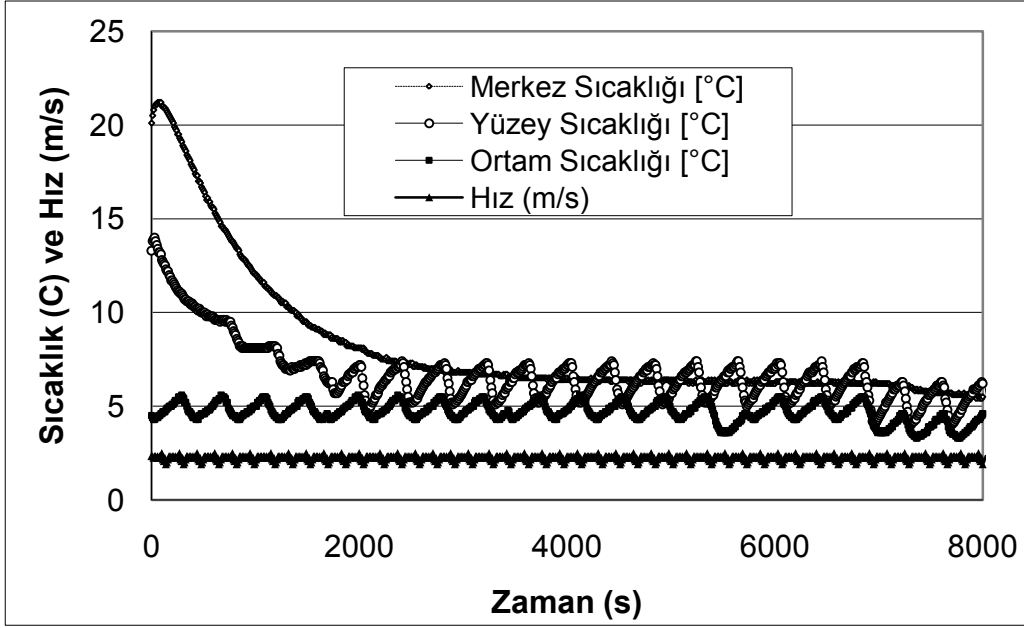
Şekil 5.91. Hava üflemeli soğutucuda 5°C 4m/s için, semizotunun yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi



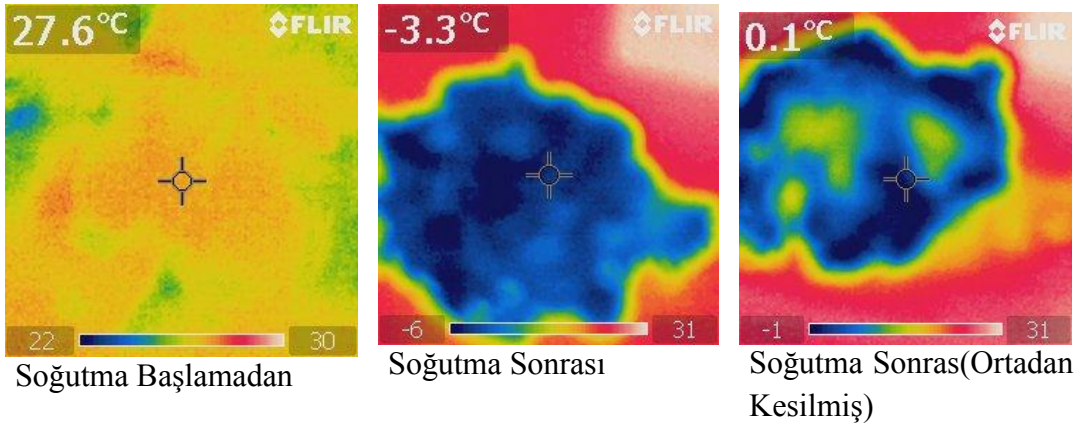
Şekil 5.92. Semizotunun 5°C 4m/s de hava üflemeli soğutma sonrası sıcaklık değişimi resmi

Çizelge 5.37. Semizotunun 5°C 2m/s için hava üflemeli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı

Başlangıç Kütle:	125,180 gr
Son Kütle:	123,248 gr
Kütle Kaybı	0,776 gr
Kütle Kaybı Oranı	%0,608



Şekil 5.93. Hava üflemeli soğutucuda 5°C 2m/s için, semizotunun yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi



Şekil 5.94. Semizotunun 5°C 2m/s de hava üflemeli soğutma sonrası sıcaklık değişimi resmi

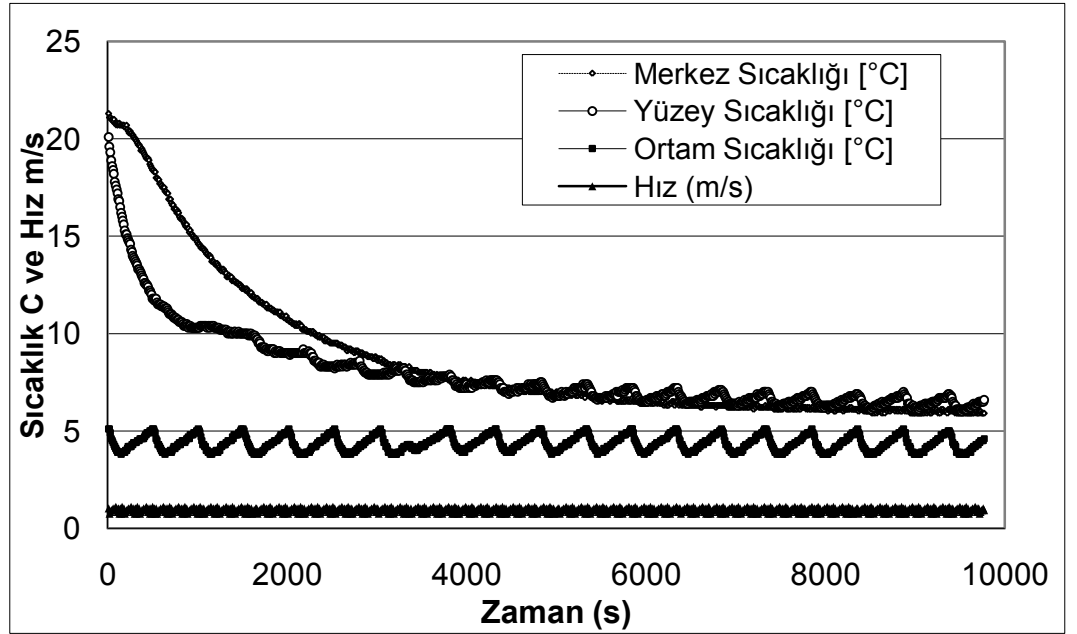
c) 5°C de 1 m/s hız altında

Deneyde ortam sıcaklığı 5°C getirilmiş ve hava akış hızı 1 m/s de gerçekleşmektedir. Şekil 5.95'de görüldüğü gibi, merkez ve yüzey sıcaklığı düşmüştür. 2 saat 42 dakikada merkez sıcaklığı 5°C düşmüş ve deney sona ermiştir.

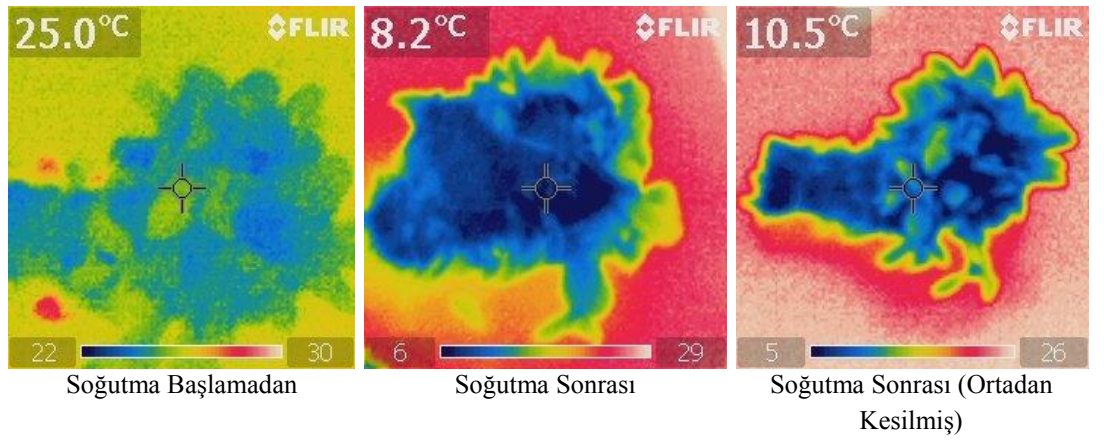
Çizelge 5.38'te ise Semizotu'nun kütlesindeki değişim verilmektedir. Deneyde Semizotu'nun merkez sıcaklığı başlangıç sıcaklığı olan 21°C'den 5°C'ye gelirken kütle kaybı 0,355 gr olarak gerçekleşmiştir. Kütle kaybı %0,286 olmuştur. Şekil 5.96'da soğutma öncesi ve sonrasına ait termal kamera görüntülerine yer verilmiştir.

Çizelge 5.38. Semizotunun 5°C 1m/s için hava üflemeli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı

Başlangıç Kütle:	124,124 gr
Son Kütle:	123,769 gr
Kütle Kaybı	0,355 gr
Kütle Kaybı Oranı	%0,286



Şekil 5.95. Hava üflemeli soğutucuda 5°C 1m/s için, semizotunun yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi



Şekil 5.96. Semizotunun 5°C 1m/s de hava üflemeli soğutma sonrası sıcaklık değişimi resmi

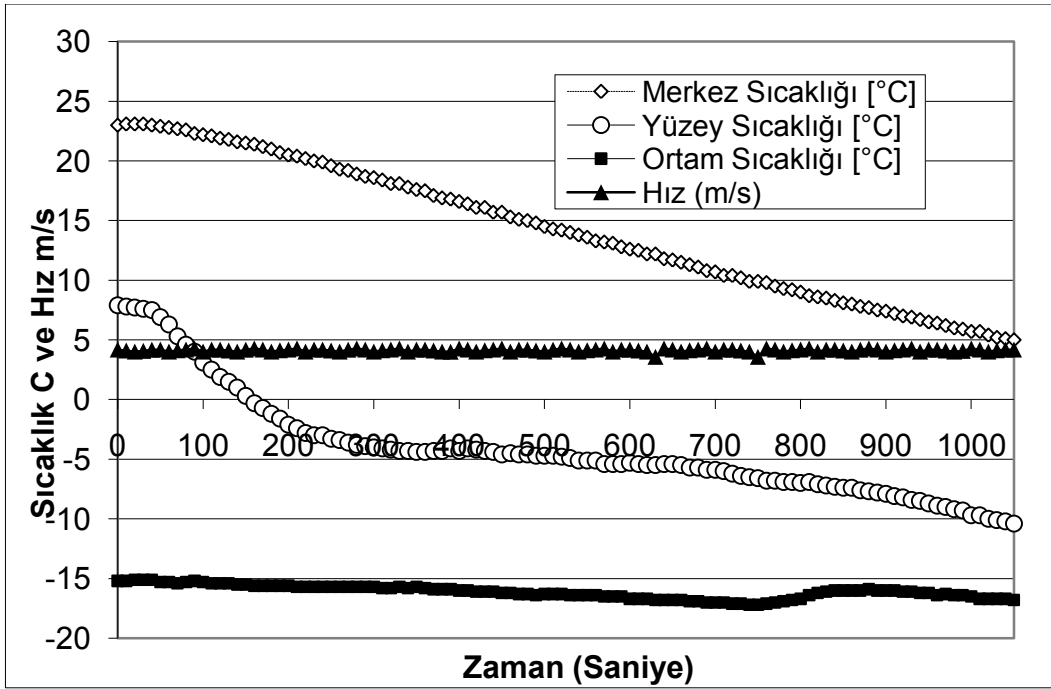
d) -16°C de 4 m/s hız altında

Deneyde ortam sıcaklığı -16°C getirilmiş ve hava akış hızı 4 m/s de gerçekleşmektedir. Şekil 5.97’de görüldüğü gibi, merkez ve yüzey sıcaklığı düşmüştür. 1100 saniyede merkez sıcaklığı 5°C düşmüş ve deney sona ermiştir.

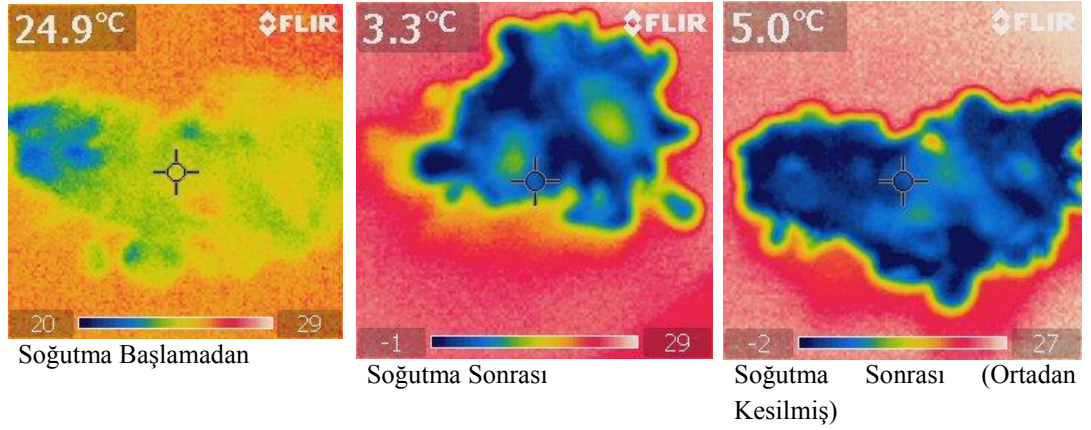
Çizelge 5.39’te ise Semizotu’nun kütleindeki değişim verilmektedir. 3 nolu deneyde Semizotu’nun merkez sıcaklığı başlangıç sıcaklığı olan 23°C’den 5°C’ye gelirken kütle kaybı 0,562 gr olarak gerçekleşmiştir. Kütle kaybı %0,463 olmuştur. Şekil 5.98 de soğutma öncesi ve sonrasına ait termal kamera görüntülerine yer verilmiştir.

Çizelge 5.39. Semizotunun -16°C 4m/s için hava üfleli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı

Başlangıç Kütle:	121,213 gr
Son Kütle:	120,651 gr
Kütle Kaybı	0,562 gr
Kütle Kaybı Oranı	%0,463



Şekil 5.97. Hava üfleli soğutucuda -16°C 4m/s için, semizotunun yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi



Şekil 5.98 Semizotunun -16°C 4m/s de hava üflemeli soğutma sonrası sıcaklık değişimi resmi
e) -16°C de 2 m/s hız altında

Deneyde ortam sıcaklığı -16°C getirilmiş ve hava akış hızı 2 m/s de gerçekleşmektedir. Şekil 5.99’de görüldüğü gibi, merkez ve yüzey sıcaklığı düşmüştür. 28 dakikada merkez sıcaklığı 5°C düşmüş ve deney sona ermiştir.

Çizelge 5.40’te ise Semizotu’nun kütesindeki değişim verilmektedir. Deneyde Semizotu’nun merkez sıcaklığı başlangıç sıcaklığı olan 21°C’den 5°C’ye gelirken kütle kaybı 0,703 gr olarak gerçekleşmiştir. Kütle kaybı %0,565 olmuştur. Şekil 5.100 de soğutma öncesi ve sonrasına ait termal kamera görüntülerine yer verilmiştir.

Çizelge 5.40. Semizotunun -16°C 2m/s için hava üflemeli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı

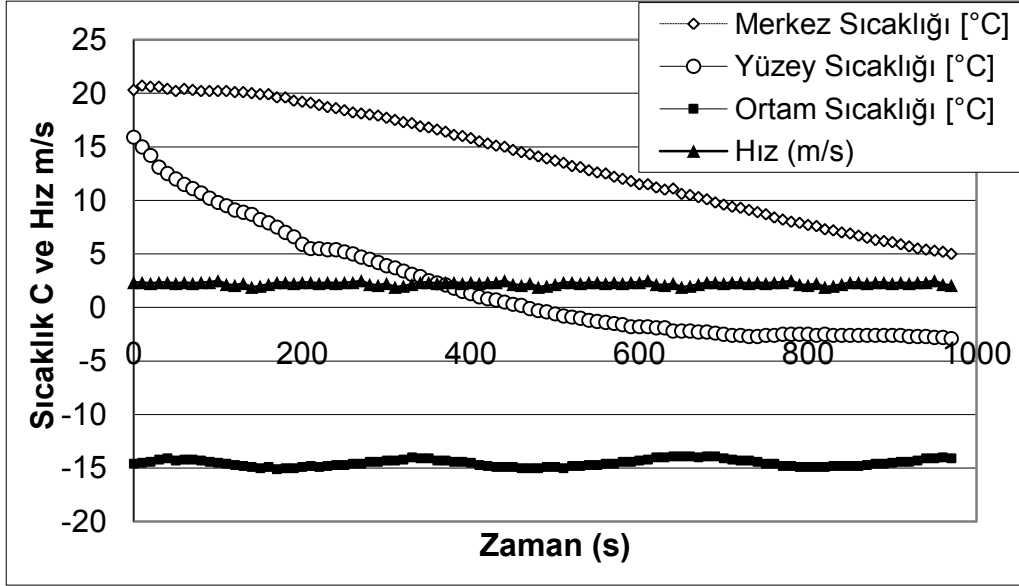
Başlangıç Kütle:	124,345 gr
Son Kütle:	123,642 gr
Kütle Kaybı	0,703 gr
Kütle Kaybı Oranı	%0,565

f) -16°C de 1 m/s hız altında

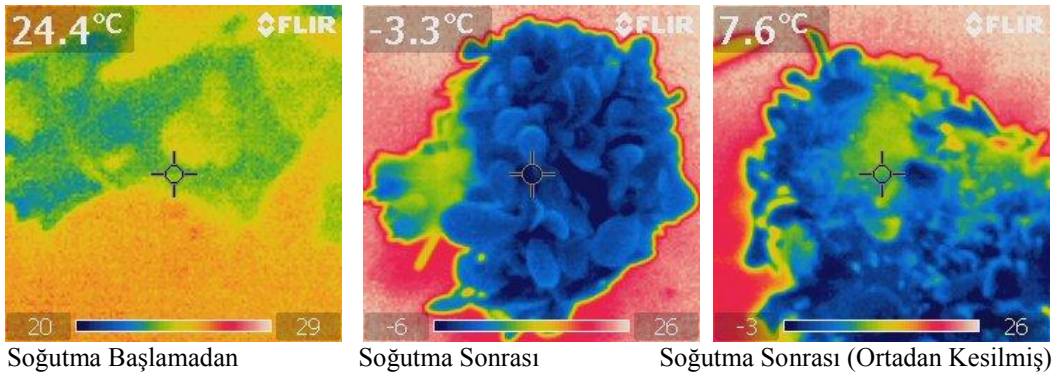
Deneyde ortam sıcaklığı -16°C getirilmiş ve hava akış hızı 1 m/s de gerçekleşmektedir. Şekil 5.101’de görüldüğü gibi, merkez ve yüzey sıcaklığı düşmüştür. 28 dakikada merkez sıcaklığı 5°C düşmüş ve deney sona ermiştir.

Çizelge 5.41’te ise Semizotu’nun kütesindeki değişim verilmektedir. Deneyde Semizotu’nun merkez sıcaklığı başlangıç sıcaklığı olan 21°C’den 5°C’ye

gelirken kütle kaybı 0,266 gr olarak gerçekleşmiştir. Kütle kaybı %0,213 olmuştur. Şekil 5.102’de soğutma öncesi ve sonrasına ait termal kamera görüntülerine yer verilmiştir.



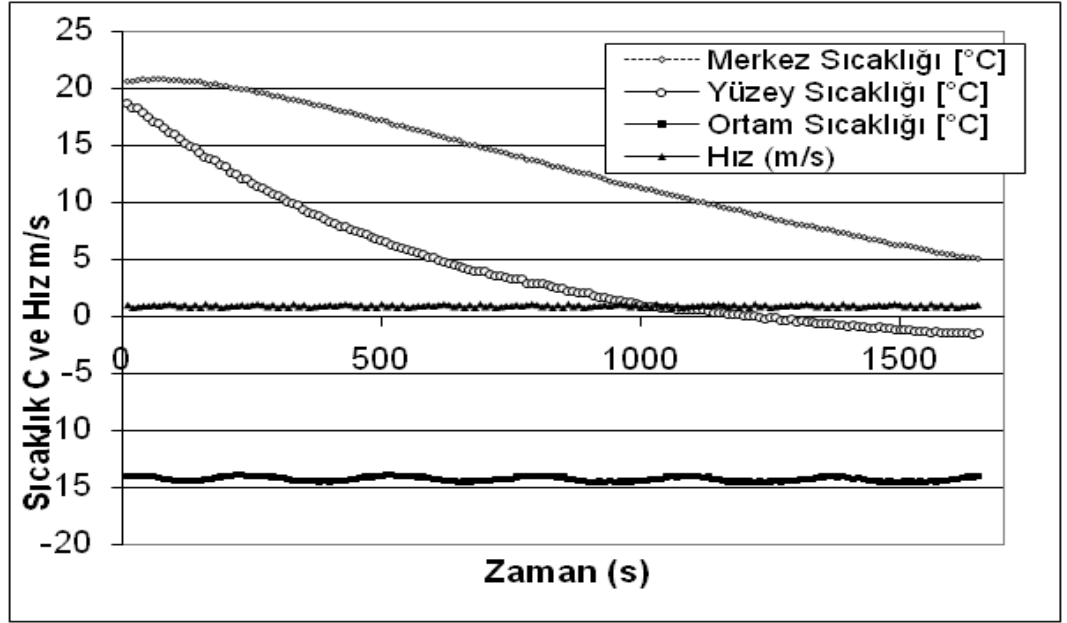
Şekil 5.99. Hava üflemeli soğutucuda -16°C 2m/s için, semizotunun yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi



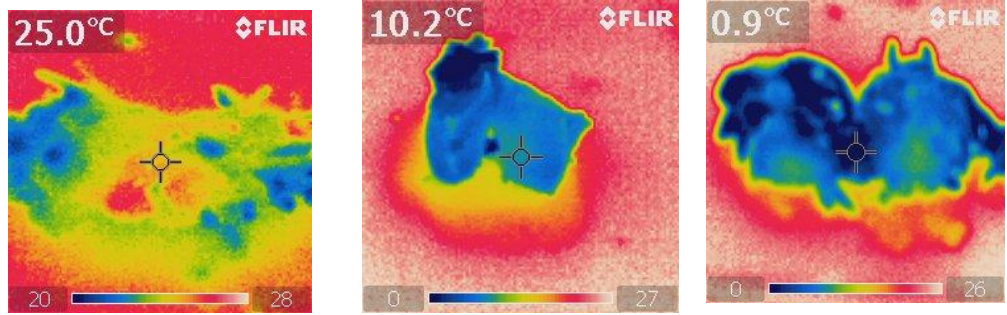
Şekil 5.100. Semizotunun -16°C 2m/s de hava üflemeli soğutma sonrası sıcaklık değişimi resmi

Çizelge 5.41. Semizotunun -16°C 1m/s için hava üflemeli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı

Başlangıç Kütle:	124,555 gr
Son Kütle:	124,289 gr
Kütle Kaybı	0,266 gr
Kütle Kaybı Oranı	%0,213



Şekil 5.101. Hava üfleli soğutucuda -16°C 1m/s için, semizotunun yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi



Soğutma Başlamadan

Soğutma Sonrası

Soğutma Sonrası (Ortadan Kesilmiş)

Şekil 5.102. Semizotunun -16°C 1m/s de hava üfleli soğutma sonrası sıcaklık değişimi resmi

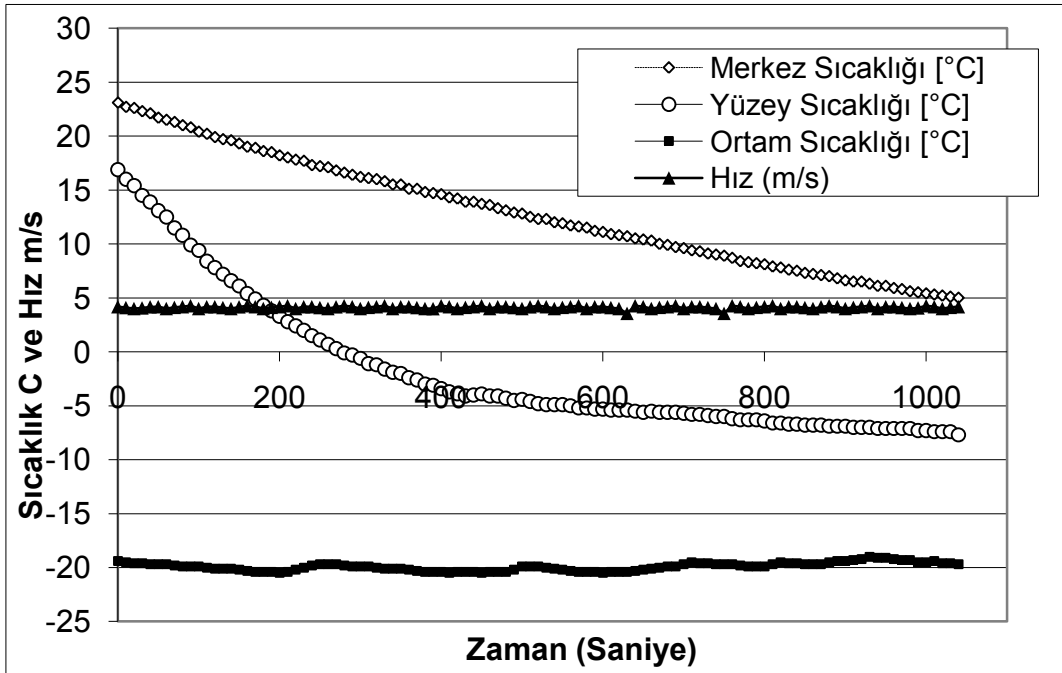
g) -20°C de 4 m/s hız altında

Deneyde ortam sıcaklığı -20°C getirilmiş ve hava akış hızı 4 m/s de gerçekleşmektedir. Şekil 5.103'de görüldüğü gibi, merkez ve yüzey sıcaklığı düşmüştür. 1070 saniyede merkez sıcaklığı 5°C düşmüş ve deney sona ermiştir.

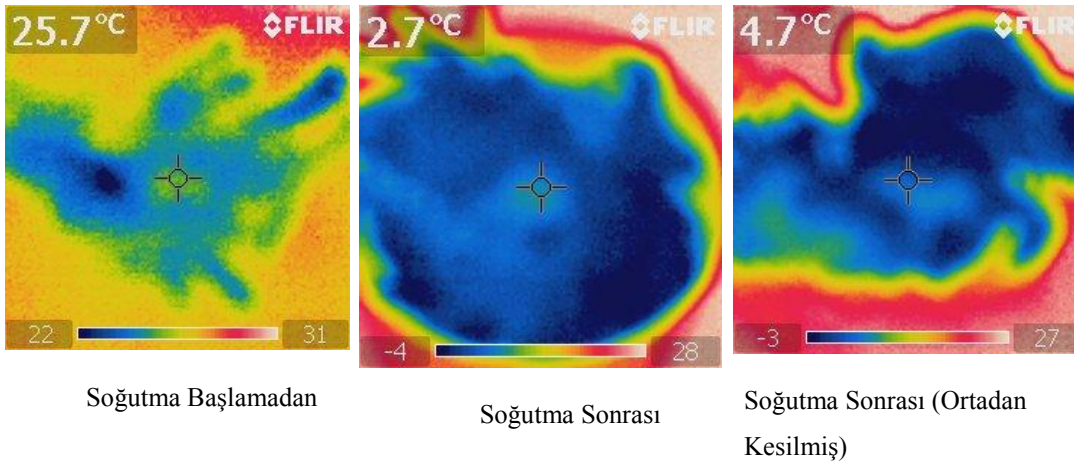
Çizelge 5.42'te ise Semizotu'nun kütlesindeki değişim verilmektedir. Deneyde Semizotu'nun merkez sıcaklığı başlangıç sıcaklığı olan 23°C'den 5°C'ye gelirken kütle kaybı 2,2 gr olarak gerçekleşmiştir. Kütle kaybı %1,78 olmuştur. Şekil 5.104 de soğutma öncesi ve sonrasına ait termal kamera görüntülerine yer verilmiştir.

Çizelge 5.42. Semizotunun -20°C 4m/s için hava üfleli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı

Başlangıç Kütle:	123,505 gr
Son Kütle:	121,305 gr
Kütle Kaybı	2,2 gr
Kütle Kaybı Oranı	%1,78



Şekil 5.103 Hava üfleli soğutucuda -20°C 4m/s için, semizotunun yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi



Şekil 5.104. Semizotunun -20°C 4m/s de hava üfleli soğutma sonrası sıcaklık değişimi resmi

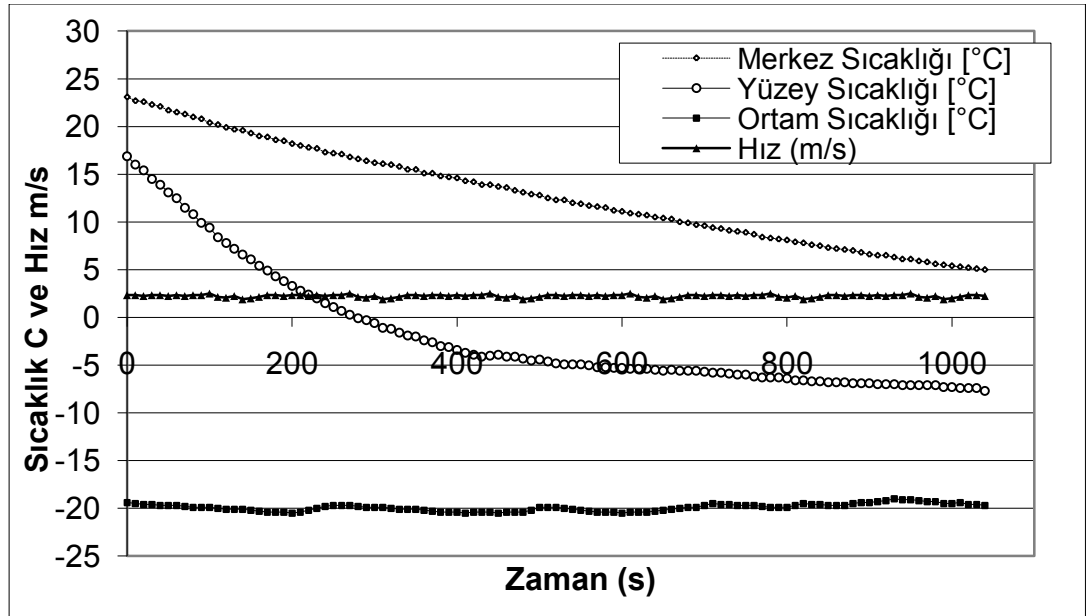
h) -20°C de 2 m/s hız altında

Deneyde ortam sıcaklığı -20°C getirilmiş ve hava akış hızı 2 m/s de gerçekleşmektedir. Şekil 5.105’de görüldüğü gibi, merkez ve yüzey sıcaklığı düşmüştür. 1020 saniyede merkez sıcaklığı 5°C düşmüş ve deney sona ermiştir.

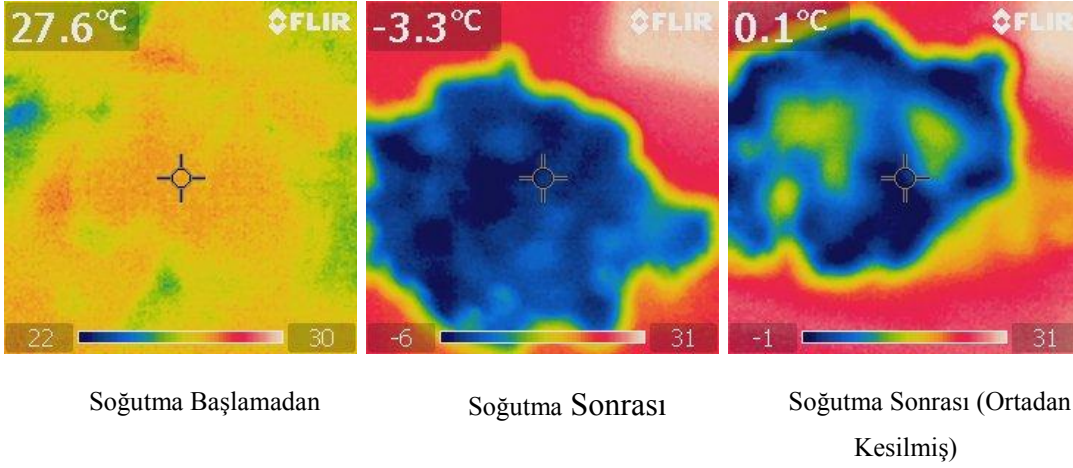
Çizelge 5.43’te ise Semizotu’nun kütlesindeki değişim verilmektedir. 13 nolu deneyde Semizotu’nun merkez sıcaklığı başlangıç sıcaklığı olan 23oC’den 5oC’ye gelirken kütle kaybı 0,776 gr olarak gerçekleşmiştir. Kütle kaybı %0,608 olmuştur. Şekil 5.106 de soğutma öncesi ve sonrasına ait termal kamera görüntülerine yer verilmiştir.

Çizelge 5.43. Semizotunun -20°C 2m/s için hava üflemeli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı

Başlangıç Kütle:	127,552 gr
Son Kütle:	126,776 gr
Kütle Kaybı	0,776 gr
Kütle Kaybı Oranı	%0,608



Şekil 5.105. Hava üflemeli soğutucuda -20°C 2m/s için, semizotunun yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi



Şekil 5.106 Semizotunun -20°C 2m/s de hava üflemeli soğutma sonrası sıcaklık değişimi resmi

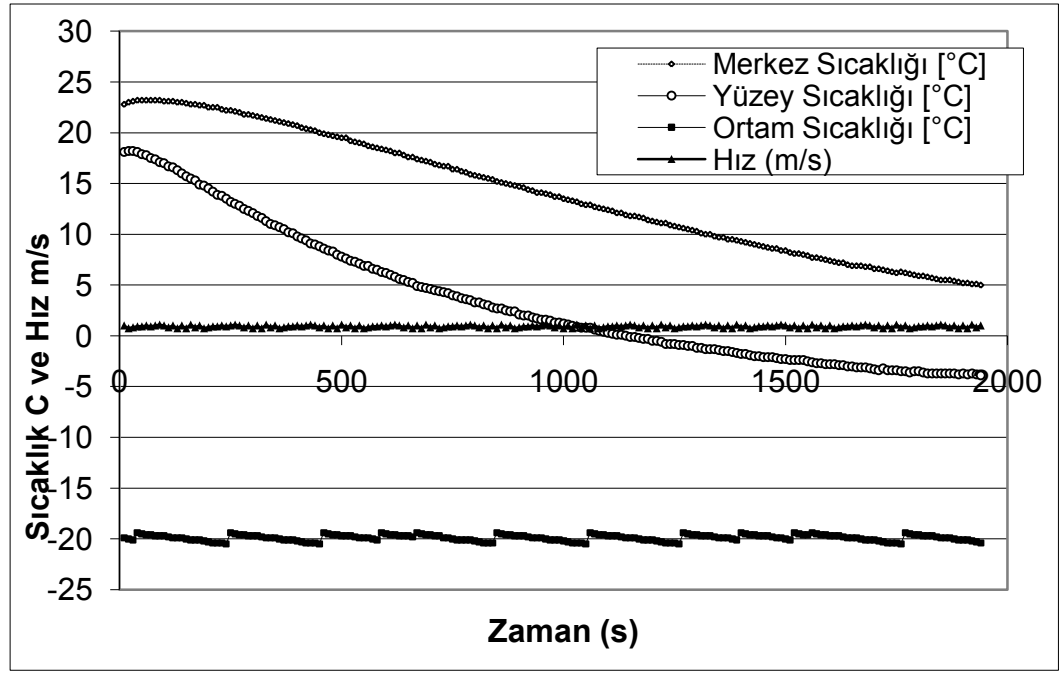
i) -20°C de 1 m/s hız altında

Deneyde ortam sıcaklığı -20°C getirilmiş ve hava akış hızı 1 m/s de gerçekleşmektedir. Şekil 5.107’de görüldüğü gibi, merkez ve yüzey sıcaklığı düşmüştür. 33 dakikada merkez sıcaklığı 5°C düşmüş ve deney sona ermiştir.

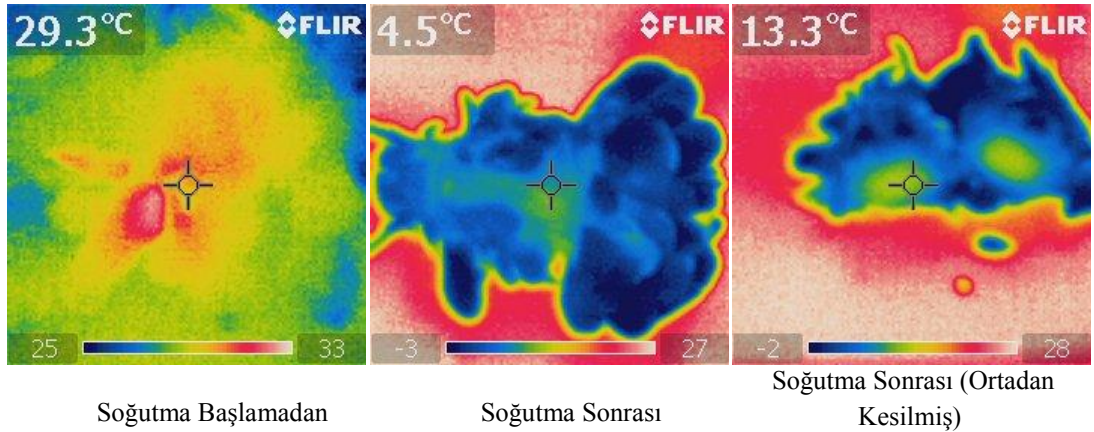
Çizelge 5.44’te ise Semizotu’nun kütleindeki değişim verilmektedir. Deneyde Semizotu’nun merkez sıcaklığı başlangıç sıcaklığı olan 22°C’den 5°C’ye gelirken kütle kaybı 1 gr olarak gerçekleşmiştir. Kütle kaybı %0,79 olmuştur. Şekil 5.108’de soğutma öncesi ve sonrasına ait termal kamera görüntülerine yer verilmiştir.

Çizelge 5.44. Semizotunun -20°C 1m/s için hava üflemeli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı

Başlangıç Kütle:	126,000 gr
Son Kütle:	125,000 gr
Kütle Kaybı	1 gr
Kütle Kaybı Oranı	%0,79



Şekil 5.107. Hava üfleli soğutucuda -20°C 1m/s için, semizotunun yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi



Şekil 5.108. Semizotunun -20°C 1m/s de hava üfleli soğutma sonrası sıcaklık değişimi resmi

5.6. Karpuzun (*Citrillus Lanatus*) Soğutulması

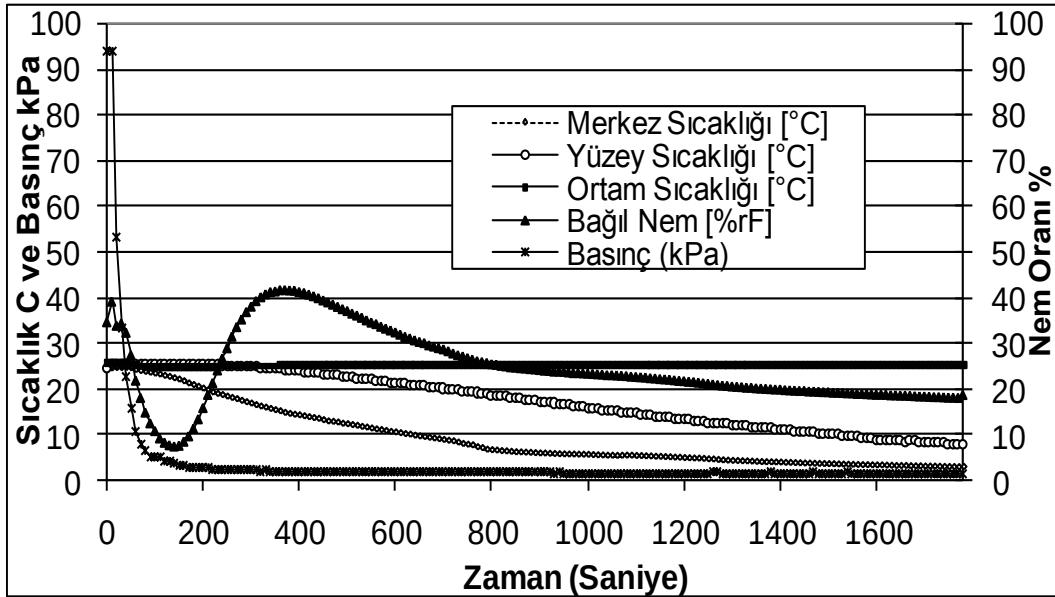
Karpuz hızlı soğutulması istenen ve soğuk tüketilen bir ürün olmasından dolayı bu ürünün vakum altında soğutma, klasik soğutma ve hava üfleli soğutma yöntemleri ile soğutulmasının karşılaştırılması yapılmıştır.

5.6.1. Karpuzun vakum altında soğutulması

Karpuzun da vakum altında soğutulmasına ilişkin deneyler diğer ürünlerde olduğu gibi vakum değeri 7 mbar, 10 mbar ve 15 mbar basınçlarda, iki pompanın

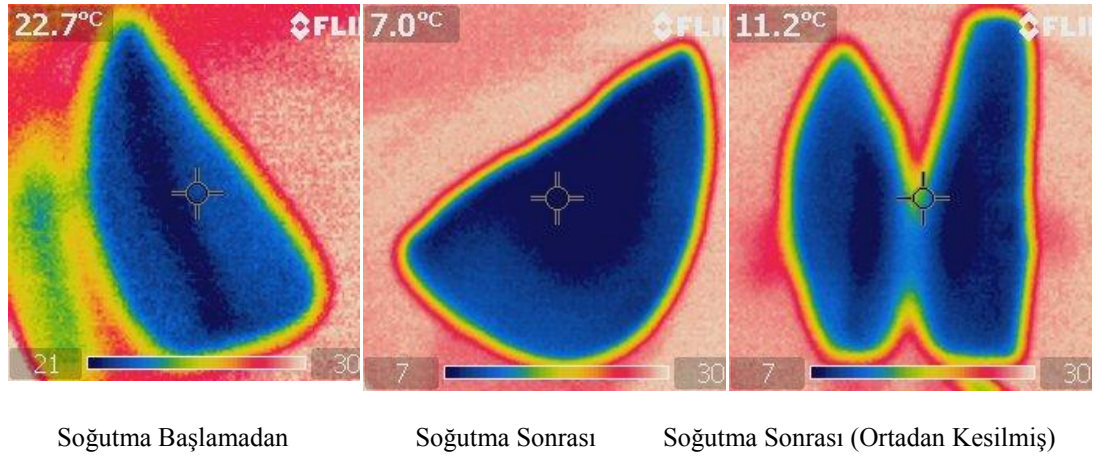
çalışır durumda olması durumu için gerçekleştirilmiştir. Sirkülasyonlu su banyosu sıcaklığı -20°C 'de tutulmuştur. Basınç probu daha önce da açıklandığı gibi vakum odası çıkışında pompa emme hattına bağlanmış ve basınç değerleri bu şekilde ölçülmüştür.

Deneyde çift pompa çalıştırılarak ortam basıncı 7 mbar'a getirilmiş ve vakum pompası bu basınçta çalışır durumda deney gerçekleştirilmiştir. Şekil 5.109'de görüldüğü gibi, karpuz örneklerinin merkez ve yüzey sıcaklığı hızlı bir biçimde düşmüştür. Yaklaşık olarak 25°C sıcaklıktaki karpuz örneğinin vakum altında soğutulması sırasında merkez ve yüzey sıcaklıklarının düşüşü benzer şekilde gerçekleşmiştir. 7 mbar vakum altında ölçülen en düşük merkez ve yüzey sıcaklıkları sırasıyla $2,83^{\circ}\text{C}$ ve 8°C olarak tespit edilmiştir. Karpuz örneğine ait yüzey ve merkezdeki sıcaklık değişimi Şekil 5.109'de verilmiştir. Karpuzun 28°C sıcaklıktan ve 8°C sıcaklığa gelmesi yaklaşık 30 dakika (yarım saat) zaman almıştır.



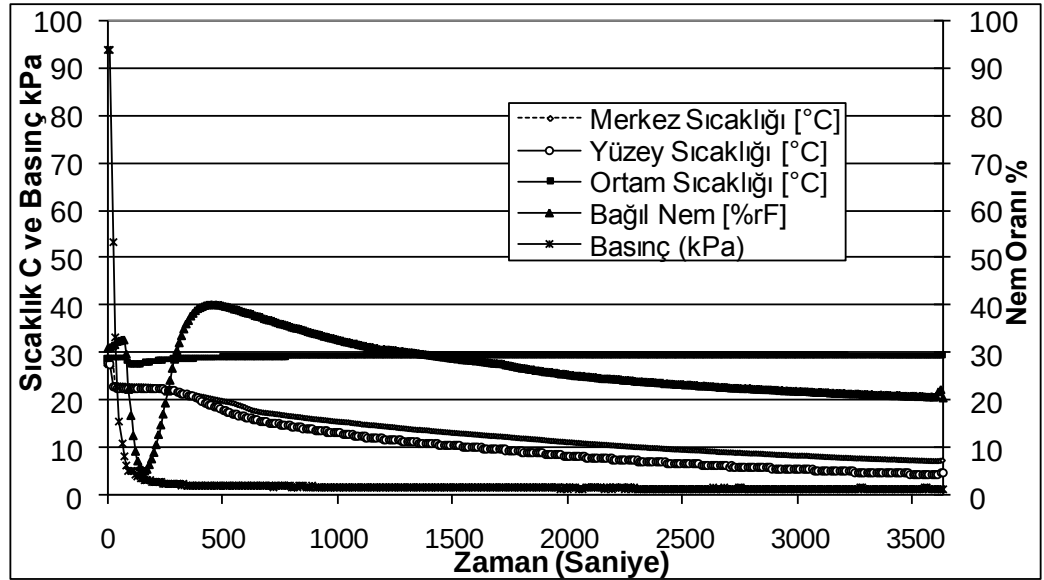
Şekil 5.109. 7 mbar sabit basınç altında karpuzun yüzey, merkez ve ortam sıcaklığı, nem oranı ve basınç değişimi.

Şekil 5.110'de 7 mbar sabit basınç altında soğutulan karpuz örneklerinin vakum soğutma öncesi ve sonrasında termal kamera yardımıyla tespit edilmiş sıcaklık değişimini gösteren resimler verilmektedir.



Şekil 5.110. 7 mbar basınç altında karpuzun vakum soğutma öncesi ve sonrası sıcaklık değişimi resmi

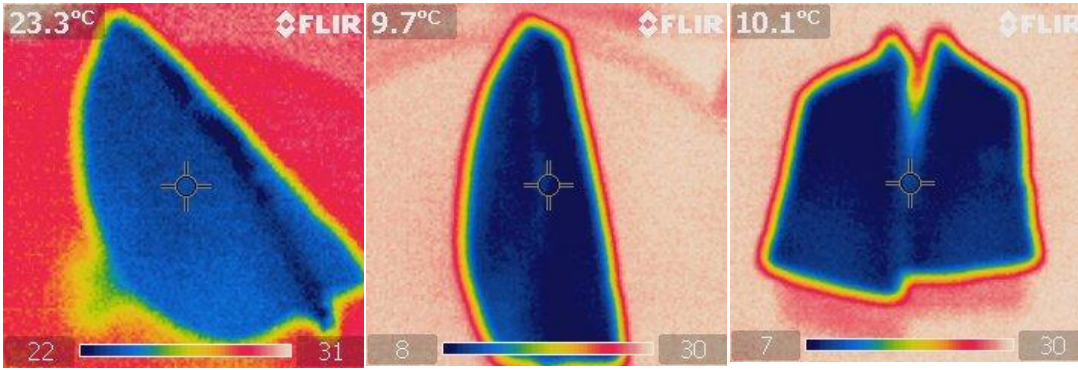
Bu deneyde de çift pompa çalıştırılarak ortam basıncı 10 mbar'a getirilmiş ve vakum ortamında karpuz örneklerine ait yüzey ve merkez sıcaklığı ile ortam sıcaklık ve bağıl nemindeki değişimler takip edilmiştir. Şekil 5.111'te karpuzla ilgili merkez ve yüzey sıcaklıkları ile ortam sıcaklığı, bağıl nemi ve basıncındaki değişim verilmiştir. 10 mbar basınç altında Karpuzun en düşük yüzey ve merkez sıcaklıkları yaklaşık 7,5°C olarak gerçekleşmiş ve bu sıcaklığın altına düşülememiştir. Bu sıcaklıklar 7 mbar vakum basıncı altında gerçekleştirilen deneylerde elde edilen sıcaklıklardan daha yüksektir.



Şekil 5.111. 10 mbar sabit basınç altında karpuzun yüzey, merkez ve ortam sıcaklığı, nem oranı ve basınç değişimi.

Şekil 5.112’te 10 mbar sabit basınç altında Karpuz örneklerinin vakum soğutma öncesi ve sonrasında termal kamera yardımıyla tespit edilmiş sıcaklık değişimini gösteren resimler verilmektedir.

Bu deney 15 mbar sabit basınçta çift pompa kullanılarak yürütülmüştür. Şekil 5.113’te 15 mbar basınç altında karpuzla ait merkez ve yüzey sıcaklıkları ile ortam sıcaklığı, bağıl nemi ve basıncının zamana bağlı değişimi verilmiştir. Yaklaşık olarak 28°C sıcaklıktaki karpuz örneğinin vakum altında soğutulması sırasında merkez ve yüzey sıcaklıklarının düşüşü benzer şekilde gerçekleşmiştir. 15 mbar vakum altında ölçülen en düşük merkez ve yüzey sıcaklıkları sırasıyla 7,1 °C ve 5,04 °C olarak tespit edilmiştir. Karpuz örneğine ait yüzey ve merkezdeki sıcaklık değişimi Şekil 5.114’de verilmiştir. Karpuzun 28°C sıcaklıktan ve 7,1°C sıcaklığa gelmesi yaklaşık 60 dakika (1 saat) zaman almıştır.



Soğutma Başlamadan

Soğutma Sonrası

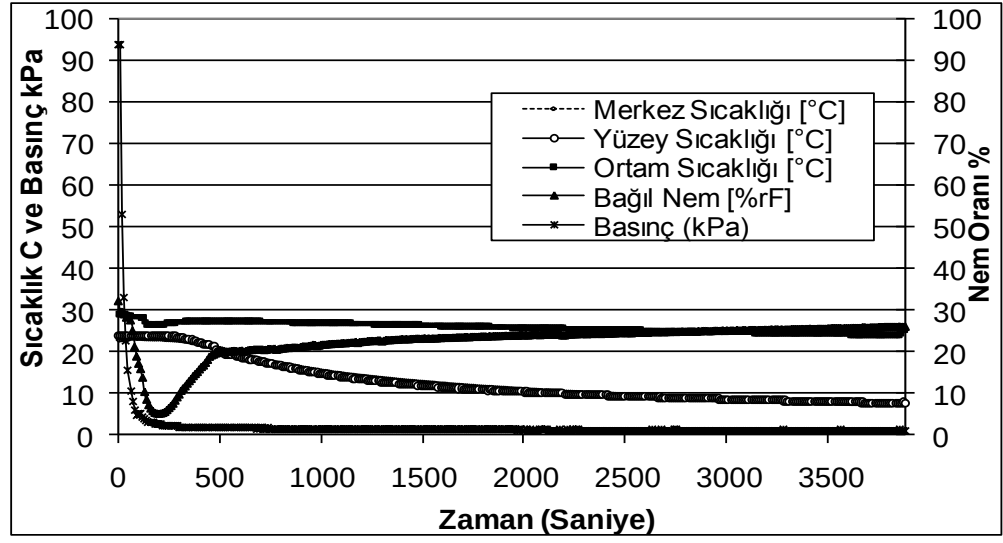
Soğutma Sonrası (Ortadan Kesilmiş)

Şekil 5.112. 10 mbar basınç altında karpuzun vakum soğutma öncesi ve sonrası sıcaklık değişimi resmi

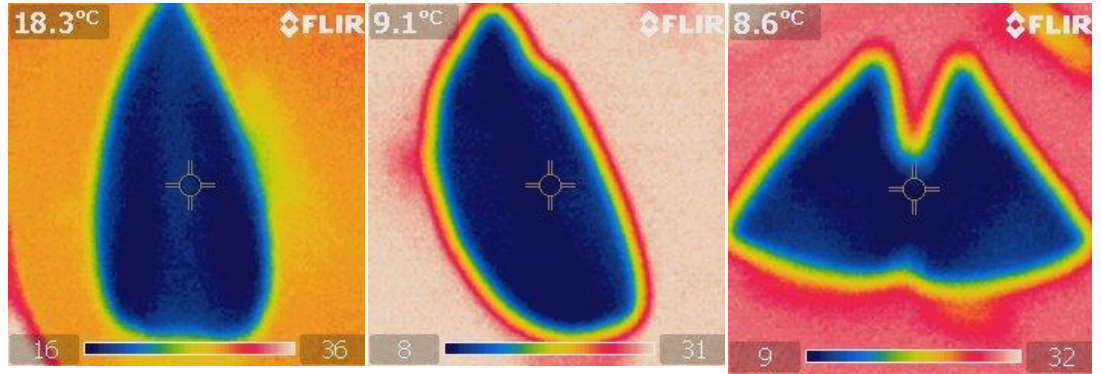
Şekil 5.114.’da 15 mbar sabit basınç altında Karpuz örneklerinin vakum soğutma öncesi ve sonrasında termal kamera yardımıyla tespit edilmiş sıcaklık değişimini gösteren resimler verilmektedir.

Çizelge 5.45.’de ise karpuzun kütlesindeki değişim test edilen basınçlarda verilmektedir. 7 mbar basınç için yapılan deneyde karpuzun başlangıç merkez sıcaklığı 24.8°C’den 8°C’ye gelirken kütle kaybı 23,929 g olarak gerçekleşmiştir. Kütle kaybı %3,4 olmuştur. 10 mbar vakum basıncında soğutulan karpuzun başlangıç merkez sıcaklığı yaklaşık olarak 28°C’den 7°C’ye gelirken kütle kaybı 24,055 g olarak gerçekleşmiştir. Kütle kaybı %3,5 olarak bulunmuştur. 15 mbar basınçta ise, kütle kaybı 8,693 g olarak gerçekleşmiş ve vakum altında soğutulan karpuzda kütle kaybı % 2 oranında olmuştur. İlk üç deneyin sonuçlarına göre,

karpuzun soğutulması sırasında vakum basıncı düştükçe kütle kaybının arttığı görülmektedir.



Şekil 5.113. 15 mbar sabit basınç altında karpuzun yüzey, merkez ve ortam sıcaklığı, nem oranı ve basınç değişimi.



Soğutma Başlamadan

Soğutma Sonrası

Soğutma Sonrası (Ortadan Kesilmiş)

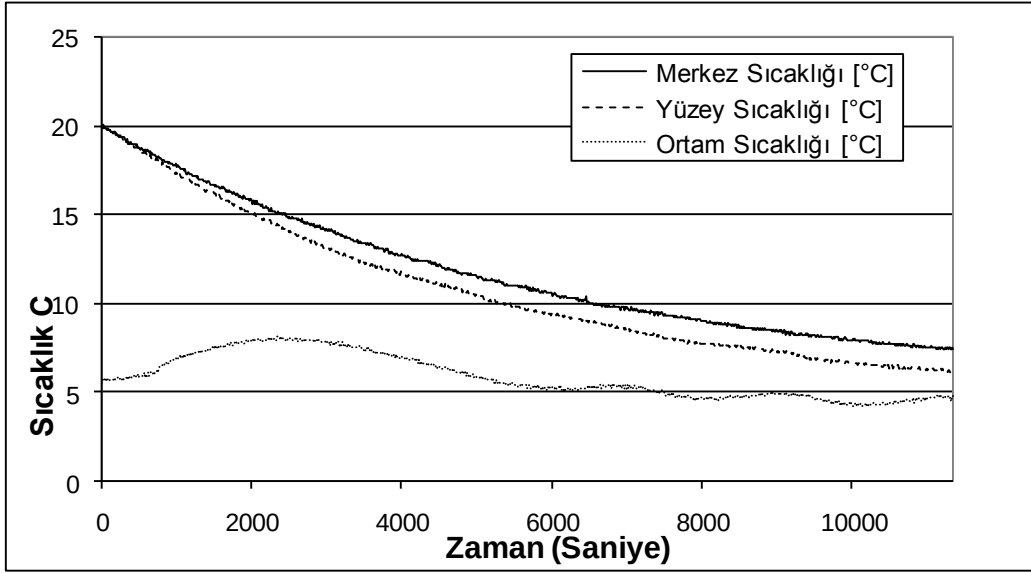
Şekil 5.114. 15 mbar basınç altında karpuzun vakum soğutma öncesi ve sonrası sıcaklık değişimi resmi

Çizelge 5.45. Vakum altında soğutmada karpuzun başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı

Basınç (mbar)	7	10	15
Soğutma öncesi kütle (g)	702,952	671,88	428,049
Soğutma sonrası kütle (g)	679,023	647,825	419,356
Kütle kaybı (g)	23,929	24,055	8,693
Kütle kaybı oranı %	3,4	3,5	2

5.6.2. Karpuzun klasik yöntemle soğutulması

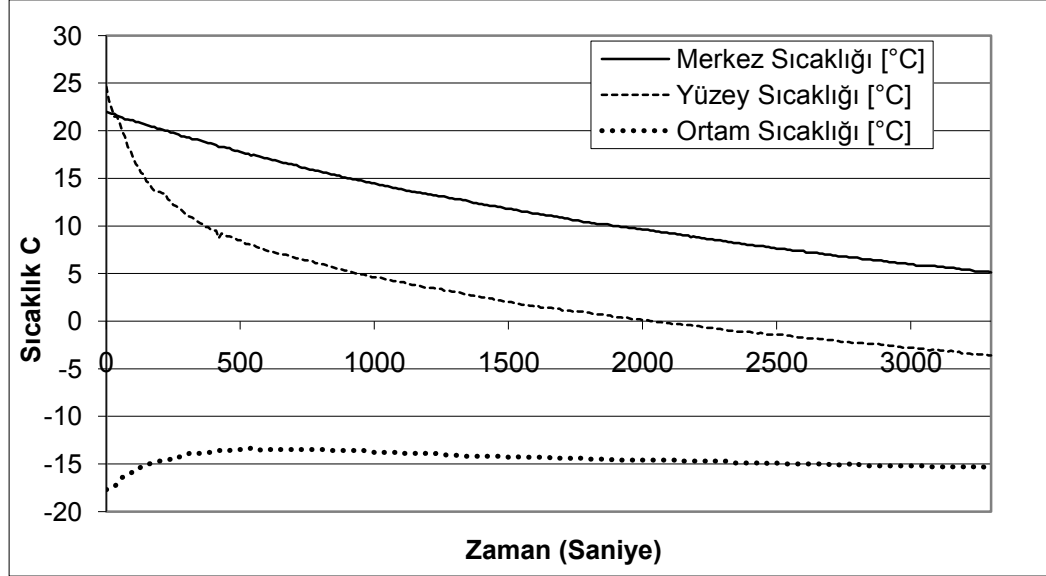
Karpuzun klasik olarak soğutulması buzdolabında (5°C , -16°C ve -20°C sıcaklıkta) yapılmıştır. Karpuzun klasik soğutmada 5°C sıcaklıkta soğutulması esnasındaki sıcaklık değişimi Şekil 5.115’de verilmiştir. 5°C sıcaklık altında soğutulan karpuzun merkez sıcaklığının $6,3^{\circ}\text{C}$ ’ye soğuması için geçen süre yaklaşık olarak 11200 saniye (3,11 saat) olmuştur. Vakum soğutmada bu süre uygulanan vakum basıncına bağlı olduğu görülmüştür. 7 mbar basınç değerinde vakum altında soğutulan karpuzun merkez sıcaklığının 8°C ’ye yaklaşık olarak 30 dakika içinde düştüğü bulunmuştur. Bu süre, 5°C sıcaklıkta soğutmaya göre yaklaşık 7 kat daha hızlı bir soğutmaya ifade etmektedir.



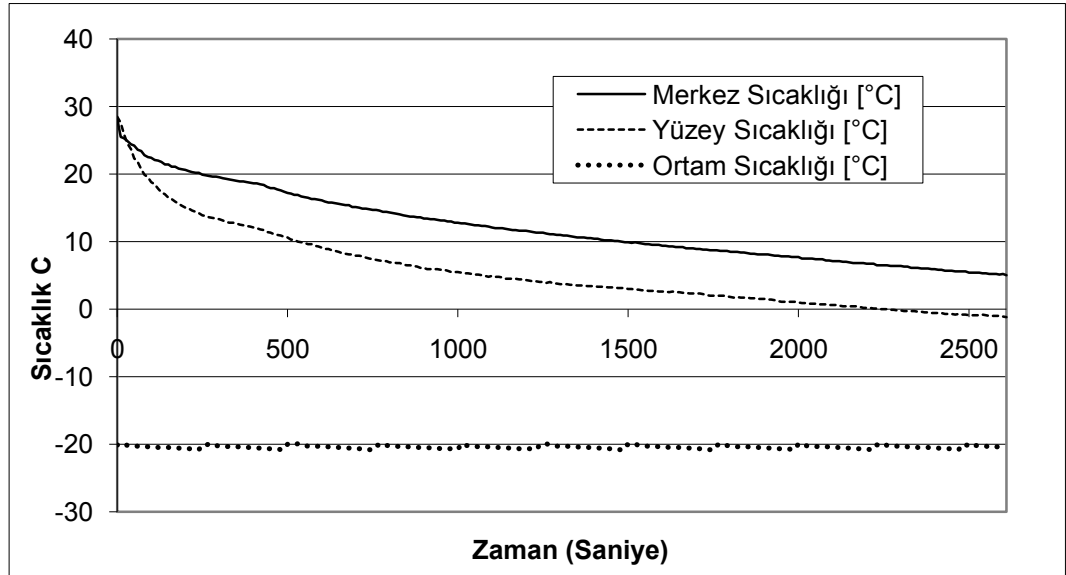
Şekil 5.115. Buzdolabında 5°C sıcaklık altında karpuzun yüzey sıcaklığı, merkez sıcaklığı ve ortam sıcaklığındaki değişim.

Karpuzun klasik soğutmada -16°C sıcaklıkta soğutulması esnasındaki sıcaklık değişimi Şekil 5.116’de verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi, düşük sıcaklıklarda Karpuzun yüzeyinde hızlı bir soğuma gerçekleşirken, merkezdeki sıcaklık değişimi yavaş olmaktadır. Karpuzun merkez sıcaklığı 3300 saniyede depolama sıcaklığı olan 5°C sıcaklığına gelmektedir. Oysaki yüzey sıcaklığı 1000 saniyede 5°C sıcaklığına gelmektedir. Yüzey sıcaklığı ise 2000 saniyede 0°C sıcaklığına gelerek yüzeyde donma başlamaktadır. Bu durum, soğutulacak ürünlerde arzu edilmeyen bir özelliktir ve ürünün yapısal kalitesini olumsuz yönde etkilemektedir.

Karpuzun dondurucuda -20°C sıcaklıkta soğutulmasına ilişkin deneysel sonuçlar Şekil 5.117’de verilmiştir. Sonuçlar -16°C ’de soğutma verileri ile paralellik göstermektedir, fakat bu sıcaklıkta ürünün soğutulması daha kısa sürede gerçekleşmiştir.



Şekil 5.116. Buzdolabında -16°C sıcaklık altında karpuzun yüzey sıcaklığı, merkez sıcaklığı ve ortam sıcaklığındaki değişim.



Şekil 5.117. Buzdolabında -20°C sıcaklık altında karpuzun yüzey sıcaklığı, merkez sıcaklığı ve ortam sıcaklığındaki değişim.

Klasik soğutma yapılmadan ve yapıldıktan sonra da karpuzun ağırlıkları ölçülmüş ve kütle kaybı belirlenmiştir. 0°C sıcaklıkta gerçekleştirilen soğutma işlemi çok uzun sürmüş, örneklerdeki kütle kaybı ise %1,5 olarak gerçekleşmiştir (Çizelge 5.46). Klasik soğutma yapılmadan ve yapıldıktan sonra da karpuzun

ağırlıkları ölçülmüş ve kütle kaybı belirlenmiştir. 2°C sıcaklıkta gerçekleştirilen soğutma işlemi çok uzun sürmüş, örneklerdeki kütle kaybı ise %1 olarak gerçekleşmiştir.

Klasik soğutmada bu deney derin dondurucu sıcaklığı -16 °C ve -20 °C'ye ayarlanmak suretiyle yürütülmüştür. Bu sıcaklıkta soğutulan karpuzda ait ağırlıklar ve kütle kaybına ilişkin veriler de Çizelge 5.46'de verilmiştir. Karpuzun merkez sıcaklığının 5°C sıcaklığa kadar soğutulması sırasında karpuzda -16 °C ve -20 °C'ye soğutulurken kütle kaybı %1'in altında gerçekleşmiştir.

Çizelge 5.46. Karpuzun klasik soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı

Sıcaklık (°C)	-20	-16	+5
İlk kütle(g)	849,235	875	803,7
Soğutma sonrası kütle(g)	841,985	869,35	791,626
Kütle kaybı (g)	7,25	5,65	12,074
Kütle kaybı oranı %	0,8	0,6	1,5

5.6.3. Karpuzun Hava Üfleli Soğutucuda soğutulması

Karpuzun hava üfleli soğutucuda soğutulmasına ilişkin deneyler; 5 °C, -16°C, -20°C derecelerde, 4 m/s, 2 m/s, 1 m/s hızlarda yapılmıştır. Soğutma deneyleri hava akış yönü yukarıdan aşağıya doğru gerçekleşmektedir.

Sıcaklık probu merkez, yüzey ve ortam sıcaklıklarını ölçerken hız probu hava hızı değerlerini ölçerek deney gerçekleşmektedir.

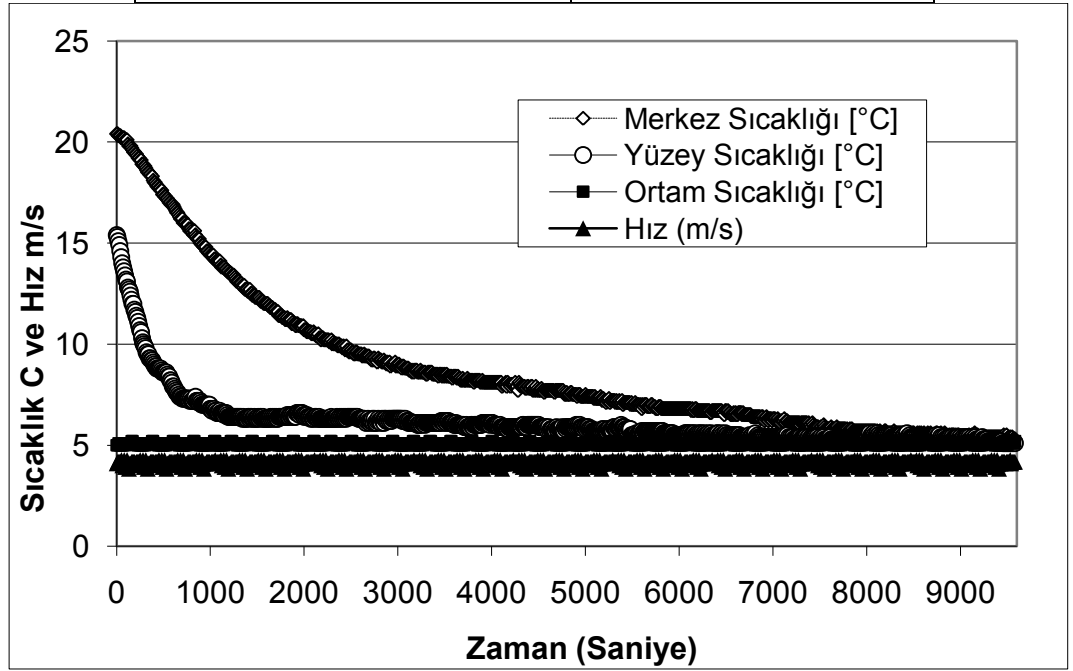
a) 5°C de 4 m/s hız altında

Deneyde ortam sıcaklığı 5°C getirilmiş ve hava akış hızı 4m/s' ye ayarlanmıştır. Şekil 5.118'de görüldüğü gibi. merkez ve yüzey sıcaklığı düşmüştür. 196 dakikada merkez sıcaklığı 5°C düşmüş ve deney sona ermiştir.

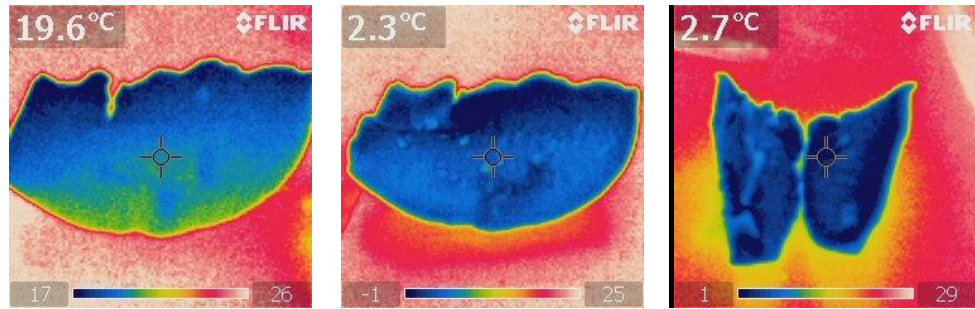
Çizelge 5.47'te ise karpuzun kütlesindeki değişim verilmektedir. Deneyde karpuzun merkez sıcaklığı başlangıç sıcaklığı olan 21°C'den 5°C'ye gelirken kütle kaybı 11.797 gr olarak gerçekleşmiştir. Kütle kaybı %3.3 olmuştur. Şekil 5.119 de soğutma öncesi ve sonrasına ait termal kamera görüntülerine yer verilmiştir.

Çizelge 5.47. Karpuzun 5°C 4m/s için hava üflemeli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı

Başlangıç Kütle:	357.474 gr
Son Kütle:	345.677 gr
Kütle Kaybı	11.797 gr
Kütle Kaybı Oranı	%3.3



Şekil 5.118. Hava üflemeli soğutucuda 5°C 4m/s için, karpuzun yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi



Soğutma Başlamadan

Soğutma Sonrası

Soğutma Sonrası(Ortadan Kesilmiş)

Şekil 5.119 Karpuzun 5°C 4m/s de hava üflemeli soğutma sonrası sıcaklık değişimi resmi

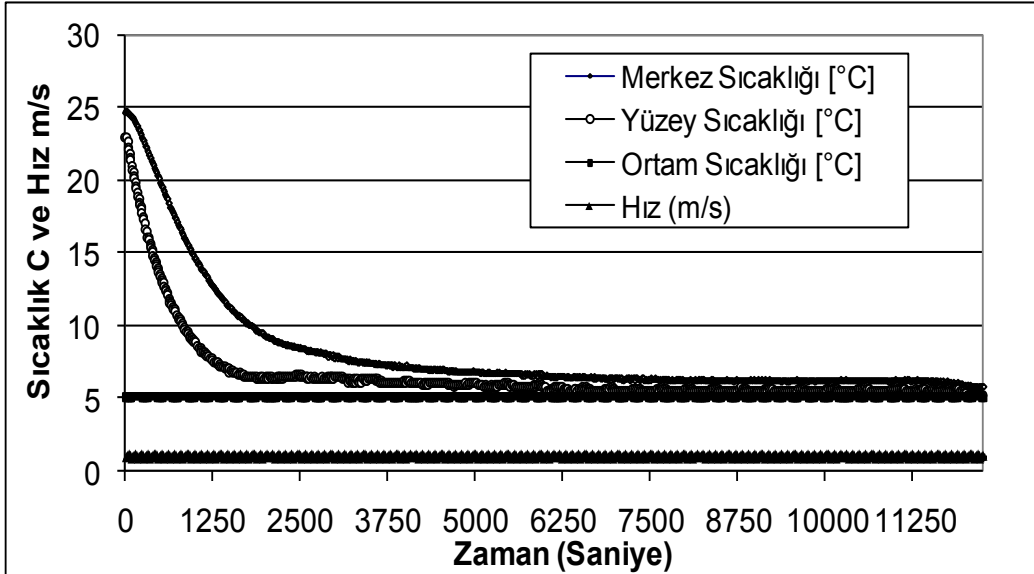
b) 5°C de 2 m/s hız altında

Deneyde ortam sıcaklığı 5°C getirilmiş ve hava akış hızı 2m/s' ye ayarlanmıştır. Şekil 5.120'de görüldüğü gibi, merkez ve yüzey sıcaklığı düşmüştür. 207 dakikada merkez sıcaklığı 5°C düşmüş ve deney sona ermiştir.

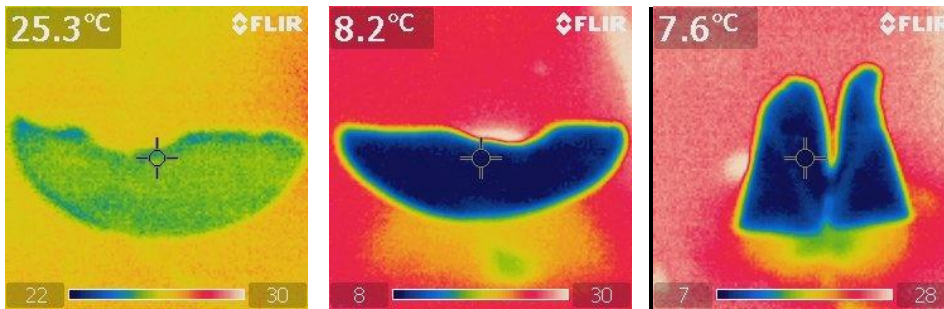
Çizelge 5.48'te ise karpuzun kütlesindeki değişim verilmektedir. Deneyde karpuzun merkez sıcaklığı başlangıç sıcaklığı olan 20°C'den 5°C'ye gelirken kütle kaybı 8.537 gr olarak gerçekleşmiştir. Kütle kaybı %3.3 olmuştur. Şekil 5.121 de soğutma öncesi ve sonrasına ait termal kamera görüntülerine yer verilmiştir.

Çizelge 5.48. Karpuzun 5°C 2m/s için hava üfleli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı

Başlangıç Kütle:	254.343 gr
Son Kütle:	245.806 gr
Kütle Kaybı	8.537 gr
Kütle Kaybı Oranı	%3.3



Şekil 5.120. Hava üfleli soğutucuda 5°C 2m/s için, karpuzun yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi



Soğutma Başlamadan

Soğutma Sonrası

Soğutma Sonrası (Ortadan Kesilmiş)

Şekil 5.121. Karpuzun 5°C 2m/s de hava üfleli soğutma sonrası sıcaklık değişimi resmi

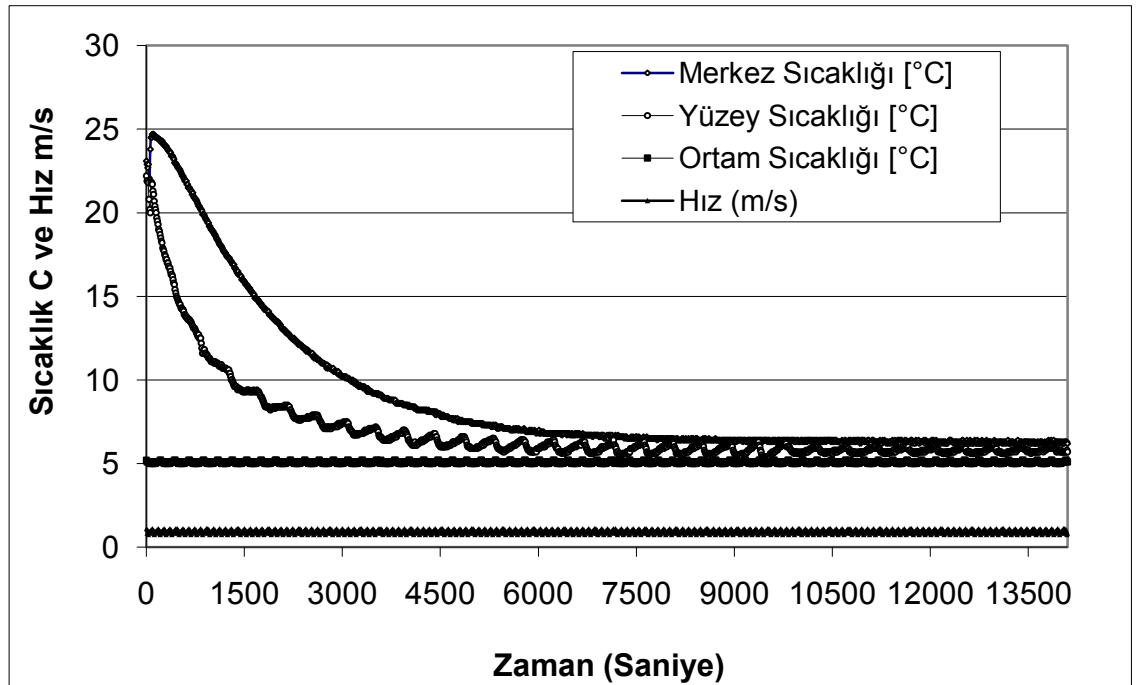
c) 5°C de 1 m/s hız altında

Deneyde ortam sıcaklığı 5°C getirilmiş ve hava akış hızı 1m/s' ye ayarlanmıştır. Şekil 5.122'de görüldüğü gibi, merkez ve yüzey sıcaklığı düşmüştür. 235 dakikada merkez sıcaklığı 5°C düşmüştür ve deney sona ermiştir.

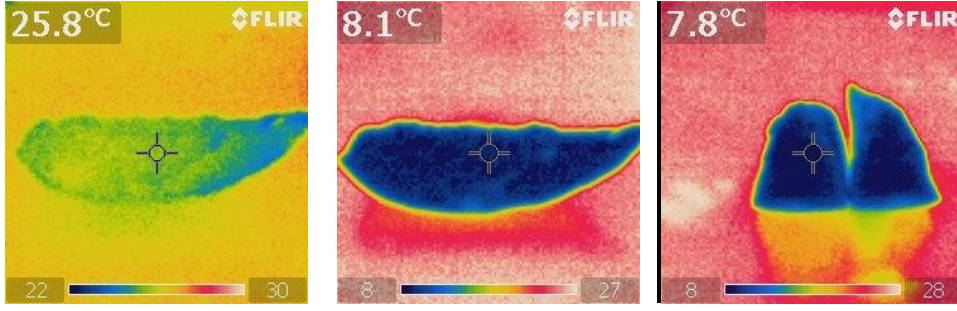
Çizelge 5.49'te ise karpuzun kütlesindeki değişim verilmektedir. Deneyde karpuzun merkez sıcaklığı başlangıç sıcaklığı olan 24°C'den 5°C'ye gelirken kütle kaybı 6.559 gr olarak gerçekleşmiştir. Kütle kaybı %2.7 olmuştur. Şekil 5.123'de soğutma öncesi ve sonrasına ait termal kamera görüntülerine yer verilmiştir.

Çizelge 5.49. Karpuzun 5°C 1m/s için hava üfleli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı

Başlangıç Kütle:	244.178 gr
Son Kütle:	237.579 gr
Kütle Kaybı	6.559 gr
Kütle Kaybı Oranı	%2.7



Şekil 5.122. Hava üfleli soğutucuda 5°C 1m/s için, karpuzun yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi



Soğutma Başlamadan

Soğutma Sonrası

Soğutma Sonrası (Ortadan Kesilmiş)

Şekil 5.123. Karpuzun 5°C 1m/s de hava üfleli soğutma sonrası sıcaklık değişimi resmi

d) -16°C de 4 m/s hız altında

Deneyde ortam sıcaklığı -16°C getirilmiş ve hava akış hızı 4m/s' ye ayarlanmıştır. Şekil 5.124'de görüldüğü gibi. merkez ve yüzey sıcaklığı düşmüştür. 840 saniyede merkez sıcaklığı 5°C düşmüş ve deney sona ermiştir.

Çizelge 5.50'te ise karpuzun kütlesindeki değişim verilmektedir. Deneyde karpuzun merkez sıcaklığı başlangıç sıcaklığı olan 19°C'den 5°C'ye gelirken kütle kaybı 5.636 gr olarak gerçekleşmiştir. Kütle kaybı %1.49 olmuştur. Şekil 5.125'de soğutma öncesi ve sonrasına ait termal kamera görüntülerine yer verilmiştir.

Çizelge 5.50. Karpuzun -16 °C 4m/s için hava üfleli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı

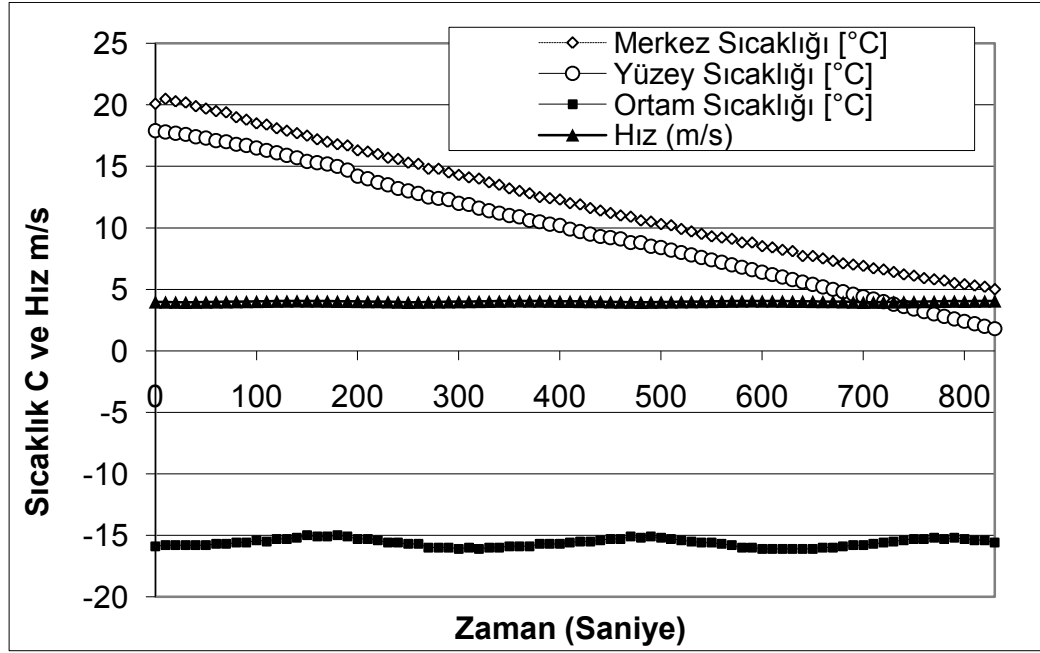
Başlangıç Kütle:	377.681 gr
Son Kütle:	372.045 gr
Kütle Kaybı	5.636 gr
Kütle Kaybı Oranı	%1.49

e) -16°C de 2 m/s hız altında

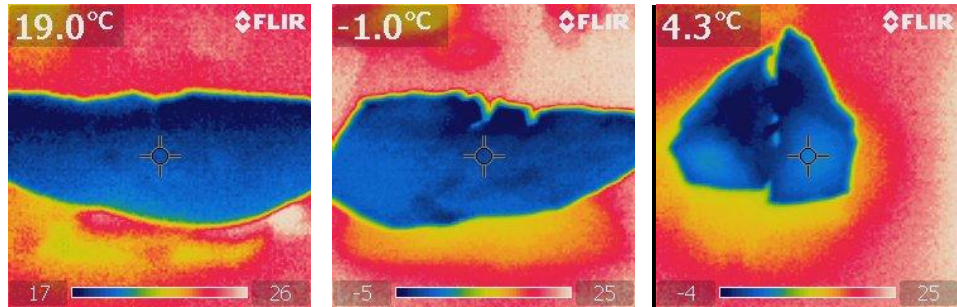
Deneyde ortam sıcaklığı -16°C getirilmiş ve hava akış hızı 2m/s' ye ayarlanmıştır. Şekil 5.126'de görüldüğü gibi. merkez ve yüzey sıcaklığı düşmüştür. 1140 saniyede merkez sıcaklığı 5°C düşmüş ve deney sona ermiştir.

Çizelge 5.51'te ise karpuzun kütlesindeki değişim verilmektedir. Deneyde karpuzun merkez sıcaklığı başlangıç sıcaklığı olan 20°C'den 5°C'ye gelirken kütle kaybı 4.652 gr olarak gerçekleşmiştir. Kütle kaybı %1.58 olmuştur. Şekil

5.127’de soğutma öncesi ve sonrasına ait termal kamera görüntülerine yer verilmiştir.



Şekil 5.124. Hava üfleli soğutucuda -16 °C 4m/s için, karpuzun yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi



Soğutma Başlamadan

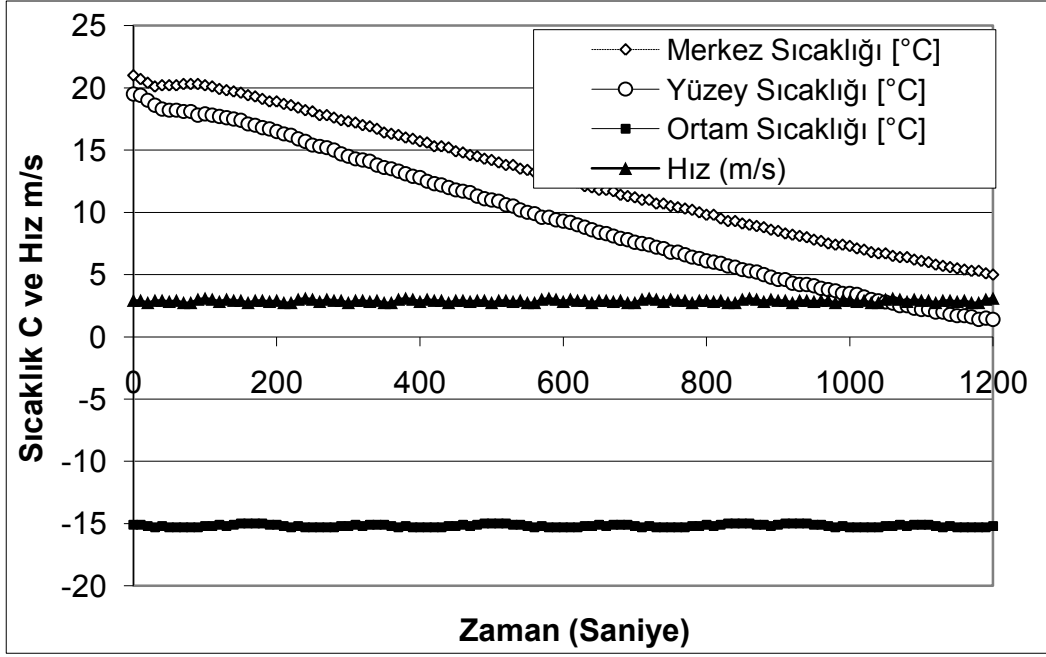
Soğutma Sonrası

Soğutma Sonrası (Ortadan Kesilmiş)

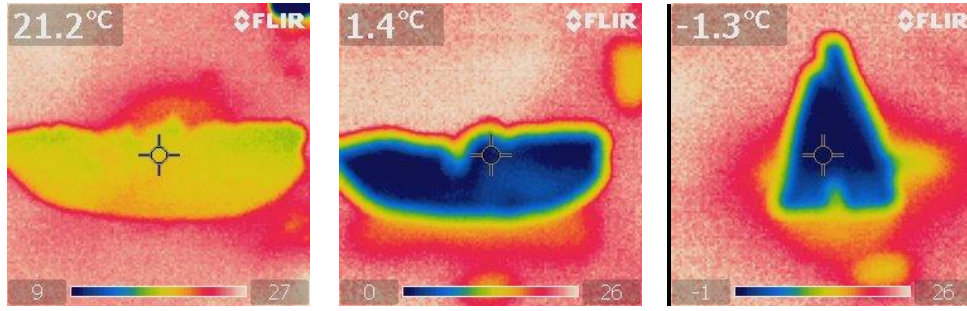
Şekil 5.125. Karpuzun -16°C 4m/s de hava üfleli soğutma sonrası sıcaklık değişimi resmi

Çizelge 5.51. Karpuzun -16 °C 2m/s için hava üfleli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı

Başlangıç Kütle:	293.111 gr
Son Kütle:	288.459 gr
Kütle Kaybı	4.652 gr
Kütle Kaybı Oranı	%1.58



Şekil 5.126. Hava üflemeli soğutucuda -16 °C 2m/s için, karpuzun yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi



Soğutma Başlamadan

Soğutma Sonrası

Soğutma Sonrası (Ortadan Kesilmiş)

Şekil 5.127. Karpuzun -16°C 2m/s de hava üflemeli soğutma sonrası sıcaklık değişimi resmi

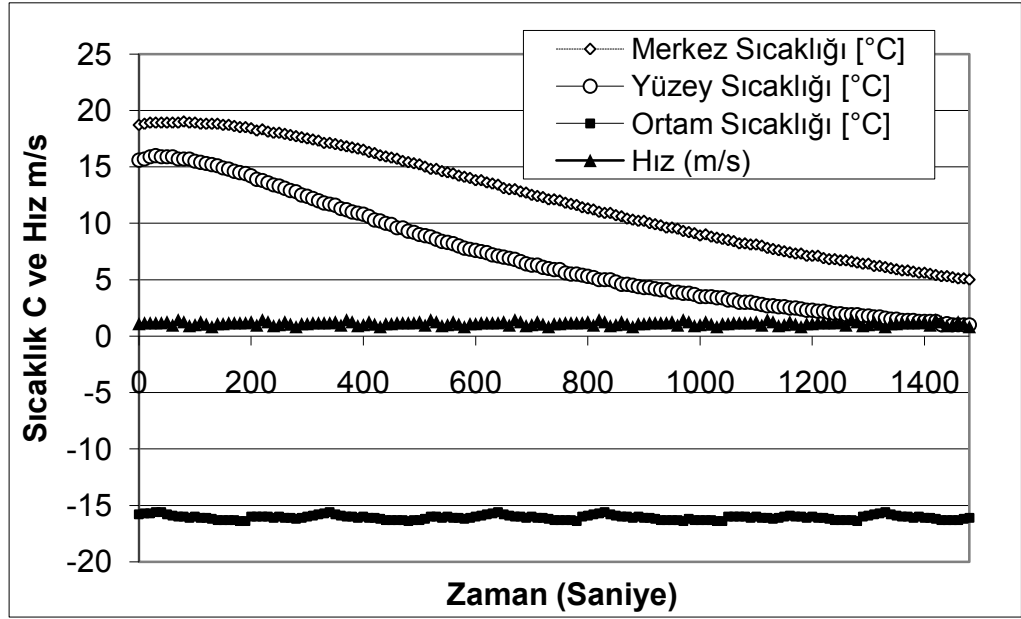
f) -16°C de 1 m/s hız altında

Deneyde ortam sıcaklığı -16°C getirilmiş ve hava akış hızı 1m/s' ye ayarlanmıştır. Şekil 5.128'de görüldüğü gibi, merkez ve yüzey sıcaklığı düşmüştür. 1560 saniyede merkez sıcaklığı 5°C düşmüş ve deney sona ermiştir.

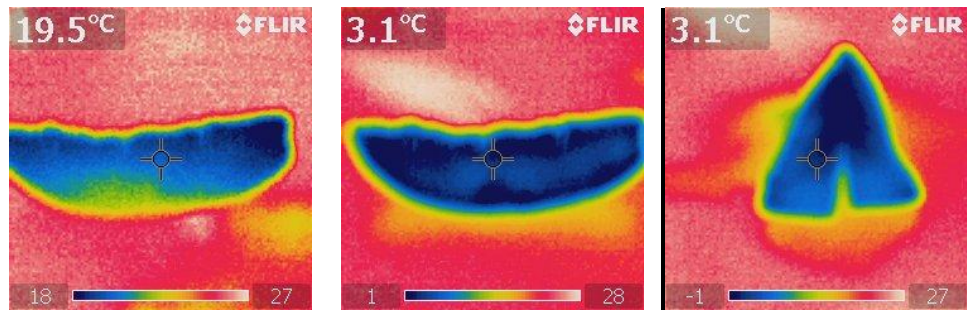
Çizelge 5.52'te ise karpuzun kütleindeki değişim verilmektedir. Deneyde karpuzun merkez sıcaklığı başlangıç sıcaklığı olan 21°C'den 5°C'ye gelirken kütle kaybı 3.784 gr olarak gerçekleşmiştir. Kütle kaybı %1.52 olmuştur. Şekil 5.129'de soğutma öncesi ve sonrasına ait termal kamera görüntülerine yer verilmiştir.

Çizelge 5.52. Karpuzun -16°C 1m/s için hava üfleli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı

Başlangıç Kütle:	247.555 gr
Son Kütle:	243.771 gr
Kütle Kaybı	3.784 gr
Kütle Kaybı Oranı	%1.52



Şekil 5.128. Hava üfleli soğutucuda -16°C 1m/s için, karpuzun yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi



Soğutma Başlamadan

Soğutma Sonrası

Soğutma Sonrası (Ortadan Kesilmiş)

Şekil 5.129 Karpuzun -16°C 1m/s de hava üfleli soğutma sonrası sıcaklık değişimi resmi

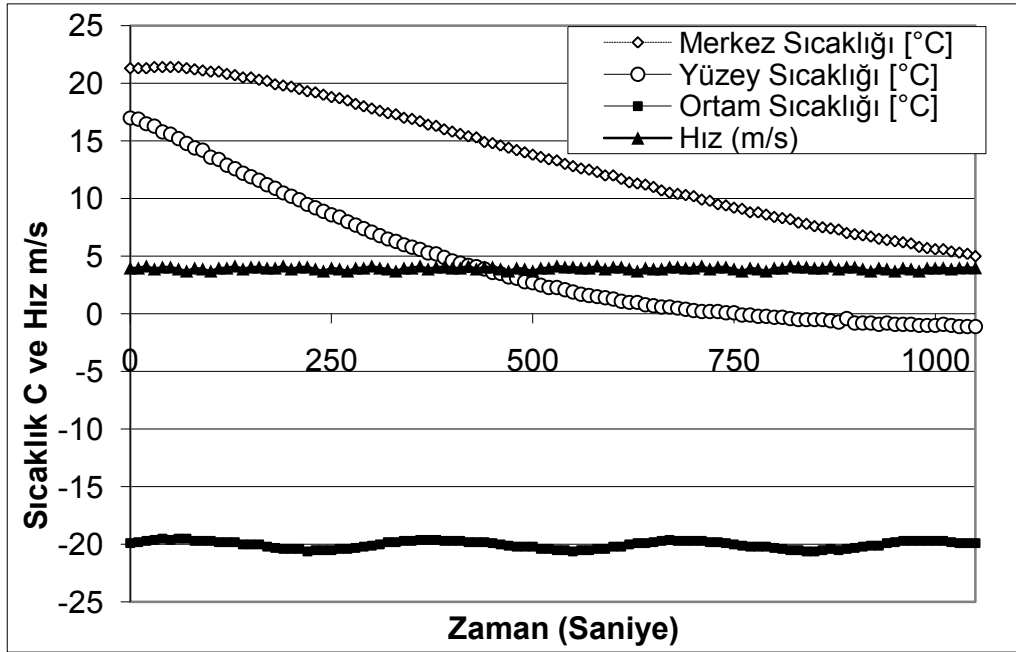
g) -20°C de 4m/s hız altında

Deneyde ortam sıcaklığı -20°C getirilmiş ve hava akış hızı 4m/s ' ye ayarlanmıştır. Şekil 5.130'de görüldüğü gibi, merkez ve yüzey sıcaklığı düşmüştür. 1080 saniyede merkez sıcaklığı 5°C düşmüş ve deney sona ermiştir.

Çizelge 5.53'te ise karpuzun kütlesindeki değişim verilmektedir. 4 nolu deneyde karpuzun merkez sıcaklığı başlangıç sıcaklığı olan 25°C'den 5°C'ye gelirken kütle kaybı 5.406 gr olarak gerçekleşmiştir. Kütle kaybı %1.35 olmuştur. Şekil 5.131'de soğutma öncesi ve sonrasına ait termal kamera görüntülerine yer verilmiştir.

Çizelge 5.53. Karpuzun -20 °C 4m/s için hava üflemeli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı

Başlangıç Kütle:	398.302 gr
Son Kütle:	392.296 gr
Kütle Kaybı	5.406 gr
Kütle Kaybı Oranı	%1.35

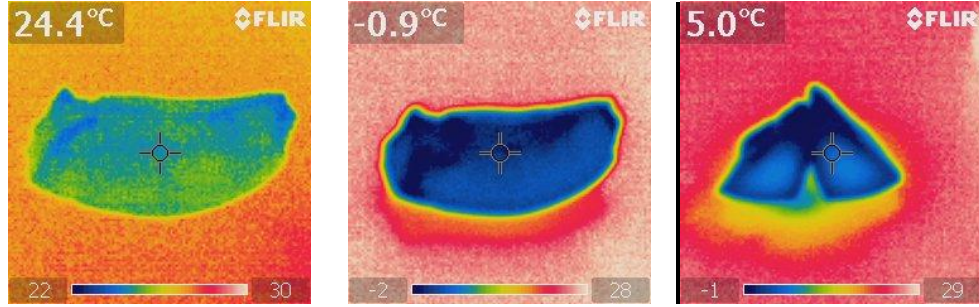


Şekil 5.130. Hava üflemeli soğutucuda -20 °C 4m/s için, karpuzun yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi

h) -20°C de 2 m/s hız altında

Deneyde ortam sıcaklığı -20°C getirilmiş ve hava akış hızı 2m/s' ye ayarlanmıştır. Şekil 5.132'de görüldüğü gibi, merkez ve yüzey sıcaklığı düşmüştür. 1560 saniyede merkez sıcaklığı 5°C düşmüş ve deney sona ermiştir.

Çizelge 5.132’te ise karpuzun kütlesindeki değişim verilmektedir. Deneyde karpuzun merkez sıcaklığı başlangıç sıcaklığı olan 21°C’den 5°C’ye gelirken kütle kaybı 3.616 gr olarak gerçekleşmiştir. Kütle kaybı %1.04 olmuştur. Şekil 5.133’de soğutma öncesi ve sonrasına ait termal kamera görüntülerine yer verilmiştir.



Soğutma Başlamadan

Soğutma Sonrası

Soğutma Sonrası (Ortadan Kesilmiş)

Şekil 5.131 Karpuzun -20°C 4m/s de hava üfleli soğutma sonrası sıcaklık değişimi resmi

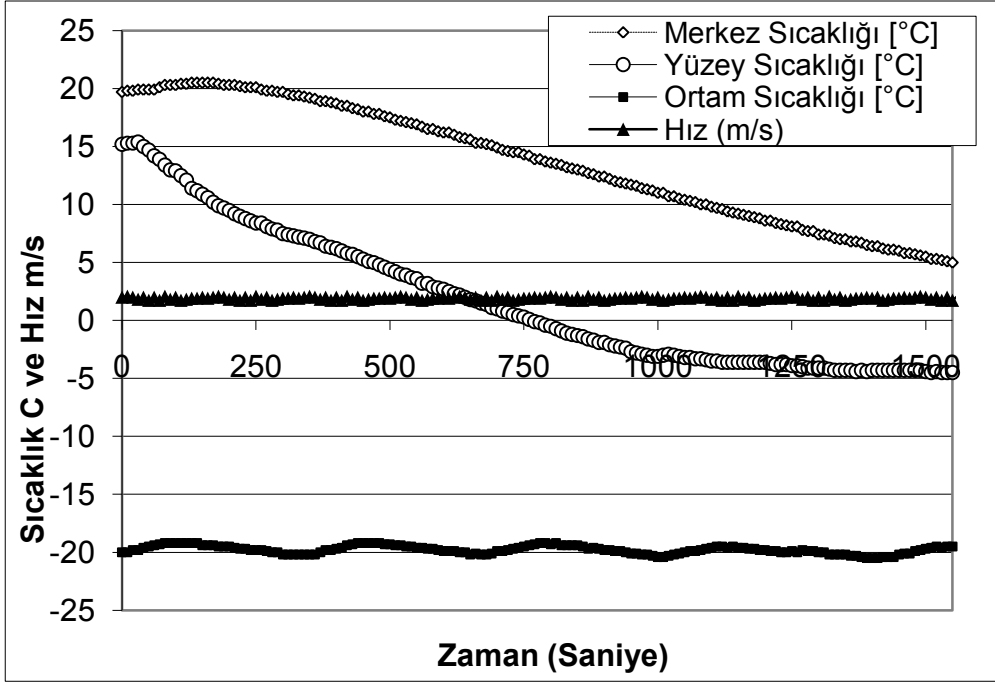
Çizelge 5.54. Karpuzun -20 °C 2m/s için hava üfleli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı

Başlangıç Kütle:	346.160 gr
Son Kütle:	342.544 gr
Kütle Kaybı	3.616 gr
Kütle Kaybı Oranı	%1.04

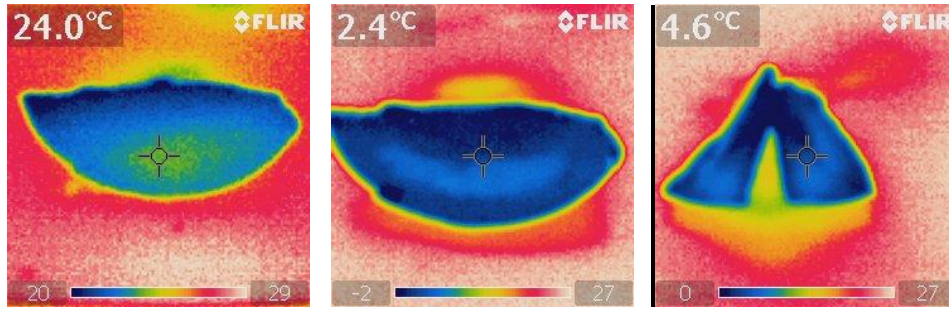
i) -20°C de 1 m/s hız altında

Deneyde ortam sıcaklığı -20°C getirilmiş ve hava akış hızı 1m/s’ ye ayarlanmıştır. Şekil 5.134’de görüldüğü gibi. merkez ve yüzey sıcaklığı düşmüştür. 26 dakikada merkez sıcaklığı 5oC düşmüş ve deney sona ermiştir.

Çizelge 5.55’te ise karpuzun kütlesindeki değişim verilmektedir. Bu deneyde karpuzun merkez sıcaklığı başlangıç sıcaklığı olan 20°C’den 5°C’ye gelirken kütle kaybı 5.339 gr olarak gerçekleşmiştir. Kütle kaybı %1.69 olmuştur. Şekil 5.135 de soğutma öncesi ve sonrasına ait termal kamera görüntülerine yer verilmiştir.



Şekil 5.132. Hava üflemeli soğutucuda -20°C 2m/s için, karpuzun yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi

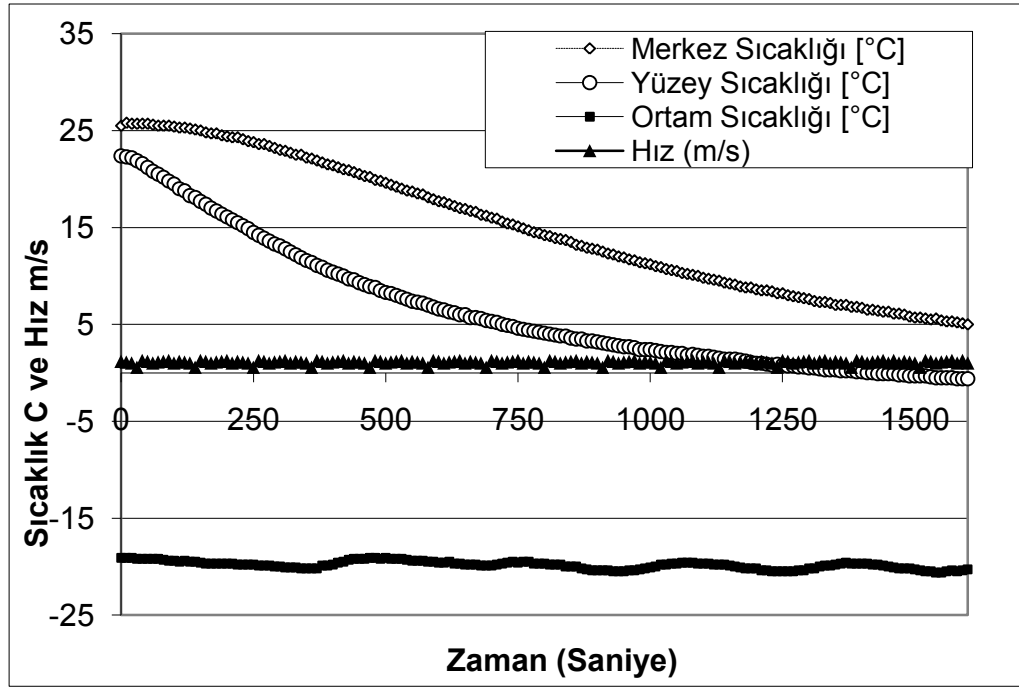


Soğutma Başlamadan Soğutma Sonrası Soğutma Sonrası (Ortadan Kesilmiş)

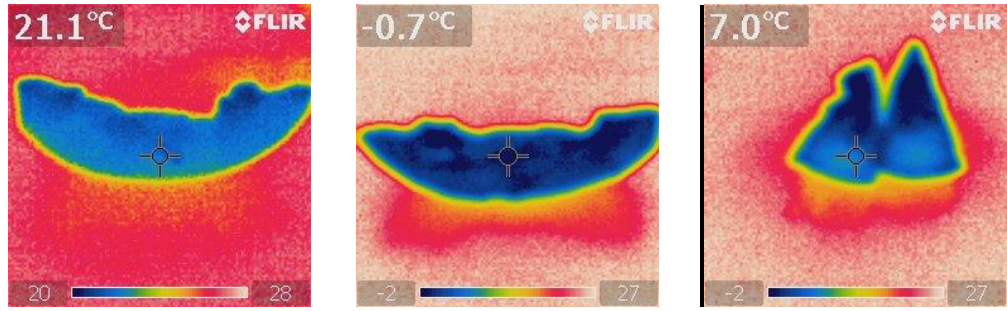
Şekil 5.133. Karpuzun -20°C 2m/s de hava üflemeli soğutma sonrası sıcaklık değişimi resmi

Çizelge 5.55. Karpuzun -20°C 1m/s için hava üflemeli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı

Başlangıç Kütle:	314.597 gr
Son Kütle:	309.258 gr
Kütle Kaybı	5.339 gr
Kütle Kaybı Oranı	%1.69



Şekil 5.134. Hava üfleli soğutucuda -20 °C 1m/s için, karpuzun yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi



Soğutma Başlamadan

Soğutma Sonrası

Soğutma Sonrası (Ortadan Kesilmiş)

Şekil 5.135 Karpuzun -20°C 1m/s de hava üfleli soğutma sonrası sıcaklık değişimi resmi

5.7. Haşlanmış Patatesin (*Solanum Tuberosum*) Soğutulması

Bitkinin toprak altında kalan yumruları “patates” olarak bilinir. Bu yumrular nişasta bakımından zengin olduğundan önemli bir besin maddesidir. Patatesten nişastadan başka belli bir oranda protein de bulunur; nişasta %20, protein %12'dir. Besin değeri 95 kaloridir. Bitkinin toprak üstü kısımlarında zehirli alkaloidler bulunmasına karşılık yumruları zehirli değildir. Ancak çimlenmiş patateslerde de bu alkaloidler teşekkül ettiğinden zehirlenmelere sebebiyet vermektedir. Patates yumrularında bulunan nişasta taneleri yumurta veya armut şeklinde olup, 70-100 mikron büyüklüğünde tanelerden ibarettir. Patates dış kabuk rengine göre sarı ile kırmızı, etine göre beyaz ve sarı olarak ayrılır. Sarı patates makbuldür. Patates

tohumuna milva denir. Özellikle Eskişehir'in Alpu ilçesinde yetiştiriciliği yapılır. Patatesin vakum altında, buzdolabında ve hava üflemeli soğutucuda soğutulma parametreleri incelenmiş ve aşağıda detaylı bilgiler verilmiştir.

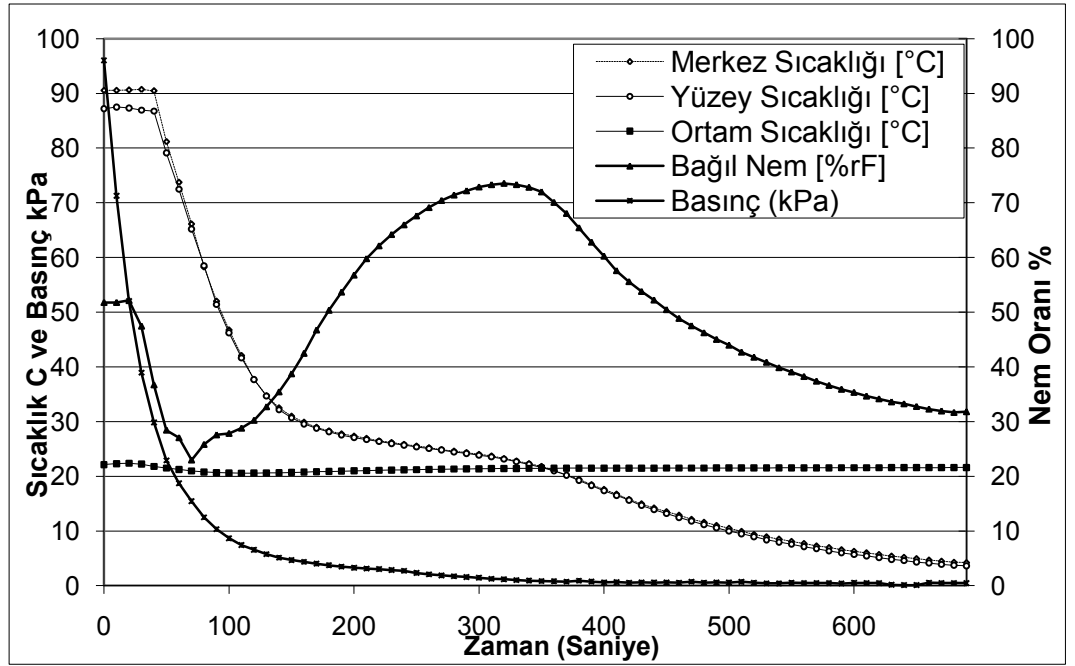
5.7.1 Haşlanmış patatesin vakum altında soğutulması

Haşlanmış patateslerin vakum altında soğutulmasına ilişkin deneyler vakum değeri 7 mbar, 10 mbar ve 15 mbar basınçlarda, iki pompanın çalışır durumda gerçekleştirilmiştir. Sirkülasyonlu su banyosu sıcaklığı -20°C 'de tutulmuş, böylece eşanjör içerisinden geçen havanın nemi soğutularak alınarak pompaya nem gitmesi önlenmiştir. Sistemde hava filtresi, çekvalf ve eşanjör gibi elemanlar kullanıldığı için basınç kayıpları oluşmaktadır ve bu nedenle basıncın 4-5 mbar'lara kadar düşürülmesi mümkün olmamıştır. Bu gibi durumlarda by-pass hattı açılarak basınç değeri istenilen değere düşürülebilmektedir.

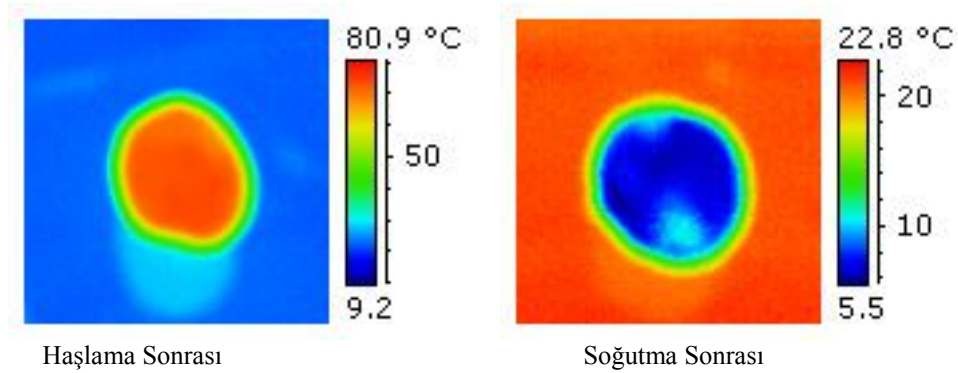
Bazı deneylerde haşlanmış patates örneklerinin merkez sıcaklığının ölçülmesinde zaman zaman zorluklarla karşılaşmıştır. Haşlanmış patatesin soğuması esnasında bazen vakum altında patates patlamış, datalogger probu boşa çıkmış ve bu nedenle deneyler birkaç defa tekrar edilmiştir. Her bir basınç için birden çok deney yürütülmüş ve ortalamayı veren deney sonucu kullanılmıştır.

İlk deneyde çift pompa çalıştırılarak ortam basıncı 7 mbar'a getirilmiş ve vakum pompası bu basınçta çalışır durumda deney gerçekleştirilmiştir. Şekil 5.136'de görüldüğü gibi, haşlanmış patates örneklerinin merkez ve yüzey sıcaklığı hızlı bir biçimde düşmüştür. Yaklaşık olarak 90°C sıcaklıktaki patates örneğinin vakum altında soğutulması sırasında merkez ve yüzey sıcaklıklarının düşüşü benzer şekilde gerçekleşmiştir. 7mbar vakum altında ölçülen en düşük merkez ve yüzey sıcaklıkları sırasıyla 4.2 ve 3.6°C olarak tespit edilmiştir. Haşlanmış patates örneğine ait yüzey ve merkezdeki sıcaklık değişimi Şekil 5.137'de verilmiştir.

Şekil 5.136'de 7 mbar sabit basınç altında soğutulan haşlanmış patates örneklerinin vakum soğutma öncesi ve sonrasında termal kamera yardımıyla tespit edilmiş sıcaklık değişimini gösteren resimler verilmektedir.

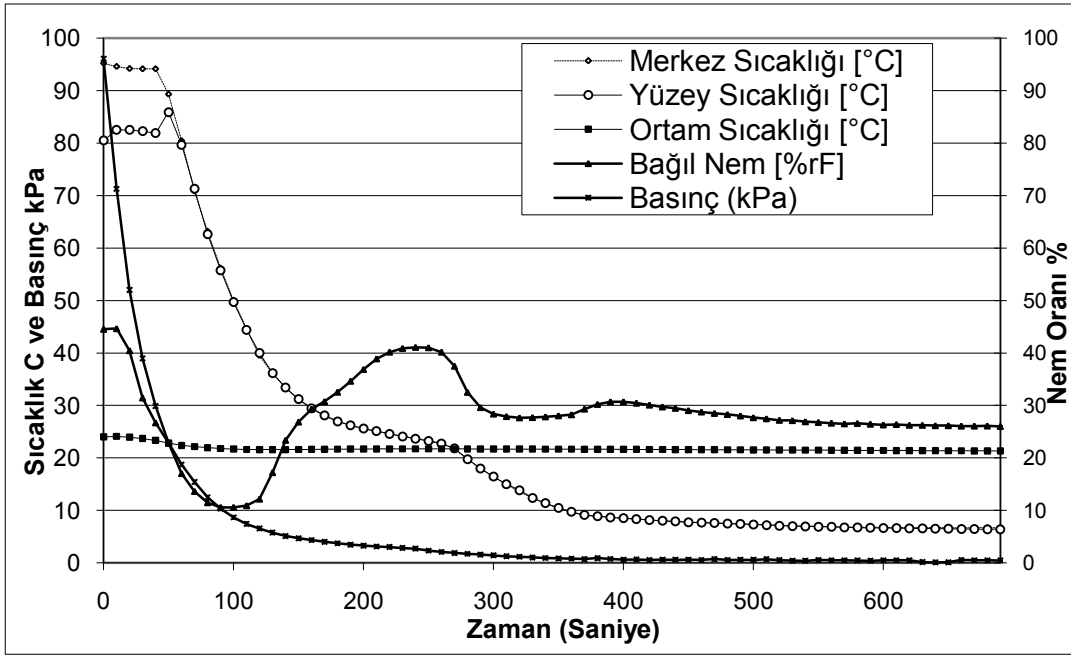


Şekil 5.136. 7 mbar sabit basınç altında haşlanmış patatesin yüzey, merkez ve ortam sıcaklığı, nem oranı ve basınç değişimi.



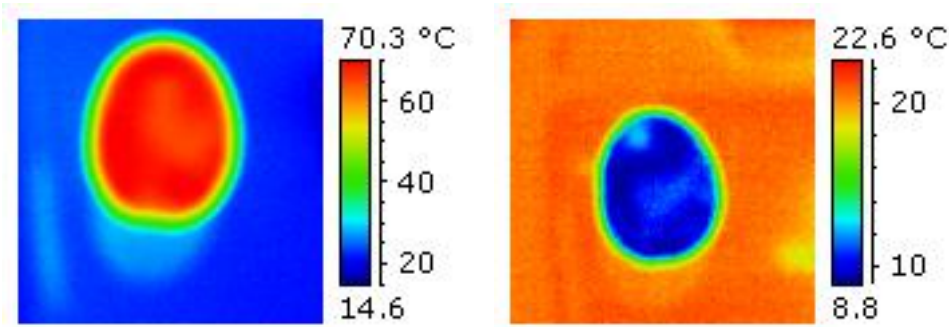
Şekil 5.137. 7 mbar basınç altında haşlanmış patatesin vakum soğutma öncesi ve sonrası sıcaklık değişimi resmi

Bu deneyde çift pompa çalıştırılarak ortam basıncı 10mbar'a getirilmiştir ve vakum ortamında haşlanmış patates örneklerine ait yüzey ve merkez sıcaklığı ile ortam sıcaklık ve bağıl nemindeki değişimler takip edilmiştir. Şekil 5.138'te haşlanmış patatese ait merkez ve yüzey sıcaklıkları ile ortam sıcaklığı, bağıl nemi ve basıncındaki değişim verilmiştir. 10mbar basınç altında haşlanmış patateslerin en düşük yüzey ve merkez sıcaklıkları sırasıyla 6.6°C ve 6.2°C olarak gerçekleşmiştir. Bu sıcaklıklar 7mbar vakum basıncı altında gerçekleştirilen deneylerde elde edilen sıcaklıklardan 2-3°C daha yüksektir.



Şekil 5.138. 10 mbar sabit basınç altında haşlanmış patatesin yüzey, merkez ve ortam sıcaklığı, nem oranı ve basınç değişimi.

Şekil 5.139'te 10mbar sabit basınç altında haşlanmış patates örneklerinin vakum soğutma öncesi ve sonrasında termal kamera yardımıyla tespit edilmiş sıcaklık değişimini gösteren resimler verilmektedir.



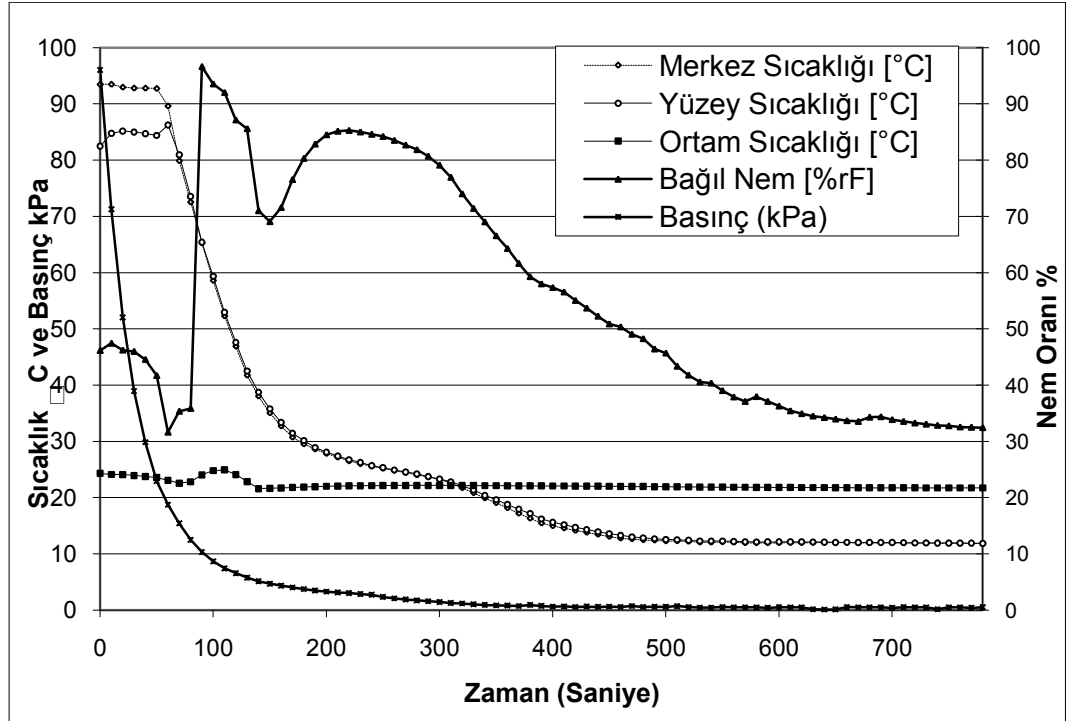
Haşlama Sonrası

Soğutma Sonrası

Şekil 5.139. 10 mbar basınç altında haşlanmış patatesin vakum soğutma öncesi ve sonrası sıcaklık değişimi resmi

Bu deney 15mbar sabit basınçta çift pompa kullanılarak yürütülmüştür. Şekil 5.140'te 15mbar basınç altında haşlanmış patatese ait merkez ve yüzey sıcaklıkları ile ortam sıcaklığı, bağıl nemi ve basıncının zamana bağlı değişimi verilmiştir. 15mbar basınç altında haşlanmış patateslerin en düşük yüzey ve merkez sıcaklıkları sırasıyla 6.7°C ve 6.2°C olarak gerçekleşmiştir. Bu sıcaklıklar

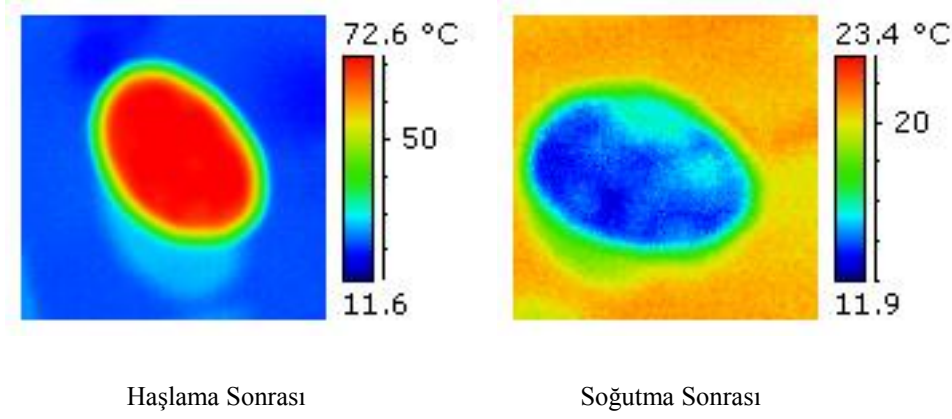
10mbar vakum basıncında elde edilen sıcaklık değerlerine yakın, ancak 7mbar vakum basıncı altında gerçekleştirilen deneylerde elde edilen sıcaklıklardan daha yüksektir.



Şekil 5.140. 15 mbar sabit basınç altında haşlanmış patatesin yüzey, merkez ve ortam sıcaklığı, nem oranı ve basınç değişimi.

Şekil 5.141'da 15 mbar sabit basınç altında haşlanmış patates örneklerinin vakum soğutma öncesi ve sonrasında termal kamera yardımıyla tespit edilmiş sıcaklık değişimini gösteren resimler verilmektedir.

Çizelge 5.56'de ise haşlanmış patatesin kütledeki değişim ve set edilen basınçlarda verilmektedir. Birinci deneyde haşlanmış patatesin başlangıç merkez sıcaklığı 90°C'den 4°C'ye gelirken kütle kaybı 18.887gr olarak gerçekleşmiştir. Kütle kaybı %12.3 olmuştur. Patatesteki nişastanın haşlama sırasında su alarak şişmesi nedeniyle haşlama sırasında kütlede artış meydana gelmiştir. 10mbar vakum basıncında soğutulan haşlanmış patatesin başlangıç merkez sıcaklığı yaklaşık olarak 94°C'den 6°C'ye gelirken kütle kaybı %11.9 olarak bulunmuştur. 15 mbar basınçta ise, kütle kaybı 18.591gr olarak gerçekleşmiş ve vakum altında soğutulan haşlanmış patatesteki kütle kaybı %11,4 oranında olmuştur. İlk üç deneyin sonuçlarına göre, haşlanmış patateslerin soğutulması sırasında vakum basıncı düşükçe kütle kaybı artmaktadır.



Şekil 5.141. 15 mbar basınç altında haşlanmış patatesin soğutma öncesi ve sonrası sıcaklık değişimi resmi

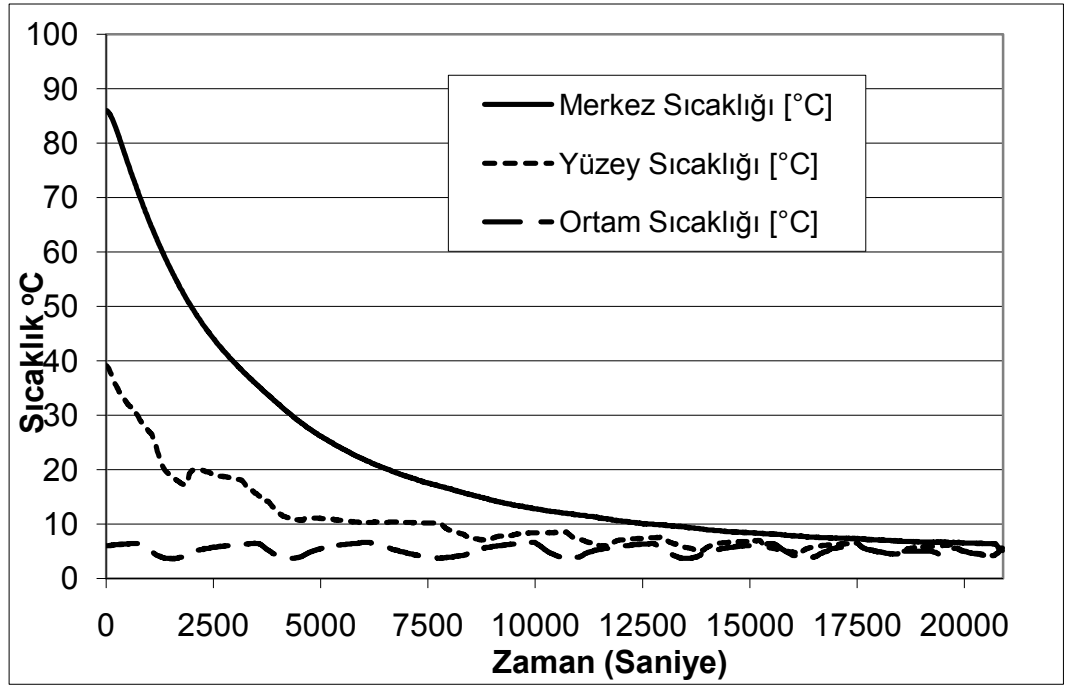
Çizelge 5.56. Vakum altında soğutmada haşlanmış patatesin başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı

Vakum basıncı (mbar)	7	10	15
Piştirilmeden Önceki Kütle (g)	154,094	156,600	160,656
Piştirildikten Sonraki Kütle (g)	154,132	154,950	162,800
Soğutulduktan Sonraki Kütle (g)	135,245	136,470	144,209
Kütle Kaybı (g)	18,887	18,480	18,591
Kütle Kaybı Oranı (%)	%12,3	% 11,9	%11,4

5.7.2 Haşlanmış patatesin klasik yöntemle soğutulması

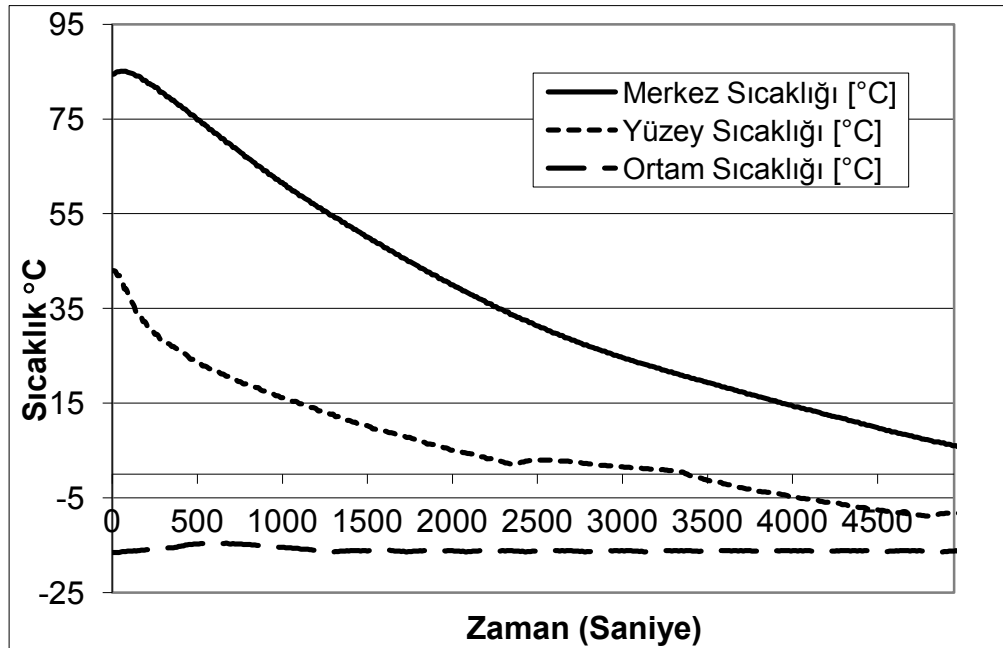
Haşlanmış patatesin klasik olarak soğutulması buzdolabında (5°, -16° ve -20° sıcaklıkta) yapılmıştır. Haşlanmış patatesin şok soğutmaya tabi tutulması ile ilgili deneyler de yapılmış ve sonuçlar aşağıda detaylı olarak sunulmuştur.

Haşlanmış patatesin klasik soğutmada 5°C sıcaklıkta soğutulması esnasındaki sıcaklık değişimi Şekil 5.142’de verilmiştir. 5°C sıcaklık altında soğutulan haşlanmış patatesin merkez sıcaklığının 5°C’ye soğuması için geçen süre yaklaşık olarak 20000 saniye (5,6 saat) olmuştur. Vakum soğutmada bu süre uygulanan vakum basıncına bağlı olduğu görülmüştür. 7 mbar basınç değerinde vakum altında soğutulan haşlanmış patatesin merkez sıcaklığının 5°C’ye yaklaşık olarak 10 dakika içinde düştüğü bulunmuştur. Bu süre, 5°C sıcaklıkta soğutmaya göre 33 kat daha hızlı bir soğutmayı ifade etmektedir.



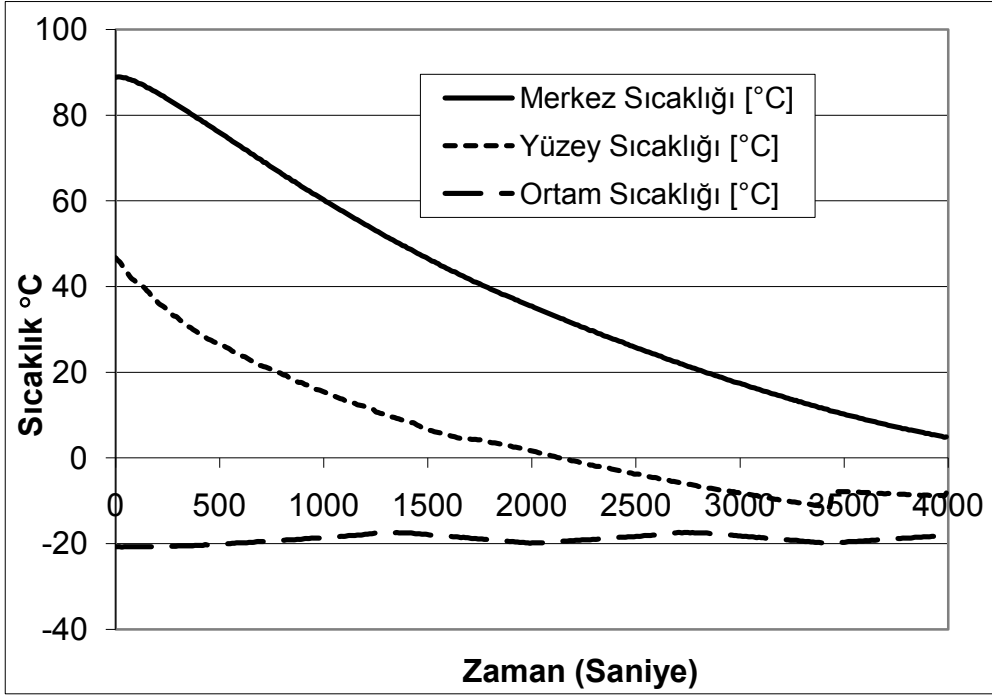
Şekil 5.142. Buzdolabında 5°C sıcaklık altında haşlanmış patatesin yüzey sıcaklığı, merkez sıcaklığı ve ortam sıcaklığındaki değişim.

Patatesin geleneksel yöntemle soğutulmasında ikinci deneme -16 °C altında yürütülmüştür. Patatesin -16 °C sıcaklıkta, klasik soğutmada sıcaklık değişimi Şekil 5.143'te verildiği gibidir. Şekilden de görüldüğü gibi, 4900 saniye gibi çok uzun bir sürede patatesin soğuması gerçekleşmiştir.



Şekil 5.143. Buzdolabında -16°C sıcaklık altında haşlanmış patatesin yüzey sıcaklığı, merkez sıcaklığı ve ortam sıcaklığındaki değişim.

Haşlanmış patateslerin dondurucuda -20°C sıcaklıkta soğutulmasına ilişkin deneysel sonuçlar Şekil 5.144'te verilmiştir. Derin dondurucuda gerçekleştirilen soğutmada -16°C ve -20° sıcaklıklarda elde edilen veriler paralellik göstermekte olup, soğutma süresi sıcaklık düştükçe genellikle kısalmaktadır.



Şekil 5.144. Buzdolabında -20°C sıcaklık altında haşlanmış patatesin yüzey sıcaklığı, merkez sıcaklığı ve ortam sıcaklığındaki değişim.

Klasik soğutma yapılmadan ve yapıldıktan sonra da haşlanmış patatesin ağırlıkları ölçülmüş ve kütle kaybı belirlenmiştir. 5°C sıcaklıkta gerçekleştirilen soğutma işlemi çok uzun sürmüş, örneklerdeki kütle kaybı ise %3'ün altında gerçekleşmiştir (Çizelge 5.57). Klasik soğutma yapılmadan ve yapıldıktan sonra da haşlanmış patatesin ağırlıkları ölçülmüş ve kütle kaybı belirlenmiştir. 2°C sıcaklıkta gerçekleştirilen soğutma işlemi çok uzun sürmüş, örneklerdeki kütle kaybı ise %3'ün altında gerçekleşmiştir. Klasik soğutmada bu deney derin dondurucu sıcaklığı -20°C 'ye ayarlanmak suretiyle yürütülmüştür. Bu sıcaklıkta soğutulan haşlanmış patatese ait ağırlıklar ve kütle kaybına ilişkin veriler Çizelge 5.57'de verilmiştir. Haşlanmış patatesin merkez sıcaklığının 5°C sıcaklığa kadar soğutulması sırasında patatesteki kütle kaybı %3'ün altında gerçekleşmiştir. Derin dondurucuda gerçekleştirilen soğutma süreleri uzun olurken, kütle kaybı vakum altında soğutmaya oranlar daha düşük kalmıştır.

Çizelge 5.57. Haşlanmış patatesin klasik soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı

Sıcaklık (°C)	5	-16	-20
Piştirilmeden Önceki Kütle (g)	159,842	126,658	156,796
Piştirildikten Sonraki Kütle (g)	162,600	128,101	160,217
Soğutulduktan Sonraki Kütle(g)	158,440	126,997	157,120
Kütle Kaybı (g)	4,16	1,104	3,097
Kütle Kaybı Oranı (%)	2,56	0,86	1,93

5.7.3. Haşlanmış Patatesin Hava Üfleli Soğutucuda Soğutulması

Haşlanmış patatesin hava üfleli soğutucuda soğutulmasına ilişkin deneyler; - 20°C, -16°C, 5°C derecelerde, 1 m/s, 2 m/s, 4 m/s hızlarda yapılmıştır. Soğutma deneyleri hava akış yönü yukarıdan aşağıya doğru gerçekleşmektedir. Sıcaklık probu merkez, yüzey ve ortam sıcaklıklarını ölçerken hız probu hava hızı değerlerini ölçerek deney gerçekleşmektedir.

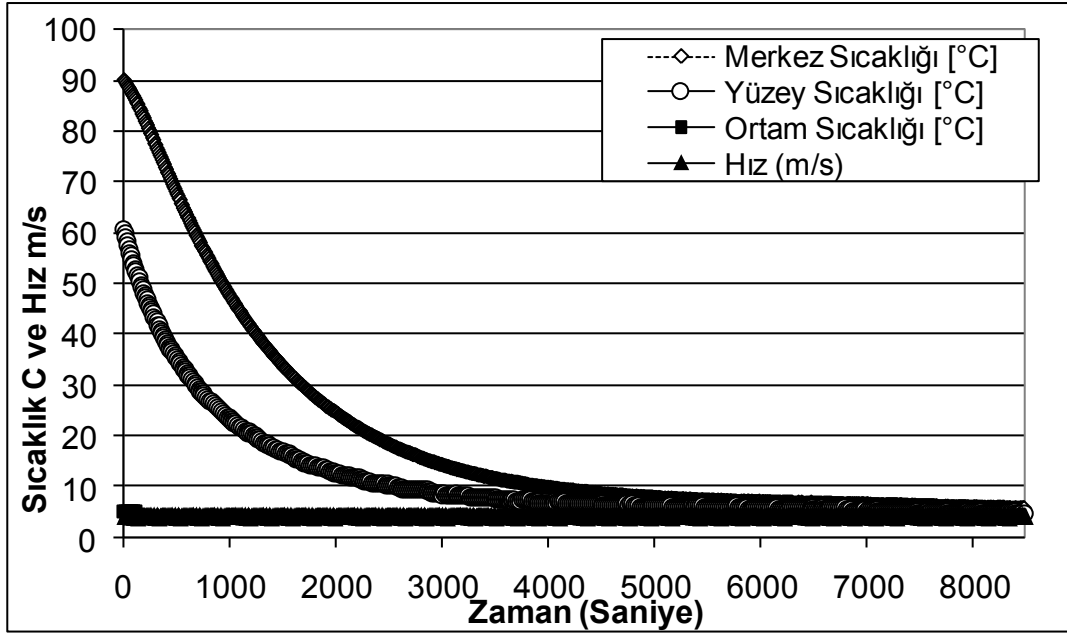
a) 5°C de 4 m/s hız altında

Deneyde ortam sıcaklığı 5°C getirilmiş ve hava akış hızı 4m/s' ye ayarlanmıştır. Şekil 5.145'de görüldüğü gibi, merkez ve yüzey sıcaklığı düşmüştür. 130 dakikada merkez sıcaklığı 5°C düşmüş ve deney sona ermiştir.

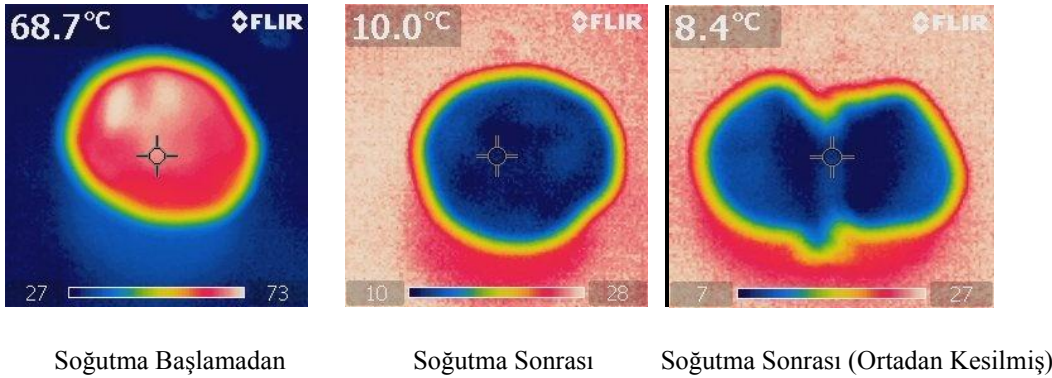
Çizelge 5.58'te ise patatesin kütlesindeki değişim verilmektedir. Deneyde patatesin merkez sıcaklığı başlangıç sıcaklığı olan 90°C'den 5°C'ye gelirken kütle kaybı 1,087 gr olarak gerçekleşmiştir. Kütle kaybı %0,007 olmuştur. Şekil 5.146'da soğutma öncesi ve sonrasına ait termal kamera görüntülerine yer verilmiştir.

Çizelge 5.58 Haşlanmış patatesin 5 °C 4m/s için hava üfleli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı

İlk Ağırlık Kütle:	140,844 gr
Haşlamadan sonraki kütle:	142,267 gr
Soğutma Sonrası Kütle:	139,757 gr
Kütle Kaybı	1,087 gr
Kütle Kaybı Oranı	%0,007



Şekil 5.145. Hava üflemeli soğutucuda 5 °C 4m/s için, haşlanmış patatesin yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi



Şekil 5.146. Haşlanmış patatesin 5°C 4m/s de hava üflemeli soğutma sonrası sıcaklık değişimi resmi

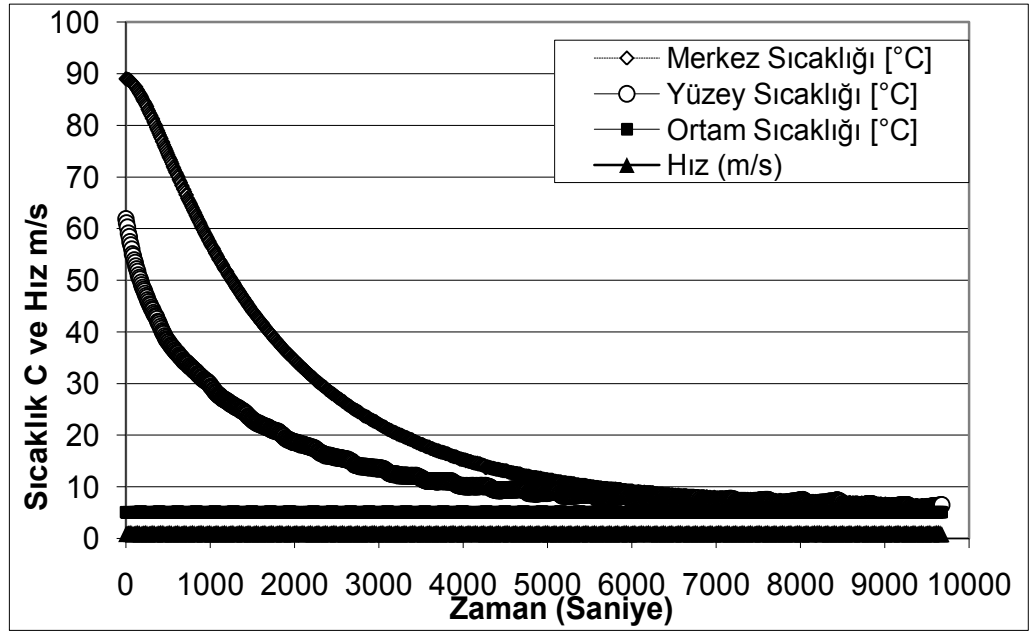
b) 5°C de 2 m/s hız altında

Deneyde ortam sıcaklığı 5°C getirilmiş ve hava akış hızı 2m/s' ye ayarlanmıştır. Şekil 5.147'de görüldüğü gibi, merkez ve yüzey sıcaklığı düşmüştür. 180 dakikada merkez sıcaklığı 5°C düşmüş ve deney sona ermiştir.

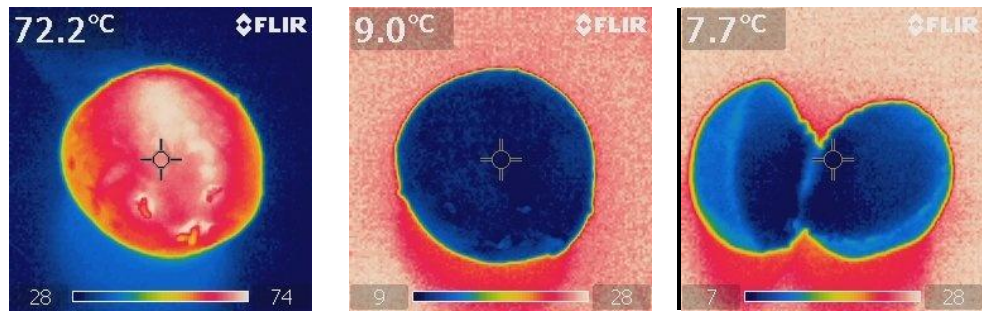
Çizelge 5.59'te ise patatesin kütlesindeki değişim verilmektedir. Deneyde patatesin merkez sıcaklığı başlangıç sıcaklığı olan 90°C'den 5°C'ye gelirken kütle kaybı 0,927 gr olarak gerçekleşmiştir. Kütle kaybı %0,005 olmuştur. Şekil 5.148'da soğutma öncesi ve sonrasına ait termal kamera görüntülerine yer verilmiştir.

Çizelge 5.59. Haşlanmış patatesin 5 °C 2m/s için hava üflemeli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı

İlk Ağırlık Kütle:	155,084 gr
Haşlamadan sonraki kütle:	157,520 gr
Soğutma Sonrası Kütle:	154,157 gr
Kütle Kaybı	0,927 gr
Kütle Kaybı Oranı	%0,005



Şekil 5.147. Hava üflemeli soğutucuda 5 °C 2m/s için, haşlanmış patatesin yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi



Soğutma Başlamadan

Soğutma Sonrası

Soğutma Sonrası (Ortadan Kesilmiş)

Şekil 5.148. Haşlanmış patatesin 5°C 2m/s de hava üflemeli soğutma sonrası sıcaklık değişimi resmi

c) 5°C de 1 m/s hız altında

Deneyde ortam sıcaklığı 5°C getirilmiş ve hava akış hızı 1m/s' ye ayarlanmıştır. Şekil 5.149'de görüldüğü gibi, merkez ve yüzey sıcaklığı düşmüştür. 220 dakikada merkez sıcaklığı 5°C düşmüş ve deney sona ermiştir.

Çizelge 5.60'te ise patatesin kütlesindeki değişim verilmektedir. Deneyde patatesin merkez sıcaklığı başlangıç sıcaklığı olan 90°C'den 5°C'ye gelirken kütle kaybı 0,298 gr olarak gerçekleşmiştir. Kütle kaybı %0,0022 olmuştur. Şekil 5.150'da soğutma öncesi ve sonrasına ait termal kamera görüntülerine yer verilmiştir.

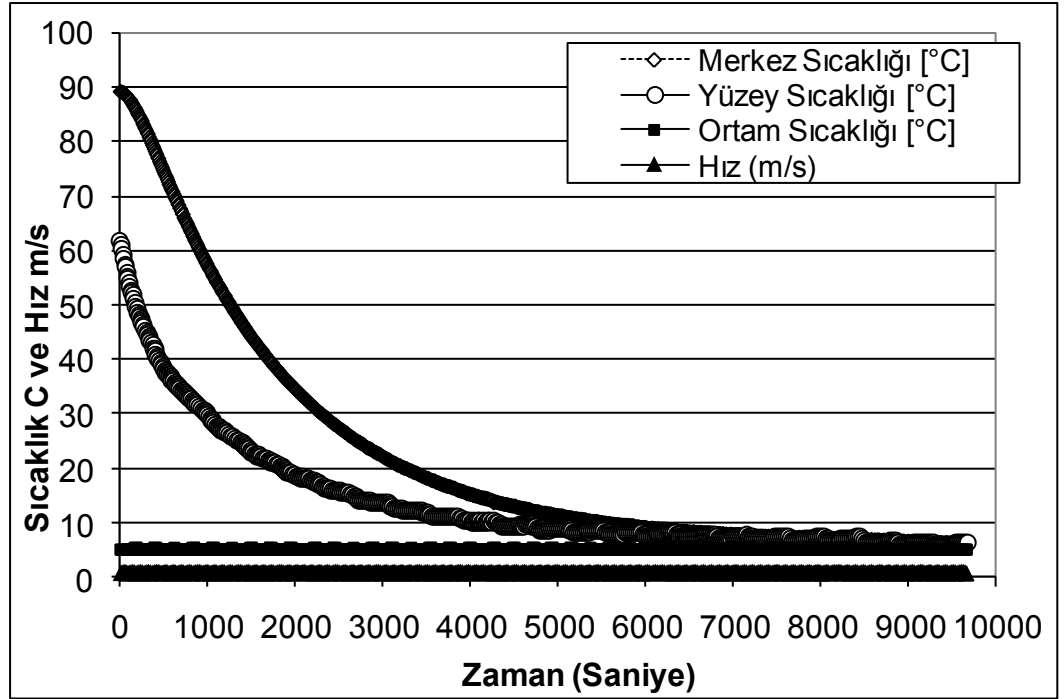
Çizelge 5.60. Haşlanmış patatesin 5 °C 1m/s için hava üfleli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı

İlk Ağırlık Kütle:	135,112 gr
Haşlamadan sonraki kütle:	136,800 gr
Soğutma Sonrası Kütle:	134,814 gr
Kütle Kaybı	0,298 gr
Kütle Kaybı Oranı	%0,0022

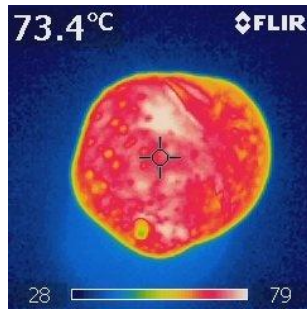
d) -16°C de 4 m/s hız altında

Deneyde ortam sıcaklığı -16°C getirilmiş ve hava akış hızı 4m/s' ye ayarlanmıştır. Şekil 5.151'de görüldüğü gibi, merkez ve yüzey sıcaklığı düşmüştür. 35 dakikada merkez sıcaklığı 5°C düşmüş ve deney sona ermiştir.

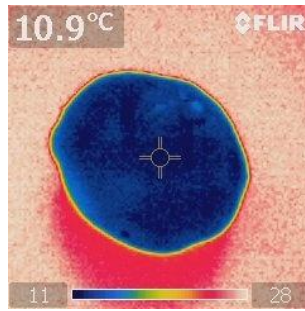
Çizelge 5.61'te ise patatesin kütlesindeki değişim verilmektedir. Deneyde patatesin merkez sıcaklığı başlangıç sıcaklığı olan 80°C'den 5°C'ye gelirken kütle kaybı 1,753 gr olarak gerçekleşmiştir. Kütle kaybı %0,0122 olmuştur. Şekil 5.152'da soğutma öncesi ve sonrasına ait termal kamera görüntülerine yer verilmiştir.



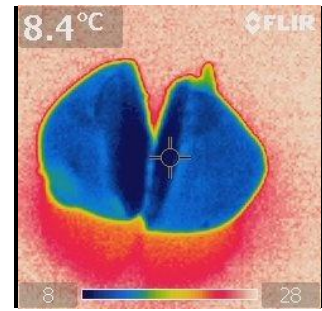
Şekil 5.149. Hava üflemeli soğutucuda 5 °C 1m/s için, haşlanmış patatesin yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi



Soğutma Başlamadan



Soğutma Sonrası

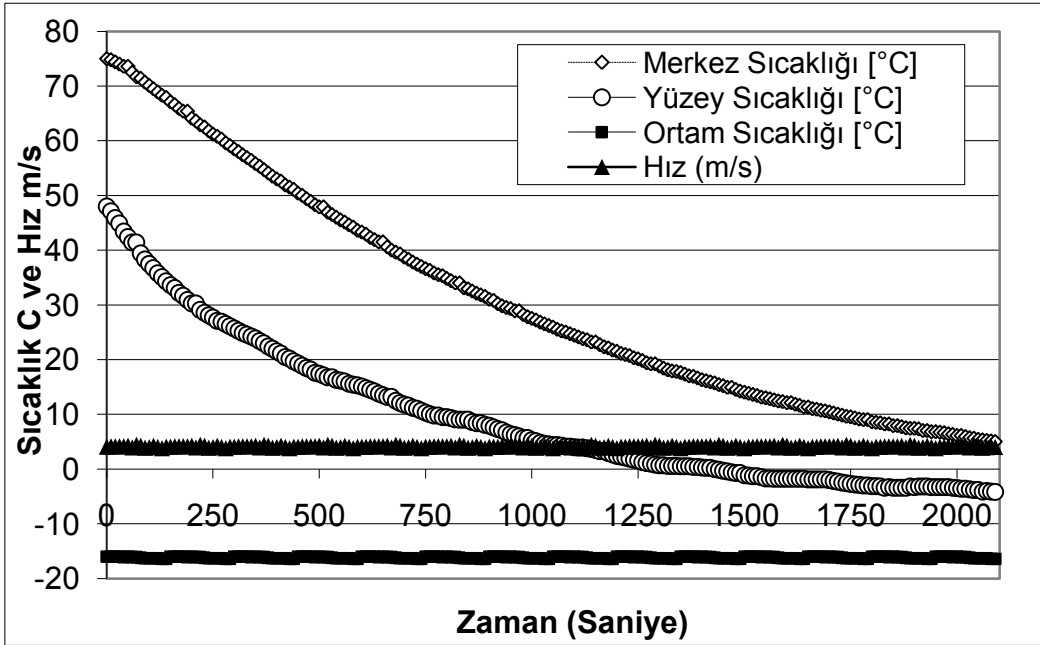


Soğutma Sonrası (Ortadan Kesilmiş)

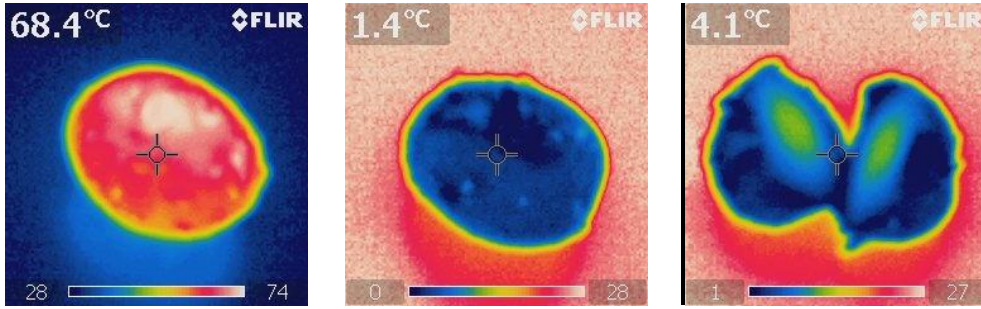
Şekil 5.150. Haşlanmış patatesin 5°C 1m/s de hava üflemeli soğutma sonrası sıcaklık değişimi resmi

Çizelge 5.61. Haşlanmış patatesin -16 °C 4m/s için hava üflemeli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı

İlk Ağırlık Kütle:	143,541 gr
Haşlamadan sonraki kütle:	145,230 gr
Soğutma Sonrası Kütle:	141,788 gr
Kütle Kaybı	1,753 gr
Kütle Kaybı Oranı	%0,0122



Şekil 5.151. Hava üfleli soğutucuda 5 °C 4m/s için, haşlanmış patatesin yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi



Soğutma Başlamadan

Soğutma Sonrası

Soğutma Sonrası (Ortadan Kesilmiş)

Şekil 5.152. Haşlanmış patatesin -16°C 4m/s de hava üfleli soğutma sonrası sıcaklık değişimi resmi

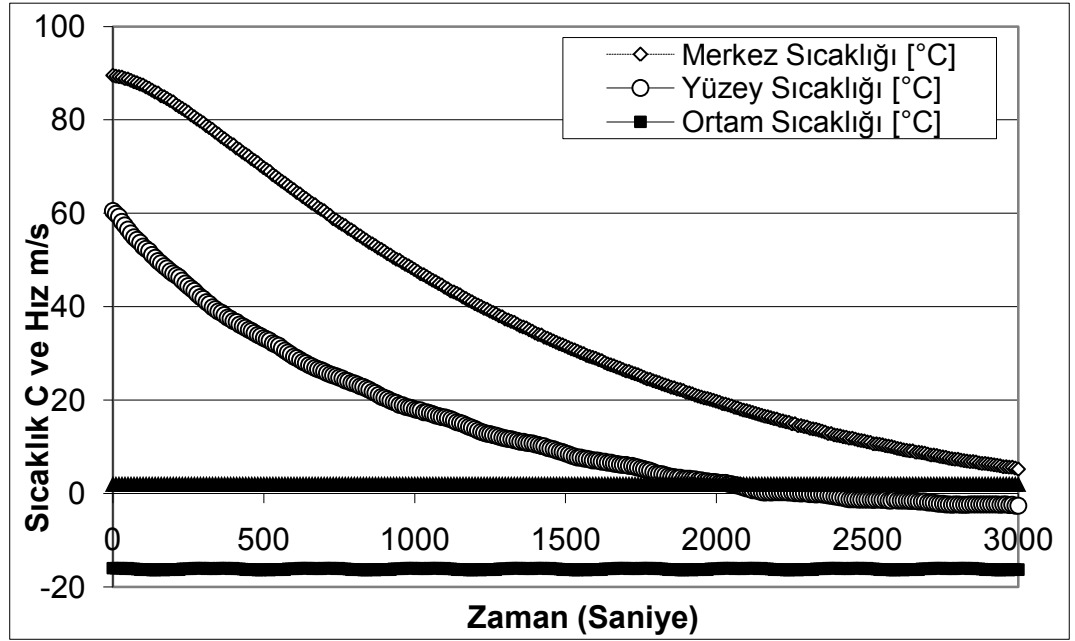
e) -16°C de 2 m/s hız altında

Deneyde ortam sıcaklığı -16°C getirilmiş ve hava akış hızı 2m/s' ye ayarlanmıştır. Şekil 5.153'de görüldüğü gibi, merkez ve yüzey sıcaklığı düşmüştür. 50 dakikada merkez sıcaklığı 5°C düşmüş ve deney sona ermiştir.

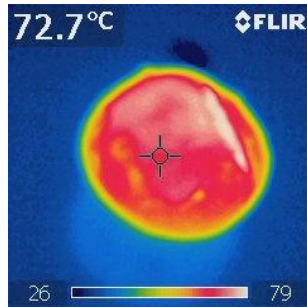
Çizelge 5.62'te ise patatesin kütlesindeki değişim verilmektedir. Deneyde patatesin merkez sıcaklığı başlangıç sıcaklığı olan 90°C'den 5°C'ye gelirken kütle kaybı 2,133 gr olarak gerçekleşmiştir. Kütle kaybı %0,016 olmuştur. Şekil 5.154'da soğutma öncesi ve sonrasına ait termal kamera görüntülerine yer verilmiştir.

Çizelge 5.62. Haşlanmış patatesin -16°C 2m/s için hava üfleli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı

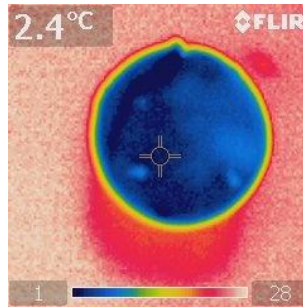
İlk Ağırlık Kütle:	129,862 gr
Haşlamadan sonraki kütle:	130,361 gr
Soğutma Sonrası Kütle:	127,729 gr
Kütle Kaybı	2,133 gr
Kütle Kaybı Oranı	%0,016



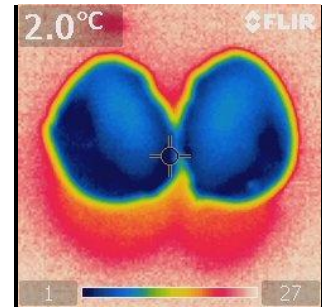
Şekil 5.153. Hava üfleli soğutucuda -16°C 2m/s için, haşlanmış patatesin yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi



Soğutma Başlamadan



Soğutma Sonrası



Soğutma Sonrası (Ortadan Kesilmiş)

Şekil 5.154. Haşlanmış patatesin -16°C 2m/s de hava üfleli soğutma sonrası sıcaklık değişimi resmi

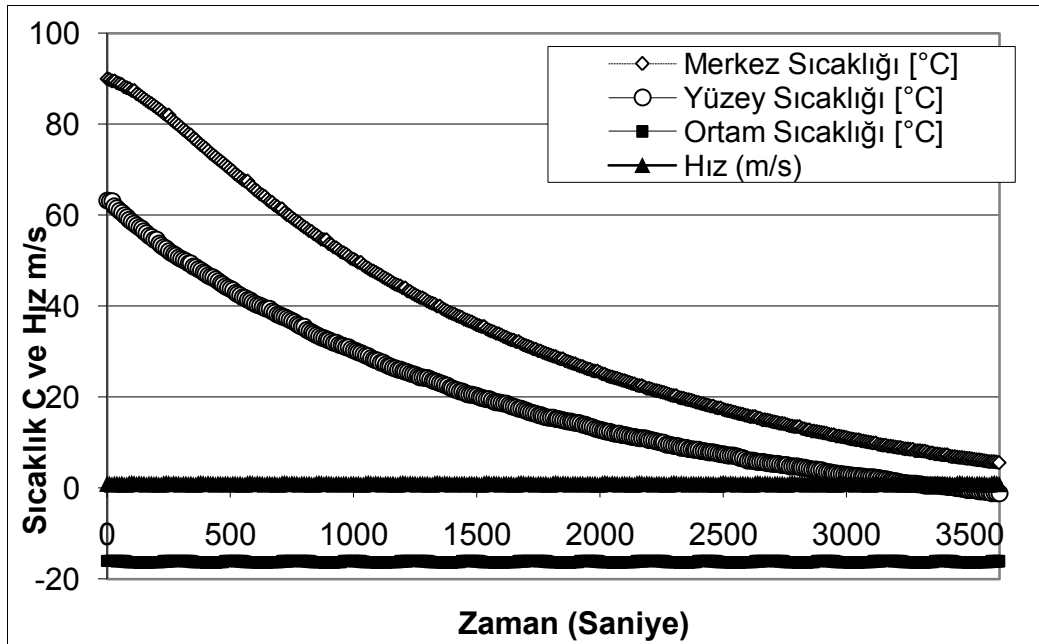
f) -16°C de 1 m/s hız altında

Deneyde ortam sıcaklığı -16°C getirilmiş ve hava akış hızı 1m/s' ye ayarlanmıştır. Şekil 5.155'de görüldüğü gibi, merkez ve yüzey sıcaklığı düşmüştür. 65 dakikada merkez sıcaklığı 5°C düşmüş ve deney sona ermiştir.

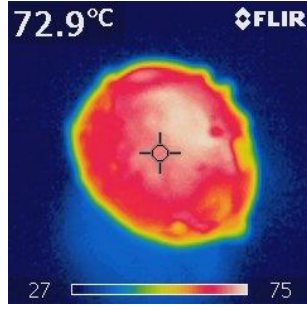
Çizelge 5.63'te ise patatesin kütesindeki değişim verilmektedir. Deneyde patatesin merkez sıcaklığı başlangıç sıcaklığı olan 90°C'den 5°C'ye gelirken kütle kaybı 3,784 gr olarak gerçekleşmiştir. Kütle kaybı %0,029 olmuştur. Şekil 5.156'da soğutma öncesi ve sonrasına ait termal kamera görüntülerine yer verilmiştir.

Çizelge 5.63. Haşlanmış patatesin 5 °C 1m/s için hava üflemeli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı

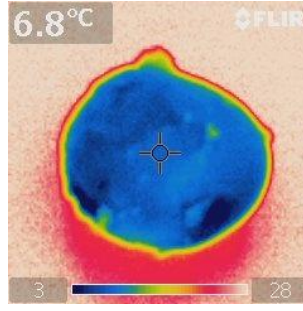
İlk Ağırlık Kütle:	128,763 gr
Haşlamadan sonraki kütle:	130,907 gr
Soğutma Sonrası Kütle:	124,979 gr
Kütle Kaybı	3,784 gr
Kütle Kaybı Oranı	%0,029



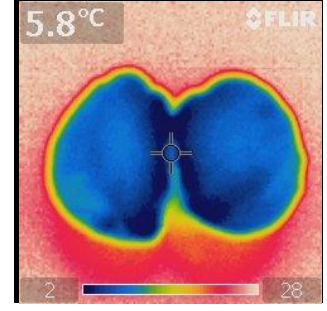
Şekil 5.155. Hava üflemeli soğutucuda -16 °C 1m/s için, haşlanmış patatesin yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi



Soğutma Başlamadan



Soğutma Sonrası



Soğutma Sonrası (Ortadan Kesilmiş)

Şekil 5.156. Haşlanmış patatesin -16°C 1m/s de hava üflemeli soğutma sonrası sıcaklık değişimi resmi

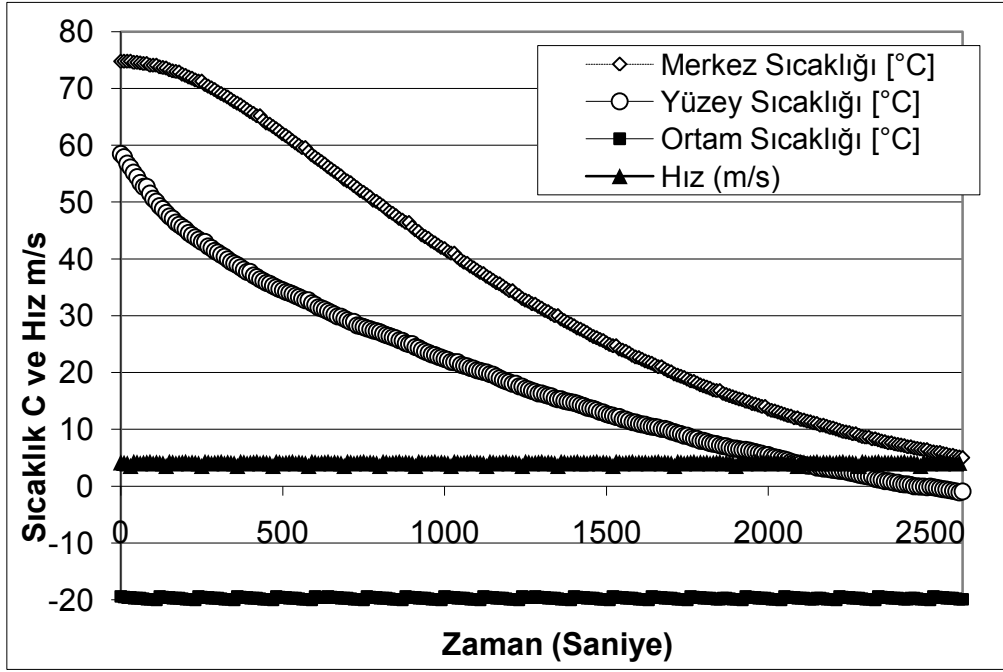
g) -20°C de 4m/s hız altında

Deneyde ortam sıcaklığı -20°C getirilmiş ve hava akış hızı 4m/s ' ye ayarlanmıştır. Şekil 5.157'de görüldüğü gibi, merkez ve yüzey sıcaklığı düşmüştür. 30 dakikada merkez sıcaklığı 5°C düşmüş ve deney sona ermiştir.

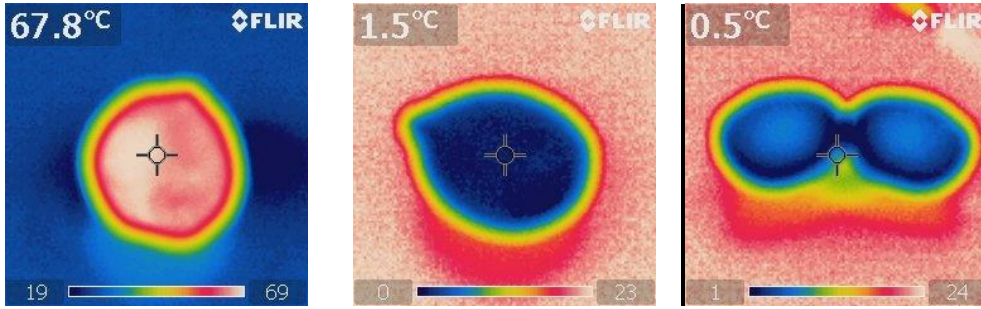
Çizelge 5.64'te ise patatesin kütlesindeki değişim verilmektedir. Deneyde patatesin merkez sıcaklığı başlangıç sıcaklığı olan 87°C 'den 5°C 'ye gelirken kütle kaybı 1,907 gr olarak gerçekleşmiştir. Kütle kaybı %0,010 olmuştur. Şekil 5.158'da soğutma öncesi ve sonrasına ait termal kamera görüntülerine yer verilmiştir.

Çizelge 5.64 Haşlanmış patatesin -20°C 4m/s için hava üflemeli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı

İlk Ağırlık Kütle:	186,624 gr
Haşlamadan sonraki kütle:	187,200 gr
Soğutma Sonrası Kütle:	184,717 gr
Kütle Kaybı	1,907 gr
Kütle Kaybı Oranı	%0,010



Şekil 5.157. Hava üflemeli soğutucuda -20°C 4m/s için, haşlanmış patatesin yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi



Soğutma Başlamadan

Soğutma Sonrası

Soğutma Sonrası (Ortadan Kesilmiş)

Şekil 5.158. Haşlanmış patatesin -20°C 4m/s de hava üflemeli soğutma sonrası sıcaklık değişimi resmi

h) -20°C de 2 m/s hız altında

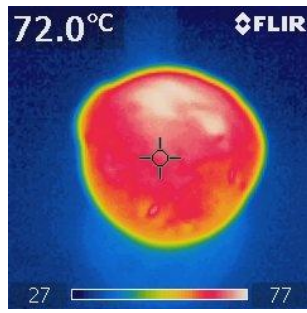
Deneyde ortam sıcaklığı -20°C getirilmiş ve hava akış hızı 2m/s' ye ayarlanmıştır. Şekil 5.159'de görüldüğü gibi, merkez ve yüzey sıcaklığı düşmüştür. 50 dakikada merkez sıcaklığı 5°C düşmüş ve deney sona ermiştir.

Çizelge 5.65'te ise marulun kütlesindeki değişim verilmektedir. Deneyde marulun merkez sıcaklığı başlangıç sıcaklığı olan 90°C 'den 5°C 'ye gelirken kütle kaybı 1,34 gr olarak gerçekleşmiştir. Kütle kaybı %0,009 olmuştur. Şekil

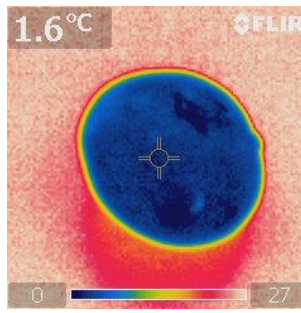
5.160’da soğutma öncesi ve sonrasına ait termal kamera görüntülerine yer verilmiştir.

Çizelge 5.65 Haşlanmış patatesin -20°C ’de 2m/s için hava üflemeli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı

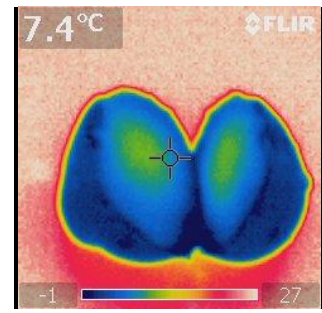
İlk Ağırlık Kütle:	140,862 gr
Haşlamadan sonraki kütle:	141,666 gr
Soğutma Sonrası Kütle:	139,522 gr
Kütle Kaybı	1,34 gr
Kütle Kaybı Oranı	%0,009



Soğutma Başlamadan



Soğutma Sonrası



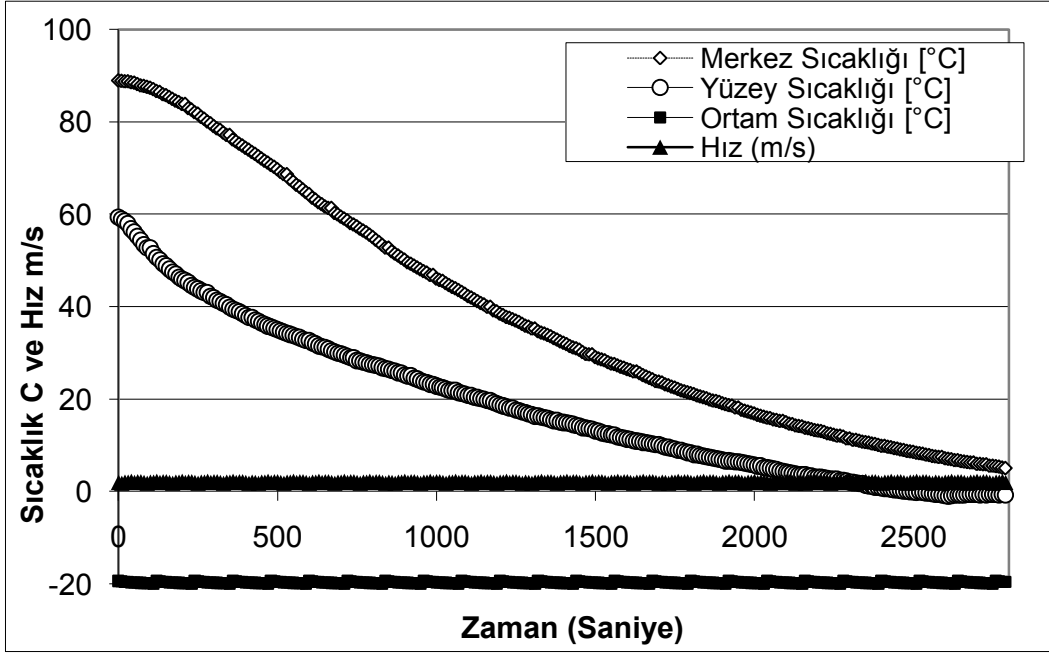
Soğutma Sonrası (Ortadan Kesilmiş)

Şekil 5.160. Haşlanmış patatesin -20°C 2m/s de hava üflemeli soğutma sonrası sıcaklık değişimi resmi

i) -20°C de 1 m/s hız altında

Deneyde ortam sıcaklığı -20°C getirilmiş ve hava akış hızı 1m/s’ ye ayarlanmıştır. Şekil 5.161’de görüldüğü gibi, merkez ve yüzey sıcaklığı düşmüştür. 60 dakikada merkez sıcaklığı 5°C düşmüş ve deney sona ermiştir.

Çizelge 5.66’te ise patatesin kütleindeki değişim verilmektedir. Deneyde patatesin merkez sıcaklığı başlangıç sıcaklığı olan 92°C ’den 5°C ’ye gelirken kütle kaybı 2,455 gr olarak gerçekleşmiştir. Kütle kaybı %0,017 olmuştur.



Şekil 5.159 - Hava üfleli soğutucuda -20 °C 2m/s için, haşlanmış patatesin yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi

Çizelge 5.66. Haşlanmış patatesin -20 °C 1m/s için hava üfleli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı

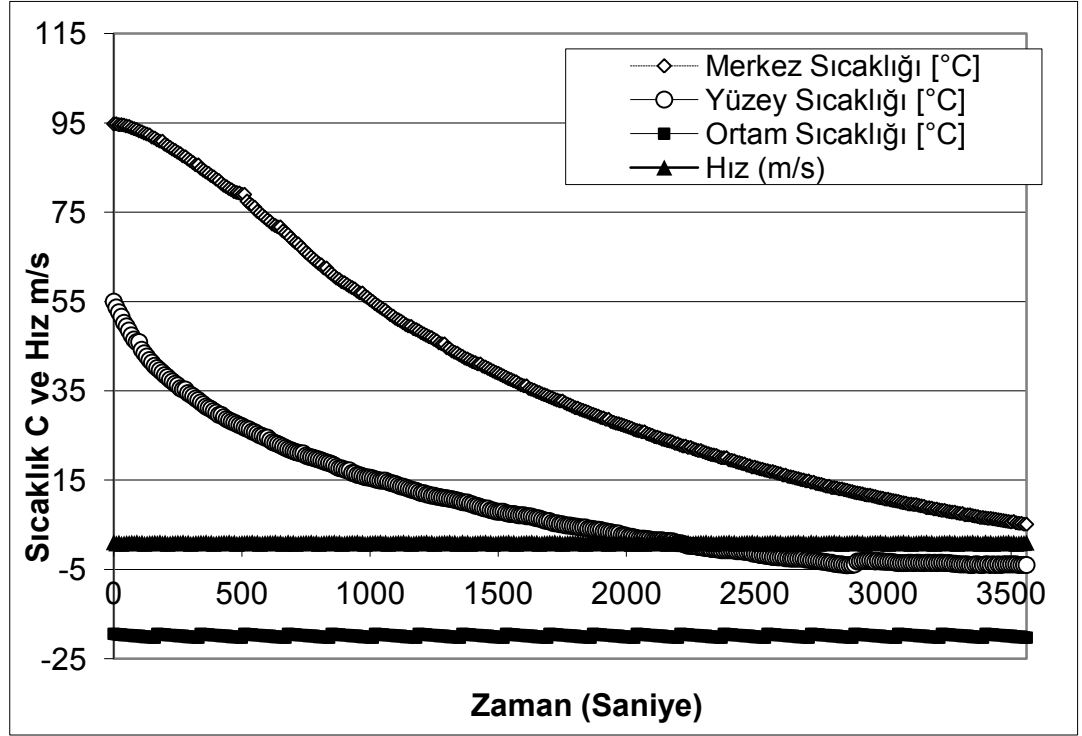
İlk Ağırlık Kütle:	143,168 gr
Haşlamadan sonraki kütle:	146,011 gr
Soğutma Sonrası Kütle:	140,713 gr
Kütle Kaybı	2,455 gr
Kütle Kaybı Oranı	%0,017

Şekil 5.162’da soğutma öncesi ve sonrasına ait termal kamera görüntülerine yer verilmiştir.

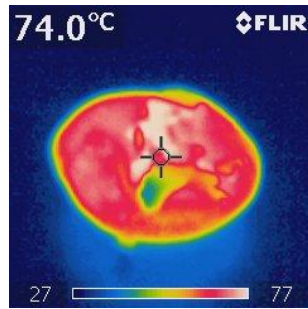
5.8. Pişirilmiş Köftenin Soğutulması

Kasaplık hayvanların, kanatlıların, av hayvanlarının yenilebilir iskelet kaslarına et denilir. Bilimsel anlamda ise et, çoğunluğu kas doku olmak üzere kan, epitel, kemik, sinir, yağ ve bağ dokuları yapısında bulunduran hayvansal bir besin olarak tanımlanır. Etler elde edildikleri hayvanların türlerine göre gruplandırılır.

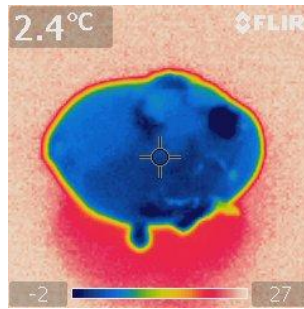
Kırmızı etler, sağlıklı kasaplık hayvanların dinlendirilerek kesilmesi ve kanlarının iyice akıtılmasından sonra deri, baş, ayak ve iç organların uzaklaştırılması sonucu elde edilen karkasın olgunlaştırılması ve kemiklerinden ayrılarak parçalanması sonucu elde edilen değerli bir protein kaynağıdır.



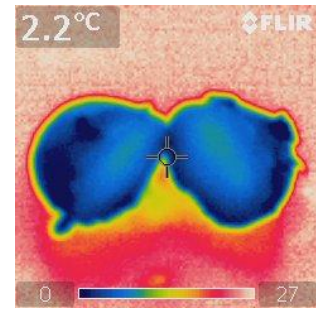
Şekil 5.161. Hava üfleli soğutucuda -20 °C 1m/s için, haşlanmış patatesin yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi



Soğutma Başlamadan



Soğutma Sonrası



Soğutma Sonrası (Ortadan Kesilmiş)

Şekil 5.162. Haşlanmış patatesin -20°C 1m/s de hava üfleli soğutma sonrası sıcaklık değişimi resmi

Beslenme, organizmanın varlığını sürdürebilmesi, büyümesi, hücrelerin yenilenmesi ve yaşam için gerekli olan enerjinin sağlanmasına yarayan maddelerin sindirim yoluyla organizmaya alınmasıdır. Toplumsal ve çevresel faktörler, insanlardaki beslenme şekillerini etkiler. Yeterli ve dengeli beslenme, insan vücudunun gereksinimi olan proteinlerin, vitaminlerin, mineral maddelerin

ve enerjinin gereken miktarlarda alınmasıdır. Dengesiz beslenme ise karın doyuracak kadar besin alındığı halde, bu besinlerin vücuda yararlı hale gelmesi için gerekli proteinlerin, vitaminlerin ve minerallerin bazılarının alınamamasıdır. Dengeli beslenmede önemli bir rolü olan et de diğer birçok gıda maddesinde olduğu gibi değişen oranlarda protein, yağ, karbonhidrat, mineral madde, vitamin ve diğer unsurlardan oluşmuştur.

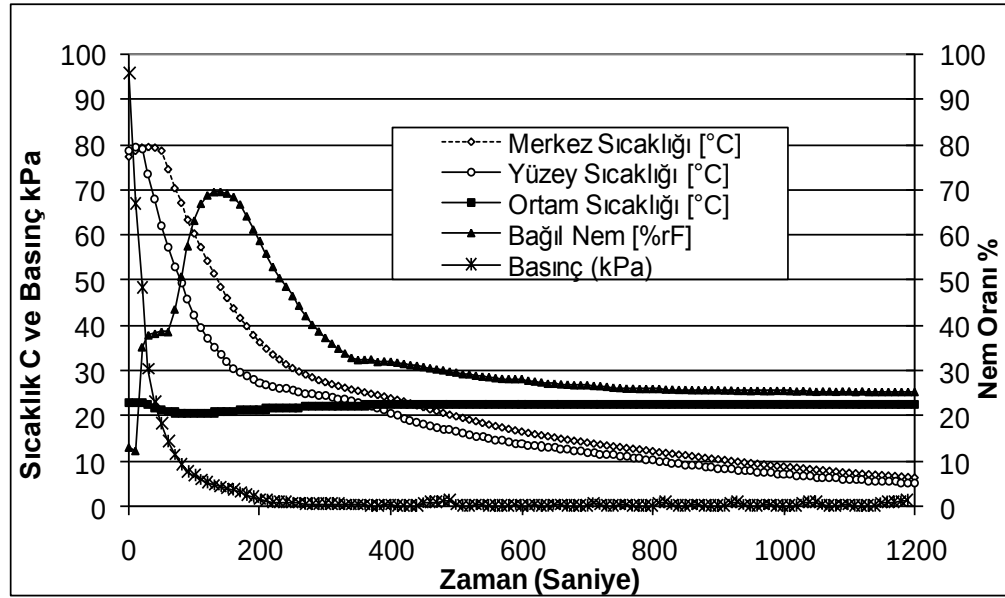
Etlerde yaklaşık %18-21 civarında protein bulunmaktadır. Ancak gıda maddelerindeki protein oranı kadar alınan proteinlerin vücut tarafından ne kadarının değerlendirilebildiğidir. Biyolojik değer olarak tanımlanan bu özellik başta yumurta olmak üzere hayvansal gıda maddelerinde oldukça yüksektir. Sığır etinin yaklaşık %16'sı, dana etinin %7'si, koyun etinin %22'si yağdır. Yağlar, etin veya et ürünlerinin olgunlaşması sırasında birçok aroma maddesini çözücü olarak görev yaparlar, dolayısı ile yağlar et ve et ürünlerinin lezzetini arttırır. Bununla birlikte aşırı yağ tüketimi ciddi sorunlara da yol açabilmektedir. Etlerin beslenme konusunda söylenebilecek dezavantajı yağ içeriği ile ilgilidir. Hayvansal yağlar doymuş yağ asitlerinden zengin olduğu için ve bunlarla kalp-damar hastalıkları arasında ilişki kurulduğu için tüketilecek etlerin nispeten düşük yağlı olması tercih edilmelidir. Birçok gıda maddesi karbonhidrattan zengindir ve fazla tüketilmeleri durumunda kilo problemine yol açabilmektedirler. Halbuki et karbonhidrat bakımından oldukça fakirdir (% 0.3-1.0) ve bu açıdan bir sorun oluşturmamaktadır. Et aynı zamanda iyi bir vitamin kaynağıdır ve Vitamin A, B1, B2, B6, B12 ve E ihtiva eder. B12 vitamininin önemli kaynaklarından birisidir. Bu vitamin bitkilerde bulunmayan, maya ve hayvansal dokularda meydana gelen tek vitamindir. Folik asit seviyesinin korunmasında rol oynar. Sinir sistemi için gereklidir. Günlük gereksinim 5 mg civarındadır.

Dana kıymasından hazırlanmış olan köftenin vakum altında, buzdolabında ve derin dondurucuda ve hava üfleli soğutucuda soğutulma parametreleri incelenmiş ve aşağıda detaylı bilgiler verilmiştir.

5.8.1 Köftenin vakum altında soğutulması

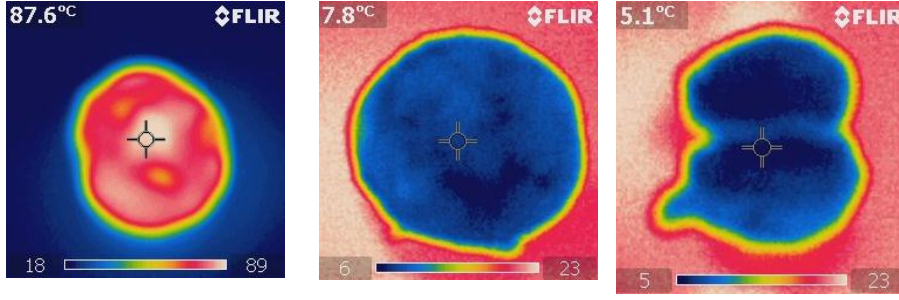
Köftenin vakum altında soğutulmasına ilişkin deneyler vakum değeri 7 mbar, 10 mbar ve 15 mbar basınçlarda, iki pompanın çalışır durumda

gerçekleştirilmiştir. Sirkülasyonlu su banyosu sıcaklığı -20°C 'de tutulmuş, böylece eşanjör içerisinden geçen havanın nemi soğutularak alınarak pompaya nem gitmesi önlenmiştir. İlk deneyde çift pompa çalıştırılarak ortam basıncı 7 mbar'a getirilmiş ve vakum pompası bu basınçta çalışır durumda deney gerçekleştirilmiştir. Şekil 5.163'de görüldüğü gibi, köfte örneklerinin merkez ve yüzey sıcaklığı hızlı bir biçimde düşmüştür. Yaklaşık olarak 80°C sıcaklıktaki köfte örneğinin vakum altında soğutulması sırasında merkez ve yüzey sıcaklıklarının düşüşü benzer şekilde gerçekleşmiştir. 7mbar vakum altında ölçülen en düşük merkez ve yüzey sıcaklıkları sırasıyla 5 ve 5.8°C olarak tespit edilmiştir. Köfte örneğine ait yüzey ve merkezdeki sıcaklık değişimi Şekil 5.163'de verilmiştir. 5°C sıcaklığa gelmesi yaklaşık 1200 saniye (20 dakika) almıştır.



Şekil 5.163. 7 mbar sabit basınç altında köftenin yüzey, merkez ve ortam sıcaklığı, nem oranı ve basınç değişimi.

Şekil 5.164'de 7 mbar sabit basınç altında soğutulan köfte örneklerinin vakum soğutma öncesi ve sonrasında termal kamera yardımıyla tespit edilmiş sıcaklık değişimini gösteren resimler verilmektedir.



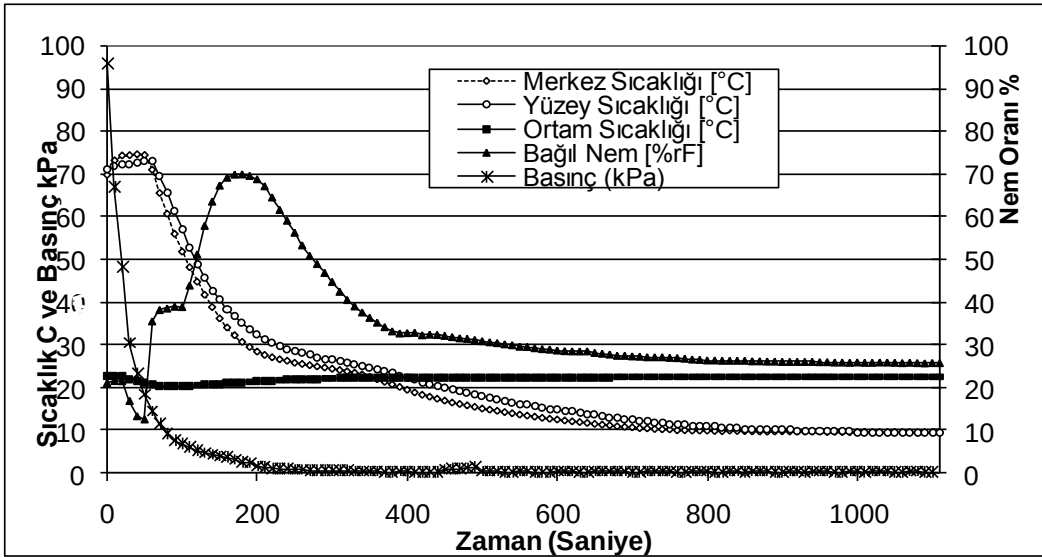
Pişirme Sonrası

Soğutma Sonrası

Soğutma Sonrası Kesilmiş

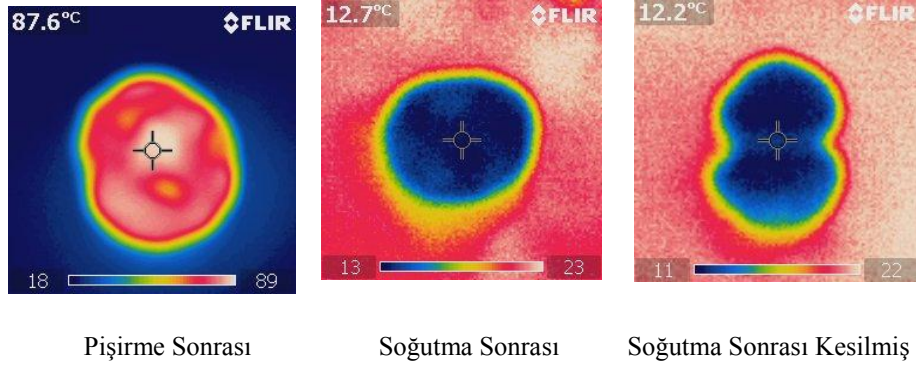
Şekil 5.164. 7 mbar basınç altında köftenin vakum soğutma öncesi ve sonrası sıcaklık değişimi resmi

Bu deneyde çift pompa çalıştırılarak ortam basıncı 10mbar'a getirilmiştir ve vakum ortamında köfte örneklerine ait yüzey ve merkez sıcaklığı ile ortam sıcaklık ve bağıl nemindeki değişimler takip edilmiştir. Şekil 5.165'de köfteye ait merkez ve yüzey sıcaklıkları ile ortam sıcaklığı, bağıl nemi ve basıncındaki değişim verilmiştir. 10mbar basınç altında köftelerin en düşük yüzey ve merkez sıcaklıkları sırasıyla 9°C ve 9,2°C olarak gerçekleşmiştir. Bu sıcaklıklar 7mbar vakum basıncı altında gerçekleştirilen deneylerde elde edilen sıcaklıklardan 4°C daha yüksektir. 9 °C sıcaklığın altına inmek mümkün olmamıştır.



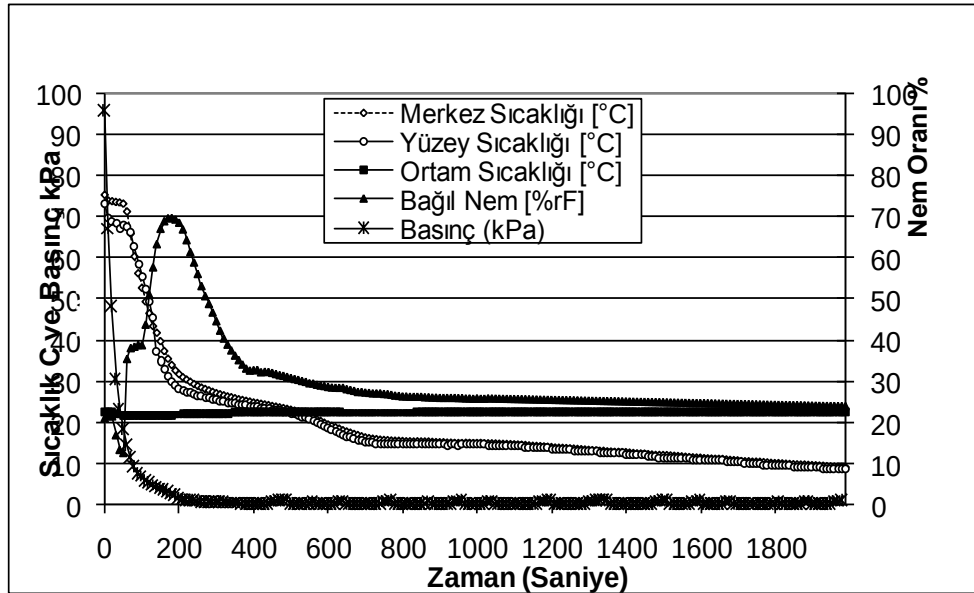
Şekil 5.165. 10 mbar sabit basınç altında köftenin yüzey, merkez ve ortam sıcaklığı, nem oranı ve basınç değişimi.

Şekil 5.166'te 10mbar sabit basınç altında köfte örneklerinin vakum soğutma öncesi ve sonrasında termal kamera yardımıyla tespit edilmiş sıcaklık değişimini gösteren resimler verilmektedir.



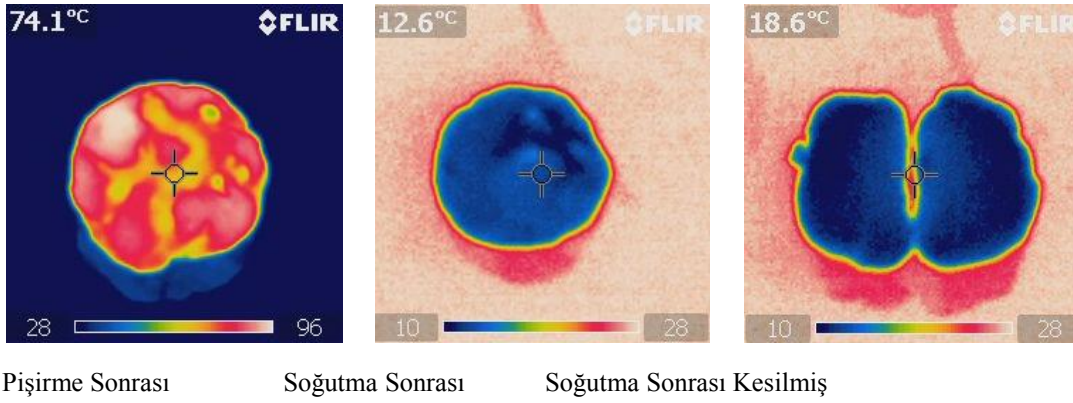
Şekil 5.166. 10 mbar basınç altında köftenin vakum soğutma öncesi ve sonrası sıcaklık değişimi resmi

Bu deney 15 mbar sabit basınçta çift pompa kullanılarak yürütülmüştür. Şekil 5.167’te 15mbar basınç altında köftee ait merkez ve yüzey sıcaklıkları ile ortam sıcaklığı, bağıl nemi ve basıncının zamana bağlı değişimi verilmiştir. 15mbar basınç altında köftelerin en düşük yüzey ve merkez sıcaklıkları sırasıyla 10,3°C ve 10°C olarak gerçekleşmiştir. Bu sıcaklıklar 10mbar vakum basıncında elde edilen sıcaklık değerlerine yakın, ancak 7mbar vakum basıncı altında gerçekleştirilen deneylerde elde edilen sıcaklıklardan daha yüksektir.



Şekil 5.167. 15 mbar sabit basınç altında köftenin yüzey, merkez ve ortam sıcaklığı, nem oranı ve basınç değişimi.

Şekil 5.168’da 15 mbar sabit basınç altında köfte örneklerinin vakum soğutma öncesi ve sonrasında termal kamera yardımıyla tespit edilmiş sıcaklık değişimini gösteren resimler verilmektedir.



Şekil 5.168. 15 mbar basınç altında köftenin soğutma öncesi ve sonrası sıcaklık değişimi resmi

Çizelge 5.67’de ise köftenin kütlesindeki değişim ve set edilen basınçlarda verilmektedir. Birinci deneyde köftenin başlangıç merkez sıcaklığı 90°C’den 5°C’ye gelirken kütle kaybı 7.44gr olarak gerçekleşmiştir. Kütle kaybı %9 olmuştur. 10mbar vakum basıncında soğutulan köftenin başlangıç merkez sıcaklığı yaklaşık olarak 90°C’den 9°C’ye gelirken kütle kaybı %6 olarak bulunmuştur. 15 mbar basınçta ise, kütle kaybı 6,887gr olarak gerçekleşmiş ve vakum altında soğutulan köfte kütle kaybı %8 oranında olmuştur. İlk üç deneyin sonuçlarına göre, köftelerin soğutulması sırasında vakum basıncı düştükçe kütle kaybı artmaktadır.

Çizelge 5.67. Vakum altında soğutmada köftenin başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı

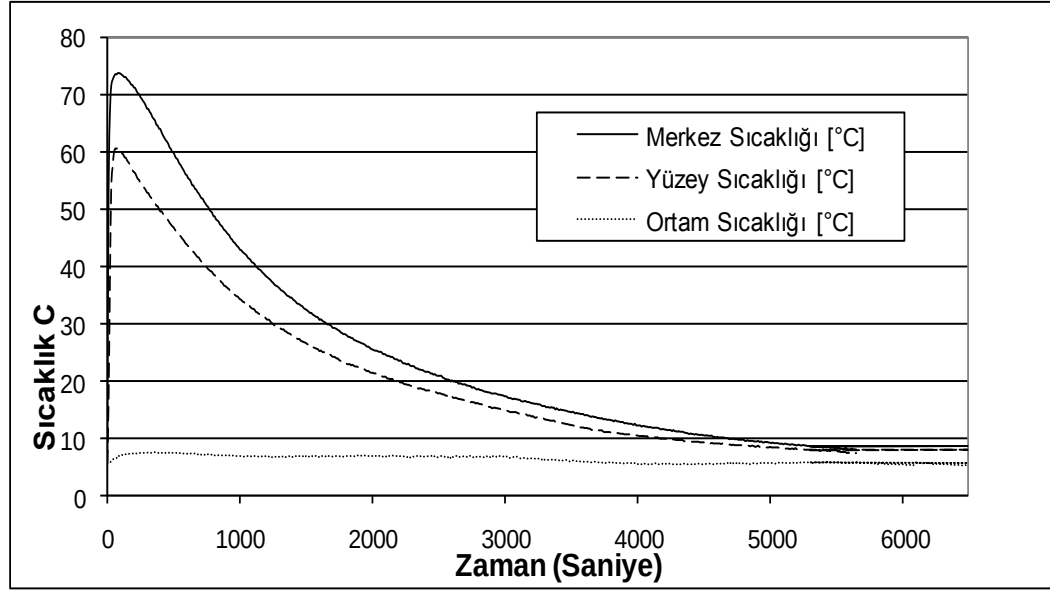
Vakum basıncı (mbar)	7	10	15
Pişirme öncesi kütle (g)	100,584	99,922	100,335
Pişirme sonrası kütle (g)	82,1	84,973	84,129
Kütle kaybı (g)	18,174	14,949	16,206
Kütle kaybı oranı %	18	14	16
Soğutma sonrası kütle (g)	74,659	87,622	77,242
Soğutma sonrası kütle kaybı (g)	7,44	7,351	6,887
Soğutma sonrası kütle kaybı oranı %	9	6	8

5.8.2. Köftenin klasik yöntemle soğutulması

Köftenin klasik olarak soğutulması buzdolabında (5°C, -16°C, -20°C sıcaklıkta) yapılmıştır.

Köftenin klasik soğutmada 5°C sıcaklıkta soğutulması esnasındaki sıcaklık değişimi Şekil 5.169’de verilmiştir. 5°C sıcaklık altında soğutulan köftenin

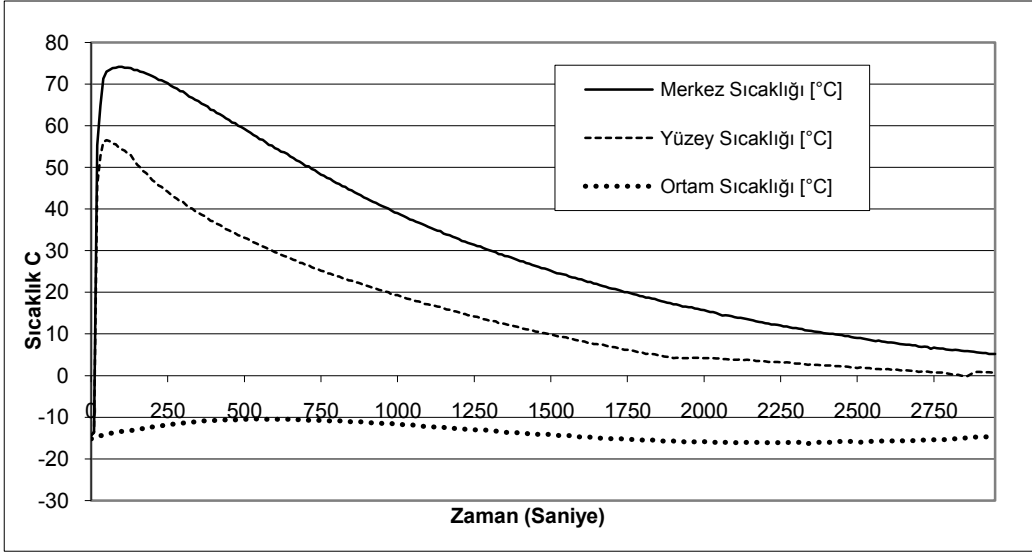
merkez sıcaklığının 5°C'ye soğuması için geçen süre yaklaşık olarak 6200 saniye (1,72 saat) olmuştur. Vakum soğutmada bu süre uygulanan vakum basıncına bağlı olmakla birlikte, 7 mbar basınç değerinde vakum altında soğutulan köftenin merkez sıcaklığının 5°C'ye yaklaşık olarak 20 dakika içinde düştüğü bulunmuştur. Bu süre, 5°C sıcaklıkta soğutmaya göre 5,1 kat daha hızlı bir soğutmaya ifade etmektedir.



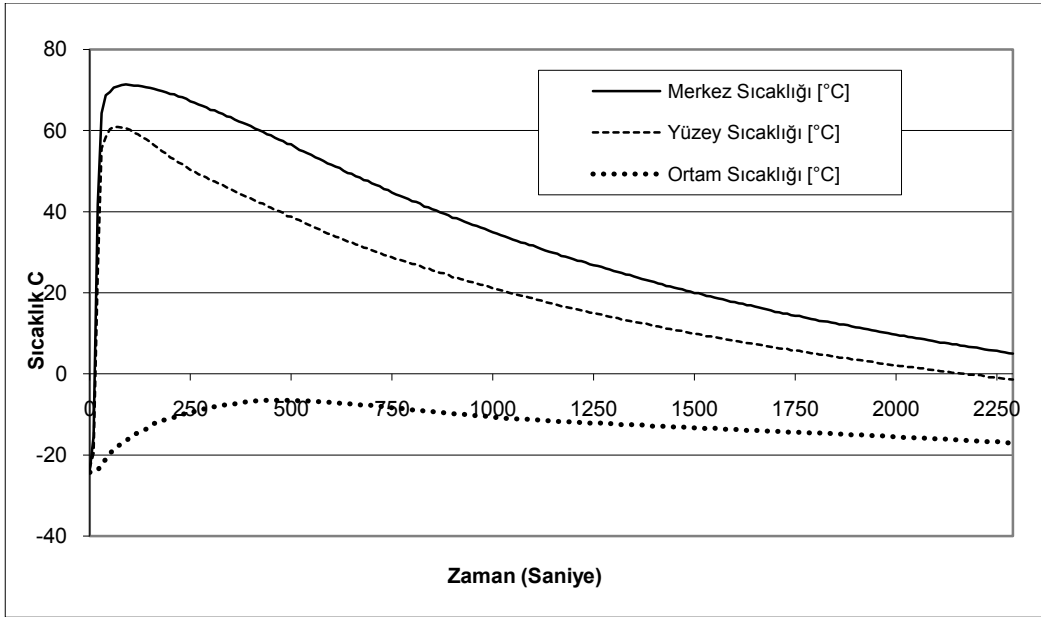
Şekil 5.169. Buzdolabında 5°C sıcaklık altında köftenin yüzey sıcaklığı, merkez sıcaklığı ve ortam sıcaklığındaki değişim.

Köftenin derin dondurucuda -16°C sıcaklıkta soğutulması esnasındaki sıcaklık değişimi Şekil 5.170'de verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi, düşük sıcaklıklarda köftenin yüzeyinde hızlı bir soğuma gerçekleşirken, merkezdeki sıcaklık değişimi yavaş olmaktadır. Köftenin merkez sıcaklığı 2950 saniyede (~50 dakika) depolama sıcaklığı olan 5°C sıcaklığına gelmektedir. Oysaki yüzey sıcaklığı 45'nci dakikada 0°C'nin altına düşmekte ve köftenin yüzeyinde donma gerçekleşmektedir. Bu durum, soğutulacak ürünlerde arzu edilmeyen bir özelliktir ve ürünün yapısal kalitesini olumsuz yönde etkilemektedir.

Köftenin dondurucuda -20°C sıcaklıkta soğutulmasına ilişkin deneysel sonuçlar Şekil 5.171'da verilmiştir. Sonuçlar -16°C'de soğutma verileri ile paralellik göstermektedir, fakat bu sıcaklıkta ürünün soğutulması daha kısa sürede gerçekleşmiştir (yaklaşık 2250 saniye).



Şekil 5.170. Buzdolabında -16°C sıcaklık altında köftenin yüzey sıcaklığı, merkez sıcaklığı ve ortam sıcaklığındaki değişim.



Şekil 5.171. Buzdolabında -20°C sıcaklık altında köftenin yüzey sıcaklığı, merkez sıcaklığı ve ortam sıcaklığındaki değişim.

Klasik soğutma yapılmadan ve yapıldıktan sonra da köftenin ağırlıkları ölçülmüş ve kütle kaybı belirlenmiştir. 5°C sıcaklıkta gerçekleştirilen soğutma işlemi çok uzun sürmüştür ve örneklerdeki kütle kaybı ise %5' civarlarındadır (Çizelge 5.68). Klasik soğutma yapılmadan ve yapıldıktan sonra da köftenin ağırlıkları ölçülmüş ve kütle kaybı belirlenmiştir. Klasik soğutmada derin dondurucuda bu deney sıcaklığı -16 ve -20°C'ye ayarlanmak suretiyle yürütülmüştür. Bu sıcaklıklarda soğutulan köfeye ait ağırlıklar ve kütle kaybına ilişkin veriler Çizelge 5.68'de

verilmiştir. Köftenin merkez sıcaklığının 5°C sıcaklığa kadar soğutulması sırasında köftede kütle kaybı yaklaşık %4 olarak gerçekleşmiştir. Derin dondurucuda gerçekleştirilen soğutma süreleri kısa olurken, kütle kaybı vakum altında soğutmaya oranlar daha düşük kalmıştır.

Çizelge 5.68. Köftenin klasik soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı

Sıcaklık (°C)	+5	-16	-20
Piştirme öncesi kütle (g)	100,172	100,314	100,58
Piştirme sonrası kütle (g)	88,032	88,38	91,81
Kütle kaybı (g)	12,14	11,934	8,77
Kütle kaybı oranı %	12	11	8
Soğutma sonrası kütle (g)	83,192	84,327	87,326
Soğutma sonrası kütle kaybı (g)	4,84	4,053	4,484
Soğutma sonrası kütle kaybı oranı %	5	4	4

5.8.3. Köftenin Hava Üfleli Soğutucuda Soğutulması

Köftenin hava üfleli soğutucuda soğutulmasına ilişkin deneyler; - 20°C, - 16°C, 5°C derecelerde, 1 m/s, 2 m/s, 4 m/s hızlarda yapılmıştır. Soğutma deneyleri hava akış yönü yukarıdan aşağıya doğru gerçekleşmektedir. Sıcaklık probu merkez, yüzey ve ortam sıcaklıklarını ölçerken hız probu hava hızı değerlerini ölçerek deney gerçekleşmektedir.

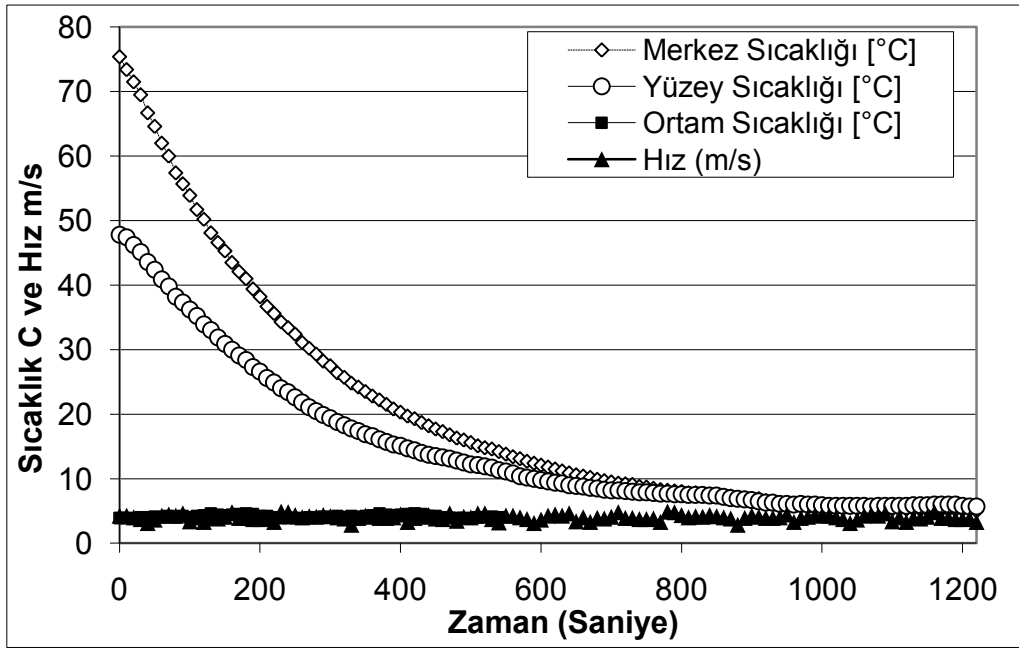
a) 5°C de 4 m/s hız altında

İlk deneyde ortam sıcaklığı 5°C getirilmiş ve hava akış hızı 4m/s de gerçekleştirilmiştir. Şekil 5.172’de görüldüğü gibi, merkez ve yüzey sıcaklığı düşmüştür. 20 dakikada merkez sıcaklığı 5°C düşmüş ve deney sona ermiştir. Sıcaklıktaki değişim ve hızdaki değişim Şekil 5.172 de verilmiştir.

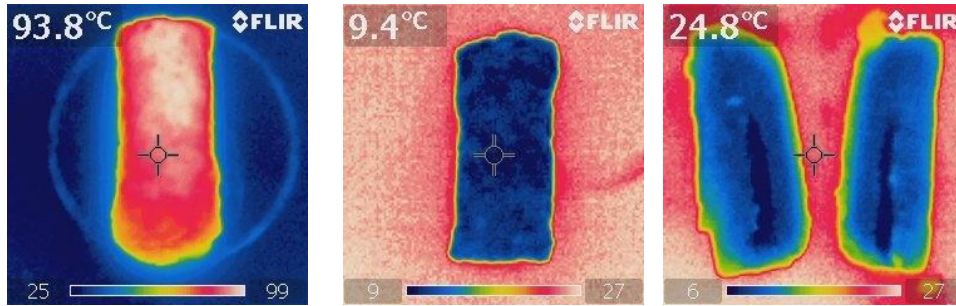
Çizelge 5.69’te ise köftenin kütlesindeki değişim verilmektedir. Deneyde köftenin merkez sıcaklığı başlangıç sıcaklığı olan 75°C’den 5°C’ye gelirken kütle kaybı 0,146 gr olmuştur. Kütle kaybı %1,7 olmuştur. Şekil 5.173’de soğutma öncesi ve sonrasına ait termal kamera görüntülerine yer verilmiştir.

Çizelge 5.69 Köftenin 5 °C 4m/s için hava üflemeli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı

Başlangıç Kütle:	8,322 gr
Son Kütle:	8,176 gr
Kütle Kaybı	0,146 gr
Kütle Kaybı Oranı	%1,7



Şekil 5.172. Hava üflemeli soğutucuda 5°C 4m/s için, köftenin yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi



Soğutma Başlamadan

Soğutma Sonrası

Soğutma Sonrası (Ortadan Kesilmiş)

Şekil 5.173. Hava üflemeli soğutucuda 5°C 4m/s için, köftenin yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi

b) 5°C de 2 m/s hız altında

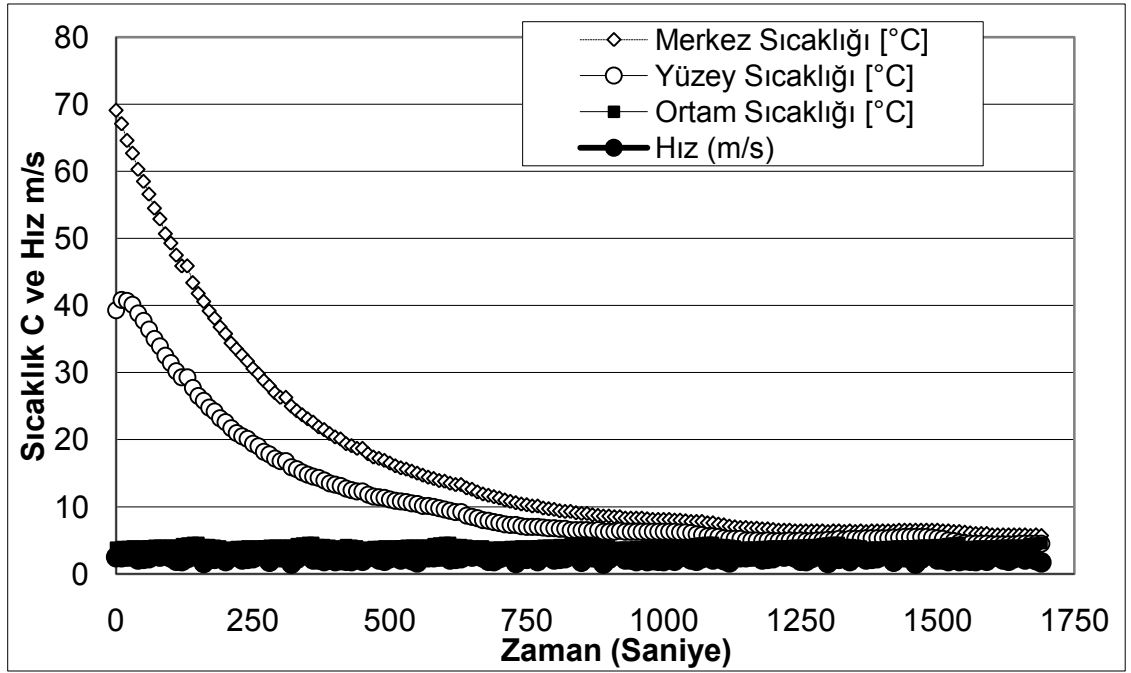
Deneyde ortam sıcaklığı 5°C getirilmiş ve hava akış hızı 2m/s de gerçekleştirilmiştir. Şekil 5.174'de görüldüğü gibi, merkez ve yüzey sıcaklığı

düşmüştür. 1700 saniyede merkez sıcaklığı 5°C düşmüş ve deney sona ermiştir. Sıcaklıktaki değişim ve hızdaki değişim Şekil 5.174' de verilmiştir.

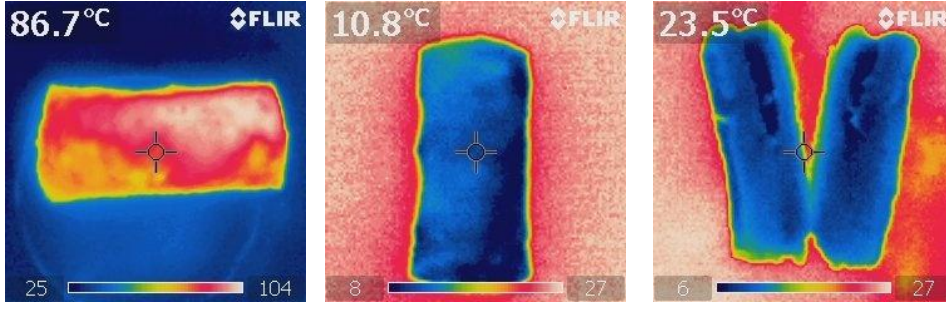
Çizelge 5.70'te ise köftenin kütlesindeki değişim verilmektedir. Deneyde köftenin merkez sıcaklığı başlangıç sıcaklığı olan 70°C 'den 5°C 'ye gelirken kütle kaybı 0,253 gr olmuştur. Kütle kaybı %2,8 olmuştur. Şekil 5.175 de soğutma öncesi ve sonrasına ait termal kamera görüntülerine yer verilmiştir.

Çizelge 5.70 Köftenin 5°C 2m/s için hava üfleli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı

Başlangıç Kütle:	8,897 gr
Son Kütle:	8,644 gr
Kütle Kaybı	0,253 gr
Kütle Kaybı Oranı	% 2,8



Şekil 5.174 Hava üfleli soğutucuda 5°C 2m/s için, köftenin yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi



Soğutma Başlamadan

Soğutma Sonrası

Soğutma Sonrası (Ortadan Kesilmiş)

Şekil 5.175. Hava üflemeli soğutucuda 5°C 2m/s için, köftenin yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi

c) 5°C de 1 m/s hız altında

Deneyde ortam sıcaklığı 5°C getirilmiş ve hava akış hızı 1m/s de gerçekleştirilmiştir. Şekil 5.176'de görüldüğü gibi, merkez ve yüzey sıcaklığı düşmüştür. 2140 saniyede merkez sıcaklığı 5°C düşmüş ve deney sona ermiştir. Sıcaklıktaki değişim ve hızdaki değişim Şekil 5.176' de verilmiştir.

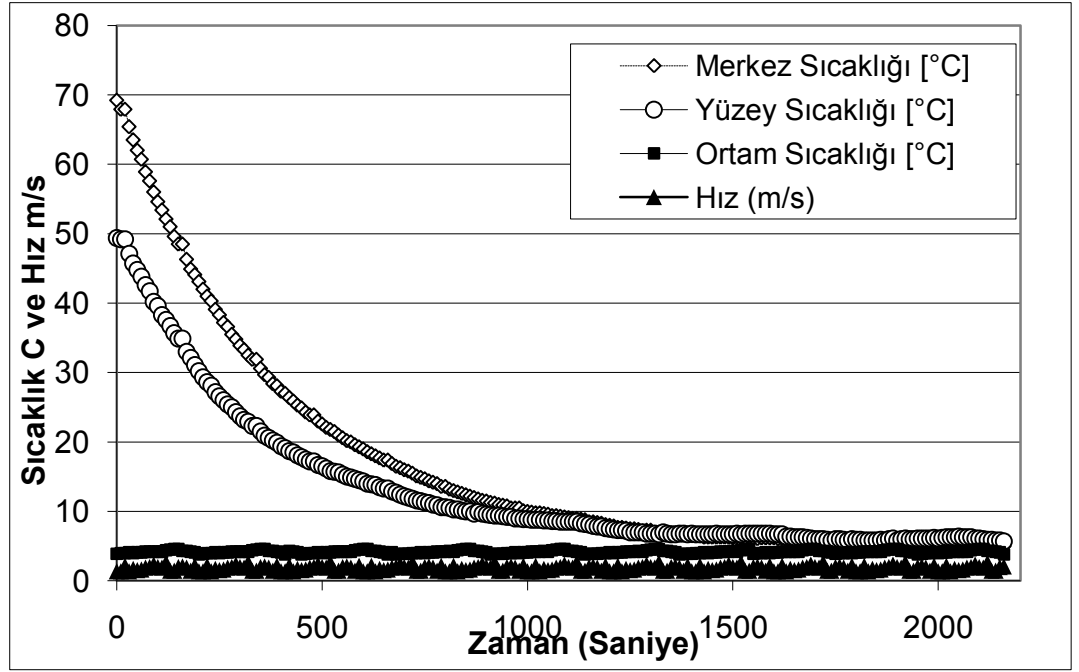
Çizelge 5.71'te ise köftenin kütlesindeki değişim verilmektedir. Deneyde köftenin merkez sıcaklığı başlangıç sıcaklığı olan 76°C'den 5°C'ye gelirken kütle kaybı 0,256 gr olmuştur. Kütle kaybı %3,7 olmuştur. Şekil 5.177'de soğutma öncesi ve sonrasına ait termal kamera görüntülerine yer verilmiştir.

Çizelge 5.71 Köftenin 5 °C 1m/s için hava üflemeli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı

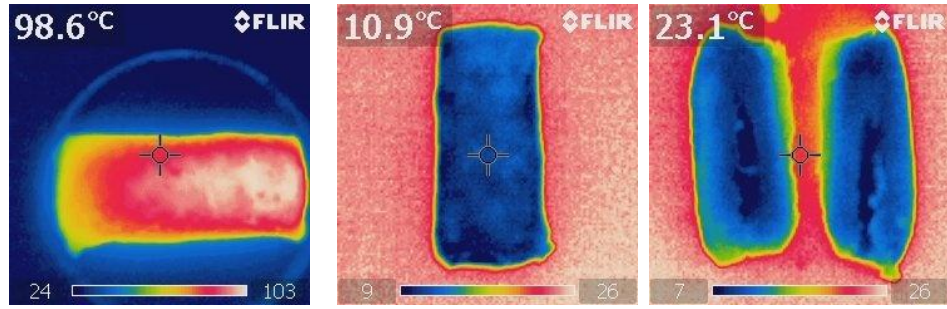
Başlangıç Kütle:	7,132 gr
Son Kütle:	6,865 gr
Kütle Kaybı	0,256 gr
Kütle Kaybı Oranı	% 3,7

d) -16°C de 4 m/s hız altında

Deneyde ortam sıcaklığı -16°C getirilmiş ve hava akış hızı 4 m/s de gerçekleştirilmiştir. Şekil 5.178'de görüldüğü gibi, merkez ve yüzey sıcaklığı düşmüştür. 10 dakikada merkez sıcaklığı 5°C düşmüş ve deney sona ermiştir. Sıcaklıktaki değişim ve hızdaki değişim Şekil 5.178' de verilmiştir.



Şekil 5.176 Hava üfleli soğutucuda 5°C 1m/s için, köftenin yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi



Soğutma Başlamadan

Soğutma Sonrası

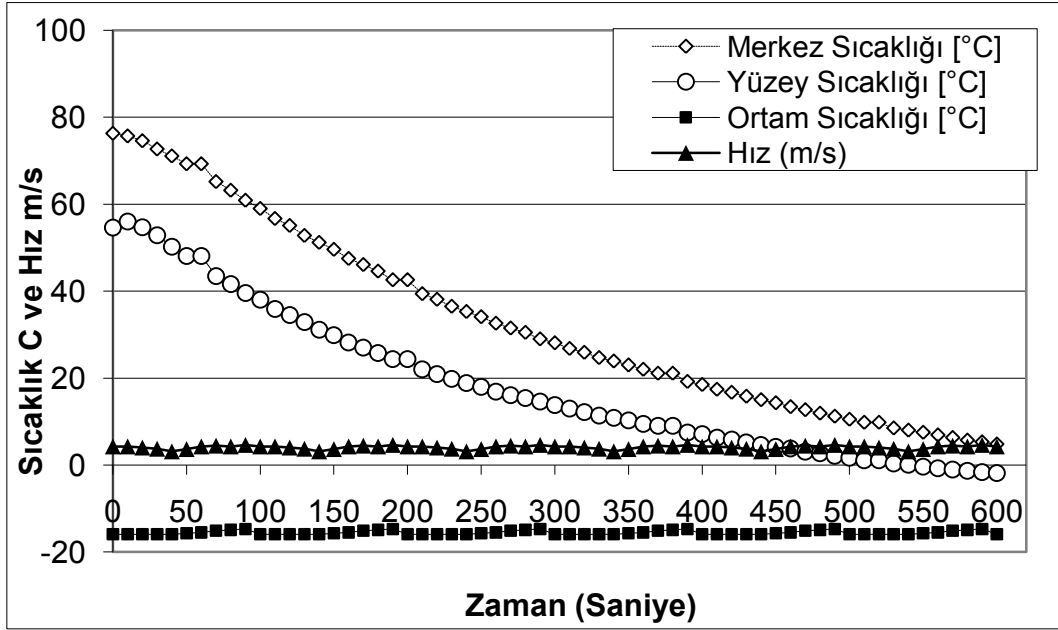
Soğutma Sonrası (Ortadan Kesilmiş)

Şekil 5.177. Hava üfleli soğutucuda 5°C 1m/s için, köftenin yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi

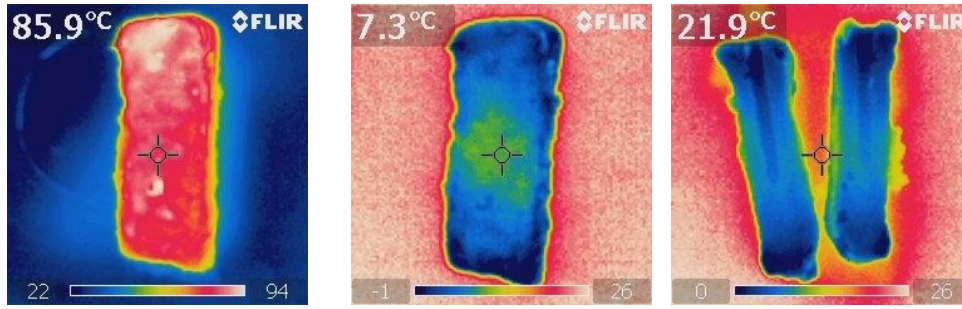
Çizelge 5.72’te ise köftenin kütlesindeki değişim verilmektedir. Deneyde köftenin merkez sıcaklığı başlangıç sıcaklığı olan 76°C’den 5°C’ye gelirken kütle kaybı 0,356 gr olmuştur. Kütle kaybı %2,4 olmuştur. Şekil 5.179’de soğutma öncesi ve sonrasına ait termal kamera görüntülerine yer verilmiştir.

Çizelge 5.72. Köftenin -16°C 4m/s için hava üfleli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı

Başlangıç Kütle:	14,682 gr
Son Kütle:	14,326 gr
Kütle Kaybı	0,356 gr
Kütle Kaybı Oranı	%2,4



Şekil 5.178. Hava üflemeli soğutucuda -16°C 4m/s için, köftenin yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi



Soğutma Başlamadan

Soğutma Sonrası

Soğutma Sonrası (Ortadan Kesilmiş)

Şekil 5.179. Hava üflemeli soğutucuda -16°C 4m/s için, köftenin yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi

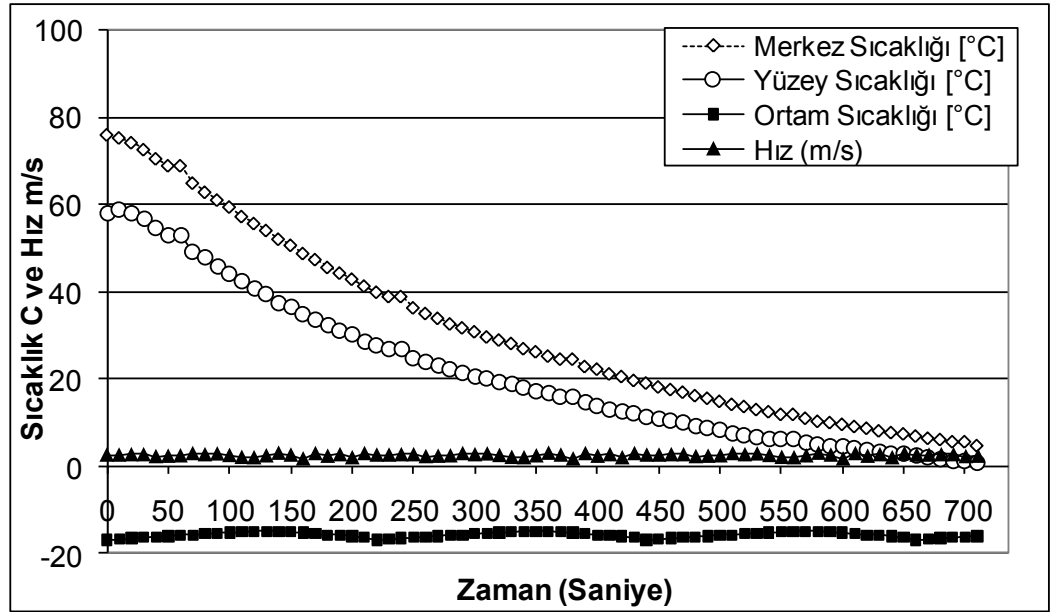
e) -16°C de 2 m/s hız altında

Deneyde ortam sıcaklığı -16°C getirilmiş ve hava akış hızı 2 m/s de gerçekleştirilmiştir. Şekil 5.180'de görüldüğü gibi, merkez ve yüzey sıcaklığı düşmüştür. 720 saniyede merkez sıcaklığı 5°C düşmüş ve deney sona ermiştir. Sıcaklıktaki değişim ve hızdaki değişim Şekil 5.180' de verilmiştir.

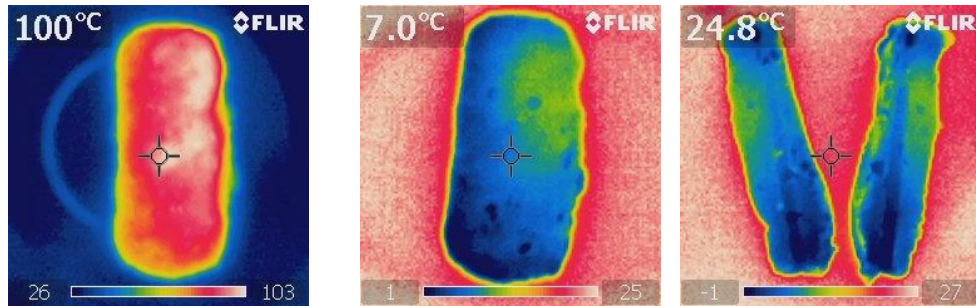
Çizelge 5.73'te ise köftenin kütlesindeki değişim verilmektedir. Deneyde köftenin merkez sıcaklığı başlangıç sıcaklığı olan 76°C'den 5°C'ye gelirken kütle kaybı 0,567 gr olmuştur. Kütle kaybı %3,4 olmuştur. Şekil 5.181'de soğutma öncesi ve sonrasına ait termal kamera görüntülerine yer verilmiştir.

Çizelge 5.73. Köftenin -16°C 2m/s için hava üflemeli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı

Başlangıç Kütle:	16,709 gr
Son Kütle:	16,142 gr
Kütle Kaybı	0,567 gr
Kütle Kaybı Oranı	%3,4



Şekil 5.180 Hava üflemeli soğutucuda -16°C 2m/s için, köftenin yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi



Soğutma Başlamadan

Soğutma Sonrası

Soğutma Sonrası (Ortadan Kesilmiş)

Şekil 5.181. Hava üflemeli soğutucuda -16°C 2m/s için, köftenin yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi

i) -16°C de 1 m/s hız altında

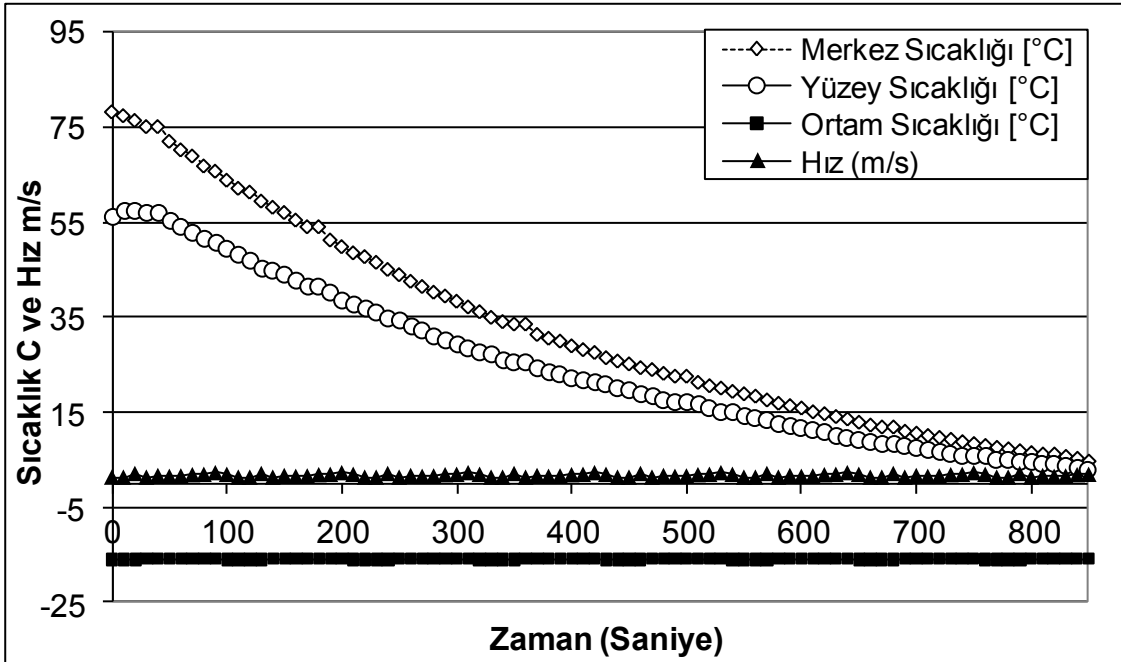
Deneyde ortam sıcaklığı -16°C getirilmiş ve hava akış hızı 1 m/s de gerçekleştirilmiştir. Şekil 5.182’de görüldüğü gibi, merkez ve yüzey sıcaklığı

düşmüştür. 14 dakikada merkez sıcaklığı 5°C düşmüş ve deney sona ermiştir. Sıcaklıktaki değişim ve hızdaki değişim Şekil 5.182’ de verilmiştir.

Çizelge 5.74’te ise köftenin kütlesindeki değişim verilmektedir. Deneyde köftenin merkez sıcaklığı başlangıç sıcaklığı olan 78°C ’den 5°C ’ye gelirken kütle kaybı 0,365 gr olmuştur. Kütle kaybı %2,6 olmuştur. Şekil 5.183 de soğutma öncesi ve sonrasına ait termal kamera görüntülerine yer verilmiştir.

Çizelge 5.74. Köftenin -16°C 1m/s için hava üflemeli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı

Başlangıç Kütle:	13,980 gr
Son Kütle:	13,615 gr
Kütle Kaybı	0,365 gr
Kütle Kaybı Oranı	%2,6

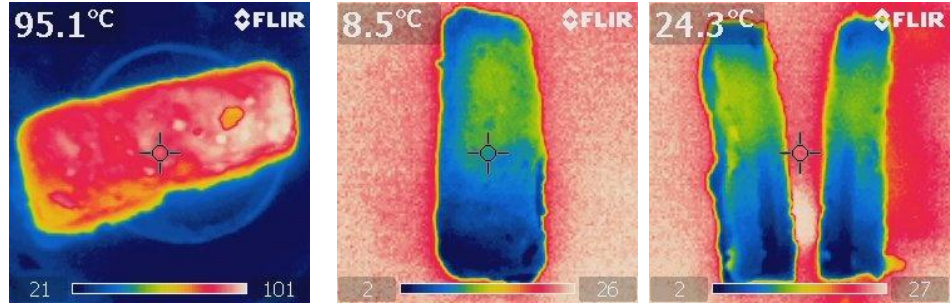


Şekil 5.182 Hava üflemeli soğutucuda -16°C 1m/s için, köftenin yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi

g) -20°C de 4 m/s hız altında

Deneyde ortam sıcaklığı -20°C getirilmiş ve hava akış hızı 4 m/s de gerçekleştirilmiştir. Şekil 5.184’de görüldüğü gibi, merkez ve yüzey sıcaklığı

düşmüştür. 11 dakikada merkez sıcaklığı 5°C düşmüş ve deney sona ermiştir. Sıcaklıktaki değişim ve hızdaki değişim Şekil 5.184' de verilmiştir.



Soğutma Başlamadan

Soğutma Sonrası

Soğutma Sonrası (Ortadan Kesilmiş)

Şekil 5.183. Hava üflemeli soğutucuda -16°C 1m/s için, köftenin yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi

Çizelge 5.75'te ise köftenin kütlesindeki değişim verilmektedir. Deneyde köftenin merkez sıcaklığı başlangıç sıcaklığı olan 60°C 'den 5°C 'ye gelirken kütle kaybı $0,462\text{ gr}$ olmuştur. Kütle kaybı $\%2,7$ olmuştur. Şekil 5.185'de soğutma öncesi ve sonrasına ait termal kamera görüntülerine yer verilmiştir.

Çizelge 5.75 Köftenin -20°C 4m/s için hava üflemeli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı

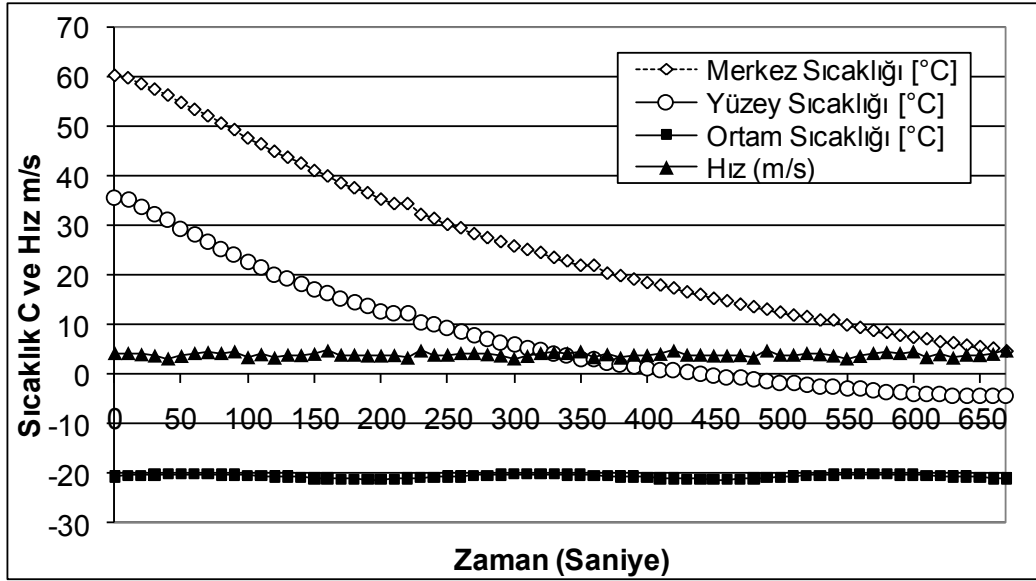
Başlangıç Kütle:	16,075 gr
Son Kütle:	15,613 gr
Kütle Kaybı	0,462 gr
Kütle Kaybı Oranı	$\%2,7$

h) -20°C de 2 m/s hız altında

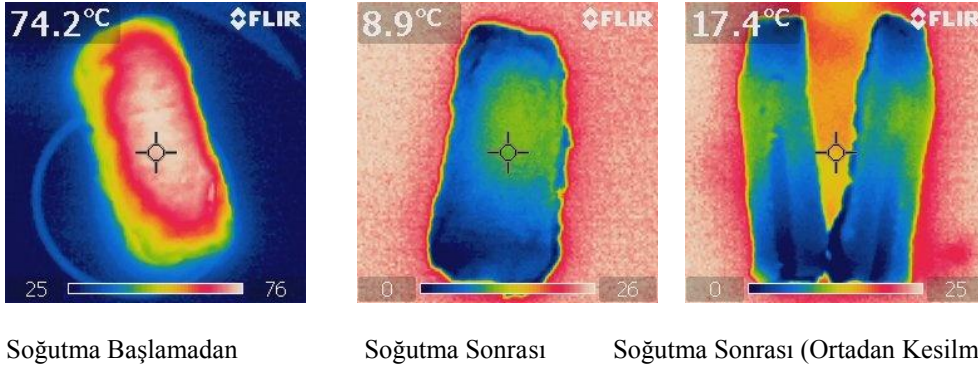
Deneyde ortam sıcaklığı -20°C getirilmiş ve hava akış hızı 2 m/s de gerçekleştirilmiştir. Şekil 5.186'de görüldüğü gibi, merkez ve yüzey sıcaklığı düşmüştür. 750 saniyede merkez sıcaklığı 5°C düşmüş ve deney sona ermiştir. Sıcaklıktaki değişim ve hızdaki değişim Şekil 5.186' de verilmiştir.

Çizelge 5.76'te ise köftenin kütlesindeki değişim verilmektedir. Deneyde köftenin merkez sıcaklığı başlangıç sıcaklığı olan 77°C 'den 5°C 'ye gelirken kütle kaybı

0,314 gr olmuştur. Kütle kaybı %2 olmuştur. Şekil 5.187 de soğutma öncesi ve sonrasına ait termal kamera görüntülerine yer verilmiştir.



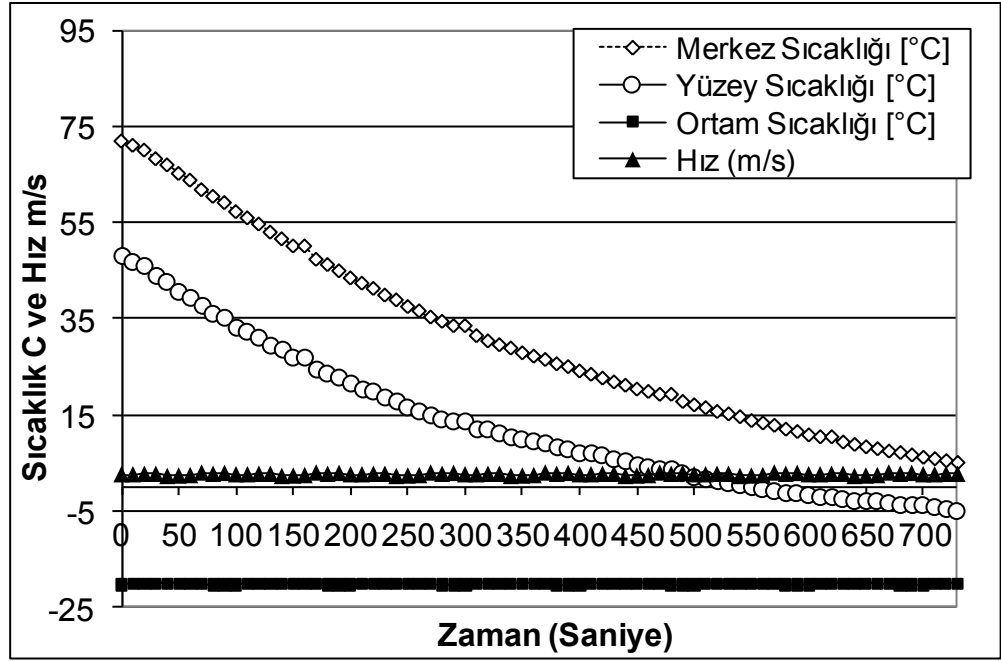
Şekil 5.184. Hava üfleli soğutucuda -20°C 4m/s için, köftenin yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi



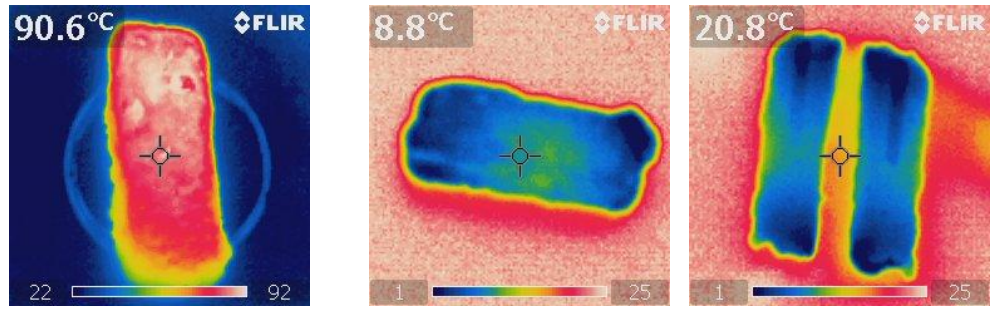
Şekil 5.185. Hava üfleli soğutucuda -20°C 4m/s için, köftenin yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi

Çizelge 5.76. Köftenin -20°C 2m/s için hava üfleli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı

Başlangıç Kütle:	15,742 gr
Son Kütle:	15,428 gr
Kütle Kaybı	0,314 gr
Kütle Kaybı Oranı	%2



Şekil 5.186. Hava üflemeli soğutucuda -20°C 2m/s için, köftenin yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi



Soğutma Başlamadan

Soğutma Sonrası

Soğutma Sonrası (Ortadan Kesilmiş)

Şekil 5.187. Hava üflemeli soğutucuda -20°C 2m/s için, köftenin yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi

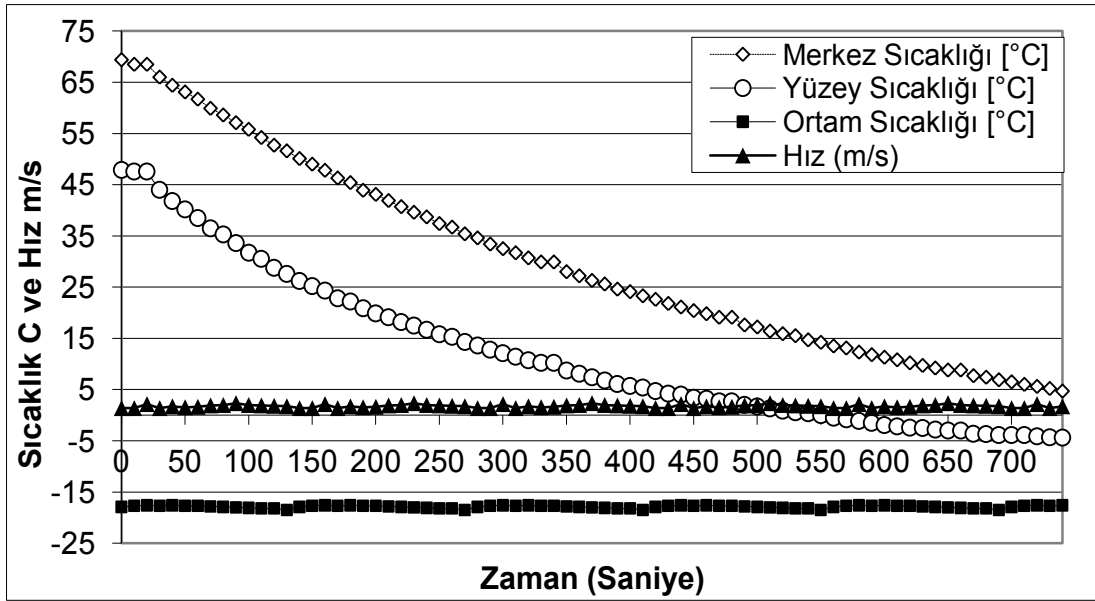
1) -20°C de 1 m/s hız altında

Deneyde ortam sıcaklığı -20°C getirilmiş ve hava akış hızı 1 m/s de gerçekleştirilmiştir. Şekil 5.188.'de görüldüğü gibi, merkez ve yüzey sıcaklığı düşmüştür. 13 dakikada merkez sıcaklığı 5°C düşmüş ve deney sona ermiştir. Sıcaklıktaki değişim ve hızdaki değişim Şekil 5.188'de verilmiştir.

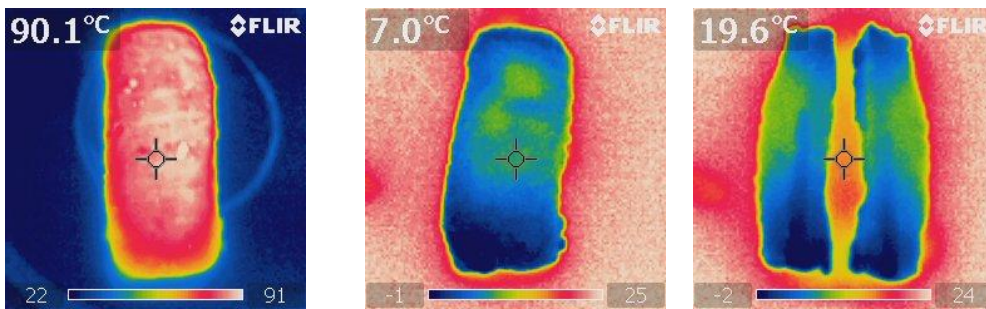
Çizelge.4.77'te ise köftenin kütlesindeki değişim verilmektedir. Deneyde köftenin merkez sıcaklığı başlangıç sıcaklığı olan 70°C 'den 5°C 'ye gelirken kütle kaybı 0,324 gr olmuştur. Kütle kaybı %2,1 olmuştur. Şekil 5.189'de soğutma öncesi ve sonrasına ait termal kamera görüntülerine yer verilmiştir.

Çizelge 5.77. Köftenin -20°C 1m/s için hava üfleli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı

Başlangıç Kütle:	15,417 gr
Son Kütle:	15,093 gr
Kütle Kaybı	0,324 gr
Kütle Kaybı Oranı	%2,1



Şekil 5.188. Hava üfleli soğutucuda -20°C 1m/s için, köftenin yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi



Soğutma Başlamadan

Soğutma Sonrası

Soğutma Sonrası (Ortadan Kesilmiş)

Şekil 5.189. Hava üfleli soğutucuda -20°C 1m/s için, köftenin yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi

5.9. Haşlanmış Tavuğun Soğutulması

Tavuk eti yüksek derecede biyolojik değere sahiptir. Kolay sindirilebilir özellikte olan tavuk etleri, yüksek kalitedeki protein elzem aminoasitlerini, elzem yağ

asitlerini diğer etlerle aynı oranlarda içerir. Tavuk eti aynı zamanda B grubu vitaminlerinin ve demirinde iyi bir kaynağıdır. Enerji değerinin düşük olması, liflerinin kısıllığından dolayı kolay çiğnenebilir ve kolay sindirilebilir olması nedeni ile tavuk etleri çocuk ve yaşlıların beslenmeleri dahil tüm yaş grupları için birçok özel diyetle yer alabilecek özelliktedir.

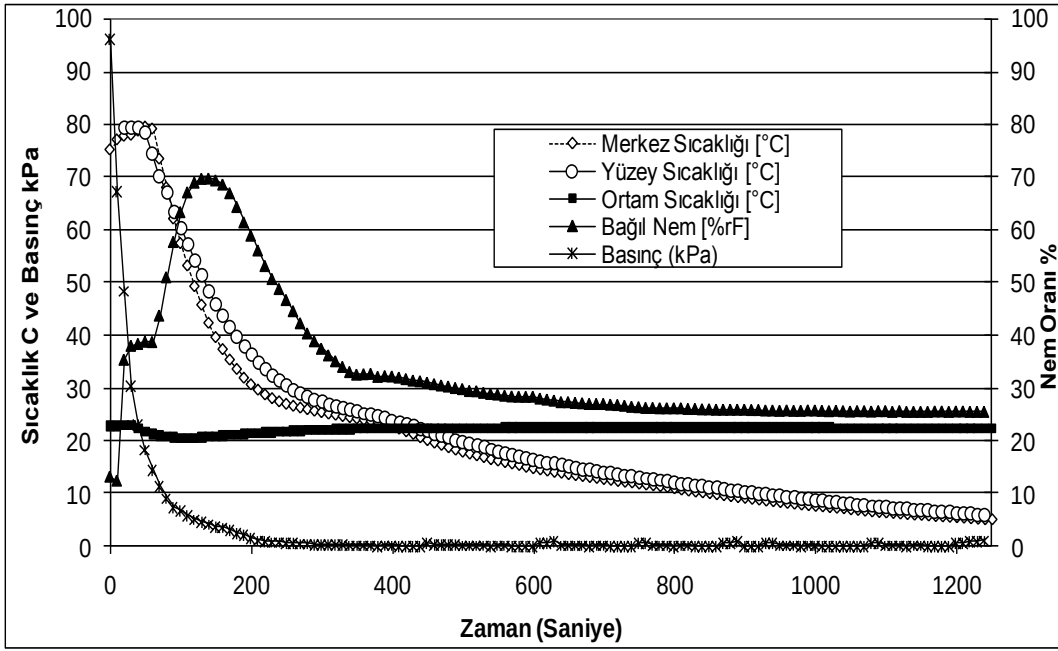
Protein, hücre yapısının temel organik maddesidir. Proteinsiz yaşam olmaz. Protein hücre yapımı ve çalışması için kullanılır. İşte bu yüzden protein; büyüme, gelişme, sağlıklı yaşama ve zeka gelişimi gibi insan hayatıyla ilgili her türlü olayda rol oynar. Proteinler besinlerden alınır. Beslenmemizde bu denli önemli olan proteinler amino asit adını verdiğimiz yapı taşlarından oluşur. Vücutta proteinleri oluşturan aminoasitlerin bir kısmı diğerinden oluşabilir. Bazı aminoasitler ise bu şekilde yapılamazlar yada yeterli miktar ve hızda oluşamaz. İşte vücutta yapılamayan besinsel proteinlerle alınması zorunlu aminoasitlere "elzem aminoasit" denir. Dengeli beslenme için elzem aminoasitlerinin tümünün gereksinmeyi karşılayacak miktarda ve düzenli olarak alınması zorunludur. Gıdanın türüne göre içerdiği protein miktarı, proteinin çeşidi ve bundan vücudun yararlanma derecesi değişir. İşte tavuk eti elzem amino asitlerin tümünü içeren yüksek kaliteli proteine sahiptir ve kolay sindirilebilir özelliktedir.

5.9.1 Haşlanmış tavuğun vakum altında soğutulması

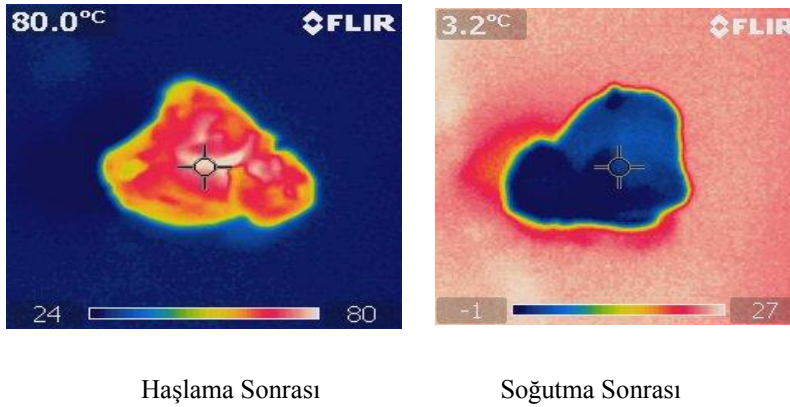
Haşlanmış tavuğun vakum altında soğutulmasına ilişkin deneyler vakum değeri 7 mbar, 10 mbar ve 15 mbar basınçlarda, iki pompanın çalışır durumda gerçekleştirilmiştir.

Haşlanmış tavuk için ilk sonuçlar 7 mbar basınç için verilmiştir. Şekil 5.190'da görüldüğü gibi, haşlanmış tavuk örneklerinin merkez ve yüzey sıcaklığı hızlı bir biçimde düşmüştür. Yaklaşık olarak 80°C sıcaklıktaki tavuk örneğinin vakum altında soğutulması sırasında merkez ve yüzey sıcaklıklarının düşüşü eş eğriler şeklinde gerçekleşmiştir. 7mbar vakum altında ölçülen en düşük merkez ve yüzey sıcaklıkları sırasıyla 6 ve 5°C olarak tespit edilmiştir. Haşlanmış tavuk örneğine ait yüzey ve merkezdeki sıcaklık değişimi Şekil 5.190'de verilmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi, haşlanmış tavuğun merkez ve yüzey sıcaklıklarının 80°C sıcaklıktan depolama sıcaklığı olan 5°C sıcaklığa gelmesi yaklaşık 20 dakika bir zaman almıştır.

Haşlanmış tavuğun soğutma öncesi ve sonrasına ilişkin termal kamera görüntüleri Şekil 5.191 de verilmiştir.

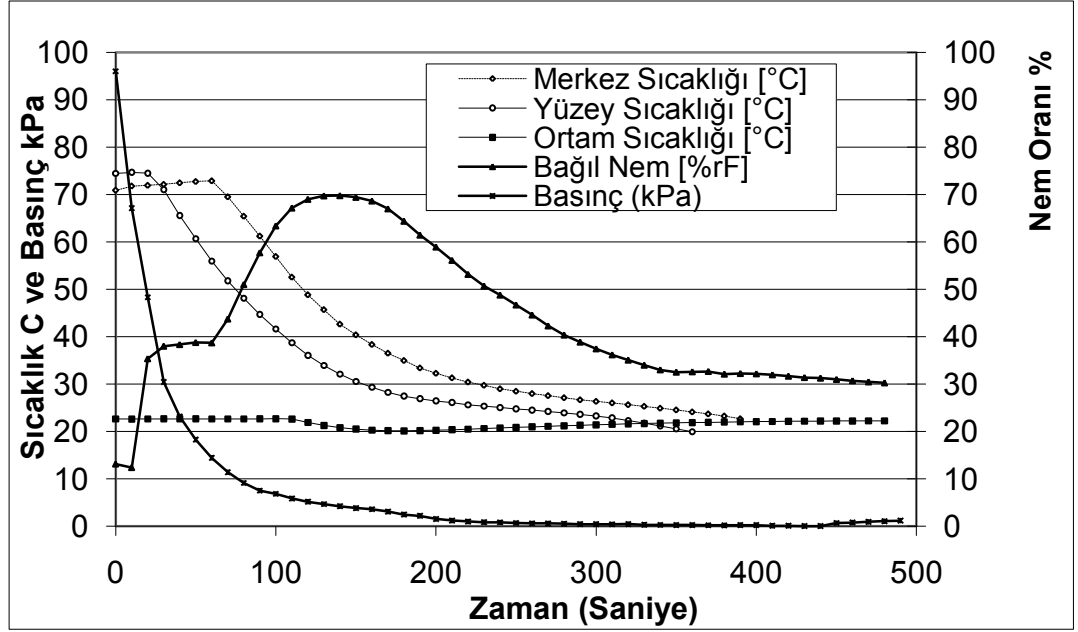


Şekil 5.190. 7 mbar sabit basınç altında haşlanmış tavuğun yüzey, merkez ve ortam sıcaklığı, nem oranı ve basınç değişimi.



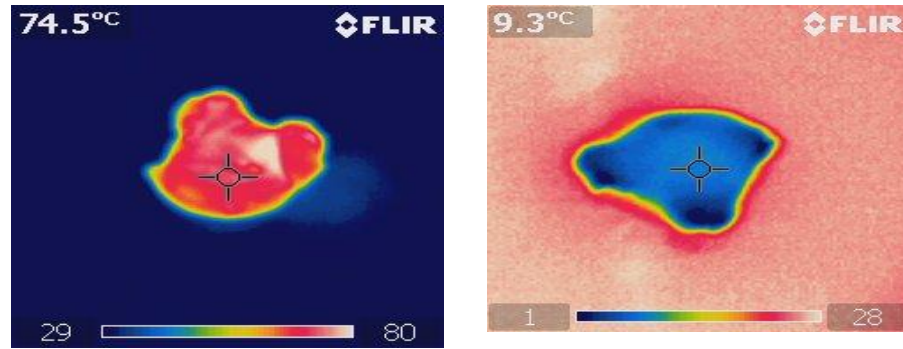
Şekil 5.191. 7 mbar basınç altında haşlanmış tavuğun vakum soğutma öncesi ve sonrası sıcaklık değişimi resmi

Haşlanmış tavuğun vakum altında soğutulmasına ilişkin ikinci deney ortam basıncı 10 mbar'a getirilerek gerçekleştirilmiştir ve vakum ortamında haşlanmış tavuk örneklerine ait yüzey ve merkez sıcaklığı ile ortam sıcaklık ve bağıl nemindeki değişimleri Şekil 5.192 de verilmiştir. 10 mbar basınç altındaki soğuma eğrileri de 7 mbar'daki değerlere yakın olmakla birlikte, 10 mbar basınç altında 10°C sıcaklığın altına düşmek mümkün olmamıştır.



Şekil 5.192. 10 mbar sabit basınç altında haşlanmış tavuğun yüzey, merkez ve ortam sıcaklığı, nem oranı ve basınç değişimi.

Haşlanmış tavuğun soğutma öncesi ve sonrasına ilişkin termal kamera görüntüleri Şekil 5.193 de verilmiştir.

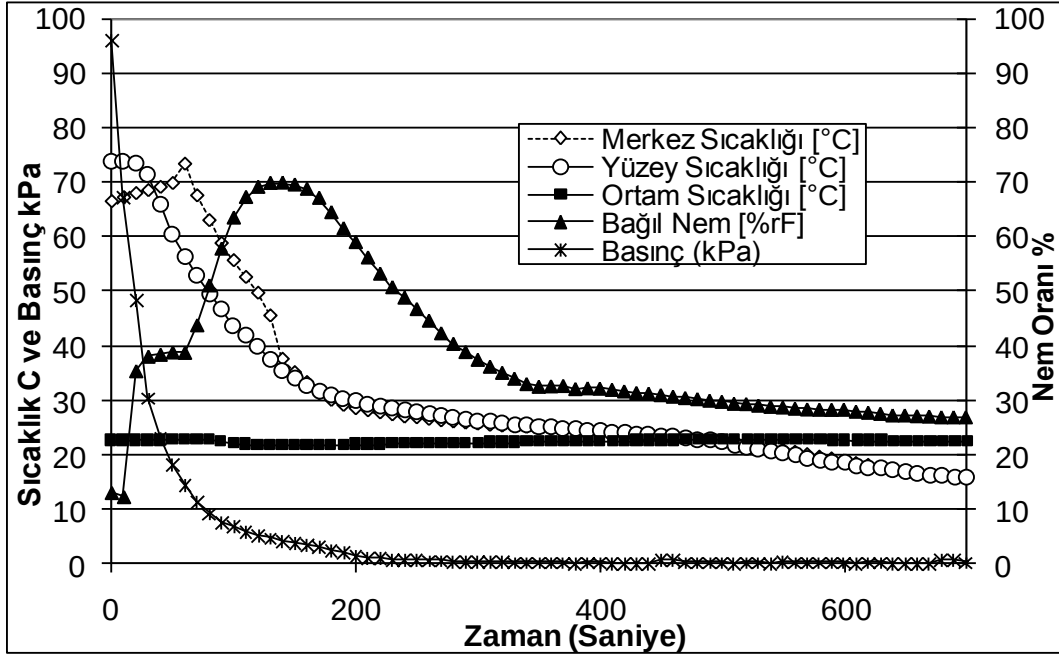


Haşlama Sonrası

Soğutma Sonrası

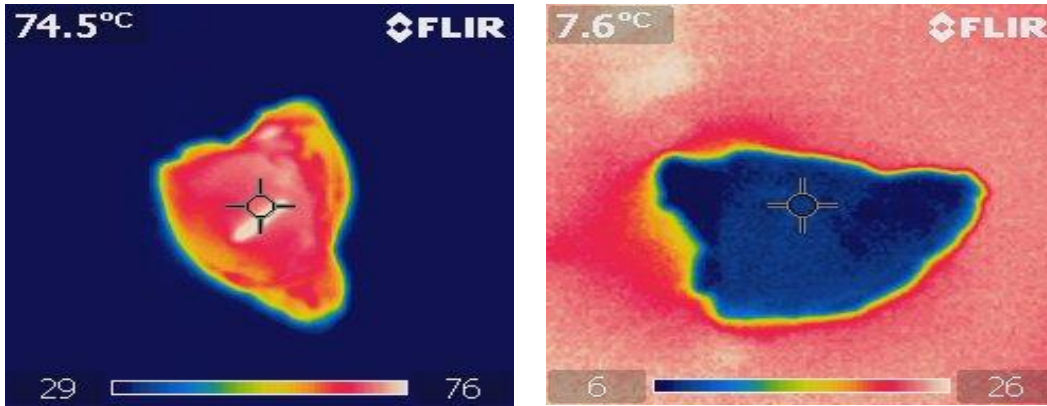
Şekil 5.193. 10 mbar basınç altında haşlanmış tavuğun vakum soğutma öncesi ve sonrası sıcaklık değişimi resmi

15 mbar basınç altındaki değişim de 7 ve 10 mbar basınç altındaki değişimlere benzer olmakla birlikte, bu basınç değeri için 15 °C sıcaklığın altına inilememiştir. Bu sıcaklıklar 10mbar vakum basıncında elde edilen sıcaklık değerlerine yakın, ancak 7mbar vakum basıncı altında gerçekleştirilen deneylerde elde edilen sıcaklıklardan daha yüksektir(Şekil 5.194).



Şekil 5.194. 15 mbar sabit basınç altında haşlanmış tavuğun yüzey, merkez ve ortam sıcaklığı, nem oranı ve basınç değişimi.

Haşlanmış tavuğun soğutma öncesi ve sonrasına ilişkin termal kamera görüntüleri Şekil 5.195 de verilmiştir.



Haşlama Sonrası

Soğutma Sonrası

Şekil 5.195. 15 mbar basınç altında haşlanmış tavuğun vakum soğutma öncesi ve sonrası sıcaklık değişimi resmi

Çizelge 5.78’de ise haşlanmış tavuğun kütlesindeki değişim ve set edilen basınçlarda verilmektedir. Birinci deneyde haşlanmış tavuğun başlangıç merkez sıcaklığı 80°C’den 5°C’ye gelirken kütle kaybı 8.673gr olarak gerçekleşmiştir. Kütle kaybı %12 olmuştur. 10mbar vakum basıncında soğutulan haşlanmış tavuğun başlangıç merkez sıcaklığı yaklaşık olarak 72°C’den 6°C’ye gelirken

kütle kaybı %11 olarak bulunmuştur. 15 mbar basınçta ise, kütle kaybı 12.139 gr olarak gerçekleşmiş ve vakum altında soğutulan haşlanmış tavukta kütle kaybı %10 oranında olmuştur. İlk üç deneyin sonuçlarına göre, haşlanmış tavuğun soğutulması sırasında vakum basıncı düştükçe kütle kaybı artmaktadır.

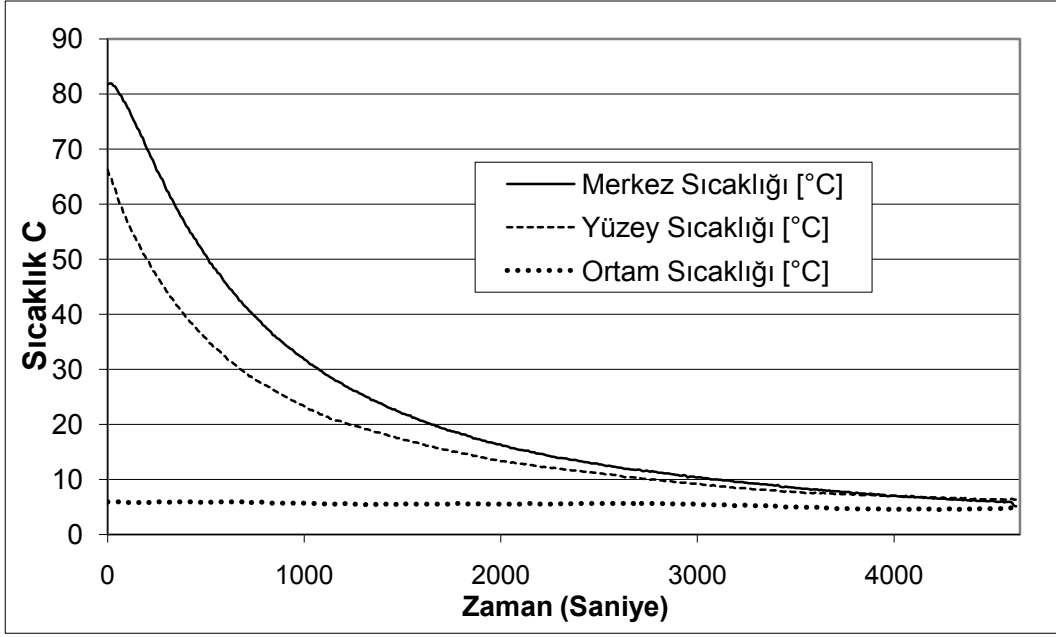
Çizelge 5.78. Vakum altında soğutmada haşlanmış tavuğun başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı

Vakum basıncı (mbar)	7	10	15
Piştirilmeden Önceki Kütle (g)	96,324	83,651	142,210
Piştirildikten Sonraki Kütle (g)	69,371	68,601	120,002
Soğutulduktan Sonraki Kütle (g)	60,698	60,917	107,863
Kütle Kaybı (g)	8,673	7,683	12,139
Kütle Kaybı Oranı (%)	%12	% 11	%10

5.9.2 Haşlanmış tavuğun klasik yöntemle soğutulması

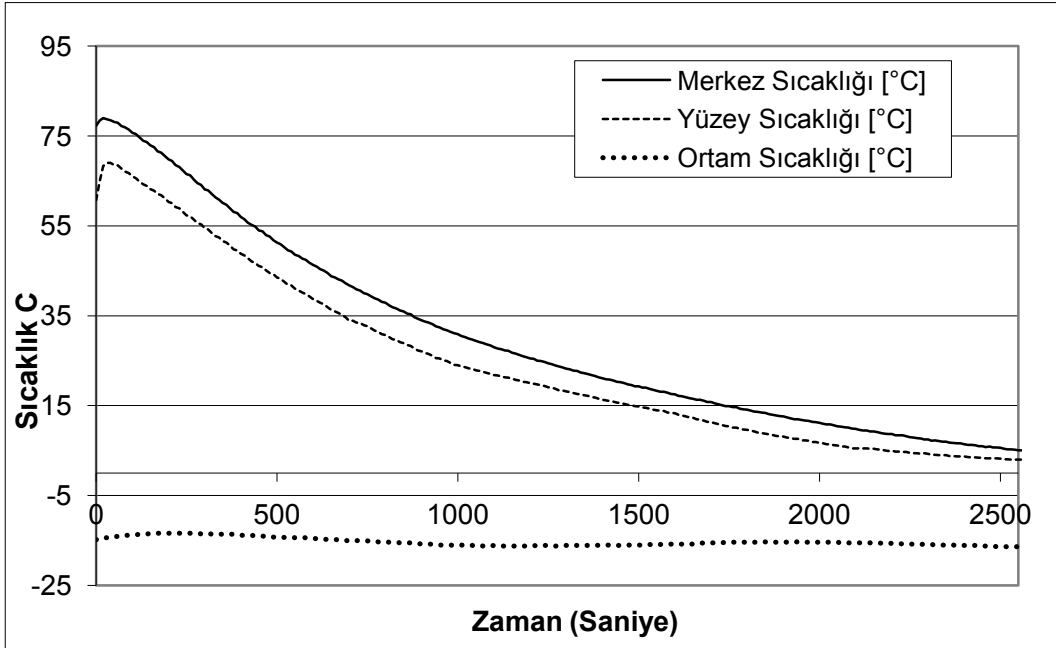
Haşlanmış tavuğun klasik olarak soğutulması buzdolabında (5°C, -16°C, -20°C sıcaklıkta) yapılmıştır. Haşlanmış tavuğun klasik soğutmada 5°C sıcaklıkta soğutulması esnasındaki sıcaklık değişimi Şekil 5.196’de verilmiştir. 5°C sıcaklık altında soğutulan haşlanmış tavuğun merkez sıcaklığının 5°C’ye soğuması için geçen süre yaklaşık olarak 5000 saniye (1,3 saat) olmuştur. Vakum soğutmada bu süre uygulanan vakum basıncına bağlı olduğu görülmüştür. 7 mbar basınç değerinde vakum altında soğutulan haşlanmış tavuğun merkez sıcaklığının 5°C’ye yaklaşık olarak 20 dakika içinde düştüğü bulunmuştur. Bu süre, 5°C sıcaklıkta soğutmaya göre 4 kat daha hızlı bir soğutmaya ifade etmektedir.

Haşlanmış tavuğun derin dondurucuda -16°C sıcaklıkta soğutulması esnasındaki sıcaklık değişimi Şekil 5.197’de verilmiştir. -16°C sıcaklık altında soğutulan haşlanmış tavuğun merkez sıcaklığının 5°C’ye soğuması için geçen süre yaklaşık olarak 2500 saniye (yaklaşık 40 dakika) olmuştur. Vakum soğutmada bu süre uygulanan vakum basıncına bağlı olduğu görülmüştür. 7 mbar basınç değerinde vakum altında soğutulan haşlanmış tavuğun merkez sıcaklığının 5°C’ye yaklaşık olarak 20 dakika içinde düştüğü bulunmuştur. Bu süre, -16°C sıcaklıkta soğutmaya göre 2 kat daha hızlı bir soğutmaya ifade etmektedir.

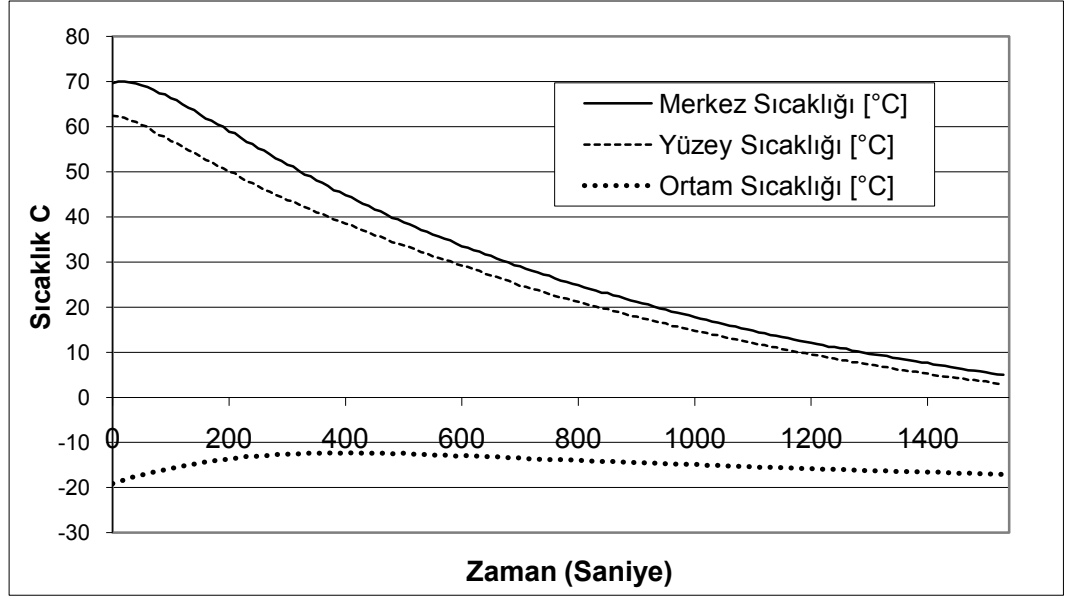


Şekil 5.196. Buzdolabında 5°C sıcaklık altında haşlanmış tavuğun yüzey sıcaklığı, merkez sıcaklığı ve ortam sıcaklığındaki değişim.

Haşlanmış tavukların dondurucuda -20°C sıcaklıkta soğutulmasına ilişkin deneysel sonuçlar Şekil 5.198'te verilmiştir. Sonuçlar -16°C'de soğutma verileri ile paralellik göstermektedir, fakat bu sıcaklıkta ürünün soğutulması daha kısa sürede gerçekleşmiştir.



Şekil 5.197. Buzdolabında -16°C sıcaklık altında haşlanmış tavuğun yüzey sıcaklığı, merkez sıcaklığı ve ortam sıcaklığındaki değişim.



Şekil 5.198. Buzdolabında -20°C sıcaklık altında haşlanmış tavuğun yüzey sıcaklığı, merkez sıcaklığı ve ortam sıcaklığındaki değişim.

Klasik soğutma yapılmadan ve yapıldıktan sonra da haşlanmış tavuğun ağırlıkları ölçülmüş ve kütle kaybı belirlenmiştir. 5°C sıcaklıkta gerçekleştirilen soğutma işlemi çok uzun sürmüş, örneklerdeki kütle kaybı ise %5 olarak gerçekleşmiştir (Çizelge 5.79). Klasik soğutma yapılmadan ve yapıldıktan sonra da haşlanmış tavuğun ağırlıkları ölçülmüş ve kütle kaybı belirlenmiştir. -16°C sıcaklıkta gerçekleştirilen soğutma işlemi çok uzun sürmüş, örneklerdeki kütle kaybı ise %4 olarak gerçekleşmiştir. Klasik soğutmada bu deney derin dondurucu sıcaklığı -20°C'ye ayarlanmak suretiyle yürütülmüştür. Bu sıcaklıkta soğutulan haşlanmış tavuğa ait ağırlıklar ve kütle kaybına ilişkin veriler Çizelge 5.79'de verilmiştir. Haşlanmış tavuğun merkez sıcaklığının 5°C sıcaklığa kadar soğutulması sırasında tavukta kütle kaybı %4 olarak gerçekleşmiştir. Derin dondurucuda gerçekleştirilen soğutma süreleri uzun olurken, kütle kaybı vakum altında soğutmaya oranlar daha düşük kalmıştır.

Çizelge 5.79. Haşlanmış tavuğun klasik soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı

Sıcaklık (°C)	5	-16	-20
Piştirilmeden Önceki Kütle (g)	70,03	107,618	79,86
Piştirildikten Sonraki Kütle (g)	83,62	104,920	89,65
Soğutulduktan Sonraki Kütle(g)	79,28	99,98	85,96
Kütle Kaybı (g)	4,34	4,94	3,69
Kütle Kaybı Oranı (%)	5	4	4

5.9.3. Haşlanmış Tavuğun Hava Üfleli Soğutucuda Soğutulması

Tavuğun hava üfleli soğutucuda soğutulmasına ilişkin deneyler; - 20°C, -16°C, 5°C derecelerde, 1 m/s, 2 m/s, 4 m/s hızlarda yapılmıştır. Soğutma deneyleri hava akış yönü yukarıdan aşağıya doğru gerçekleşmektedir. Sıcaklık probu merkez, yüzey ve ortam sıcaklıklarını ölçerken hız probu hava hızı değerlerini ölçerek deney gerçekleşmektedir.

a) 5°C de 4 m/s hız altında

Deneyde ortam sıcaklığı 5°C getirilmiş ve hava akış hızı 4m/s' ye ayarlanmıştır. Şekil 5.199'de görüldüğü gibi, merkez ve yüzey sıcaklığı düşmüştür. 3050 saniyede merkez sıcaklığı 5°C düşmüş ve deney sona ermiştir.

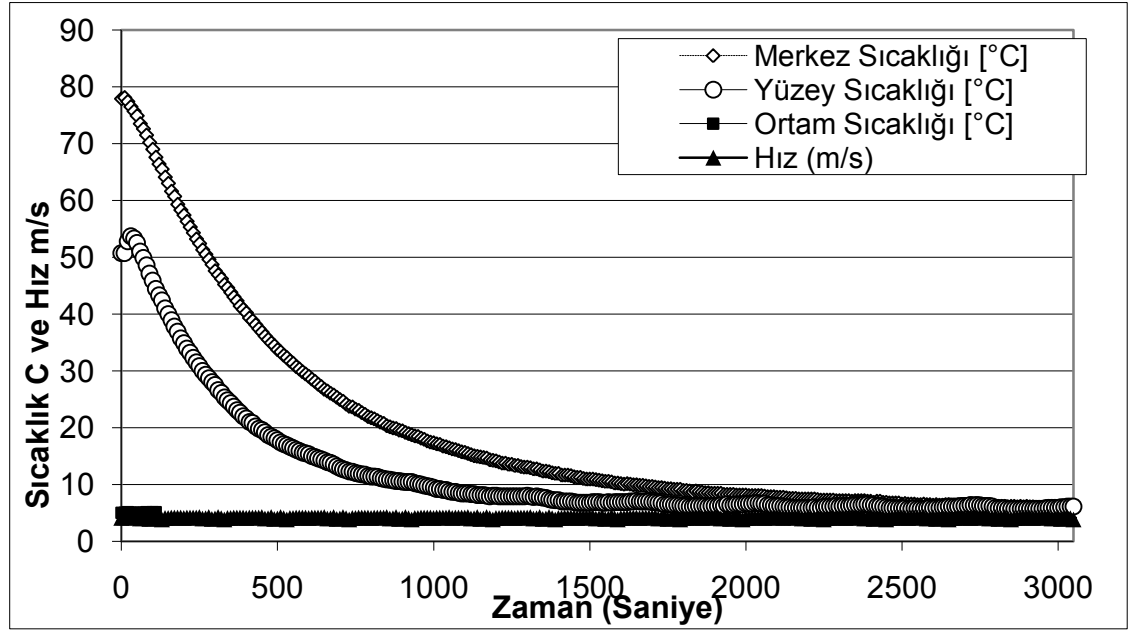
Çizelge 5.80'te ise tavuk etinin kütesindeki değişim verilmektedir. Deneyde tavuk etinin merkez sıcaklığı başlangıç sıcaklığı olan 21°C'den 5°C'ye gelirken kütle kaybı 7.017 gr olarak gerçekleşmiştir. Kütle kaybı %10.4 olmuştur. Şekil 5.200 de soğutma öncesi ve sonrasına ait termal kamera görüntülerine yer verilmiştir.

Çizelge 5.80. Haşlanmış tavuğun 5°C 4m/s için hava üfleli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı

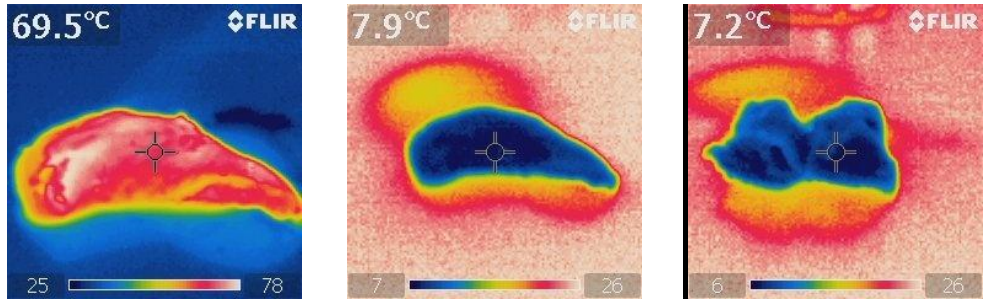
Haşlanmadan Önceki Kütle:	95,384 gr
Başlangıç Kütle:	67,110 gr
Son Kütle:	60,093 gr
Kütle Kaybı	7,017 gr
Kütle Kaybı Oranı	%10,4

b) 5°C de 2 m/s hız altında

Deneyde ortam sıcaklığı 5°C getirilmiş ve hava akış hızı 2m/s' ye ayarlanmıştır. Şekil 5.201'de görüldüğü gibi merkez ve yüzey sıcaklığı düşmüştür. 5520 saniyede merkez sıcaklığı 5°C düşmüş ve deney sona ermiştir.



Şekil 5.199. Hava üflemeli soğutucuda 5°C 4m/s için, haşlanmış tavuğun yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi



Soğutma Başlamadan

Soğutma Sonrası

Soğutma Sonrası (Ortadan Kesilmiş)

Şekil 5.200. Haşlanmış tavuğun 5°C 4m/s de hava üflemeli soğutma sonrası sıcaklık değişimi resmi

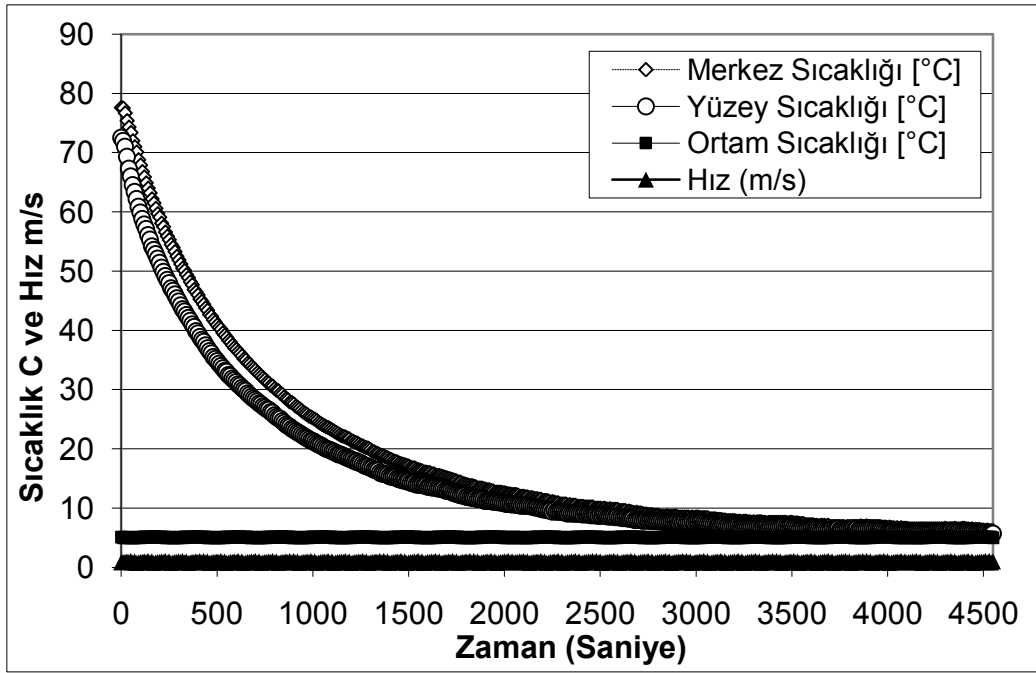
Çizelge 5.81'te ise tavuk etinin kütleindeki değişim verilmektedir. Deneyde tavuk etinin merkez sıcaklığı başlangıç sıcaklığı olan 78°C'den 5°C'ye gelirken kütle kaybı 7.338 gr olarak gerçekleşmiştir. Kütle kaybı %10.1 olmuştur. Şekil 5.202'de soğutma öncesi ve sonrasına ait termal kamera görüntülerine yer verilmiştir.

c) 5°C de 1 m/s hız altında

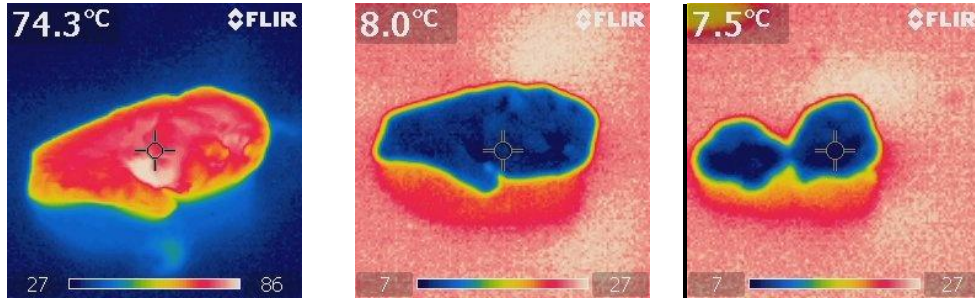
Deneyde ortam sıcaklığı 5°C getirilmiş ve hava akış hızı 1m/s' ye ayarlanmıştır. Şekil 5.203'de görüldüğü gibi, merkez ve yüzey sıcaklığı düşmüştür. 207 dakikada merkez sıcaklığı 5°C düşmüş ve deney sona ermiştir.

Çizelge 5.81. Haşlanmış tavuğun 5°C 2m/s için hava üfleli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı

Haşlanmadan Önceki Kütle:	97,368 gr
Başlangıç Kütle:	72,208 gr
Son Kütle:	64,870 gr
Kütle Kaybı	7,338 gr
Kütle Kaybı Oranı	%10,1



Şekil 5.201. Hava üfleli soğutucuda 5°C 2m/s için, haşlanmış tavuğun yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi



Soğutma Başlamadan

Soğutma Sonrası

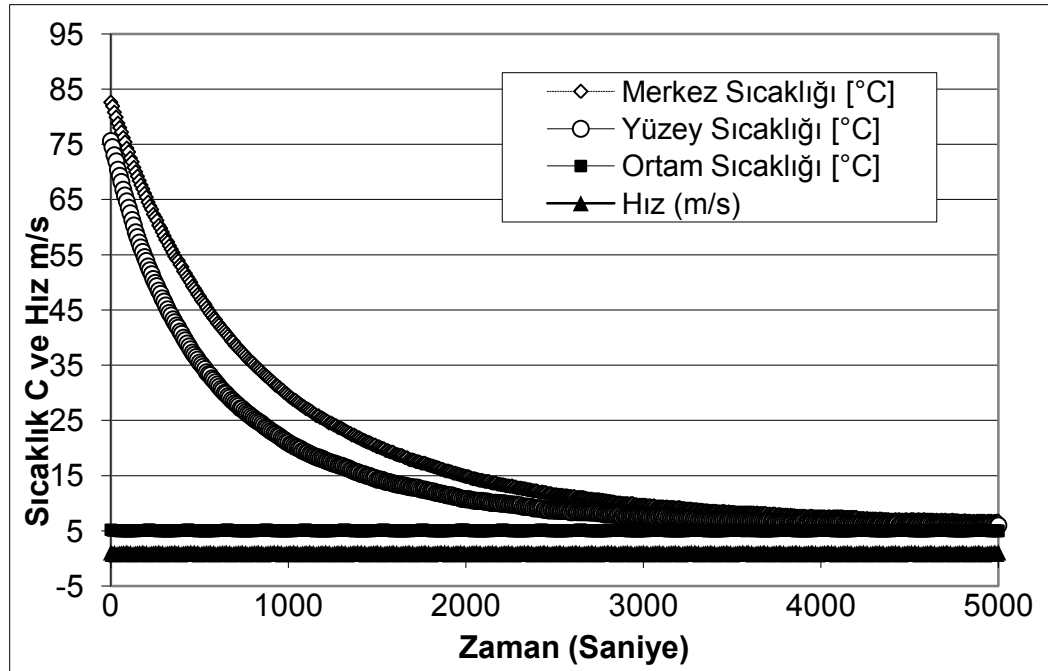
Soğutma Sonrası (Ortadan Kesilmiş)

Şekil 5.202. Haşlanmış tavuğun 5°C 2m/s de hava üfleli soğutma sonrası sıcaklık değişimi resmi

Çizelge 5.82’te ise tavuk etinin kütlesindeki değişim verilmektedir. Deneyde tavuk etinin merkez sıcaklığı başlangıç sıcaklığı olan 83°C’den 5°C’ye gelirken kütle kaybı 5.667 gr olarak gerçekleşmiştir. Kütle kaybı %8.19 olmuştur. Şekil 5.204’de soğutma öncesi ve sonrasına ait termal kamera görüntülerine yer verilmiştir.

Çizelge 5.82. Haşlanmış tavuğun 5°C 1m/s için hava üflemeli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı

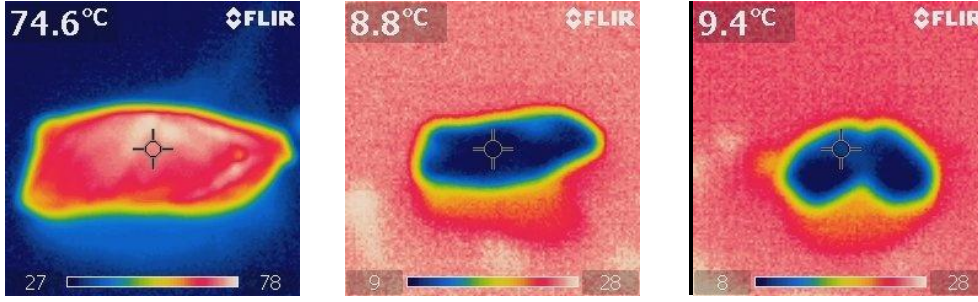
Haşlanmadan Önceki Kütle:	95,974 gr
Başlangıç Kütle:	69,133 gr
Son Kütle:	63,466 gr
Kütle Kaybı	5,667 gr
Kütle Kaybı Oranı	%8,19



Şekil 5.203. Hava üflemeli soğutucuda 5°C 1m/s için, haşlanmış tavuğun yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi

d) -16°C de 4 m/s hız altında

Deneyde ortam sıcaklığı -16°C getirilmiş ve hava akış hızı 4m/s’ ye ayarlanmıştır. Şekil 5.205’de görüldüğü gibi merkez ve yüzey sıcaklığı düşmüştür. 18 dakikada merkez sıcaklığı 5°C düşmüş ve deney sona ermiştir.



Soğutma Başlamadan

Soğutma Sonrası

Soğutma Sonrası (Ortadan Kesilmiş)

Şekil 5.204. Haşlanmış tavuğun 5°C 1m/s de hava üflemeli soğutma sonrası sıcaklık değişimi resmi

Çizelge 5.83'te ise tavuk etinin kütlesindeki değişim verilmektedir. Deneyde tavuk etinin merkez sıcaklığı başlangıç sıcaklığı olan 80°C'den 5°C'ye gelirken kütle kaybı 4.396 gr olarak gerçekleşmiştir. Kütle kaybı %6.34 olmuştur. Şekil 5.206'de soğutma öncesi ve sonrasına ait termal kamera görüntülerine yer verilmiştir.

Çizelge 5.83. Haşlanmış tavuğun -16°C 4m/s için hava üflemeli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı

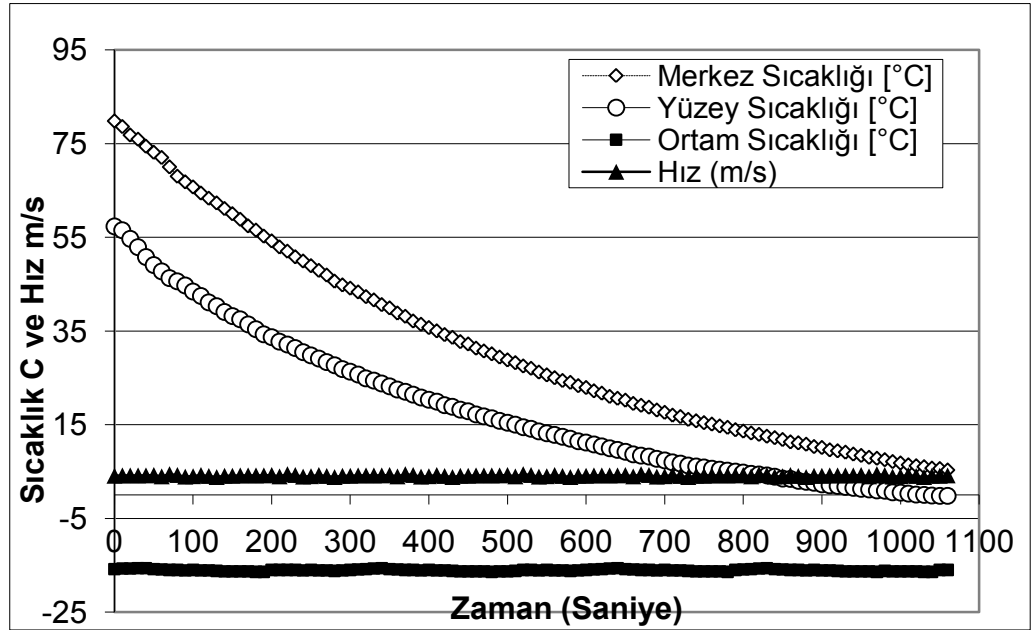
Haşlanmadan Önceki Kütle:	100,513 gr
Başlangıç Kütle:	69,230 gr
Son Kütle:	64,834 gr
Kütle Kaybı	4,396 gr
Kütle Kaybı Oranı	%6,34

h) -16°C de 2 m/s hız altında

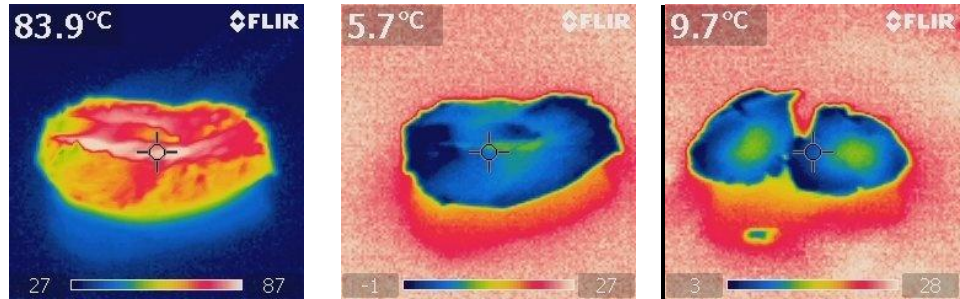
Deneyde ortam sıcaklığı -16°C getirilmiş ve hava akış hızı 2m/s' ye ayarlanmıştır. Şekil 5.207'de görüldüğü gibi. merkez ve yüzey sıcaklığı düşmüştür. 1300 saniyede merkez sıcaklığı 5°C düşmüş ve deney sona ermiştir.

Çizelge 5.84'te ise tavuk etinin kütlesindeki değişim verilmektedir. Deneyde tavuk etinin merkez sıcaklığı başlangıç sıcaklığı olan 84°C'den 5°C'ye gelirken kütle kaybı 4.288 gr olarak gerçekleşmiştir. Kütle kaybı %6.35 olmuştur. Şekil

5.208’de soğutma öncesi ve sonrasına ait termal kamera görüntülerine yer verilmiştir.



Şekil 5.205. Hava üflemeli soğutucuda -16°C 4m/s için, haşlanmış tavuğun yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi



Soğutma Başlamadan

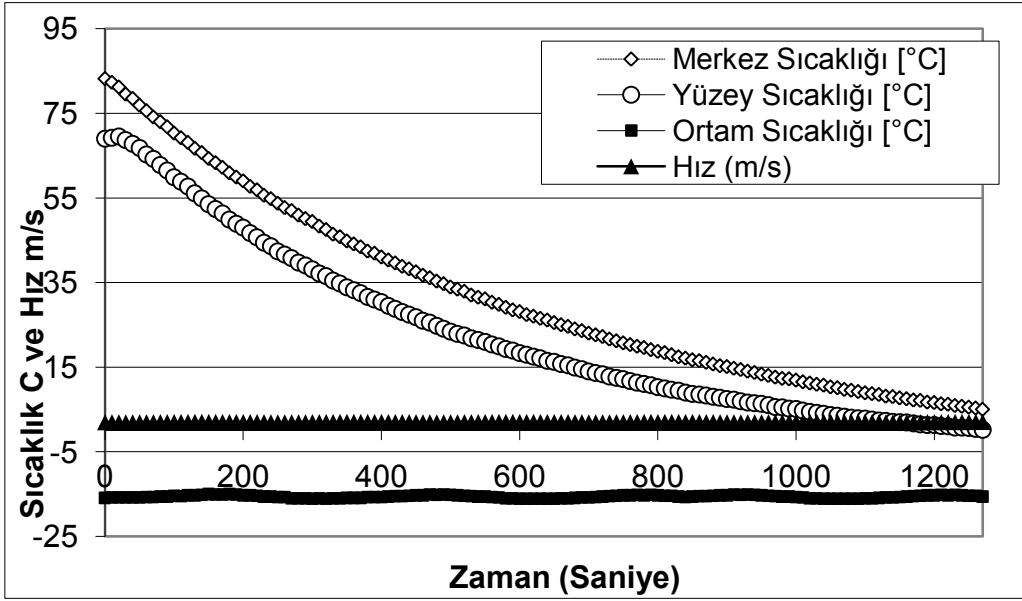
Soğutma Sonrası

Soğutma Sonrası (Ortadan Kesilmiş)

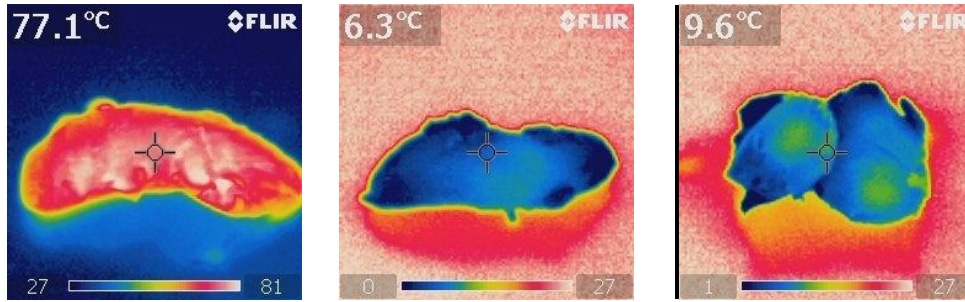
Şekil 5.206. Haşlanmış tavuğun -16°C 4m/s de hava üflemeli soğutma sonrası sıcaklık değişimi resmi

Çizelge 5.84. Haşlanmış tavuğun -16°C 2m/s için hava üflemeli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı

Haşlanmadan Önceki Kütle:	100,107 gr
Başlangıç Kütle:	67,526 gr
Son Kütle:	63,238 gr
Kütle Kaybı	4,288 gr
Kütle Kaybı Oranı	%6,35



Şekil 5.207. Hava üflemeli soğutucuda -16°C 2m/s için, haşlanmış tavuğun yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi



Soğutma Başlamadan

Soğutma Sonrası

Soğutma Sonrası (Ortadan Kesilmiş)

Şekil 5.208 Haşlanmış tavuğun -16°C 2m/s de hava üflemeli soğutma sonrası sıcaklık değişimi resmi

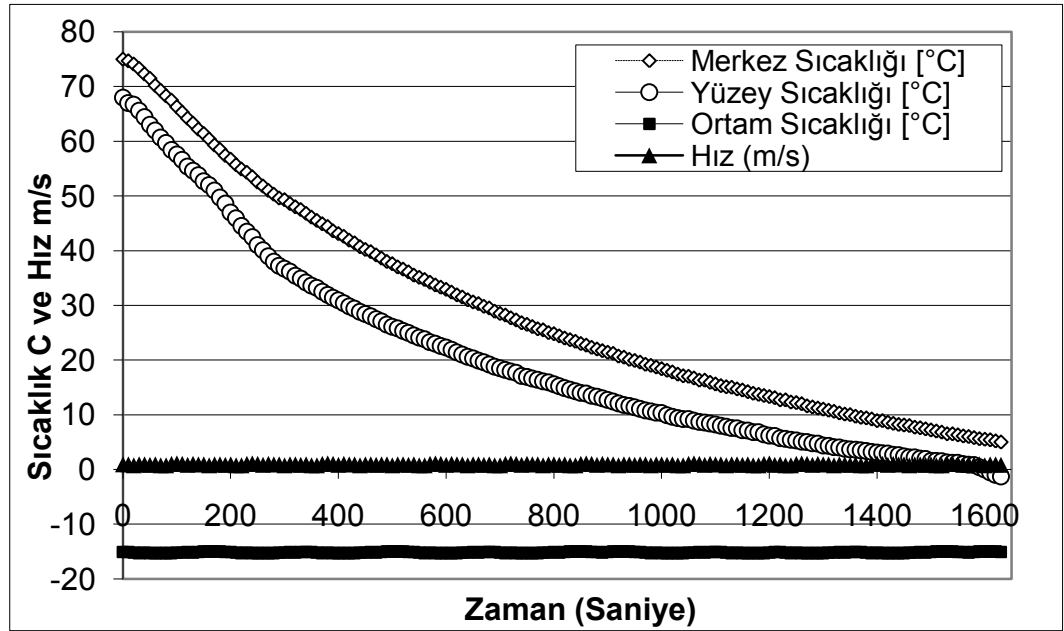
i) -16°C de 1 m/s hız altında

Deneyde ortam sıcaklığı -16°C getirilmiş ve hava akış hızı 1m/s' ye ayarlanmıştır. Şekil 5.209'de görüldüğü gibi, merkez ve yüzey sıcaklığı düşmüştür. 1650 saniyede merkez sıcaklığı 5°C düşmüş ve deney sona ermiştir.

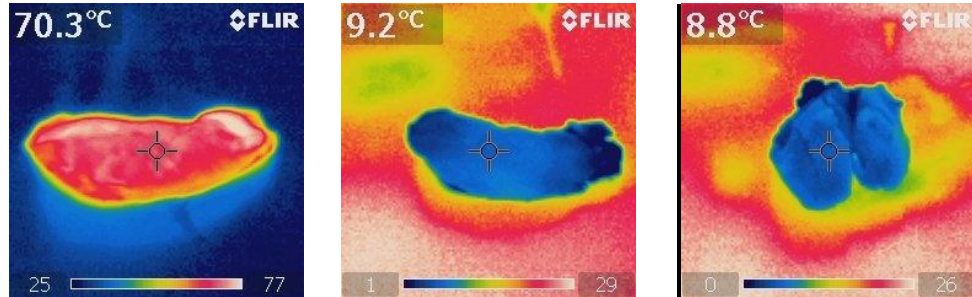
Çizelge 5.85'te ise tavuk etinin kütleindeki değişim verilmektedir. Deneyde tavuk etinin merkez sıcaklığı başlangıç sıcaklığı olan 75°C'den 5°C'ye gelirken kütle kaybı 4.519 gr olarak gerçekleşmiştir. Kütle kaybı %6.58 olmuştur. Şekil 5.210'de soğutma öncesi ve sonrasına ait termal kamera görüntülerine yer verilmiştir.

Çizelge 5.85 Haşlanmış tavuğun -16°C 1m/s için hava üflemeli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı

Haşlanmadan Önceki Kütle:	96,829 gr
Başlangıç Kütle:	68,635 gr
Son Kütle:	64,116 gr
Kütle Kaybı	4,519 gr
Kütle Kaybı Oranı	%6,58



Şekil 5.209. Hava üflemeli soğutucuda -16°C 1m/s için, haşlanmış tavuğun yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi



Soğutma Başlamadan

Soğutma Sonrası

Soğutma Sonrası (Ortadan Kesilmiş)

Şekil 5.210 Haşlanmış tavuğun -16°C 1m/s de hava üflemeli soğutma sonrası sıcaklık değişimi resmi

j) -20°C de 4 m/s hız altında

Deneyde ortam sıcaklığı -20°C getirilmiş ve hava akış hızı 4m/s' ye ayarlanmıştır. Şekil 5.211'de görüldüğü gibi merkez ve yüzey sıcaklığı düşmüştür. 12 dakikada merkez sıcaklığı 5°C düşmüş ve deney sona ermiştir.

Çizelge 5.86'te ise tavuk etinin kütleindeki değişim verilmektedir. Deneyde tavuk etinin merkez sıcaklığı başlangıç sıcaklığı olan 70°C'den 5°C'ye gelirken kütle kaybı 0.676 gr olarak gerçekleşmiştir. Kütle kaybı %1.1 olmuştur. Şekil 5.212'de soğutma öncesi ve sonrasına ait termal kamera görüntülerine yer verilmiştir.

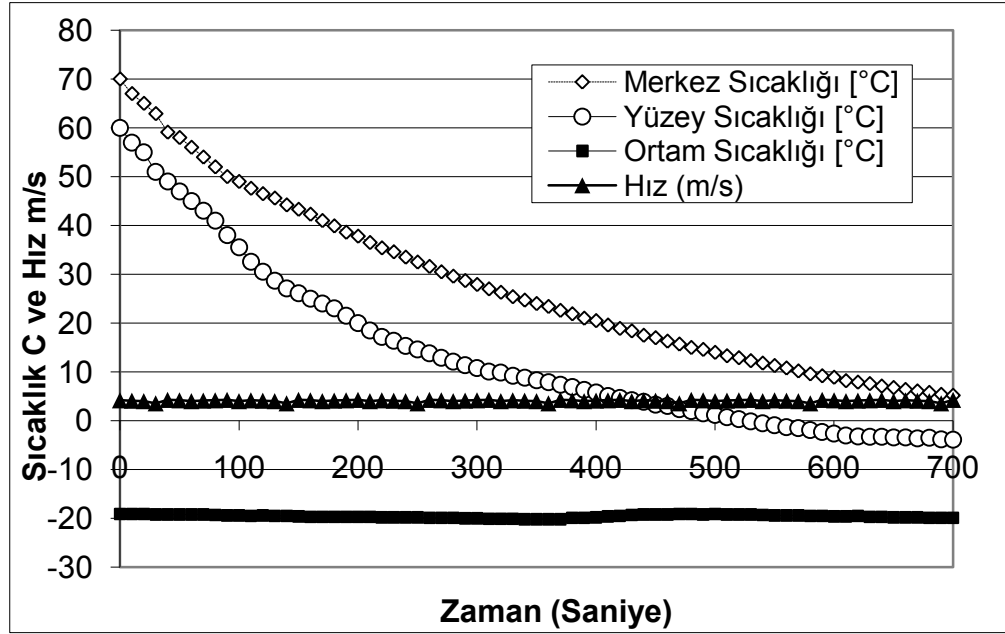
Çizelge 5.86. Haşlanmış tavuğun -20°C 4m/s için hava üfleli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı

Haşlanmadan Önceki Kütle:	103,658 gr
Başlangıç Kütle:	61,050 gr
Son Kütle:	60,374 gr
Kütle Kaybı	0,676 gr
Kütle Kaybı Oranı	%1,1

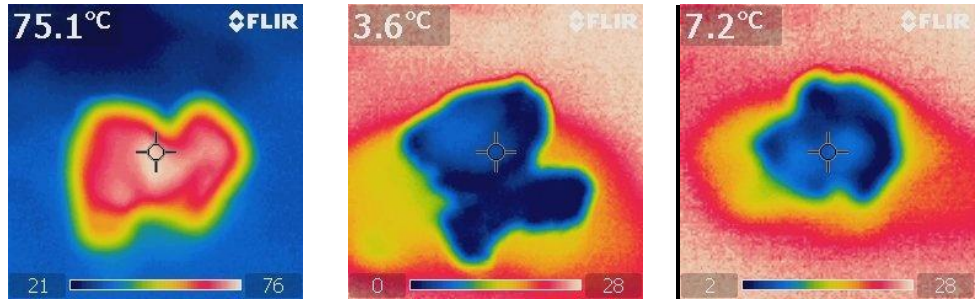
k) -20°C de 2 m/s hız altında

Deneyde ortam sıcaklığı -20°C getirilmiş ve hava akış hızı 2m/s' ye ayarlanmıştır. Şekil 5.213'de görüldüğü gibi, merkez ve yüzey sıcaklığı düşmüştür. 16 dakikada merkez sıcaklığı 5°C düşmüş ve deney sona ermiştir.

Çizelge 5.87'te ise tavuk etinin kütleindeki değişim verilmektedir. Deneyde tavuk etinin merkez sıcaklığı başlangıç sıcaklığı olan 65°C'den 5°C'ye gelirken kütle kaybı 5.823 gr olarak gerçekleşmiştir. Kütle kaybı %8.94 olmuştur. Şekil 5.214'de soğutma öncesi ve sonrasına ait termal kamera görüntülerine yer verilmiştir.



Şekil 5.211. Hava üfleli soğutucuda -20°C 4m/s için, haşlanmış tavuğun yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi



Soğutma Başlamadan

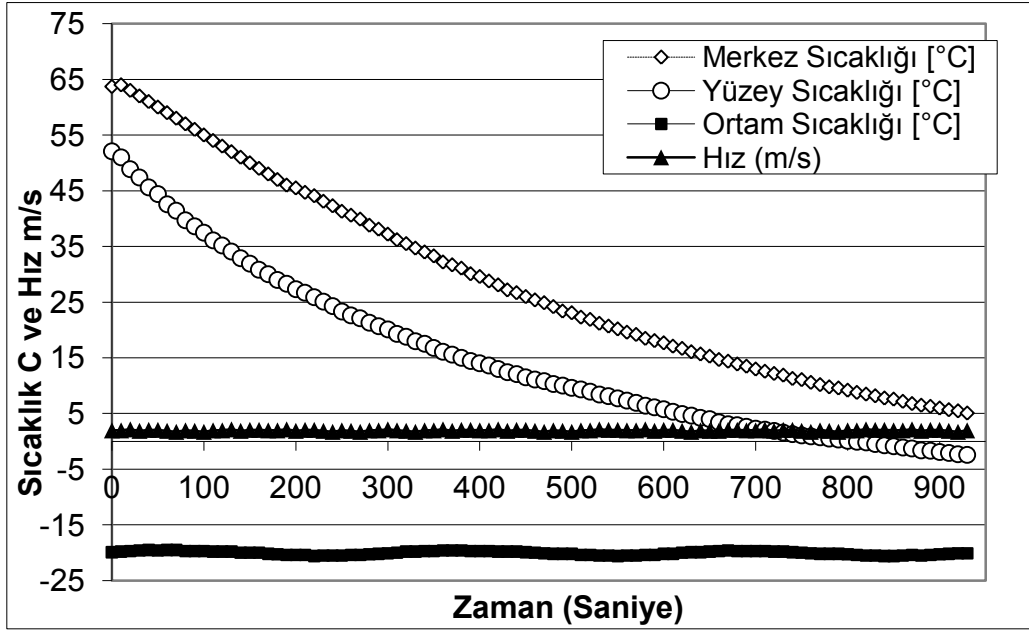
Soğutma Sonrası

Soğutma Sonrası (Ortadan Kesilmiş)

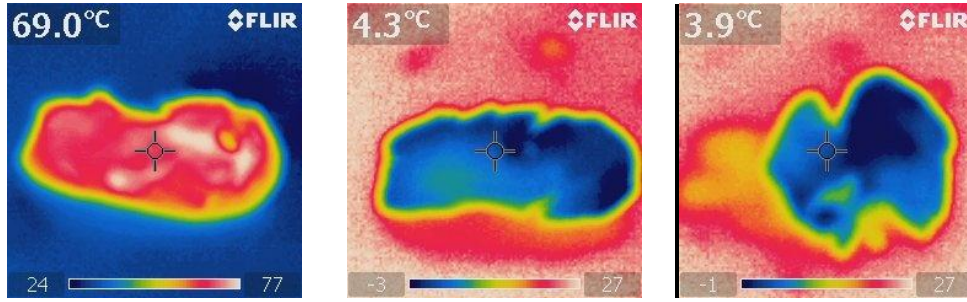
Şekil 5.212. Haşlanmış tavuğun -20°C 4m/s de hava üfleli soğutma sonrası sıcaklık değişimi resmi

Çizelge 5.87. Haşlanmış tavuğun -20°C 2m/s için hava üfleli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı

Haşlanmadan Önceki Kütle:	95,208 gr
Başlangıç Kütle:	65,125 gr
Son Kütle:	59,302 gr
Kütle Kaybı	5,823 gr
Kütle Kaybı Oranı	%8,94



Şekil 5.213. Hava üflemeli soğutucuda -20°C 2m/s için, haşlanmış tavuğun yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi



Soğutma Başlamadan

Soğutma Sonrası

Soğutma Sonrası (Ortadan Kesilmiş)

Şekil 5.214. Haşlanmış tavuğun -20°C 2m/s de hava üflemeli soğutma sonrası sıcaklık değişimi resmi

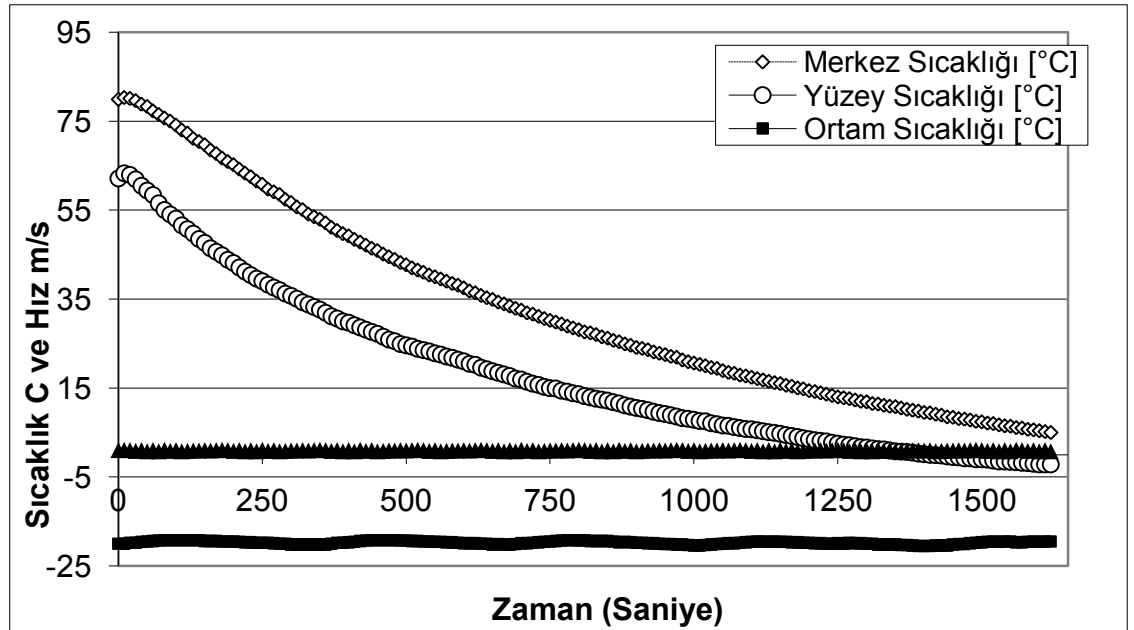
1) -20°C de 1 m/s hız altında

Deneyde ortam sıcaklığı -20°C getirilmiş ve hava akış hızı 1m/s' ye ayarlanmıştır. Şekil 5.215'de görüldüğü gibi, merkez ve yüzey sıcaklığı düşmüştür. 28 dakikada merkez sıcaklığı 5°C düşmüş ve deney sona ermiştir.

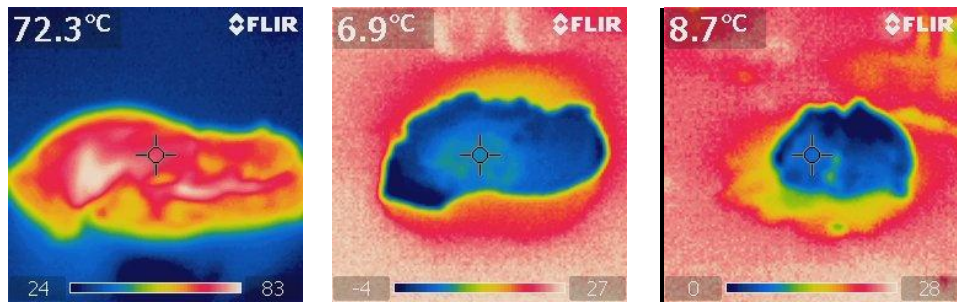
Çizelge 5.88'te ise tavuk etinin kütlesindeki değişim verilmektedir. Deneyde tavuk etinin merkez sıcaklığı başlangıç sıcaklığı olan 80°C'den 5°C'ye gelirken kütle kaybı 7.1 gr olarak gerçekleşmiştir. Kütle kaybı %9.95 olmuştur. Şekil 5.216'de soğutma öncesi ve sonrasına ait termal kamera görüntülerine yer verilmiştir.

Çizelge 5.88. Haşlanmış tavuğun -20°C 1m/s için hava üflemeli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı

Haşlanmadan Önceki Kütle:	103,625 gr
Başlangıç Kütle:	71,317 gr
Son Kütle:	64,217 gr
Kütle Kaybı	7, 1 gr
Kütle Kaybı Oranı	%9,95



Şekil 5.215. Hava üflemeli soğutucuda -20°C 1m/s için, haşlanmış tavuğun yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi



Soğutma Başlamadan

Soğutma Sonrası

Soğutma Sonrası (Ortadan Kesilmiş)

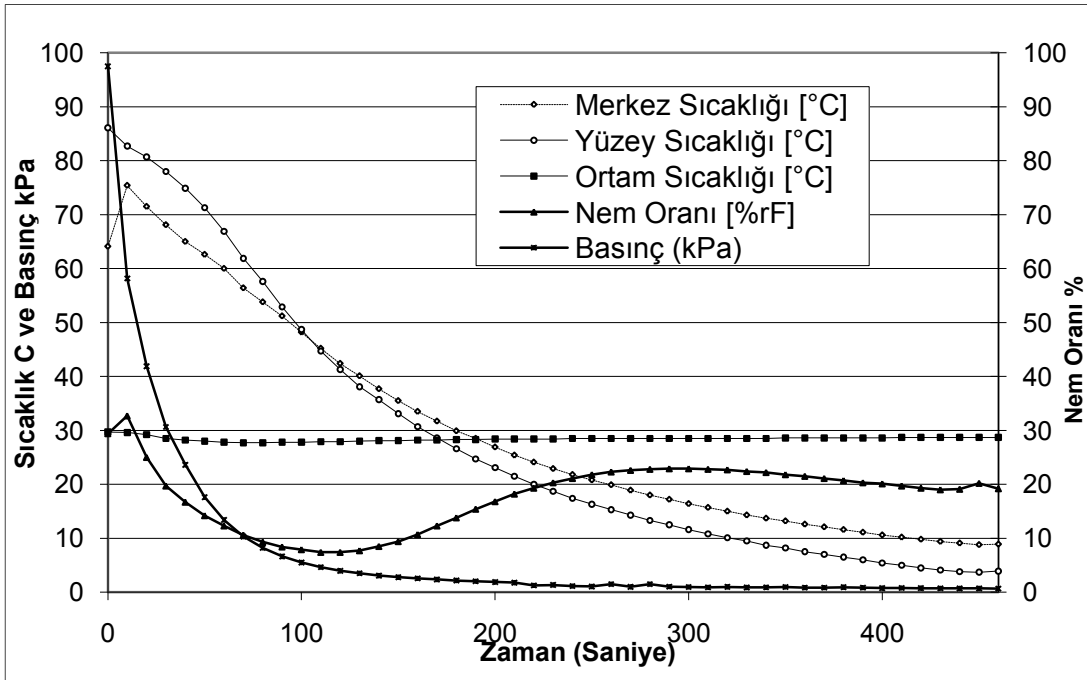
Şekil 5.216. Haşlanmış tavuğun -20°C 1m/s de hava üflemeli soğutma sonrası sıcaklık değişimi resmi

5.10. Dönerin Soğutulması

Döner ülkemizde sıkça tüketilen ve hazır gıda sektöründe yaygınlaşan bir gıda ürünü olarak göze batmaktadır. Bu açıdan dönerin de vakum altında soğutulması deneyi gerçekleştirilmiştir.

5.10.1. Dönerin vakum altında soğutulması

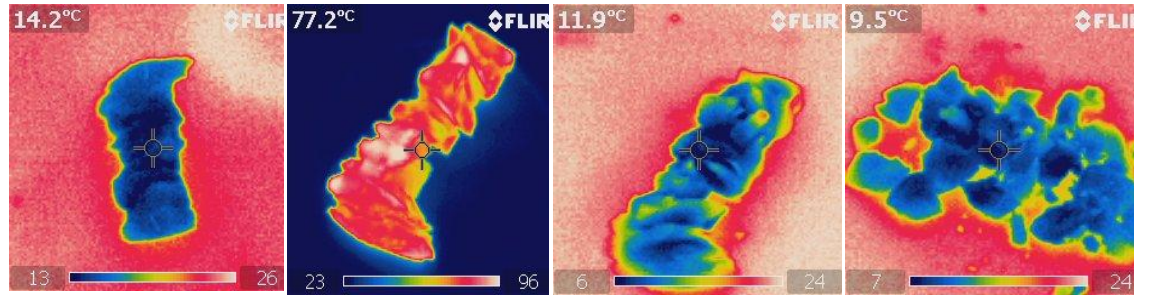
İlk deneyde ortam basıncı tek pompa çalıştırılarak 7 mbar'a getirilmiş ve vakum pompası bu basınçta çalışır durumda deney gerçekleştirilmiştir. Şekil 5.217'de görüldüğü gibi, merkez ve yüzey sıcaklığı hızla düşmüştür. 450 saniye (yaklaşık 8 dakika) sonra merkez sıcaklığı 8,8 °C ye gelmiştir bu süre içerisinde yüzey sıcaklığı 5 °C nin altına inmiş fakat merkez sıcaklığı 8,8 °C den aşağıya inmemiştir. Sıcaklıktaki değişimin termal kamera ile görünümü de Şekil 5.218 de verilmiştir.



Şekil 5.217. 7 mbar sabit basınç altında dönerin yüzey, merkez ve ortam sıcaklığı, nem oranı ve basınç değişimi.

Bu deneyde ortam basıncı tek pompa çalıştırılarak 10 mbar'a getirilmiştir ve bu durum için vakum ortamında yüzey, merkez ve nemdeki değişimler incelenmiştir. Şekil 5.219' da merkez, yüzey sıcaklığı ile nem değişimi verilmiştir. 10 mbar basınç altında yüzey sıcaklığı 8,7 °C sıcaklığa inerken, merkez sıcaklığı, depolama sıcaklığı olan 5°C değerine getirilememiş, 9,2 °C ye derecelere kadar inebilmiştir. Merkez sıcaklığını 9,2 °C ye gelmesi için gereken süre 580 saniye

(yaklaşık 10dk.) olmuştur. Termal kamera görüntüleri ise Şekil 5.220 de verilmiştir.



Piştirme öncesi

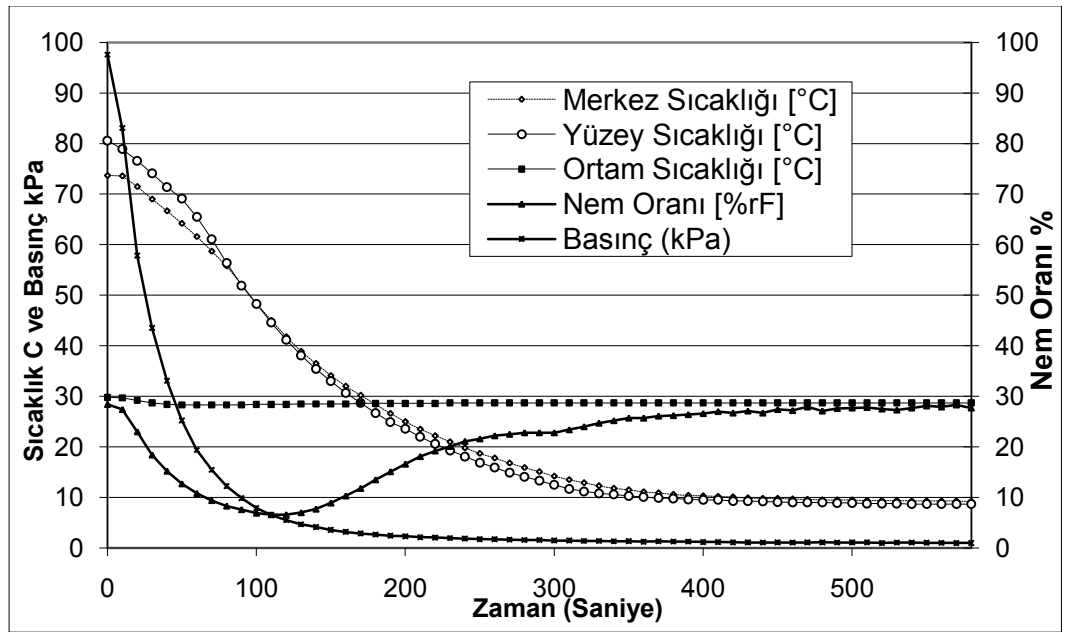
Piştirme sonrası

Vakum Soğutma Sonrası

Vakum Soğutma Sonrası

(Ortadan Kesilmiş)

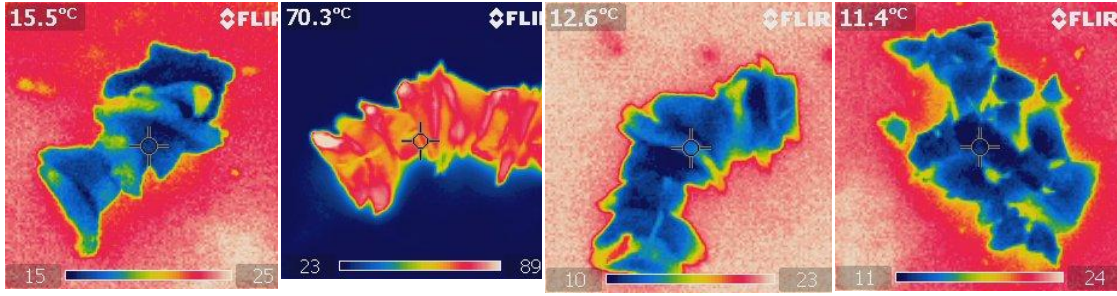
Şekil 5.218. 7 mbar basınç altında dönerin vakum soğutma öncesi ve sonrası sıcaklık değişimi resmi



Şekil 5.219 10 mbar sabit basınç altında dönerin yüzey, merkez ve ortam sıcaklığı, nem oranı ve basınç değişimi.

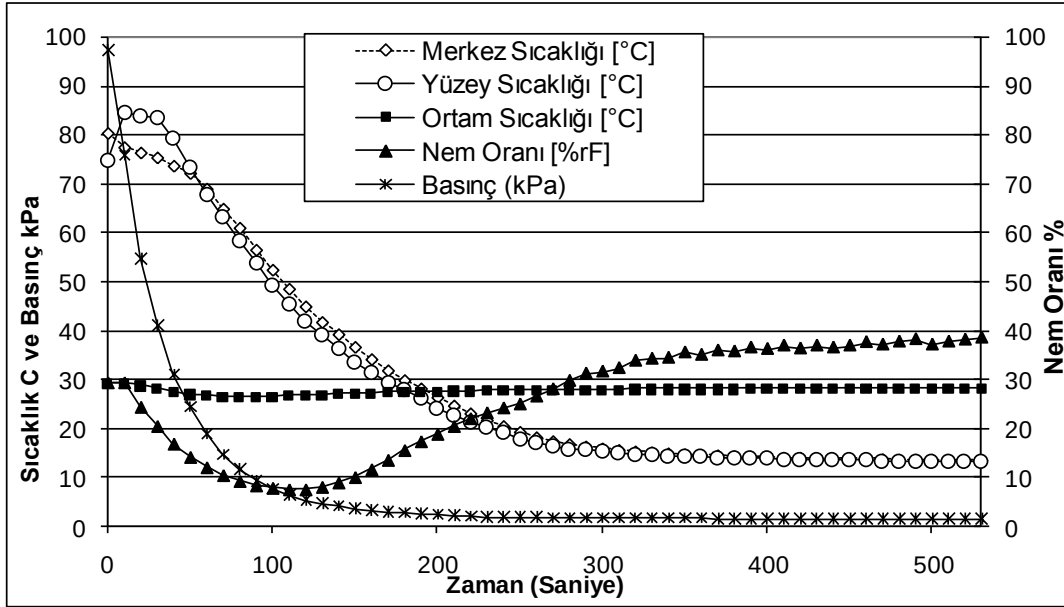
Bu deney 15 mbar basınçta ve tek pompa ile yürütülmüştür. Dönere ilişkin değerler Çizelge 5.89'de verilmiştir. Şekil 5.221'de 15 mbar basınç altında merkez ve yüzey sıcaklığı ile ortam neminin zamanla değişimi verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi 15 mbar basınçta merkez sıcaklığı 13,2 °C olarak gerçekleşmiş ve bu sıcaklığın altına düşmemiştir. Çizelge 5.89'de görüldüğü gibi, kütle kaybı 3,935 gr olarak gerçekleşmiş ve döner %8,87 oranında kütle kaybına uğramıştır.

Şekil 5.222 ise 15 mbar basınçta dönerin soğutulmasına ilişkin termal kamera görüntüleri verilmiştir.

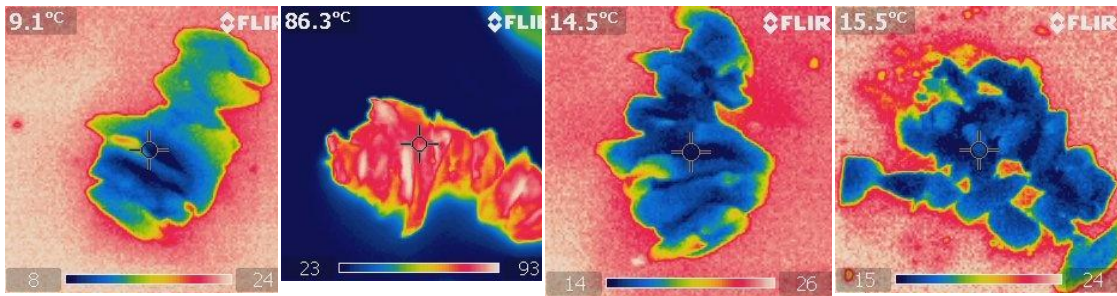


Pişirme öncesi Pişirme sonrası Vakum Soğutma Sonrası Vakum Soğutma Sonrası
(Ortadan Kesilmiş)

Şekil 5.220. 10 mbar basınç altında dönerin vakum soğutma öncesi ve sonrası sıcaklık değişimi resmi



Şekil 5.221. 15 mbar sabit basınç altında dönerin yüzey, merkez ve ortam sıcaklığı, nem oranı ve basınç değişimi.



Pişirme öncesi Pişirme sonrası Vakum Soğutma Sonrası Vakum Soğutma Sonrası
(Ortadan Kesilmiş)

Şekil 5.222. 15 mbar basınç altında dönerin vakum soğutma öncesi ve sonrası sıcaklık değişimi resmi

Çizelge 5.89’de ise dönerin kütlesindeki değişim ve set edilen basınçlarda verilmektedir. Birinci deneyde döner başlangıç merkez sıcaklığı 5°C’ye gelirken kütle kaybı 3.5gr olarak gerçekleşmiştir. Kütle kaybı %10.6 olmuştur. 10mbar vakum basıncında soğutulan dönerin başlangıç merkez sıcaklığı düşerken kütle kaybı %10.8 olarak bulunmuştur. 15 mbar basınçta ise, kütle kaybı 3.9 gr olarak gerçekleşmiş ve vakum altında soğutulan haşlanmış tavukta kütle kaybı %8.9 oranında olmuştur.

Çizelge 5.89. Vakum altında soğutmada dönerin başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı

Ayarlanan Basınç (mbar)	7	10	15
Piştirme Öncesi Kütle (g)	34,914	35,195	46,541
Piştirme Sonrası Kütle (g)	33,037	34,751	44,345
Kütle Kaybı (g)	1,877	0,444	2,196
Kütle Kaybı Oranı (%)	5,37	1,26	4,71
Soğutma Sonrası Kütle (g)	29,538	31,356	40,410
Kütle Kaybı (g)	3,499	3,395	3,935
Kütle Kaybı Oranı (%)	10,59	10,83	8,87

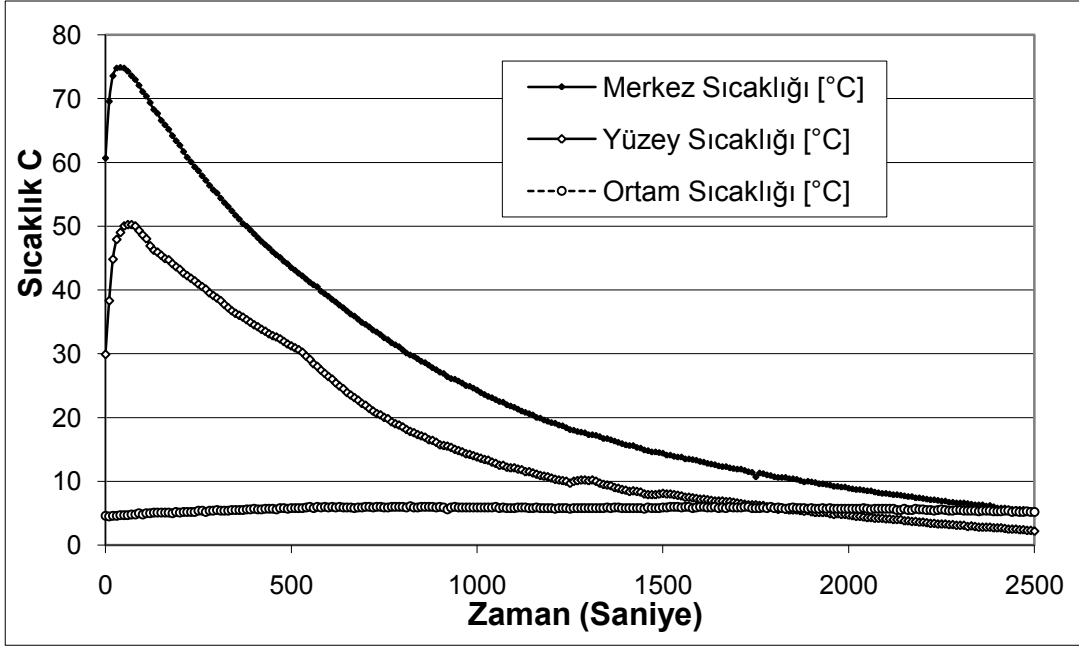
5.10.2. Dönerin klasik yöntemle soğutulması

Dönerin klasik olarak soğutulması buzdolabında (5 °C, -16 °C ve -20 °C sıcaklıkta) yapılmıştır. -16 °C ve -20 °C sıcaklıklarda yapılan deneylerde, yüzey sıcaklığı 0 °C’ye geldiğinde donma olayı gerçekleşmiştir.

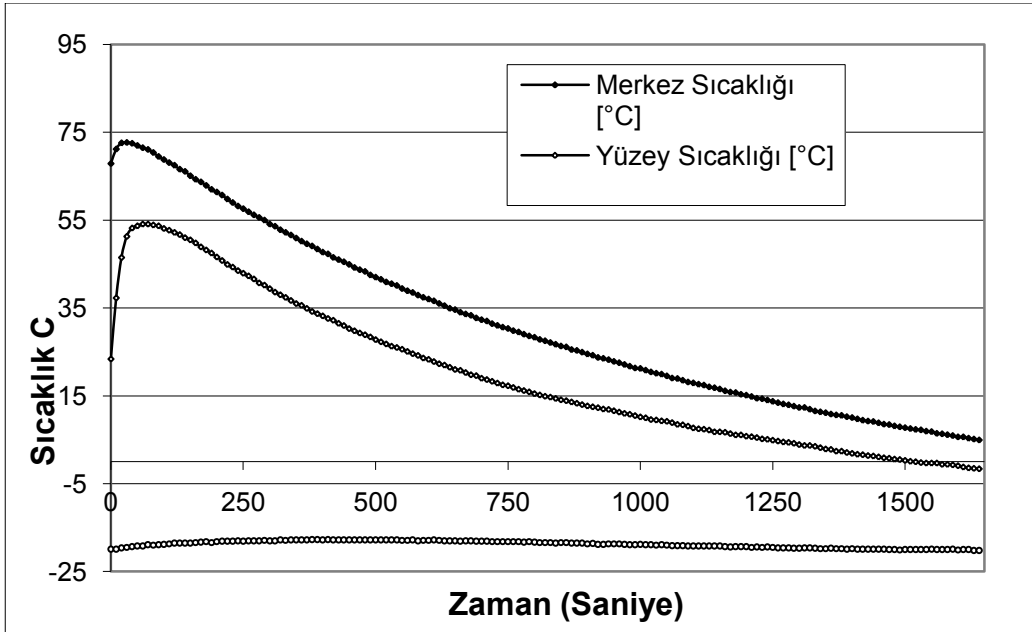
Dondurucuda 5°C’de dönerin soğutulmasına ilişkin deneysel sonuçlar Şekil 5.223’de verilmiştir. Dönerin merkez sıcaklığının 5 °C ye gelmesi için geçen süre 2560 saniye (43dk.) olmuştur.

Klasik soğutmada diğer bir deney -16 °C altında yürütülmüştür. Dönerin ağırlıkları ve kütle kayıplarına ilişkin veriler Çizelge 5.90’de verilmiştir.

-16°C sıcaklıkta, klasik soğutmada dönerin sıcaklık değişimi Şekil 5.224’de verildiği gibidir. Şekilden de görüldüğü gibi, düşük sıcaklıklarda dönerin yüzeyinde hızlı bir soğuma gerçekleşirken, merkezdeki sıcaklık değişimi yavaş olmaktadır. Dönerin merkez sıcaklığı 1640 saniyede (27 dakika) depolama sıcaklığı olan 5°C sıcaklığına gelmektedir. Oysaki yüzey sıcaklığı 1500 saniyede 0°C’nin altına düşerek yüzeyde donma gerçekleşmektedir.

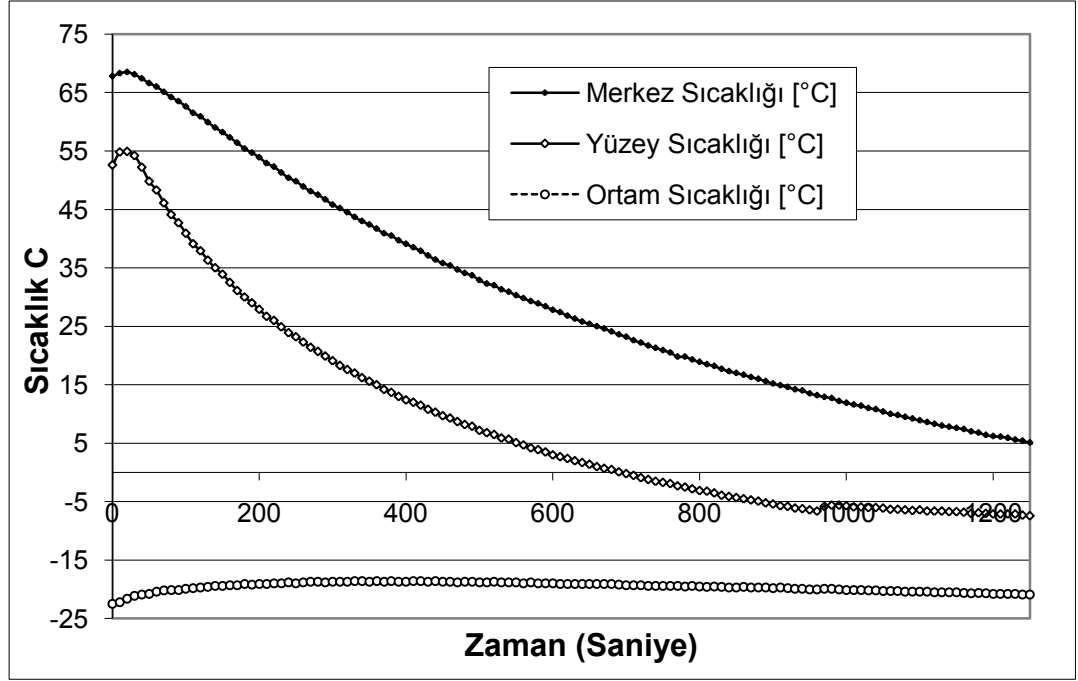


Şekil 5.223. Buzdolabında 5°C sıcaklık altında dönerin yüzey sıcaklığı, merkez sıcaklığı ve ortam sıcaklığındaki değişim.



Şekil 5.224. Buzdolabında -16°C sıcaklık altında dönerin yüzey sıcaklığı, merkez sıcaklığı ve ortam sıcaklığındaki değişim.

-20°C sıcaklıkta, klasik soğutmada Dönerin sıcaklık değişimi Şekil 5.225'de verilmiştir. Dönerin -20°C'de merkez sıcaklığının 5 °C ye soğuması için geçen süre 1310 saniye (22 dakika) olmuştur.



Şekil 5. 225. Buzdolabında -20°C sıcaklık altında dönerin yüzey sıcaklığı, merkez sıcaklığı ve ortam sıcaklığındaki değişim.

Klasik soğutma yapılmadan ve yapıldıktan sonra da dönerin ağırlıkları ölçülmüş ve kütle kaybı belirlenmiştir. 5°C sıcaklıkta gerçekleştirilen soğutma işlemi çok uzun sürmüş, örneklerdeki kütle kaybı ise %3.5'ün altında gerçekleşmiştir (Çizelge 5.90). Klasik soğutmada bu deney derin dondurucu sıcaklığı -20°C 'ye ayarlanmak suretiyle yürütülmüştür. Bu sıcaklıkta soğutulan dönerin ağırlığı ve kütle kaybına ilişkin veriler Çizelge 5.90'de verilmiştir. Dönerin merkez sıcaklığının 5°C sıcaklığa kadar soğutulması sırasında dolmada kütle kaybı %3.55'ün olarak gerçekleşmiştir. Derin dondurucuda gerçekleştirilen soğutma süreleri uzun olurken, kütle kaybı vakum altında soğutmaya oranlar daha düşük kalmıştır.

Çizelge 5.90. Dönerin klasik soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı

Ayarlanan Sıcaklık	5°C	-16°C	-20°C
Pişirme Öncesi Kütle	41.475	58.130	45.489
Pişirme Sonrası Kütle	37.532	53.454	41.079
Kütle Kaybı	3,943	4,676	4,410
Kütle Kaybı Oranı	9,50	8,04	9,69
Soğutma Sonrası Kütle	36.219	51.363	39.620
Kütle Kaybı	1,313	2,091	1,459
Kütle Kaybı Oranı	3,50	3,91	3,55

5.10.3. Dönerin Hava Üflemleri Soğutucuda Soğutulması

Dönerin hava üflemleri soğutucuda soğutulmasına ilişkin deneyler; - 20°C, -16°C, 5°C derecelerde, 1 m/s, 2 m/s, 4 m/s hızlarda yapılmıştır. Soğutma deneyleri hava akış yönü yukarıdan aşağıya doğru gerçekleşmektedir. Sıcaklık probu merkez, yüzey ve ortam sıcaklıklarını ölçerken hız probu hava hızı değerlerini ölçerek deney gerçekleşmektedir.

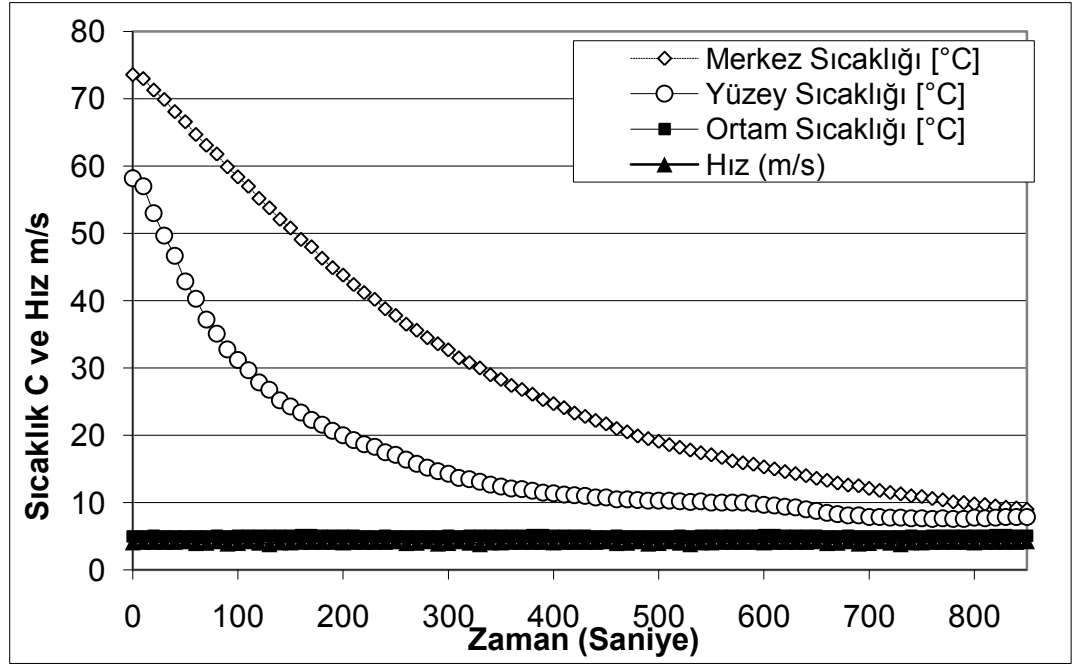
a) 5°C de 4 m/s hız altında

Deneyde ortam sıcaklığı 5°C getirilmiş ve hava akış hızı 4m/s' ye ayarlanmıştır. Şekil 5.226'de görüldüğü gibi, merkez ve yüzey sıcaklığı düşmüştür. 870 saniyede merkez sıcaklığı 5°C düşmüş ve deney sona ermiştir.

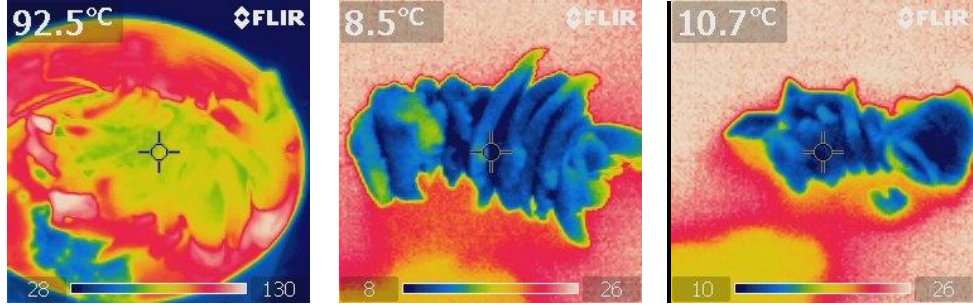
Çizelge 5.91'te ise dönerin kütlesindeki değişim verilmektedir. Deneyde dönerin merkez sıcaklığı başlangıç sıcaklığı olan 73°C'den 5°C'ye gelirken kütle kaybı 0,902 gr olarak gerçekleşmiştir. Kütle kaybı %2,4 olmuştur. Şekil 5.227 de soğutma öncesi ve sonrasına ait termal kamera görüntülerine yer verilmiştir.

Çizelge 5.91. Dönerin 5°C 4m/s için hava üflemleri soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı

Fırınlanmadan Önceki Kütle:	40,405 gr
Başlangıç Kütle:	36,544 gr
Son Kütle:	35,642 gr
Kütle Kaybı	0,902 gr
Kütle Kaybı Oranı	%2,4



Şekil 5.226. Hava üfleli soğutucuda 5°C 4m/s için, dönerin yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi



Soğutma Başlamadan

Soğutma Sonrası

Soğutma Sonrası (Ortadan Kesilmiş)

Şekil 5.227. Dönerin 5°C 4m/s de hava üfleli soğutma sonrası sıcaklık değişimi resmi

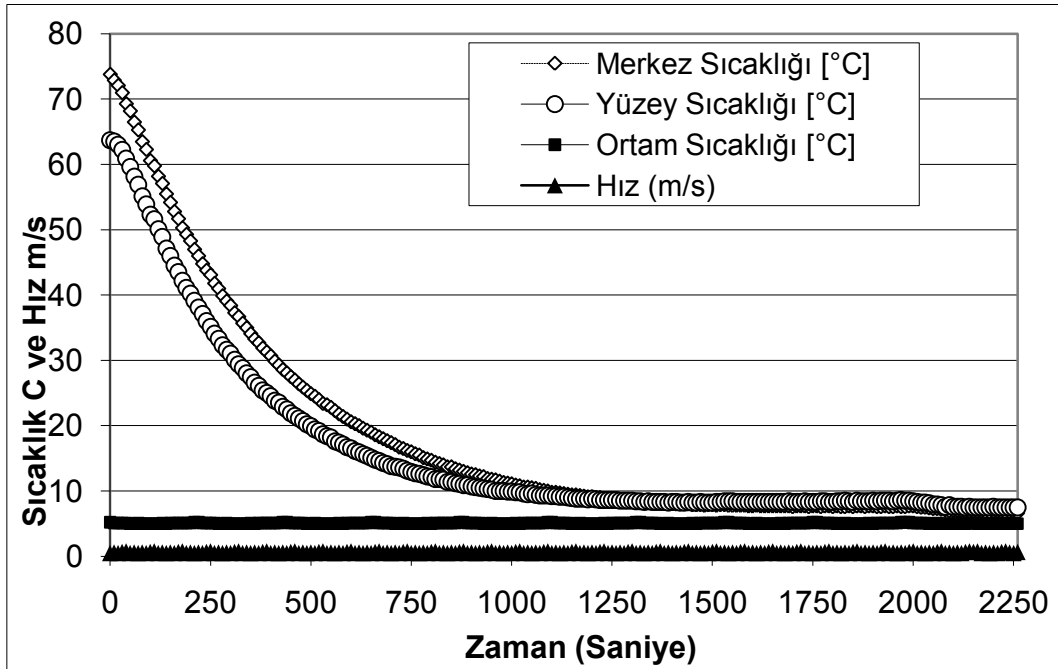
b) 5°C de 2 m/s hız altında

Deneyde ortam sıcaklığı 5°C getirilmiş ve hava akış hızı 2m/s' ye ayarlanmıştır. Şekil 5.228'de görüldüğü gibi, merkez ve yüzey sıcaklığı düşmüştür. 2250 saniyede merkez sıcaklığı 5°C düşmüş ve deney sona ermiştir.

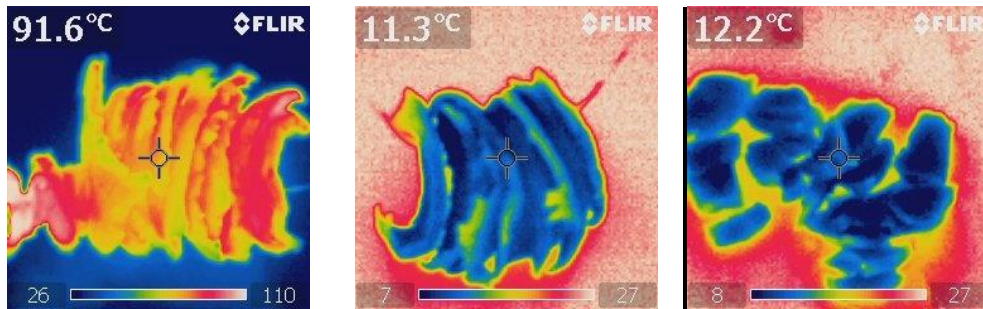
Çizelge 5.92'te ise dönerin kütesindeki değişim verilmektedir. Deneyde dönerin merkez sıcaklığı başlangıç sıcaklığı olan 74°C'den 5°C'ye gelirken kütle kaybı 1,075 gr olarak gerçekleşmiştir. Kütle kaybı %3,6 olmuştur. Şekil 5.229 da soğutma öncesi ve sonrasına ait termal kamera görüntülerine yer verilmiştir.

Çizelge 5.92. Dönerin 5°C 2m/s için hava üfleli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı

Fırınlanmadan Önceki Kütle:	33,212 gr
Başlangıç Kütle:	29,262 gr
Son Kütle:	28,187 gr
Kütle Kaybı	1,075 gr
Kütle Kaybı Oranı	%3,6



Şekil 5.228. Hava üfleli soğutucuda 5°C 2m/s için, dönerin yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi



Soğutma Başlamadan

Soğutma Sonrası

Soğutma Sonrası (Ortadan Kesilmiş)

Şekil 5.229. Dönerin 5°C 2m/s de hava üfleli soğutma sonrası sıcaklık değişimi resmi

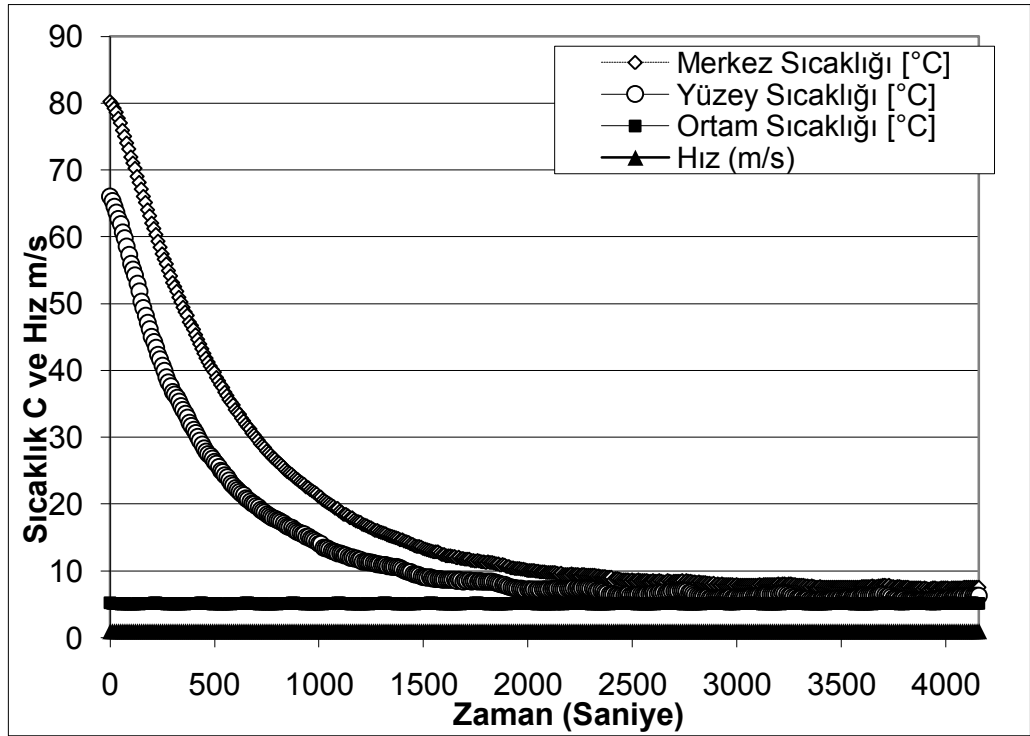
c) 5°C de 1 m/s hız altında

Deneyde ortam sıcaklığı 5°C getirilmiş ve hava akış hızı 1m/s' ye ayarlanmıştır. Şekil 5.230'de görüldüğü gibi, merkez ve yüzey sıcaklığı düşmüştür. 70 dakikada merkez sıcaklığı 5°C düşmüş ve deney sona ermiştir.

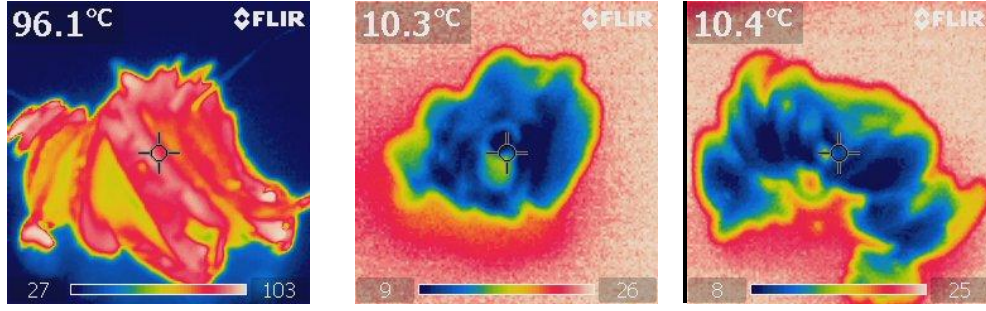
Çizelge 5.93'te ise dönerin kütlesindeki değişim verilmektedir. Deneyde dönerin merkez sıcaklığı başlangıç sıcaklığı olan 80°C'den 5°C'ye gelirken kütle kaybı 0,970 gr olarak gerçekleşmiştir. Kütle kaybı %3,5 olmuştur. Şekil 5.231 de soğutma öncesi ve sonrasına ait termal kamera görüntülerine yer verilmiştir.

Çizelge 5.93 Dönerin 5°C 1m/s için hava üflemlili soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı

Fırınlanmadan Önceki Kütle:	30,107 gr
Başlangıç Kütle:	27,145 gr
Son Kütle:	26,175 gr
Kütle Kaybı	0,970 gr
Kütle Kaybı Oranı	%3,5



Şekil 5.230. Hava üflemlili soğutucuda 5°C 1m/s için, dönerin yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi



Soğutma Başlamadan

Soğutma Sonrası

Soğutma Sonrası (Ortadan Kesilmiş)

Şekil 5.230. Dönerin 5°C 1m/s de hava üflemeli soğutma sonrası sıcaklık değişimi resmi

g) -16°C de 4 m/s hız altında

Deneyde ortam sıcaklığı -16°C getirilmiş ve hava akış hızı 4m/s' ye ayarlanmıştır. Şekil 5.232'de görüldüğü gibi, merkez ve yüzey sıcaklığı düşmüştür. 8 dakikada merkez sıcaklığı 5°C düşmüş ve deney sona ermiştir.

Çizelge 5.94'te ise dönerin kütesindeki değişim verilmektedir. Deneyde dönerin merkez sıcaklığı başlangıç sıcaklığı olan 71°C'den 5°C'ye gelirken kütle kaybı 0,725 gr olarak gerçekleşmiştir. Kütle kaybı %2,2 olmuştur. Şekil 5.233 de soğutma öncesi ve sonrasına ait termal kamera görüntülerine yer verilmiştir.

Çizelge 5.94. Dönerin -16°C 4m/s için hava üflemeli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı

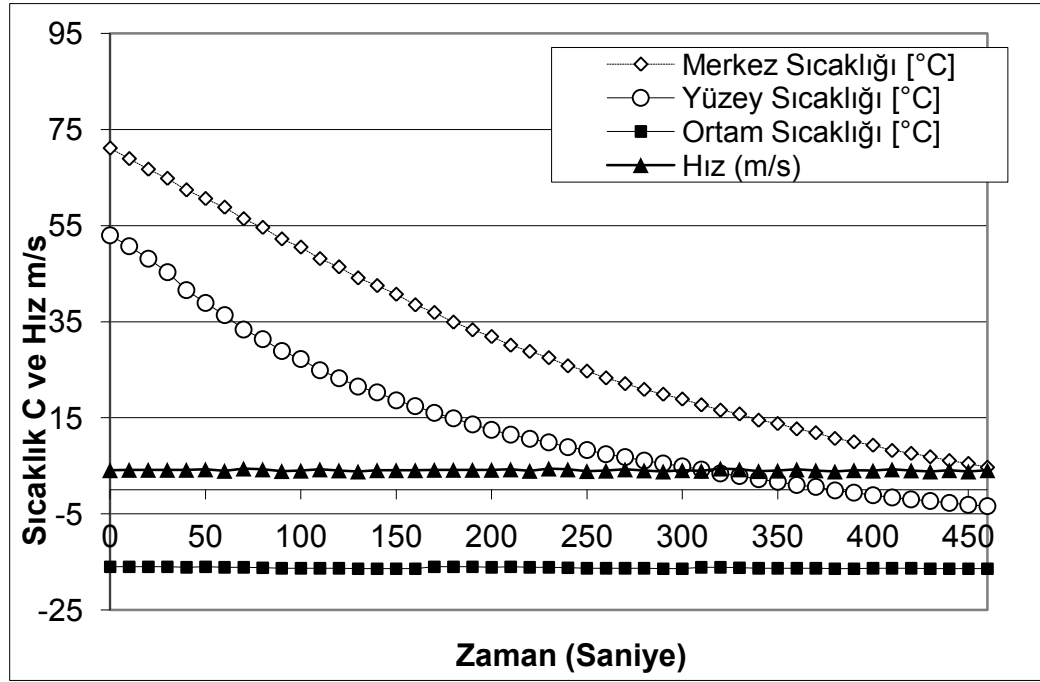
Fırınlanmadan Önceki Kütle:	40,772 gr
Başlangıç Kütle:	31,917 gr
Son Kütle:	31,192 gr
Kütle Kaybı	0,725 gr
Kütle Kaybı Oranı	%2,2

e) -16°C de 2 m/s hız altında

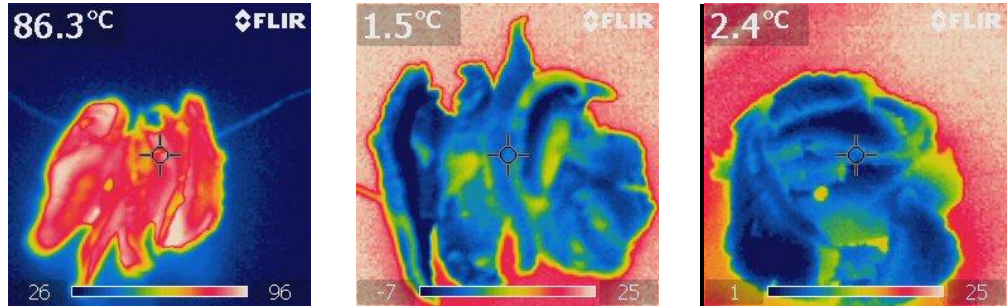
Deneyde ortam sıcaklığı -16°C getirilmiş ve hava akış hızı 2m/s' ye ayarlanmıştır. Şekil 5.234'de görüldüğü gibi, merkez ve yüzey sıcaklığı düşmüştür. 930 saniyede merkez sıcaklığı 5°C düşmüş ve deney sona ermiştir.

Çizelge 5.95'te ise dönerin kütesindeki değişim verilmektedir. Deneyde dönerin merkez sıcaklığı başlangıç sıcaklığı olan 70°C'den 5°C'ye gelirken kütle kaybı

1,076 gr olarak gerçekleşmiştir. Kütle kaybı %2,8 olmuştur. Şekil 5.235 de soğutma öncesi ve sonrasına ait termal kamera görüntülerine yer verilmiştir.



Şekil 5.232. Hava üfleli soğutucuda -16°C 4m/s için, dönerin yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi



Soğutma Başlamadan

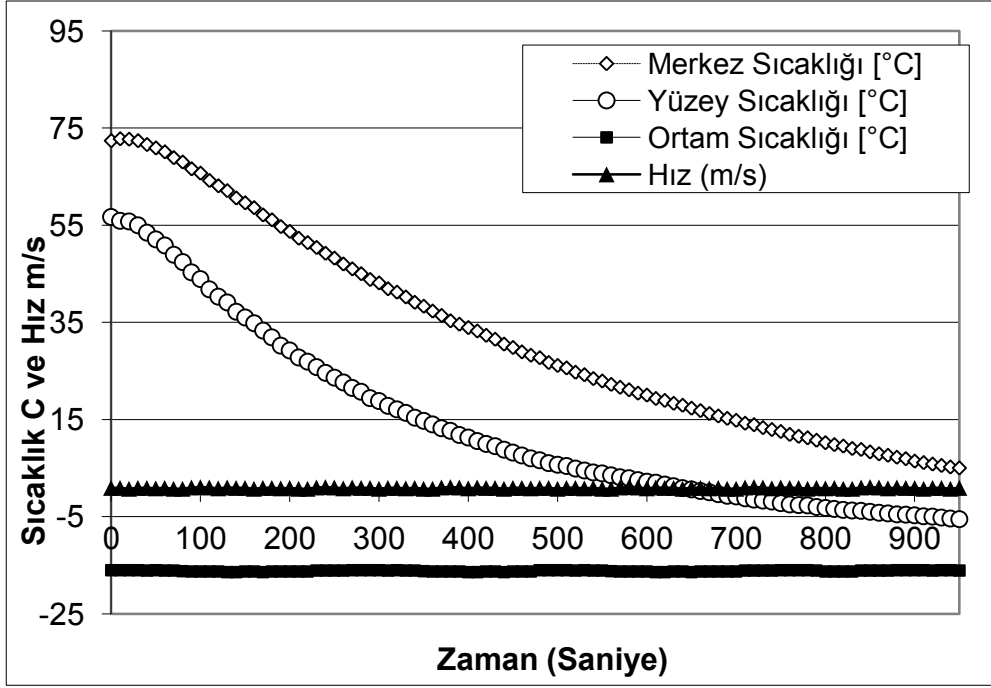
Soğutma Sonrası

Soğutma Sonrası (Ortadan Kesilmiş)

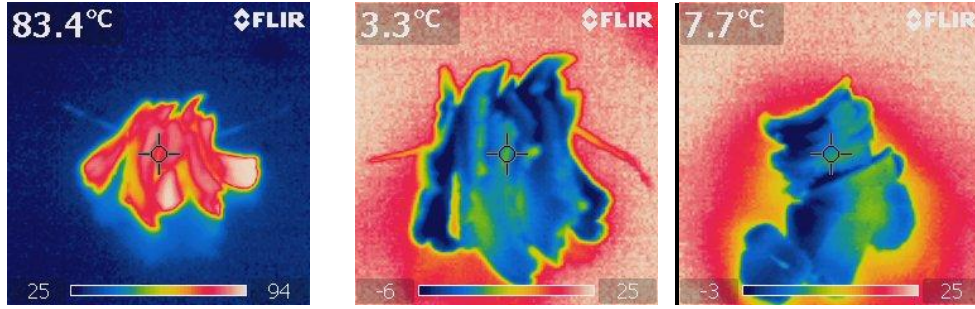
Şekil 5.233. Dönerin -16°C 4m/s de hava üfleli soğutma sonrası sıcaklık değişimi resmi

Çizelge 5.95. Dönerin -16°C 2m/s için hava üfleli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı

Fırınlanmadan Önceki Kütle:	39,466 gr
Başlangıç Kütle:	37,241 gr
Son Kütle:	36,165 gr
Kütle Kaybı	1,076 gr
Kütle Kaybı Oranı	%2,8



Şekil 5.234. Hava üflemeli soğutucuda -16°C 2m/s için, dönerin yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi



Soğutma Başlamadan

Soğutma Sonrası

Soğutma Sonrası (Ortadan Kesilmiş)

Şekil 5.235 Dönerin -16°C 2m/s de hava üflemeli soğutma sonrası sıcaklık değişimi resmi

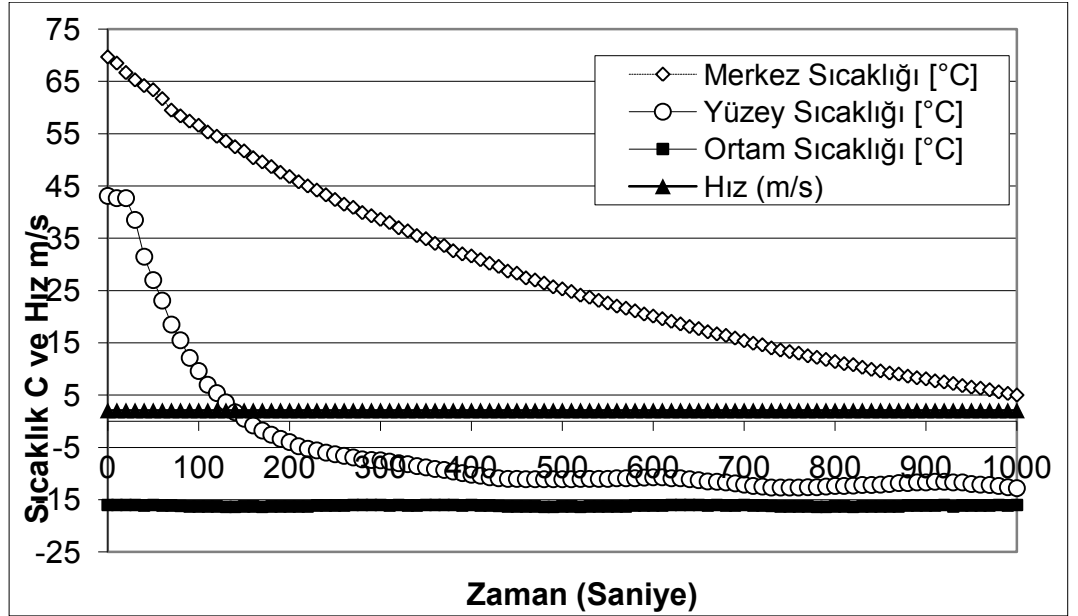
f) -16°C de 1 m/s hız altında

Deneyde ortam sıcaklığı -16°C getirilmiş ve hava akış hızı 1m/s' ye ayarlanmıştır. Şekil 5.236'de görüldüğü gibi, merkez ve yüzey sıcaklığı düşmüştür. 8 dakikada merkez sıcaklığı 50C düşmüş ve deney sona ermiştir.

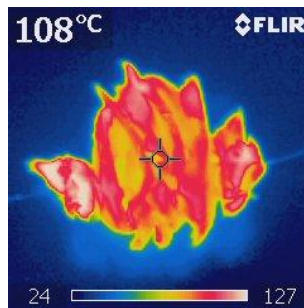
Çizelge 5.96'te ise dönerin kütlesindeki değişim verilmektedir. Deneyde dönerin merkez sıcaklığı başlangıç sıcaklığı olan 72°C 'den 5°C 'ye gelirken kütle kaybı 0,676 gr olarak gerçekleşmiştir. Kütle kaybı %2,3 olmuştur. Şekil 5.237 de soğutma öncesi ve sonrasına ait termal kamera görüntülerine yer verilmiştir.

Çizelge 5.96. Dönerin -16°C 1m/s için hava üfleli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı

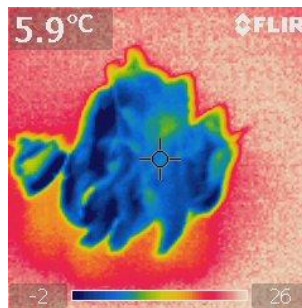
Fırınlanmadan Önceki Kütle:	37,584 gr
Başlangıç Kütle:	29,351 gr
Son Kütle:	28,675 gr
Kütle Kaybı	0,676 gr
Kütle Kaybı Oranı	%2,3



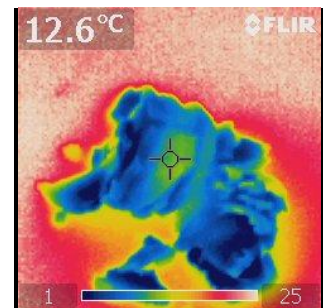
Şekil 5.236. Hava üfleli soğutucuda -16°C 1m/s için, dönerin yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi



Soğutma Başlamadan



Soğutma Sonrası



Soğutma Sonrası (Ortadan Kesilmiş)

Şekil 5.237 Dönerin -16°C 1m/s de hava üfleli soğutma sonrası sıcaklık değişimi resmi

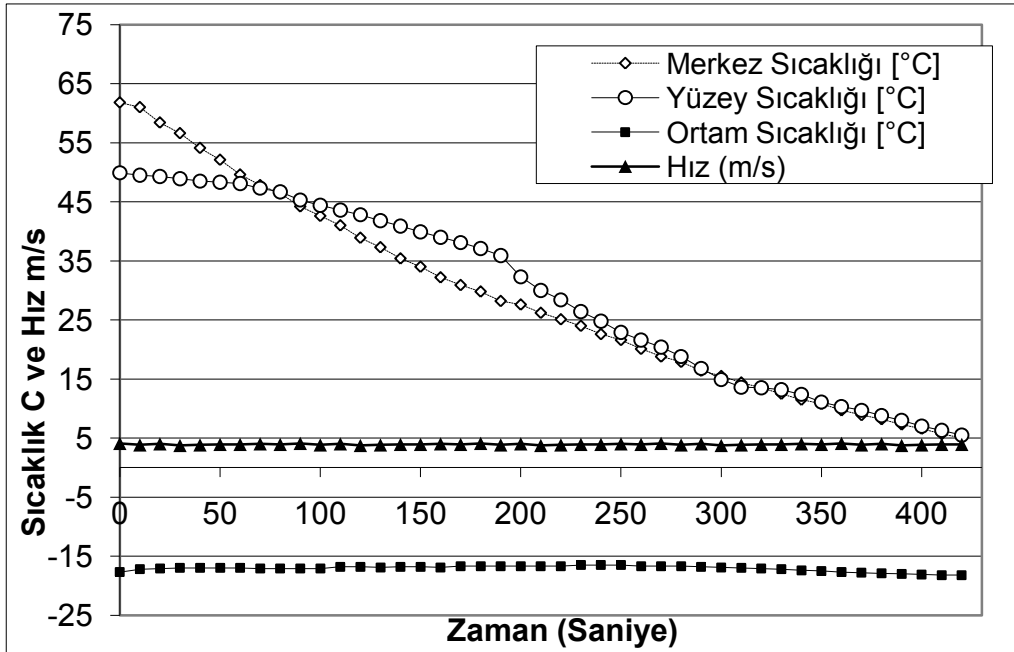
g) -20°C de 4 m/s hız altında

Deneyde ortam sıcaklığı -20°C getirilmiş ve hava akış hızı 4m/s' ye ayarlanmıştır. Şekil 5.238'de görüldüğü gibi, merkez ve yüzey sıcaklığı düşmüştür. 420 saniyede merkez sıcaklığı 5°C düşmüş ve deney sona ermiştir.

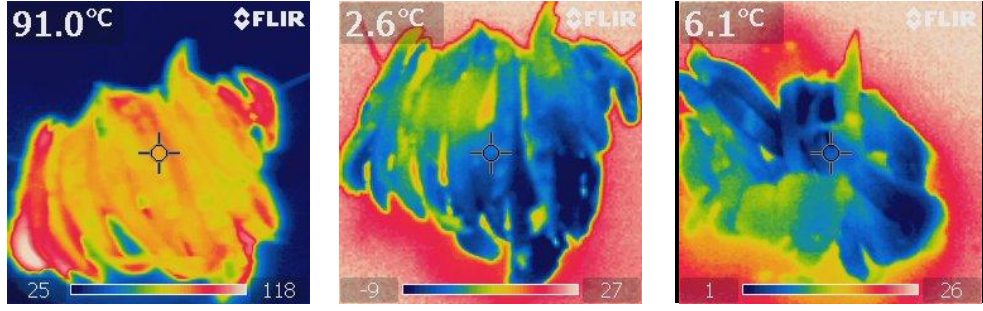
Çizelge 5.97'te ise dönerin kütleindeki değişim verilmektedir. Deneyde dönerin merkez sıcaklığı başlangıç sıcaklığı olan 76°C'den 5°C'ye gelirken kütle kaybı 0,881 gr olarak gerçekleşmiştir. Kütle kaybı %2,7 olmuştur. Şekil 5.239 de soğutma öncesi ve sonrasına ait termal kamera görüntülerine yer verilmiştir.

Çizelge 5.97. Dönerin -20°C 4m/s için hava üfleli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı

Fırınlanmadan Önceki Kütle:	40,604 gr
Başlangıç Kütle:	31,936 gr
Son Kütle:	31,055 gr
Kütle Kaybı	0,881 gr
Kütle Kaybı Oranı	%2,7



Şekil 5.238. Hava üfleli soğutucuda -20°C 4m/s için, dönerin yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi



Soğutma Başlamadan Soğutma Sonrası Soğutma Sonrası (Ortadan Kesilmiş)

Şekil 5.239. Dönerin -20°C 4m/s de hava üflemeli soğutma sonrası sıcaklık değişimi resmi

h) -20°C de 2 m/s hız altında

Deneyde ortam sıcaklığı -20°C getirilmiş ve hava akış hızı 2m/s' ye ayarlanmıştır. Şekil 5.240'de görüldüğü gibi, merkez ve yüzey sıcaklığı düşmüştür. 510 saniyede merkez sıcaklığı 5°C düşmüş ve deney sona ermiştir.

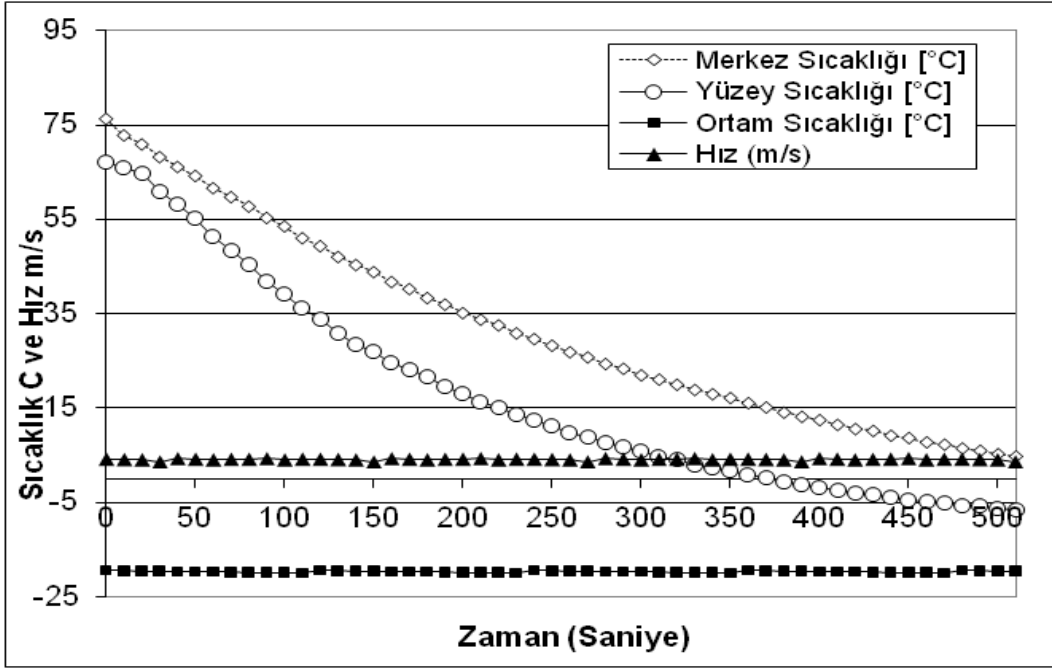
Çizelge 5.98'te ise dönerin kütesindeki değişim verilmektedir. Deneyde dönerin merkez sıcaklığı başlangıç sıcaklığı olan 58°C'den 5°C'ye gelirken kütle kaybı 1,237 gr olarak gerçekleşmiştir. Kütle kaybı %3,9 olmuştur. Şekil 5.241 de soğutma öncesi ve sonrasına ait termal kamera görüntülerine yer verilmiştir.

Çizelge 5.98. Dönerin -20°C 2m/s için hava üflemeli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı

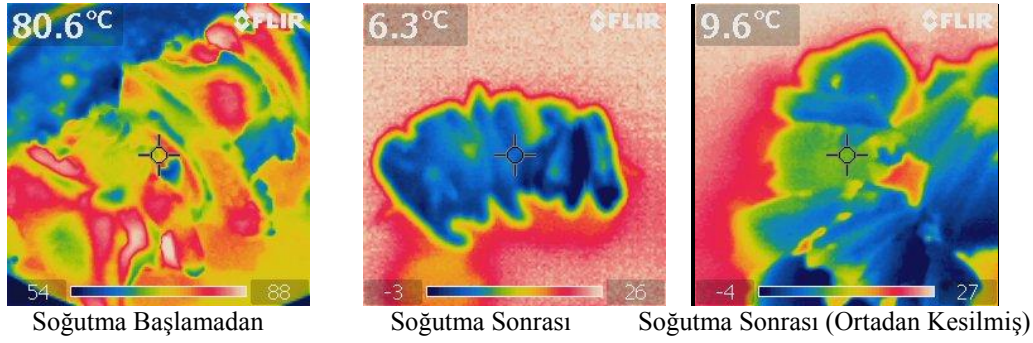
Fırınlanmadan Önceki Kütle:	41,150 gr
Başlangıç Kütle:	31,265 gr
Son Kütle:	30,028 gr
Kütle Kaybı	1,237 gr
Kütle Kaybı Oranı	%3,9

i) -20°C de 1 m/s hız altında

Deneyde ortam sıcaklığı -20°C getirilmiş ve hava akış hızı 1m/s' ye ayarlanmıştır. Şekil 5.242'de görüldüğü gibi, merkez ve yüzey sıcaklığı düşmüştür. 730 saniyede merkez sıcaklığı 5°C düşmüş ve deney sona ermiştir.



Şekil 5.240. Hava üfleli soğutucuda -20°C 2m/s için, dönerin yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi

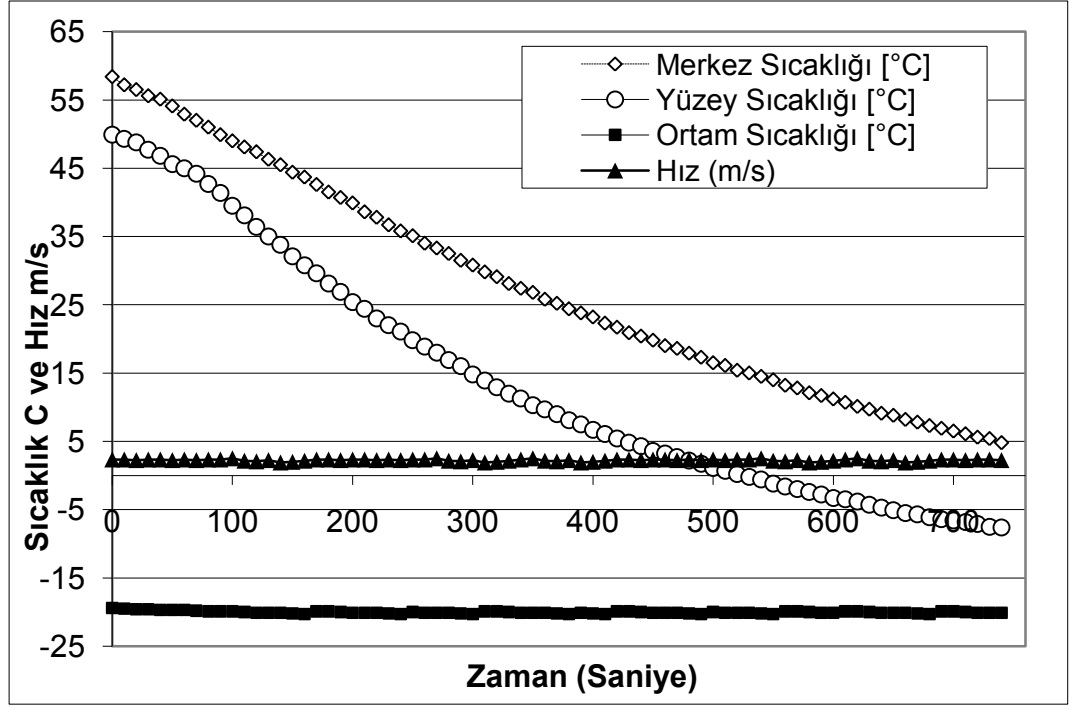


Şekil 5.241. Dönerin -20°C 2m/s de hava üfleli soğutma sonrası sıcaklık değişimi resmi

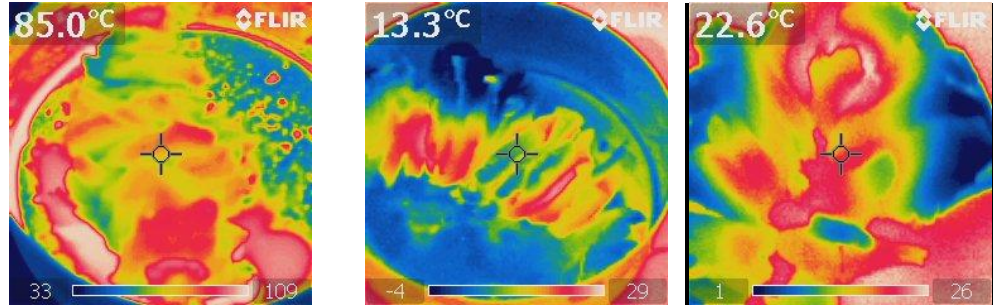
Çizelge 5.99'te ise dönerin kütleindeki değişim verilmektedir. Deneyde dönerin merkez sıcaklığı başlangıç sıcaklığı olan 61.8°C'den 5°C'ye gelirken kütle kaybı 2,056 gr olarak gerçekleşmiştir. Kütle kaybı %4,8 olmuştur. Şekil 5.243 de soğutma öncesi ve sonrasına ait termal kamera görüntülerine yer verilmiştir.

Çizelge 5.99. Dönerin -20°C 1m/s için hava üfleli soğutucuda soğutulmasında başlangıç ve son kütleleri ile kütle kaybı

Fırınlanmadan Önceki Kütle:	45,774 gr
Başlangıç Kütle:	42,552 gr
Son Kütle:	40,496 gr
Kütle Kaybı	2,056 gr
Kütle Kaybı Oranı	%4,8



Şekil 5.242. Hava üflemeli soğutucuda -20°C 1m/s için, dönerin yüzey, merkez ve ortam sıcaklığının değişimi



Soğutma Başlamadan

Soğutma Sonrası

Soğutma Sonrası (Ortadan Kesilmiş)

Şekil 5.243 Dönerin -20°C 1m/s de hava üflemeli soğutma sonrası sıcaklık değişimi resmi

6. VAKUM ALTINDA SOĞUTULAN ÜRÜNLER İÇİN MİKROBİYAL ANALİZ

Köfte, tavuk eti ve dönerin vakum altında ve farklı sıcaklıklarda soğutulması durumları için mikrobiyal analiz yapılmış ve karşılaştırılmıştır. Yapılan bu çalışma ile vakum altında soğutmanın mikrobiyal yüklerin gelişmesini nasıl etkilediği bulunmaya çalışılmıştır. Böylece vakum soğutmanın mikrobiyal gelişmeyi yavaşlatıp yavaşlatmadığı bulunmaya çalışılmıştır. Bu nedenle köfte, tavuk eti ve dönerden soğutmanın hemen sonrasında örnekler alınarak gerekli hazırlıklar yapılmış ve 5 °C sıcaklıkta bekletilmiştir. 1. gün ve 1. hafta sonunda mikrobiyal gelişmeler not edilmiştir. Deney hazırlıkları ve yapılış şekli aşağıda detaylı olarak verilmiştir.

Genel anlamda toplam bakteri ya da toplam canlı bakteri olarak isimlendirilen sayı aslında “toplam aerobik mezofilik bakteri” sayısıdır. Gıdaların mikrobiyolojik analizinde önemli olan mezofil ve aerob koşullarda gelişebilen bakterilerdir. Bunun nedeni gıdalarda bulunabilen bakterilerin büyük bir çoğunluğunun aerobik - mezofilik olarak tanımlanan sınırlar içinde gelişebilmesi, özel besin maddelerine gereksinim göstermemesi; gıdaların çok büyük bir çoğunluğunda olduğu gibi nötr-hafif asit ortamlarda gelişebilmesidir. Bu bağlamda, nötr pH'lı ve çoğu bakterinin gelişebileceği düzeyde yeterli besin maddesi içeren ancak, hiç bir inhibitör içermeyen bir genel besiyerinde mezofil ve aerob inkübasyon koşullarında gelişebilen bakteriler gıdalarda en çok rastlanan saprofit ve patojen bakterilerdir. Önemli olan bu bakterilerin cins ve türleri değil, bunların toplam sayısıdır. Bununla birlikte toplam aerobik mezofilik bakteri olarak değerlendirilen sayının içinde patojenler de vardır.

Toplam canlı bakteri sayısı, ürünün raf ömrünün ve ortam koşullarının patojen bakteri gelişmesi için uygun olup olmadığının bir göstergesidir. Bu amaçla aerobik mezofilik bakteri sayımı yapılır. Zehirlenmeye neden olan gıdalarda mezofilik bakteri sayısı nadiren 10^5 /g'ın altında olup, genellikle 10^6 - 10^7 /g düzeyindedir. Toplam aerobik mezofilik bakteri sayımı ile gıdaların işleme sonrası depolama ve taşıma koşulları hakkında bilgi edinilerek bunların asgari

standartlara uyup uymadığı belirlenebilir. Buna göre, gıdada bozulmanın başlaması ve raf ömrü saptanabilir.

Toplam canlı mikroorganizma sayısının belirlenmesinde (yani koloni sayımında) Dökme Plak Yöntemi yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yöntemde içerisinde 10-15mL katı agar bulunan steril petrilere 10^{-1} , 10^{-2} , 10^{-3} 'lük seyreltmelerden paralelli veya üçlü olarak 1'er mL (inokulum) aktarılır. Besiyerleri belirli sıcaklıkta ve sürede inkübe edilir. İnkübasyon bitiminde 25 ile 250 (veya 30-300) arasında koloni içeren seyreltmelerin petrilere sayılır. Aritmetik ortalamaları alınarak seyreltme faktörü ile çarpılır, örneğin gram veya mililitresindeki mikroorganizma sayısı (cfu/g ya da kob/g: koloni oluşturan birim/gram) olarak belirlenir.

Gıda mikrobiyolojisi ile ilgili standartlarda toplam maya ve küf sayısı genel olarak birlikte ele alınır. Toplam canlı bakteri sayımında olduğu gibi uygun bir besiyerinde uygun inkübasyon koşulları sonunda koloni oluşturabilen maya ve küf hücrelerinin toplam sayısını verir. Maya - küf sayısı paketleme işleminden önce açık havaya maruz kalan, ürün pastörize olsa dahi ambalaj materyalinden bulaşma olabilen, yıkama ve soğutma/dondurma dışında teknolojik işlem görmeyen gıdalar için önemli bir kalite göstergesidir (Gül ve Önal, 2008).

Analiz için doğrudan ekim yönteminde 10^{-1} , 10^{-2} , 10^{-3} 'lük seyreltmelerden besiyeri üzerine 1'er mL (inokulum) aktarılır. 25°C'de 5 gün inkübasyona bırakılır. Seyreltmeler diğer mikrobiyolojik analizlerde olduğu gibi yapılır. Ancak, küf sporları çok kolay dibe çökerler; bu nedenle ekimin mümkün olduğu kadar kısa sürede, tercihen 1 dakika içinde yapılması önerilmektedir. Sayımlarda 10-15 ila 150 arasında küf; 30-300 arası maya kolonisi dikkate alınır. Standart inkübasyon koşulları 25°C'de 5 gündür.

Vakum soğutma işlemi ile soğutulan köftelerin raf ömrü ile klasik soğutma ile soğutulan köftelerin raf ömrünü karşılaştırma amacıyla dana etinden yapılmış köfteler (yaklaşık 75 gram) steril alüminyum kaplar içerisinde 220 °C'de 15 dakika pişirildikten sonra toplam aerobik mezofilik bakteri sayımı için hemen ekim yapılmış, ancak sayının <10 olduğu görülmüştür. Isıl işlem canlı bakterilerin büyük bir kısmını inaktif hale getirmiştir. Pişirme işlemini takiben, köfteler farklı koşullarda geleneksel ve vakum soğutma işlemine maruz bırakılmışlardır.

4±1°C'ye kadar soğutulan köfteler steril poşetler içinde buzdolabı koşullarında 5 gün depolandıktan sonra toplam canlı bakteri sayımı tekrarlanmıştır. Bu sayımda içerisinde PCA besiyeri bulunan petrilere nokta büyüklüğündeki koloniler dikkate alınmış, daha küçük olanlar dikkate alınmamıştır. Sayım yapıldıktan sonra farklı seyreltmeler için sonuçların birlikte ifade edilebilmesi için aşağıdaki formülasyon kullanılmıştır;

Koloni Sayısının Hesaplanması

$$N = C / [V(n_1 + 0,1 \times n_2) \times d]$$

Burada;

N = Örneğin 1 g ya da 1 ml'sinde mikroorganizma sayısı

C = Sayımı yapılan tüm petri kutularındaki koloni sayısı toplamı

V = Sayımı yapılan petri kutularına aktarılan hacim (ml)

n₁ = İlk seyreltiden yapılan sayımlarda sayım yapılan petri kutusu adedi

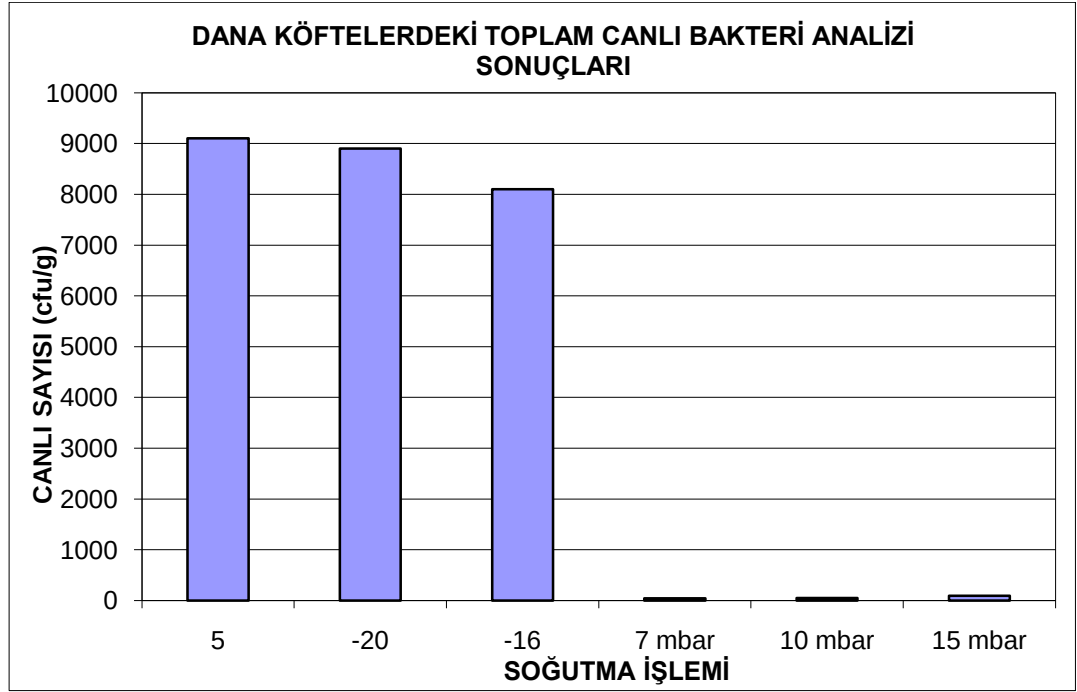
n₂ = İkinci seyreltiden yapılan sayımlarda sayım yapılan petri kutusu adedi

d = Sayımın yapıldığı ardışık 2 seyreltiden daha konsantre olanın seyreltme oranıdır.

Sonuçlar vakum soğutma uygulanan örneklerde (özellikle 7 ve 10 mbar vakum basıncında) mikrobiyal gelişimin daha az olduğunu ortaya çıkarmaktadır (Şekil 6.1). Vakum soğutma uygulamalarından 7 mbar'da olan soğutmada daha hızlı bir soğuma gerçekleştiğinden mikrobiyal gelişim daha az olmuştur. 7, 10 ve 15 mbar basınçlarda soğutulan dana köftelerinde 5 günlük depolama sonunda toplam canlı bakteri sayımı sırasıyla 1.64, 1.71 ve 3.95 log cfu/g olmuştur. Şekilden de açıkça görüldüğü gibi, klasik soğutmaya göre mikroorganizma gelişimi 7 ve 10 mbar'da soğutulan örneklerde çok daha yavaş olmuştur. 15 mbar basınç altında ise, belirli bir sıcaklığın altına inilemediği için depolama sonunda toplam canlı bakteri sayısı klasik soğutmadaki değerlere yakın çıkmıştır.

Dana etinden yapılmış köfte örneklerinden maya ve küf sayımı için pişirme öncesi ile soğutma işlemi sonrasında örnekler analize alınmış, fakat alınan numunelerde maya veya küf gelişimi olmamıştır. Isıl işlem ürün üzerinde ve içindeki maya ve küfleri inaktif hale getirmekte ve soğutma işlemi sırasında ürüne ciddi bir maya veya küf kontaminasyonu gerçekleşmemektedir.

Sonuç olarak geleneksel soğutma işlemiyle kıyaslandığında vakum altında soğutma işlemi (özellikle 7 ve 10 mbar'da) pişirildikten sonra soğutulmuş dana köftelerin +4°C'de beş günlük depolama sırasında raf ömrünü arttırmaktadır.



Şekil 6.1. Farklı soğutma işlemi ile soğutulan dana köfte örneklerinin +4°C sıcaklıkta beş günlük depolama öncesi ve sonrasında toplam canlı bakteri sayılarındaki değişim.

Vakum soğutmanın tavuk göğüslerinin raf ömrü üzerine etkisini araştırmak amacıyla, etler yaklaşık 60'ar gramlık parçalara bölündükten sonra 100 °C'deki suda 15 dakika ısıtma işlemine maruz bırakılmıştır. Steril bir çatal yardımıyla steril alüminyum kaplar içerisinde farklı soğutma işlemi ile soğutulan etlerde pişirme sonrası ve soğutma sonrasında mikrobiyolojik analiz için örnekler alınmıştır. 4±1°C'ye kadar soğutulan tavuk göğüsleri steril poşetler içinde buzdolabı koşullarında 5 gün depolandıktan sonra toplam canlı bakteri sayımı tekrarlanmıştır. Isıl işlem toplam bakteriler ile maya ve küflerin tamamına yakının inaktif hale getirmiştir. Bu durum toplam aerobik mezofilik bakteri ve maya-küf gelişiminin olmamasıyla kendini göstermiştir (Çizelge 6.1, 6.2).

Tavuk etinden alınan örneklerde soğutma işlemi suda pişirme işleminden hemen sonra gerçekleştiği için canlı gelişimi olmamıştır. Sonuçlar Çizelge 6.1 de verilmiştir. Benzer olarak küf gelişimi de olmamıştır (Çizelge 6.2).

Çizelge 6.1. Tavuğun Plate Count Agar Değerleri

T (C)	Toplam canlı sayımı (kob/ml)		
	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}
5	0	0	0
-20	0	0	1
-16	0	0	0
7 mbar	0	0	0
10 mbar	0	0	0
15 mbar	0	0	0

Tavuk eti steril edilmiş alüminyum kaplara yerleştirilerek üretici firma tarafından tavsiye edilen sıcaklık ve sürelerde ısıtma işlemine maruz bırakılmışlardır. Bu işlemi takiben tavuk eti soğutma işlemine alınmıştır. Klasik soğutma işleminden 5, -16 ve -20°C sıcaklıklarda ticari bir buzdolabında gerçekleştirilmiştir. Vakum altında soğutma işlemi ise 7, 10 ve 15 mbar'lık vakumda yapılmıştır. Soğutma işlemi sonunda ise tüm numuneler steril poşetlere steril koşullarda yerleştirilerek +4°C'lik buzdolabı koşullarında yedi gün süre ile depolanmıştır. Örnekler depolama öncesi ve sonunda mikrobiyolojik analize hazırlanarak farklı dilüsyonlardan PCA ve PDA besiyerlerine ekim yapılmıştır.

Çizelge 6.2 Tavuğun Potato Dextrose Agar Değerleri

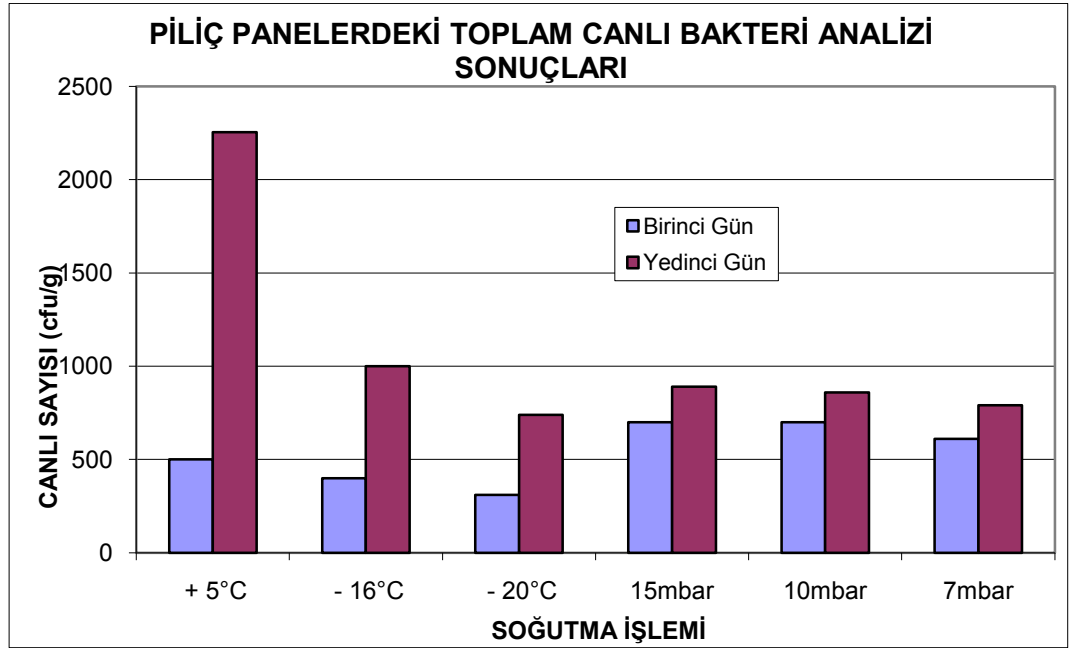
T (C)	Maya Küf sayımı (kob/ml)		
	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}
6	0	0	0
2	0	0	0
-24	0	0	0
-16	0	0	0
7 mbar	0	0	0
10 mbar	0	0	5
15 mbar	0	0	0

Isıl işlemi takiben alınan örneklerde (birinci gün) toplam aerobik mezofilik bakteri sayısı ortalama olarak 2.7 log cfu/g olarak bulunmuştur (Şekil 5.245). Yedi günlük depolama sonunda yüksek sıcaklıklarda soğutulan (özellikle +2 ve +5°C'de) tavuk etinde toplam canlı bakteri sayısının 3.4 log cfu/g'a kadar çıktığı gözlenmiştir. Vakum altında soğutulan tavuk etinde ise yedi günlük depolama

sonunda toplam canlı bakteri sayısı 2.8-2.9 log cfu/g aralığında kalmıştır. Vakum altında soğutulan tavuk etinde yedi günlük depolama sonundaki toplam aerobik mezofilik bakteri sayısının ortalaması 2.9 log cfu/g olarak bulunmuştur. Bu sayı -20°C’de soğutulan tavuk etinin sayısı ile benzerlik gösterse de, bu toplam canlı bakteri sayısı diğer yöntemlerle soğutulan tavuk etine ait sayıdan düşüktür (Şekil 6.2).

Tavuk etinde soğutma öncesi (yani ısıtma işlemi takiben) ile +4°C’de yedi günlük depolama sonrasında maya-küf gelişimi gözlenmemiştir.

Tavuk etinin soğutulmasına ilişkin sonuç olarak geleneksel soğutma işlemiyle kıyaslandığında vakum altında soğutma işlemi pişirildikten sonra soğutulmuş piliç etlerin +4°C’de bir haftalık depolama sırasında raf ömrünü arttırmaktadır.



Şekil 6.2. Farklı soğutma işlemi ile soğutulan tavuk etlerin +4°C sıcaklıkta yedi günlük depolama öncesi ve sonrasında toplam canlı bakteri sayılarındaki değişim.

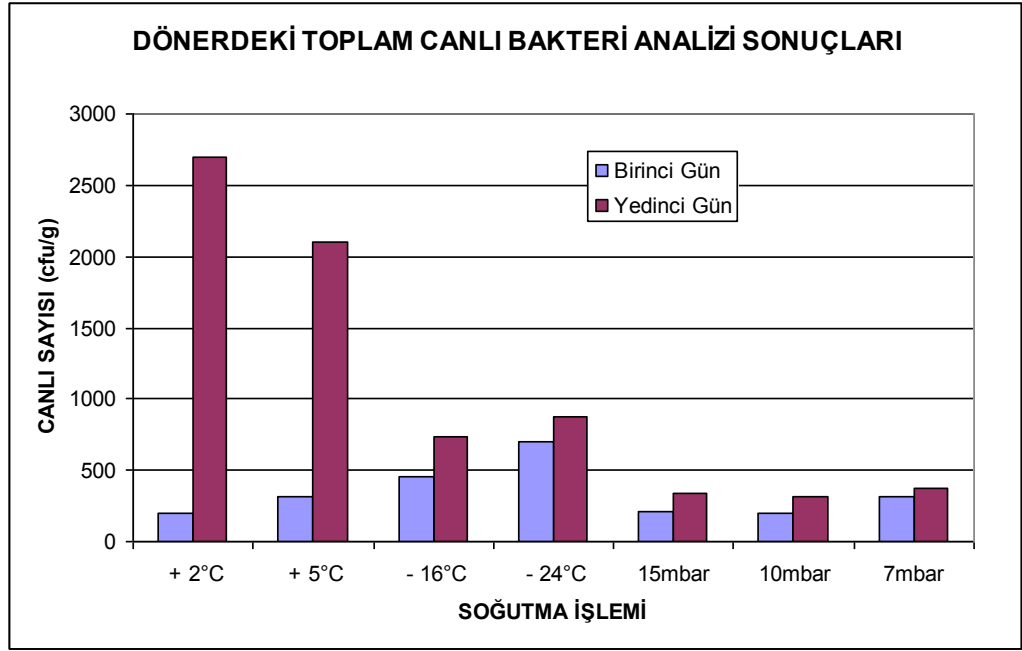
Şeritler halindeki döner parçaları steril edilmiş alüminyum kaplara yerleştirilerek üretici firma tarafından tavsiye edilen sıcaklık ve sürelerde ısıtma işlemine maruz bırakılmışlardır. Bu işlemi takiben döner soğutma işlemine alınmıştır. Klasik soğutma işleminden +5, -16 ve -20°C sıcaklıklarda ticari bir buzdolabında gerçekleştirilmiştir. Vakum altında soğutma işlemi ise 7, 10 ve 15mbar’lık vakumda yapılmıştır. Soğutma işlemi sonunda ise tüm numuneler steril poşetlere steril koşullarda yerleştirilerek +4°C’lik buzdolabı koşullarında yedi gün süre ile

depolanmıştır. Örnekler depolama öncesi ve sonunda mikrobiyolojik analize hazırlanarak farklı dilüsyonlardan PCA ve PDA besiyerlerine ekim yapılmıştır.

Isıl işlemi takiben alınan örneklerde (birinci gün) toplam aerobik mezofilik bakteri sayısının ortalaması 2.5 log cfu/g olarak bulunmuştur (Şekil 5.238). Yedi günlük depolama sonunda yüksek sıcaklıklarda soğutulan (özellikle +2 ve +5°C’de) dönerlerde toplam canlı bakteri sayısının 3.3 log cfu/g’dan daha fazla olduğu gözlenmiştir. Vakum altında soğutulan dönerlerde ise yedi günlük depolama öncesinde ve sonunda toplam canlı bakteri sayısı ciddi oranda değişmemiş; sayı 2.5 log cfu/g olarak kalmıştır. +5, -16 ve -24°C sıcaklıklarda soğutulan ve yedi gün +4°C’de depolanan dönerlerdeki toplam aerobik mezofilik bakteri sayısındaki artış sırasıyla 1.1, 0.8, 0.2 ve 0.1 logaritmik ünite olmuştur. Klasik soğutmada, sıcaklık azaldıkça depolama sonundaki toplam canlı bakteri sayısı da azalmıştır. Vakum altında soğutulan dönerlerde ise depolama sonundaki toplam aerobik mezofilik bakteri sayısındaki artış 15, 10 ve 7mbar’lık vakumda sırasıyla 0.2, 0.2 ve <0.1 logaritmik ünite olmuştur. Vakum basıncının azalması depolama sonundaki toplam aerobik mezofilik bakteri sayısında azalmaya neden olmuştur (Şekil 6.3).

Şerit halindeki dönerlerde soğutma öncesi (yani ısıtıl işlemi takiben) ile +4°C’de yedi günlük depolama sonrasında maya-küf gelişimi gözlenmemiştir.

Sonuç olarak geleneksel soğutma işlemiyle kıyaslandığında vakum altında soğutma işlemi pişirildikten sonra soğutulmuş şerit dönerlerin +4°C’de bir haftalık depolama sırasında raf ömrünü arttırmaktadır.



Şekil 6.3. Farklı soğutma işlemi ile soğutulan dönerlerin +4°C sıcaklıkta yedi günlük depolama öncesi ve sonrasında toplam canlı bakteri sayılarındaki değişim.

7. ENERJİ ANALİZİ

7.1. Soğutma Sistemleri İçin Enerji Analizi

Vakum soğutma sistemi, klasik soğutma sistemi ve hava üfleli soğutma sisteminin her üçünün de boyutları ve soğutma kapasiteleri farklı olduğundan tam bir karşılaştırmalı enerji analizi yapmak oldukça zordur. Bu nedenle bir yaklaşım yapılacaktır. Vakum soğutma sistemi, klasik soğutma sistemi ve hava üfleli soğutma sisteminin her üçü de deneylerin yapıldığı sıcaklıklarda-hızlarda ve basınç değerlerinde bir saat süre ile çalıştırılarak soğutucuların çektikleri enerji değerleri ölçülmüştür. Her bir soğutma sisteminin harcadığı enerji değeri soğutucu hacmine bölünerek birim hacim için çekilen enerji değeri hesaplanmıştır. Birim hacim için hesaplanan enerji değeri, her bir ürünün farklı soğutma sistemlerindeki soğuma zamanı ile çarpılarak her bir ürünün farklı soğutma sisteminde; farklı sıcaklık, hız ve basınç değerleri için tüketilen enerji değerleri belirlenilmiştir.

Bu bölümde öncelikle ürünler için enerji tüketimleri teorik olarak hesaplanmıştır. Bunun için aşağıdaki gibi bir yaklaşımla analiz yapılabilir.

7.2. Enerji Analizi Teorisi

7.2. 1.Klasik Soğutma Sistemleri için Teorik Enerji Analizi

Klasik soğutma yöntemi (buzdolabında) ile bir ürün soğutulacağı zaman, soğutulacak ürünün izole edilmiş bir ortama konulduğu düşünülebilir. Bu durumda soğutulacak ürünün soğutma sıcaklığındaki bir ortama konulduğu düşünülebilir ve ürünün bu sıcaklığa getirilmesi istenir. Bu tez çalışmasında ürün depolama sıcaklığı olan 5°C sıcaklığa getirilmesi istenmektedir. Bu durumda, ürünün başlangıç sıcaklığından depolama sıcaklığına (5°C) getirilmesi gerekecektir. Bu durumda ortamdan çekilmesi gereken ısı değeri aşağıdaki denklemden hesaplanabilir.

$$Q_L = m_{hava} C_v \Delta T_{hava} + m_{ürün} C_{ürün} \Delta T_{ürün}$$

Eğer soğutma ortamı içindeki sıcaklık değeri 5°C olarak düşünülürse, birinci terim ihmal edilebilir bu durumda denklem aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$Q_L = m_{ürün} C_{ürün} \Delta T_{ürün}$$

Yukarıdaki denklemi kullanarak 1 kg ürün için ortamdan çekilmesi gerekli olan ısı değeri hesaplanabilir

Eğer proses tersinir ve soğutma, Carnot soğutucu olarak düşünülürse verilmesi gereken iş aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$W = Q_H - Q_L$$

Carnot çevrimi için Q_H aşağıdaki denklemden hesaplanabilir;

$$Q_H = Q_L (T_H / T_L)$$

7.2.2 Vakum Soğutma Sistemi İçin Teorik Enerji Analizi

Önceki bölümlerde de açıklandığı gibi, vakum soğutma ortamdaki basıncın, atmosferik basıncın altına düşürülmesi prensibine dayanan bir soğutma sistemidir. Vakum soğutma sabit basınçta, basınç değişimi prensibine dayanmaktadır. Bu durumda tersinir iş aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$W_{rev} = VdP$$

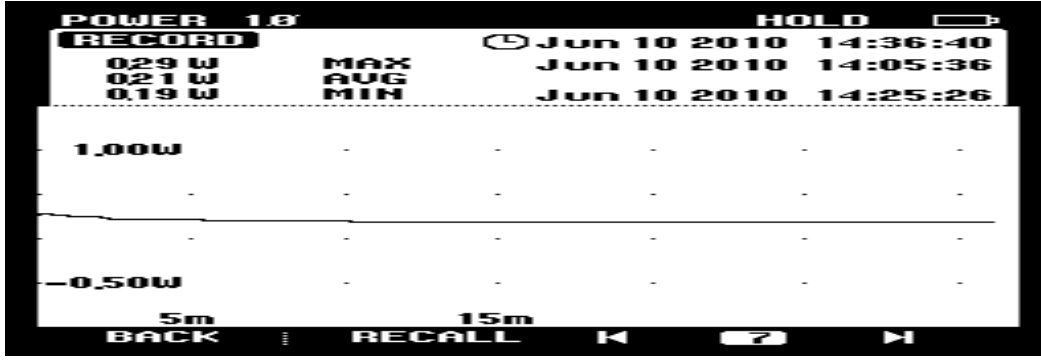
Eğer deneysel çalışmaların yapıldığı gibi 29 l (0.029 m³) bir hacmin atmosferik basınçtan (101.3 kPa) mutlak sıfır (0 kPa) basıncına indirilecek olursa bu durumda yapılan iş yukarıdaki denklemdeki gibi hesaplanabilir.

Böylece vakum soğutma ve klasik soğutma için enerji analizleri her bir ürün için ayrı ayrı yapılarak karşılaştırılabilir.

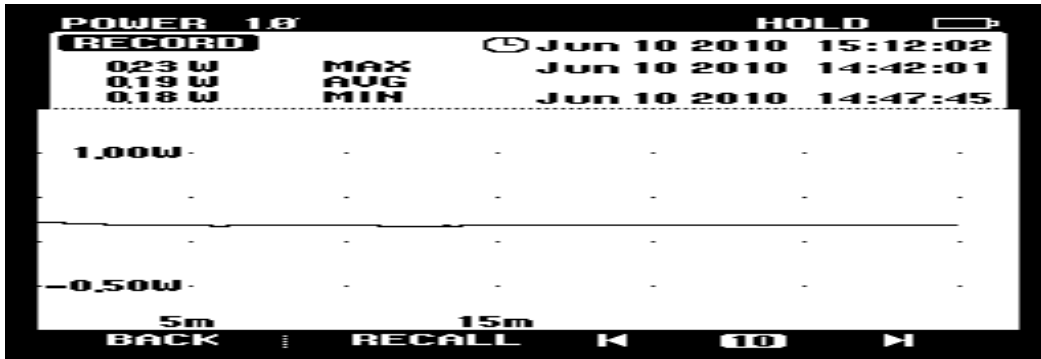
7.3. Vakum Soğutma için Ölçüm Yöntemi ile Yapılan Enerji Analizi

Bu bölümde vakum soğutma sistemi için 30 dakikalık bir süre için enerji tüketim değerleri verilecektir. Enerji değerleri 7 mbar, 10 mbar ve 15 mbar vakum basınçları için ölçülerek Şekil ve Çizelgeler halinde verilmiştir.

Şekil 7.1, Şekil 7.2 ve Şekil 7.3 de sırası ile 7 mbar, 10 mbar ve 15 mbar vakum basınçları için güç tüketim değişimi verilmiştir. Şekillerde de görüldüğü üzere vakum soğutma sırasında güç değeri zamana bağlı olarak sabit kalmaktadır. Çünkü vakum soğutma için vakum pompası çalıştırılmakta ve vakum pompası da sabit bir güç çekmektedir.

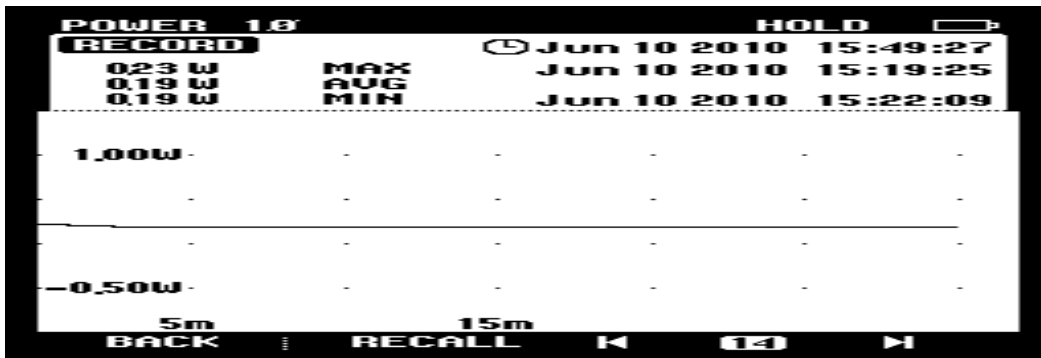


Şekil 7.1. 7 mbar vakum basınç değeri için güç tüketimi

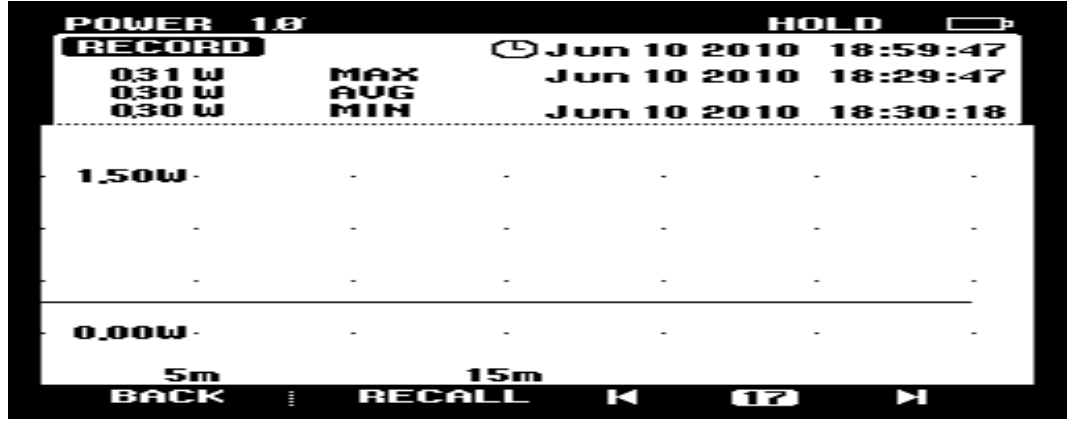


Şekil 7.2. 10 mbar vakum basınç değeri için güç tüketimi

Şekil 7.4’de vakum soğutma sisteminde üründen buharlaştırılarak vakum odasından çekilen su buharının yoğunlaştırıldığı, yoğunlaştırıcı için soğuk su sağlayan ünitenin (sirkülasyonlu su banyosu) çektiği enerji verilmiştir. Şekilde de görüldüğü üzere, çekilen güç 0.3 W değerinde dir.



Şekil 7.3. 15 mbar vakum basınç değeri için güç tüketimi



Şekil 7.4 Vakum soğutma sistemi yoğuşturucusu enerji tüketimi

Çizelge 7.1 Vakum soğutma sisteminde farklı basınç değerleri için enerji tüketimi

	7 mbar	10 mbar	15 mbar	Yoğuşturucu (-15 ° C)
t (dk)	30	30	30	30
$W_{anlık}$ (W)	0.21	0.19	0.19	0.3
$W_{tüketim}$ (Wh)	0.105	0.095	0.095	0.15

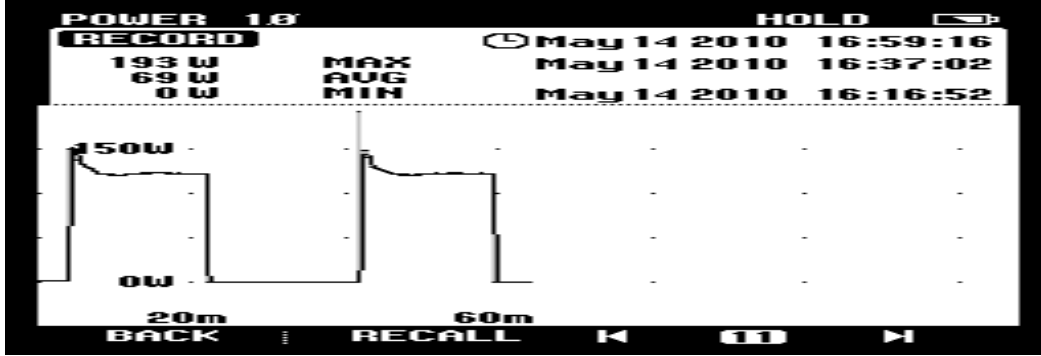
Çizelge 7.1 de ise vakum soğutma sisteminde farklı vakum basıncı değerleri için enerji tüketimleri verilmiştir. Çizelge 7.1 de görüldüğü üzere vakum basıncı değeri ile enerji tüketim değerleri arasında çarpıcı bir değişiklik olmamakla birlikte, düşük basınç değerleri için enerji tüketimi biraz daha fazla olmaktadır. Bu beklenen bir sonuçtur. Enerji tüketim değerlerinde farklılık olmamasının nedeni basınç değerlerinin bir birine yakın olmasından kaynaklanmış olabilir.

7.4. Klasik Soğutma için Ölçüm Yöntemi ile Enerji Analizi

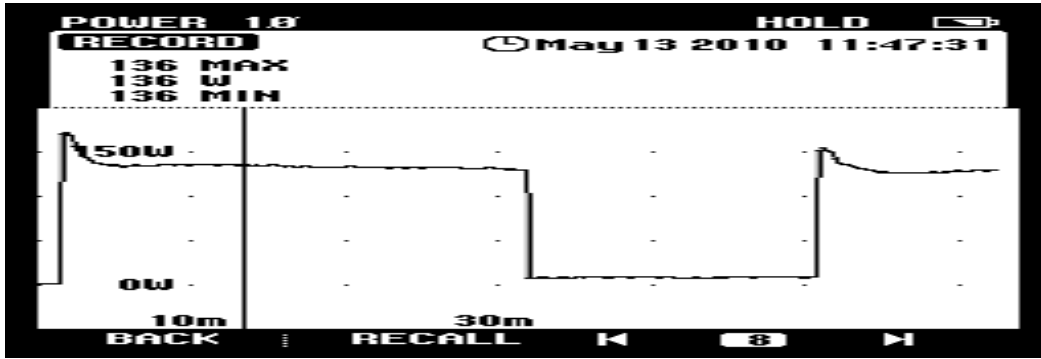
Bu bölümde klasik soğutma sistemi için bir saat süresince daimi durum için enerji tüketim değerleri verilecektir. Aşağıda klasik soğutma sisteminde; 5 °C, -16 °C ve -20 °C sıcaklık değerleri için ölçülen güç tüketim değişimi, akım, voltaj ve frekans değişimleri verilmiştir.

Şekil 7.5, Şekil 7.6, ve Şekil 7.7 de sırası ile 5 °C, -16 °C ve -20 °C sıcaklıklar için güç tüketim değişimi verilmiştir. Şekillerde de görüldüğü üzere klasik soğutucular dur-çalış şeklinde çalıştıklarından dolayı enerji tüketimleri maksimum bir değere ulaşmakta ve belli bir süre çalışarak soğutucuyu istenilen

sıcaklığa getirdiğinde durmaktadır. Çalışırken maksimum enerji tüketirlerken, durduklarında enerji tüketimleri sıfır olmaktadır.

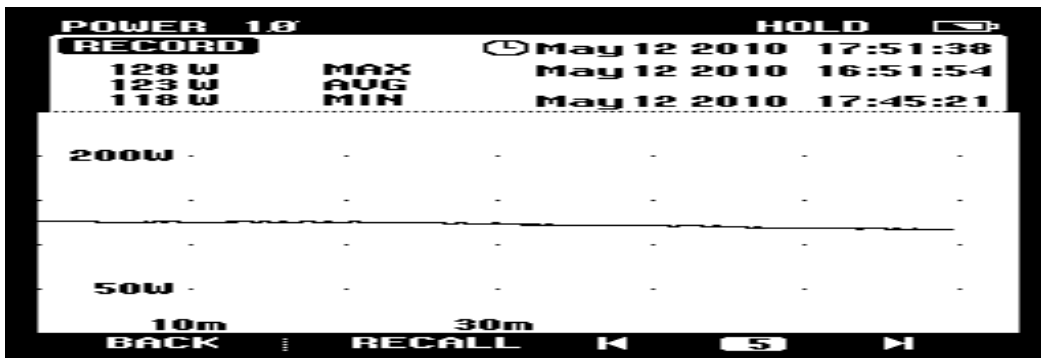


Şekil 7.5. Klasik soğutma sisteminde 5 °C sıcaklıkta soğutma durumu için güç tüketimi



Şekil 7.6. Klasik soğutma sisteminde -16 °C sıcaklıkta soğutma durumu için güç tüketimi

Çizelge 7.2 de ise klasik soğutma sisteminde farklı sıcaklık değerleri için enerji tüketim değerleri verilmiştir. Çizelge 7.2 de de görüldüğü üzere sıcaklık değeri düştükçe enerji tüketimi artmaktadır. Bununla birlikte düşük sıcaklık değerleri için soğuma süreleri kısalmaktadır.



Şekil 7.7. Klasik soğutma sisteminde -20 °C sıcaklıkta soğutma durumu için güç tüketim değişimi

Çizelge 7.2 Klasik soğutma sisteminde farklı sıcaklıklarda enerji tüketimi

Sıcaklık Değeri (°C)	Toplam Tüketim (Wh)
5	75,6
-16	90,66
-20	123

7.5. Hava Üflemeli Soğutma için Ölçüm Yöntemi ile Enerji Analizi

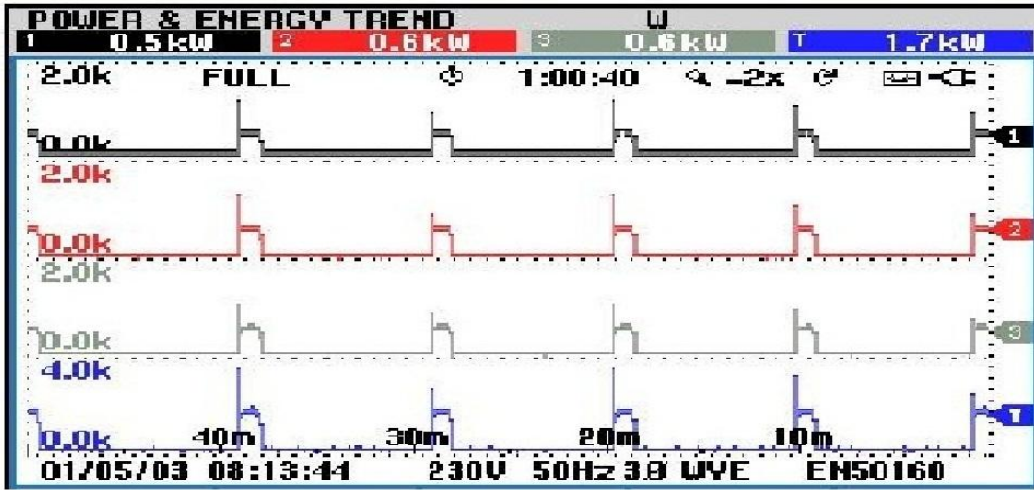
Bu bölümde hava üflemeli soğutma sistemi için bir saat süresince daimi durum için enerji tüketim değerleri verilecektir. Hava üflemeli soğutma deneylerinde, 1 m/s, 2 m/s ve 4 m/s hızların her birisi için 5 °C, -16 °C ve -20 °C sıcaklık değerlerinde güç tüketimleri ölçülmüştür.

Hava üflemeli soğutucu, klasik soğutucudan farklı olarak 3 fazlıdır. Bu nedenle ölçümleri 3 fazlı olarak yapılmıştır.

İlk olarak 5 °C sıcaklık ve 1 m/s hava hızı için ölçülen enerji değerleri verilecektir. Her sıcaklık ve hız değeri için, enerji tüketiminin zamanla değişimi, her bir faz için enerji tüketimi ve toplam enerji tüketimi değerleri verilecektir. Şekil 7.8 de hava üflemeli soğutucu için enerji tüketiminin zamanla değişimi verilmiştir. Şekil 7.8 de görüldüğü gibi enerji tüketim değişimi klasik soğutucununkine benzer bir şekilde olmaktadır. Şekil 7.9 da her bir faz için ayrı ayrı ve aynı zamanda toplam enerji tüketimi verilmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi

- L1 (Birinci faz), bir saat içerisinde : 0.183 kWh
- L2 (İkinci faz), bir saat içerisinde : 0.125 kWh
- L3 (Üçüncü faz) bir saat içerisinde : 0.123 kWh
- Bir saat içerisinde toplam : 0.432 kWh enerji tüketmiştir.

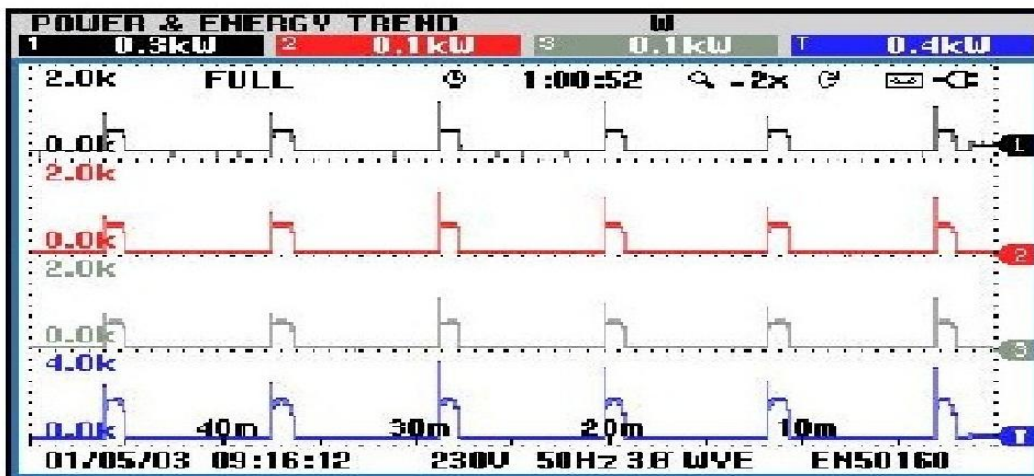
Şekil 7.10 ve Şekil 7.11 de 5 °C sıcaklık ve 2 m/s hız ve Şekil 7.12 ve Şekil 7.13 de 5 °C sıcaklık ve 4 m/s hava hızları için enerji tüketiminin zamanla değişimi ve her bir faz için ve toplam enerji tüketimi verilmiştir.



Şekil 7.8. Hava üfleli soğutma sisteminde 5 °C sıcaklık ve 1 m/s hava hızı için için güç tüketim değişimi

	L1	L2	L3	Total
kWh	0.183	0.125	0.123	0.432
kVAh	0.444	0.411	0.418	1.285
kVARh	0.402	0.385	0.393	1.180
START	01/05/03 07:13:04			1:00:01

Şekil 7.9. Hava üfleli soğutma sisteminde 5 °C sıcaklık ve 1 m/s hava hızı için için her bir faz için ve toplam güç tüketim değişimi



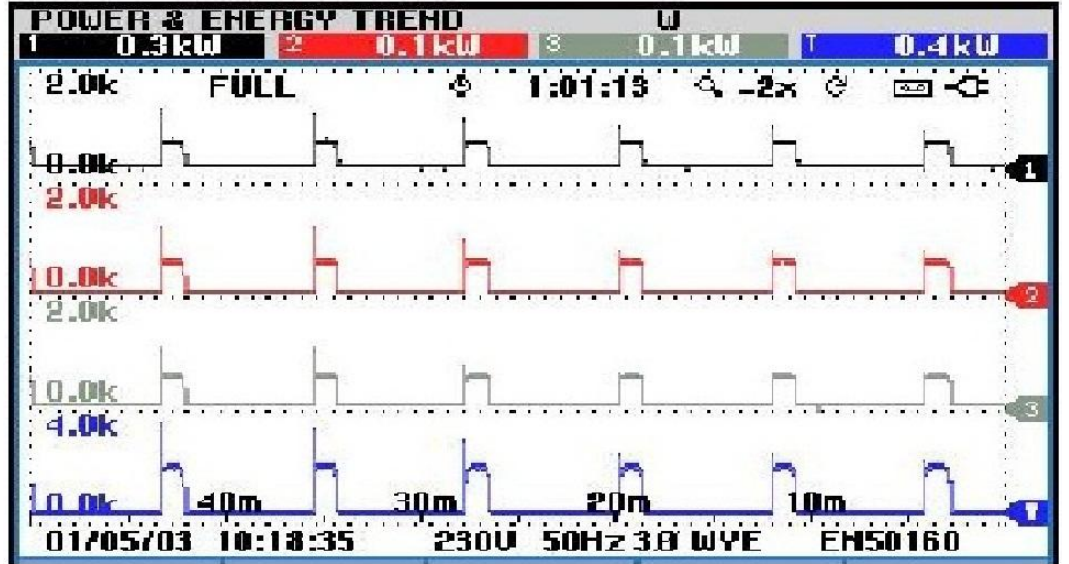
Şekil 7.10. Hava üfleli soğutma sisteminde 5 °C sıcaklık ve 2 m/s hava hızı için için güç tüketim değişimi

	L1	L2	L3	Total
kWh	0.238	0.149	0.146	0.533
kVAh	0.522	0.448	0.457	1.444
kVArh	0.462	0.415	0.426	1.303
START	01/05/03 08:15:20			1:00:43

Şekil 7.11. Hava üflemeli soğutma sisteminde 5 °C sıcaklık ve 2 m/s hava hızı için için her bir faz için ve toplam güç tüketim değişimi

Şekil 7.11 de birinci , ikinci ve üçüncü fazların bir saat içerisinde şebekeden çektiği kWh enerji değerlerini ve bu değerlerin toplamını vermektedir.

- L1 (Birinci faz), bir saat içerisinde : 0.238 kW
- L2 (İkinci faz), bir saat içerisinde : 0.149 kW
- L3 (Üçüncü faz) bir saat içerisinde : 0.146 kW
- Bir saat içerisinde toplam : 0.533 kW enerji tüketmiştir.
-



Şekil 7.12. Hava üflemeli soğutma sisteminde 5 °C sıcaklık ve 4 m/s hava hızı için için güç tüketim değişimi

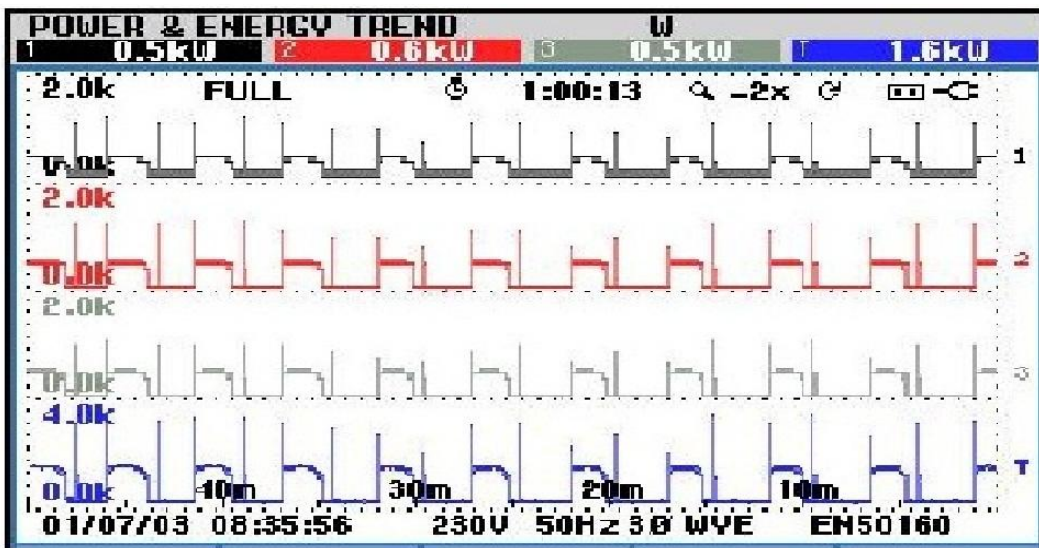


Şekil 7.13. Hava üflemeli soğutma sisteminde 5 °C sıcaklık ve 4 m/s hava hızı için için her bir faz için ve toplam güç tüketim değişimi

Şekil 7.13 de birinci , ikinci ve üçüncü fazların bir saat içerisinde şebekeden çektiği kWh enerji değerlerini ve bu değerlerin toplamını vermektedir.

- L1 (Birinci faz), bir saat içerisinde : 0.360 kW
- L2 (İkinci faz), bir saat içerisinde : 0.174 kW
- L3 (Üçüncü faz) bir saat içerisinde : 0.171 kW
- Bir saat içerisinde toplam : 0.704 kW enerji tüketmiştir.

Şekil 7.14 ve Şekil 7.15 de -16 °C sıcaklık ve 1 m/s hız ve Şekil 7.16 ve Şekil 7.17 de -16 °C sıcaklık ve 2 m/s hız ve Şekil 7.18 ve Şekil 7.19 da -16 °C sıcaklık ve 4 m/s hava hızları için enerji tüketiminin zamanla değişimi ve her bir faz için ve toplam enerji tüketimi verilmiştir.



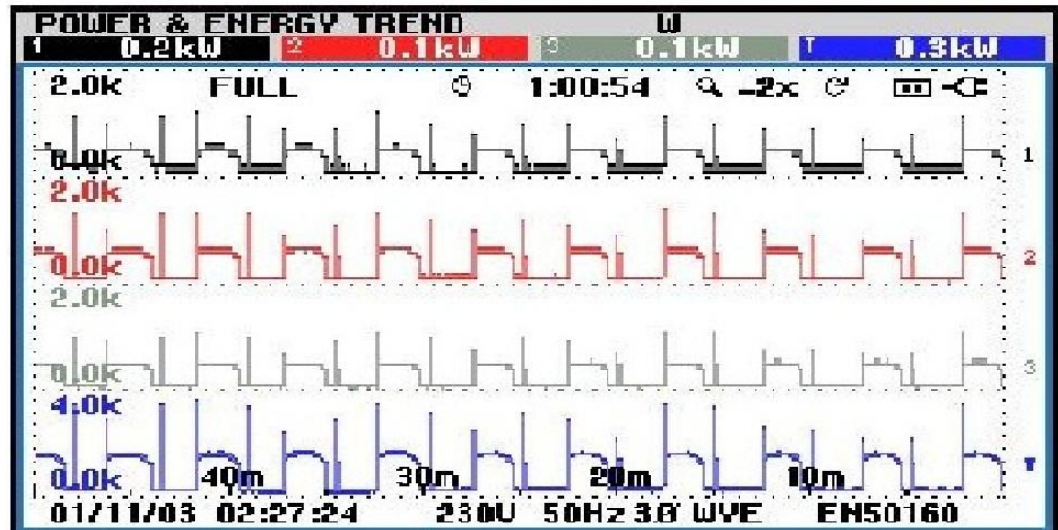
Şekil 7.14. Hava üflemeli soğutma sisteminde -16 °C sıcaklık ve 1 m/s hava hızı için için güç tüketim değişimi



Şekil 7.15. Hava üflemeli soğutma sisteminde -16 °C sıcaklık ve 1 m/s hava hızı için için her bir faz için ve toplam güç tüketim değişimi

Şekil 7.15 de birinci, ikinci ve üçüncü fazların bir saat içerisinde şebekeden çektiği kWh enerji değerlerini ve bu değerlerin toplamını vermektedir.

- L1 (Birinci faz), bir saat içerisinde : 0.224 kW
- L2 (İkinci faz), bir saat içerisinde : 0.163 kW
- L3 (Üçüncü faz) bir saat içerisinde : 0.157 kW
- Bir saat içerisinde toplam : 0.544 kW enerji tüketmiştir.



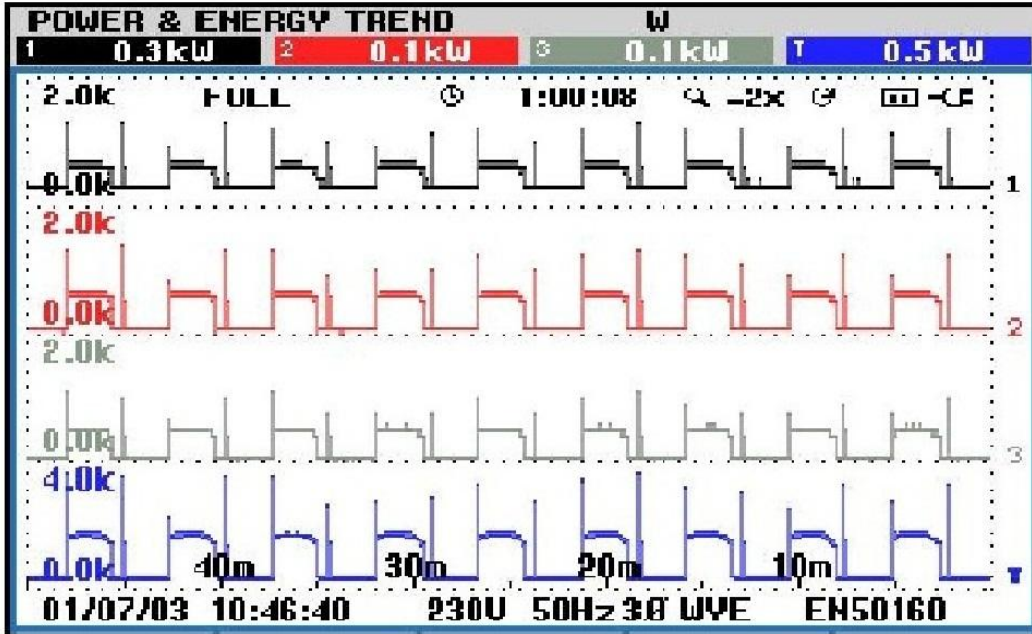
Şekil 7.16. Hava üflemeli soğutma sisteminde -16 °C sıcaklık ve 2 m/s hava hızı için için güç tüketim değişimi

	L1	L2	L3	Total
kWh	0.326	0.356	0.290	0.972
kVAh	0.673	0.808	0.675	2.178
kVAh	0.587	0.715	0.602	1.904
START	01/11/03 01:26:30		1:00:47	

Şekil 7.17. Hava üflemeli soğutma sisteminde -16 °C sıcaklık ve 2 m/s hava hızı için için her bir faz için ve toplam güç tüketim değişimi

Şekil 7.17 de birinci, ikinci ve üçüncü fazların bir saat içerisinde şebekeden çektiği kWh enerji değerlerini ve bu değerlerin toplamını vermektedir.

- L1 (Birinci faz), bir saat içerisinde : 0.326 kW
- L2 (İkinci faz), bir saat içerisinde : 0.356 kW
- L3 (Üçüncü faz) bir saat içerisinde : 0.290 kW
- Bir saat içerisinde toplam : 0.972 kW enerji tüketmiştir.



Şekil 7.18. Hava üflemeli soğutma sisteminde -16 °C sıcaklık ve 4 m/s hava hızı için için güç tüketim değişimi



Şekil 7.19. Hava üflemeli soğutma sisteminde -16 °C sıcaklık ve 4 m/s hava hızı için için her bir faz için ve toplam güç tüketim değişimi

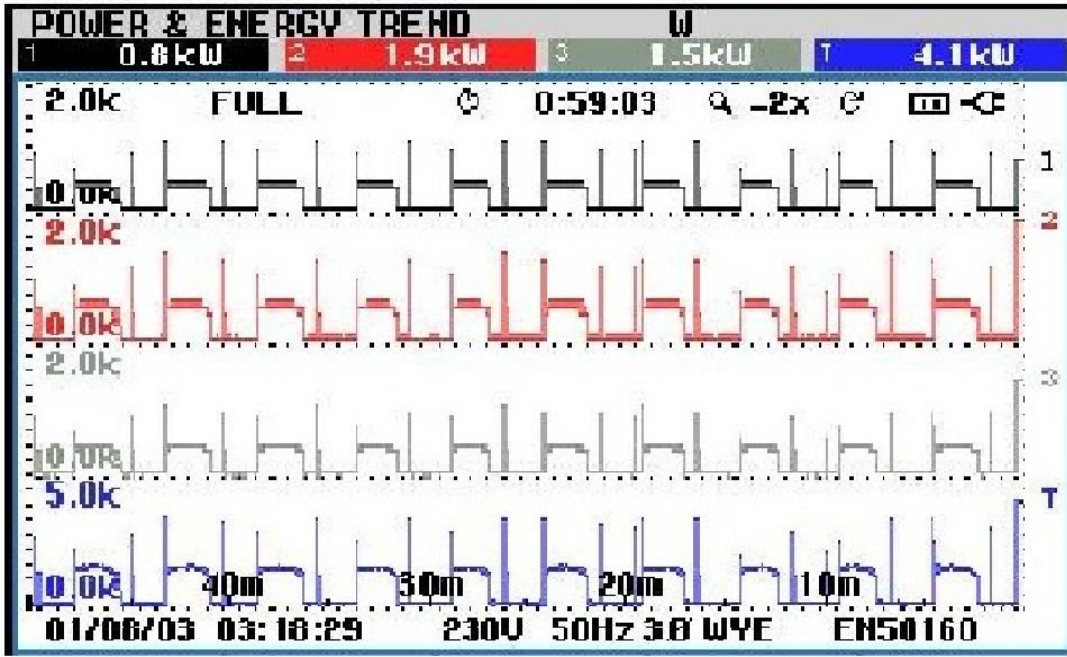
Şekil 7.19 de birinci , ikinci ve üçüncü fazların bir saat içerisinde şebekeden çektiği kWh enerji değerlerini ve bu değerlerin toplamını vermektedir.

- L1 (Birinci faz), bir saat içerisinde : 0.455 kW
- L2 (İkinci faz), bir saat içerisinde : 0.331 kW
- L3 (Üçüncü faz) bir saat içerisinde : 0.267 kW
- Bir saat içerisinde toplam : 1.052 kW enerji tüketmiştir.

Şekil 7.20 ve Şekil 7.21 de -20 °C sıcaklık ve 1 m/s hız ve Şekil 7.22 ve Şekil 7.23 de -20 °C sıcaklık ve 2 m/s hız ve Şekil 7.24 ve Şekil 7.25 da -20 °C sıcaklık ve 4 m/s hava hızları için enerji tüketiminin zamanla değişimi ve her bir faz için ve toplam enerji tüketimi verilmiştir.

Şekil 7.21 de birinci , ikinci ve üçüncü fazların bir saat içerisinde şebekeden çektiği kWh enerji değerlerini ve bu değerlerin toplamını vermektedir.

- L1 (Birinci faz), bir saat içerisinde : 0.256 kW
- L2 (İkinci faz), bir saat içerisinde : 0.354 kW
- L3 (Üçüncü faz) bir saat içerisinde : 0.253 kW
- Bir saat içerisinde toplam : 0.863 kW enerji tüketmiştir.



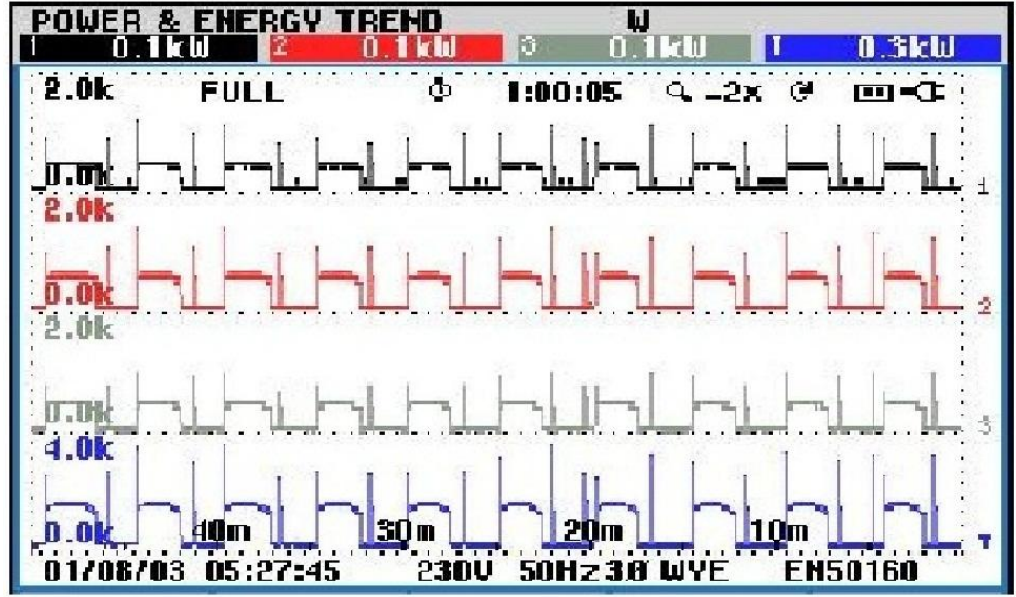
Şekil 7.20. Hava üflemeli soğutma sisteminde -20 °C sıcaklık ve 1 m/s hava hızı için için güç tüketim değişimi

	L1	L2	L3	Total
kWh	0.256	0.354	0.253	0.863
kVAh	0.568	0.844	0.616	2.072
kVARh	0.505	0.755	0.552	1.813
START 01/08/03 02:19:26				0:58:55

Şekil 7.21. Hava üflemeli soğutma sisteminde -20 °C sıcaklık ve 1 m/s hava hızı için için her bir faz için ve toplam güç tüketim değişimi

Şekil 7.23 de birinci , ikinci ve üçüncü fazların bir saat içerisinde şebekeden çektiği kWh enerji değerlerini ve bu değerlerin toplamını vermektedir.

- L1 (Birinci faz), bir saat içerisinde : 0.302 kW
- L2 (İkinci faz), bir saat içerisinde : 0.381 kW
- L3 (Üçüncü faz) bir saat içerisinde : 0.278 kW
- Bir saat içerisinde toplam : 0.961 kW enerji tüketmiştir.



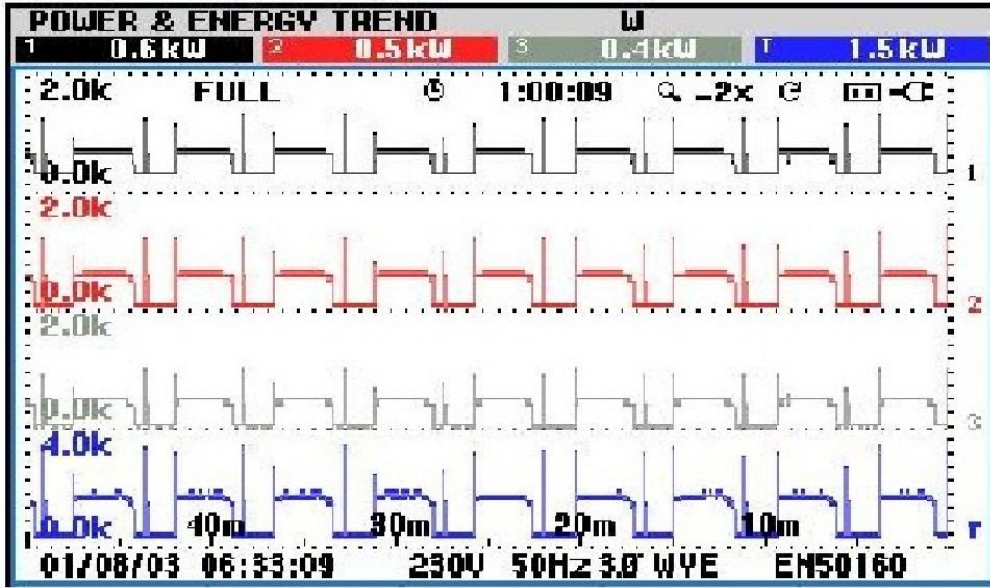
Şekil 7.22. Hava üflemeli soğutma sisteminde -20 °C sıcaklık ve 2 m/s hava hızı için için güç tüketim değişimi

	L1	L2	L3	Total
kWh	0.302	0.381	0.278	0.961
kVAh	0.649	0.874	0.673	2.226
kVARh	0.573	0.777	0.606	1.957
START	01/08/03 04:27:40			1:00:00

Şekil 7.23. Hava üflemeli soğutma sisteminde -20 °C sıcaklık ve 2 m/s hava hızı için için her bir faz için ve toplam güç tüketim değişimi

Şekil 7.23 de birinci , ikinci ve üçüncü fazların bir saat içerisinde şebekeden çektiği kWh enerji değerlerini ve bu değerlerin toplamını vermektedir.

- L1 (Birinci faz), bir saat içerisinde : 0.302 kW
- L2 (İkinci faz), bir saat içerisinde : 0.381 kW
- L3 (Üçüncü faz) bir saat içerisinde : 0.278 kW
- Bir saat içerisinde toplam : 0.961 kW enerji tüketmiştir.



Şekil 7.24. Hava üfleli soğutma sisteminde -30 °C sıcaklık ve 4 m/s hava hızı için için güç tüketim değişimi



Şekil 7.25. Hava üfleli soğutma sisteminde -20 °C sıcaklık ve 4 m/s hava hızı için için her bir faz için ve toplam güç tüketim değişimi

Şekil 7.25 de birinci , ikinci ve üçüncü fazların bir saat içerisinde şebekeden çektiği kWh enerji değerlerini ve bu değerlerin toplamını vermektedir.

- L1 (Birinci faz), bir saat içerisinde : 0.509 kW
- L2 (İkinci faz), bir saat içerisinde : 0.415 kW
- L3 (Üçüncü faz) bir saat içerisinde : 0.315 kW
- Bir saat içerisinde toplam : 1.240 kW enerji tüketmiştir.

Çizelge 7.3 de hava üfleli soğutucular için farklı sıcaklık ve hız değerleri için her bir faz için ayrı ayrı ve toplam enerji tüketimi verilmektedir. Çizelge 7.3 de de

görüldüğü gibi düşük sıcaklıklara inildikçe enerji tüketimi artmaktadır. Aynı zamanda hız arttıkça da enerji tüketimi artmaktadır.

Çizelge 7.3 Hava üfleli soğutma sisteminde farklı sıcaklıklarda ve hızlarda enerji tüketimi

Sıcaklık (oC)	Hız (m/s)	Makinanın fazlarının bir saat içinde şebekeden çektiği enerji (kWh)			TOPLAM
		1. Faz	2. Faz	3. Faz	
5	1	0.183	0.125	0.123	0.432
	2	0.238	0.149	0.146	0.533
	4	0.360	0.174	0.171	0.704
0	1	0.224	0.163	0.157	0.544
	2	0.216	0.269	0.183	0.667
	4	0.417	0.231	0.212	0.860
-16	1	0.297	0.288	0.282	0.868
	2	0.326	0.356	0.290	0.972
	4	0.455	0.331	0.267	1.052
-20	1	0.256	0.354	0.253	0.863
	2	0.302	0.381	0.278	0.961
	4	0.509	0.415	0.315	1.240

7.6. Farklı Soğutma Sistemleri ve Farklı Gıda Ürünleri için Enerji Tüketiminin Hesaplanması

Bölüm 5.1 ayrıntılı bir şekilde açıklandığı üzere, farklı soğutma sistemleri ve farklı ürünlerin soğutulması durumu için enerji tüketimi kWh olarak ölçülmüştür. Soğutucu hacimleri farklı olduğundan enerji tüketimlerinin karşılaştırılabilmesi için, enerji tüketimleri soğutucu hacmine bölünerek birim hacim için enerji tüketimi hesaplanmıştır. Her bir ürünün, her bir soğutucuda ve farklı sıcaklık ve vakum basıncında soğuma zamanları farklı gerçekleşmiştir. Bu nedenle, her bir ürün için, ürünlerin 5 °C sıcaklığa soğutulması için tüketilen enerji değerinin belirlenmesi, birim hacim için bulunan enerji tüketiminin soğutma zamanı ile çarpılarak bulunmuştur. Her bir ürün için, farklı vakum basıncı ve sıcaklık için bulunan enerji değerleri Çizelge 7.4 de verilmiştir.

Çizelge 7.4 Farklı soğutma sistemleri ve farklı ürünler için enerji tüketimi

Farklı Ürünler için Enerji Tüketim Değeri (Wh/m ³)											
Sıcaklık (°C) /Basınç (mbar)	Hız (m/s)	Enerji Tüketimi (kW)	Mantar	Marul	Baş Salata	Semizotu	Karpuz	Haşlanmış Patates	Köfte	Tavuk Etı	Döner
7 mbar	-	0,00021	2,345	1,759	6,693	3,224	8,793	3,420	5,862	5,862	2,198
10 mbar	-	0,00019	3,285	2,253	7,463	3,145	16,897	3,285	5,398	2,347	2,722
15 mbar	-	0,00019	2,347	1,877	4,459	3,285	16,897	3,661	9,152	3,285	2,581
5 °C	-	0,0756	96,923	96,923	397,692	174,359	287,179	512,821	158,974	128,205	65,641
-16 °C	-	0,09066	29,826	35,976	198,023	81,177	101,471	138,370	90,709	79,332	50,428
-20 °C	-	0,123	37,546	20,024	189,815	81,766	107,631	166,870	93,864	66,748	54,650
5 °C	1	0,432	263,736	73,765	363,910	198,757	288,915	270,473	43,849	112,697	86,060
	2	0,533	316,358	53,090	243,961	200,225	313,990	273,035	42,978	113,764	56,882
	4	0,704	243,549	34,060	318,891	183,655	392,687	260,456	40,070	101,845	29,051
-16 °C	1	0,868	64,767	19,762	93,869	67,520	46,934	160,565	34,583	67,931	41,171
	2	0,972	32,967	19,363	99,583	45,181	38,727	138,310	33,194	60,395	42,876
	4	1,052	32,112	5,988	101,792	53,391	77,841	104,786	29,939	53,890	23,951
-20 °C	1	0,863	73,175	24,969	93,328	81,048	63,856	147,360	31,928	68,768	29,881
	2	0,961	42,372	7,293	101,191	46,493	49,228	136,745	34,186	43,758	23,247
	4	1,230	37,546	7,001	126,016	62,425	98,012	105,013	38,505	42,005	24,503

Çizelge 7.4 de görüldüğü gibi her bir ürün için, farklı vakum basınçları ve sıcaklıklar için enerji tüketimleri farklıdır. Bu beklenen ve normal bir sonuçtur. Genel bir karşılaştırma yapıldığında şu sonuçlar çıkarılabilir.,

- 1) Vakum soğutma, klasik soğutma ve hava üfleli soğutmayla karşılaştırıldığında çok düşük enerji tüketmektedir.
- 2) En yüksek enerji tüketimi 5 °C sıcaklıkta gerçekleşmektedir. Bu sıcaklık ve hızdaki değer 7 mbar vakum basıncındaki enerji tüketimi ile karşılaştırıldığında oldukça yüksektir. Bazı durumlarda 150 kata kadar yaklaşmaktadır (Örnek: haşlanmış patates)
- 3) Klasik soğutma sisteminde ve özellikle 5 °C sıcaklık değerinde de enerji tüketimi vakum soğutma ile karşılaştırıldığında oldukça yüksektir. 5 °C sıcaklıktaki enerji tüketimi 7 mbar vakum basıncındaki enerji tüketiminin en düşük 50 katı kadardır (örnek: tavuk eti, köfte, döner). Bazı durumlarda bu 150 katın üzerinde gerçekleşmektedir (örnek haşlanmış patates).
- 4) Hava üfleli soğutucuda en düşük enerji tüketimi -16 ve -20 °C sıcaklık ve 4 m/s hızlardadır. Bu sıcaklık ve hızlardaki enerji tüketimi vakum soğutma ile karşılaştırıldığında, hava üfleli soğutma sistemindeki enerji tüketiminin vakum soğutmaya göre en az 3 (örnek marul) ve en çok da 45 kat (haşlanmış patates) daha fazla enerji tükettiği görülebilir.
- 5) Klasik soğutmadaki en düşük enerji tüketimi -16 ve -20 °C sıcaklık değerlerinde gerçekleşmektedir. Klasik soğutma sistemindeki enerji tüketimi vakum soğutmaya göre 12 ile (örnek mantar) 150 kat (örnek haşlanmış patates) daha fazla enerji tüketmektedir.
- 6) En yüksek enerji tüketiminin klasik soğutma sisteminde olmasının nedeni, soğutma süresinin oldukça yüksek olmasından kaynaklanmaktadır.

Geleneksel soğutma, hava üfleli soğutma ve vakum soğutma ile gıda ürünlerinin soğutulması durumları için soğutma yöntemi, soğutma parametreleri (basınç, sıcaklık ve hız) ve ürünlerin soğuma süreleri Çizelge 7.5 de verilmiştir. Çizelge 7.5’de de görüldüğü gibi vakum soğutma ile soğutma durumunda soğutma süresi en uzun ürün karpuz, baş salata ve köfte olurken, soğutma süresi

en kısa olan ürün mantar, semiz otu ve marul olmaktadır. Soğutma süresinin karpuzda uzun olmasının nedeni karpuzun su içeriğinin yüksek olması ve suyun özgül ısısının büyük olmasıdır. Karpuzun soğuyabilmesi için çok miktarda suyun buharlaştırılması gerekmektedir ve bu da uzun zaman almaktadır. Baş salata ise yapraklarının sıkı olması buharlaşmayı zorlaştırmakta ve soğuma süresi uzamaktadır. Köftenin vakum soğutma durumunda soğuma süresinin uzun olmasının nedeni ise köftenin pişirilmesi nedeni ile sıcaklığının ve etteki su oranının yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. Mantar, semiz otu ve marul gibi ürünlerde vakum soğutma durumunda soğuma süresinin kısa olmasının nedeni ise bu ürünlerde yüzey alanı/kütle oranının yüksek olması ve ürünlerde su içeriğinin düşük olmasından kaynaklanmaktadır.

Çizelge 7.5. Soğutma yöntemi, soğutulan ürün ve soğutma süresi

		Soğutulan Ürünler ve soğutma süresi (saniye)								
Basınç/ Sıcaklık	Hız (m/s)	Mantar	Marul	Baş Salata	Semiz otu	Karpuz	Haşlanm ış Patates	Köfte	Tavuk Et	Döner
7 mbar	-	480	360	1370	660	1800	700	1200	1200	450
10 mbar	-	700	480	1590	670	3600	700	1150	500	580
15 mbar	-	500	400	950	700	3600	780	1950	700	550
5°C	-	3780	3780	15510	6800	11200	20000	6200	5000	2560
-16°C	-	970	1170	6440	2640	3300	4500	2950	2580	1640
-20°C	-	900	480	4550	1960	2580	4000	2250	1600	1310
5°C	1	1800	3600	17760	9700	14100	13200	2140	5500	4200
	2	1750	2100	9650	7920	12420	10800	1700	4500	2250
	4	1020	1020	9550	5500	11760	7800	1200	3050	870
-16°C	1	220	480	2280	1640	1560	3900	840	1650	1000
	2	100	420	2160	980	1140	3000	720	1310	930
	4	90	120	2040	1070	840	2100	600	1080	480
-20°C	1	250	610	2280	1980	1680	3600	780	1680	730
	2	130	160	2220	1020	1560	3000	750	960	510
	4	90	120	2160	1070	1080	1800	660	720	420

7.7. Soğutma Sistemleri için Ekonomik Analiz

Bu tez çalışması kapsamında üç farklı soğutma sistemi (geleneksel soğutma, hava üfleli soğutma ve vakum soğutma) ile gıda ürünlerinin soğutulma durumu için ekonomik analiz yapılmıştır. Sistemlerin ekonomik olarak karşılaştırılmaları oldukça zordur. Sistemlerin karşılaştırılması ya aynı hacme sahip soğutma sistemlerinin karşılaştırılması şeklinde yapılabilir veya aynı soğutma kapasitesine

sahip sistemlerin karşılaştırılması şeklinde olabilir. Soğutma kapasitesini baz alarak karşılaştırma yapmak oldukça zordur, çünkü her ürünün soğutma zamanları farklıdır ve aynı zamanda her sıcaklık, basınç ve hız için soğutma zamanları farklılık göstermektedir. Bu nedenle aynı hacim için soğutma sistemlerinin karşılaştırılmasının yapılması daha sağlıklı olacaktır.

Geleneksel soğutma, hava üfleli soğutma ve vakum soğutma sistemleri için 1.5 m X 2.5 m X 2.5 m hacimleri için piyasadan üç farklı firmadan fiyat alınmıştır. Soğutma sistemlerine ilişkin ortalama fiyatlar Çizelge 7.6 da verilmiştir.

Çizelge 7.6. Geleneksel soğutma, hava üfleli soğutma ve vakum soğutma sistemlerinin fiyatları

Soğutma Sistemi	Hacim (m³)	Fiyatı (\$/€)	Fiyatı (TL)
Vakum Soğutma	10	75000 \$	120000
Geleneksel Soğutma	10	6000 €	13200
Hava Üfleli Soğutma	10	8500 €	18700

Çizelge 7.6'da da görüldüğü gibi vakum soğutma sistemi, geleneksel soğutma sisteminden yaklaşık 9 kat ve hava üfleli soğutma sisteminden ise yaklaşık 6 kat daha pahalıdır.

Her bir soğutma durumu için yıllık enerji tüketimi aşağıda Çizelge halinde verilmiştir. Bunun için şu yöntem izlenmiştir. Her bir ürün için soğutma süreleri belirlenmiş ve Çizelge 7.5 de verilmişti. Bu Çizelgede her bir ürünün farklı soğutma sistemleri ile soğutulması durumu için soğuma süreleri verilmiştir. Bu Çizelge kullanılarak farklı ürünlerin farklı soğutma sistemlerinde farklı parametre altında soğutulması durumunda bir gün içerisinde kaç kez 5°C sıcaklığa soğutulabileceği hesaplanmış ve Çizelge 7.7 de verilmiştir.

İkinci adım olarak 10 m³ hacminde bir soğutma bölgesinde ürünlerin soğutulması durumu için gerekli olan enerji miktarı bulunmuş ve Çizelge 7.8 de sunulmuştur. Günlük ve yıllık enerji tüketimleri ise Çizelge 7.9 ve Çizelge 7.10 da verilmiştir. Çizelge 7.9 ve 7.10 birlikte değerlendirildiğinde görülebileceği gibi günlük ve yıllık enerji tüketim değerleri vakum soğutma sistemi için oldukça düşük iken bu geleneksel soğutma sistemi için ve hava üfleli soğutma sistemi için oldukça yüksektir. Yıllık enerji verileri bulunduktan sonra bu veriler kullanılarak vakum soğutma, geleneksel soğutma ve hava üfleli soğutma sistemleri için yıllık

Çizelge 7.7. Her bir soğutma sistemi ve parametresi için 24 saat sürede yapılabilecek soğutma sayısı

Basınç/ Sıcaklık	Hız (m/s)	Mantar	Marul	Baş Salata	Semizotu	Karpuz	Haşlanmış Patates	Köfte	Tavuk Et	Döner
7 mbar	-	180,00	240,00	63,07	130,91	48,00	123,43	72,00	72,00	192,00
10 mbar	-	123,43	180,00	54,34	128,96	24,00	123,43	75,13	172,80	148,97
15 mbar	-	172,80	216,00	90,95	123,43	24,00	110,77	44,31	123,43	157,09
5°C	-	22,86	22,86	5,57	12,71	7,71	4,32	13,94	17,28	33,75
-16°C	-	89,07	73,85	13,42	32,73	26,18	19,20	29,29	33,49	52,68
-20°C	-	96,00	180,00	18,99	44,08	33,49	21,60	38,40	54,00	65,95
5°C	1	48,00	24,00	4,86	8,91	6,13	6,55	40,37	15,71	20,57
	2	49,37	41,14	8,95	10,91	6,96	8,00	50,82	19,20	38,40
	4	84,71	84,71	9,05	15,71	7,35	11,08	72,00	28,33	99,31
-16°C	1	392,73	180,00	37,89	52,68	55,38	22,15	102,86	52,36	86,40
	2	864,00	205,71	40,00	88,16	75,79	28,80	120,00	65,95	92,90
	4	960,00	720,00	42,35	80,75	102,86	41,14	144,00	80,00	180,00
-20°C	1	345,60	141,64	37,89	43,64	51,43	24,00	110,77	51,43	118,36
	2	664,62	540,00	38,92	84,71	55,38	28,80	115,20	90,00	169,41
	4	960,00	720,00	40,00	80,75	80,00	48,00	130,91	120,00	205,71

Çizelge 7.8. 10 m3 bir hacimdeki farklı soğutma sistemleri ve parametreler için tüketilen toplam enerji miktarı (kWh)

Basınç/ Sıcaklık	Hız (m/s)	Mantar	Marul	Baş Salata	Semizotu	Karpuz	Haşlanmış Patates	Köfte	Tavuk Et	Döner
7 mbar	-	0,02	0,02	0,07	0,03	0,09	0,03	0,06	0,06	0,02
10 mbar	-	0,03	0,02	0,07	0,03	0,17	0,03	0,05	0,02	0,03
15 mbar	-	0,02	0,02	0,04	0,03	0,17	0,04	0,09	0,03	0,03
5°C	-	0,97	0,97	3,98	1,74	2,87	5,13	1,59	1,28	0,66
-16°C	-	0,30	0,36	1,98	0,81	1,01	1,38	0,91	0,79	0,50
-20°C	-	0,38	0,20	1,90	0,82	1,08	1,67	0,94	0,67	0,55
5°C	1	2,64	0,74	3,64	1,99	2,89	2,70	0,44	1,13	0,86
	2	3,16	0,53	2,44	2,00	3,14	2,73	0,43	1,14	0,57
	4	2,44	0,34	3,19	1,84	3,93	2,60	0,40	1,02	0,29
-16°C	1	0,65	0,20	0,94	0,68	0,47	1,61	0,35	0,68	0,41
	2	0,33	0,19	1,00	0,45	0,39	1,38	0,33	0,60	0,43
	4	0,32	0,06	1,02	0,53	0,78	1,05	0,30	0,54	0,24
-20°C	1	0,73	0,25	0,93	0,81	0,64	1,47	0,32	0,69	0,30
	2	0,42	0,07	1,01	0,46	0,49	1,37	0,34	0,44	0,23
	4	0,38	0,07	1,26	0,62	0,98	1,05	0,39	0,42	0,25

ortalama enerji giderleri hesaplanmıştır. Sistemler enerji giderleri açısından karşılaştırıldıklarında vakum soğutmanın geleneksel soğutmadan ortalama 6 kat,

hava üflemleri soğutma sistemine göre ise 8.5 kat daha az enerji tükettiği görülmektedir.

Çizelge 7.9 Günlük enerji tüketimi bedeli (TL)

Basınç/ Sıcaklık	Hız (m/s)	Mantar	Marul	Baş Salata	Semizotu	Karpuz	Haşlanmış Patates	Köfte	Tavuk Etisi	Döner
7 mbar	-	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93
10 mbar	-	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89
15 mbar	-	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89
5°C	-	4,87	4,87	4,87	4,87	4,87	4,87	4,87	4,87	4,87
-16°C	-	5,84	5,84	5,84	5,84	5,84	5,84	5,84	5,84	5,84
-20°C	-	7,93	7,93	7,93	7,93	7,93	7,93	7,93	7,93	7,93
5°C	1	27,85	3,89	3,89	3,89	3,89	3,89	3,89	3,89	3,89
	2	34,36	4,81	4,81	4,81	4,81	4,81	4,81	4,81	4,81
	4	45,39	6,35	6,35	6,35	6,35	6,35	6,35	6,35	6,35
-16°C	1	55,96	7,83	7,83	7,83	5,72	7,83	7,83	7,83	7,83
	2	62,66	8,76	8,76	8,76	6,46	8,76	8,76	8,76	8,76
	4	67,82	9,48	9,48	9,48	17,61	9,48	9,48	9,48	9,48
-20°C	1	55,64	7,78	7,78	7,78	7,22	7,78	7,78	7,78	7,78
	2	61,95	8,66	8,66	8,66	6,00	8,66	8,66	8,66	8,66
	4	79,30	11,09	11,09	11,09	17,25	11,09	11,09	11,09	11,09

Çizelge 7.9 Yıllık enerji tüketimi bedeli (TL)

Basınç/ Sıcaklık	Hız (m/s)	Mantar	Marul	Baş Salata	Semizotu	Karpuz	Haşlanmış Patates	Köfte	Tavuk Etisi	Döner
7 mbar	-	338,95	338,99	338,95	338,91	338,92	338,97	338,92	338,92	338,88
10 mbar	-	325,59	325,65	325,65	325,67	325,64	325,59	325,66	325,67	325,60
15 mbar	-	325,67	325,56	325,64	325,59	325,64	325,64	325,62	325,59	325,58
5°C	-	1778,9	1778,9	1778,9	1778,9	1778,9	1778,9	1778,9	1778,9	1778,9
-16°C	-	2133,3	2133,3	2133,3	2133,3	2133,3	2133,3	2133,3	2133,3	2133,3
-20°C	-	2894,3	2894,2	2894,3	2894,3	2894,3	2894,3	2894,3	2894,3	2894,3
5°C	1	10165,4	1421,6	1421,6	1421,6	1421,6	1421,6	1421,5	1421,6	1421,6
	2	12542,0	1753,9	1753,9	1753,9	1753,9	1753,9	1753,9	1753,9	1753,9
	4	16565,9	2316,7	2316,6	2316,7	2316,6	2316,7	2316,6	2316,7	2316,7
-16°C	1	20424,9	2856,4	2856,3	2856,3	2087,3	2856,3	2856,3	2856,3	2856,4
	2	22872,2	3198,5	3198,6	3198,59	2356,8	3198,6	3198,5	3198,5	3198,6
	4	24754,5	3462,0	3461,8	3461,8	6429,2	3461,8	3461,9	3461,8	3461,8
-20°C	1	20307,2	2839,8	2839,9	2839,9	2637,0	2839,9	2839,9	2839,9	2839,8
	2	22613,3	3162,3	3162,4	3162,4	2189,3	3162,4	3162,4	3162,3	3162,4
	4	28943,4	4047,7	4047,6	4047,6	6296,2	4047,6	4047,6	4047,6	4047,6

8. TARTIŞMA

Tez çalışması kapsamında sebzeler (mantar, marul, baş salata ve semizotu), meyve (karpuz), pişirilmiş sebze (pişirilmiş patates), ve pişirilmiş et ürünleri (köfte, tavuk eti ve döner) vakum soğutma, geleneksel soğutma ve hava üfleli soğutma sistemleri ile soğutularak farklı basınç değerleri ve farklı sıcaklıklar için zamana bağlı olarak merkez ve yüzey sıcaklıklarının değişimi verilmiştir. Aynı zamanda yukarıda sıralanan gıda ürünleri için farklı vakum basınçları ve sıcaklık değerleri için ürünlerin saklama sıcaklığına (5 °C) gelme süreleri, soğutma sırasındaki kütle kaybı ve enerji tüketim değerleri bulunarak grafikler ve çizelgeler halinde sunulmuştur. Aynı zamanda tavuk eti, köfte, ve döner için ayrıca raf ömrüne soğutmanın etkisini görmek için mikrobiyal analizler yapılmış ve sonuçlar şekiller ve çizelgeler halinde sunulmuştur.

Soğutulan gıda ürünlerinin vakum sistemi ile soğutulmasına ile ilgili açık literatürde deneysel bir çalışma mevcut değildir ve ilk kez bu tez çalışması kapsamında yapılmıştır. Bir kısım soğutma deneyleri ise literatürde mevcut olan ürünler için yapılmıştır. Aynı ürünler için literatürde bulunan sonuçlar ile bu tez çalışması kapsamında yapılan deneysel sonuçlar her bir ürün için ayrıntılı olarak bu bölümde kıyaslanarak tartışılacaktır.

Mantarın soğutulması ile ilgili deney sonuçlar değerlendirildiğinde literatür sonuçları ile uyumlu veriler elde edildiği görülebilir. Literatür bölümünde de ayrıntılı olarak tartışıldığı gibi, vakum soğutmada ürünün merkez ve yüzey sıcaklığındaki değişim vakum soğutmada eş zamanlı olarak azalırken, geleneksel ve hava üfleli soğutmalarda yüzey sıcaklığındaki sıcaklık değişimi çok hızlı bir şekilde gerçekleşirken, merkez sıcaklığındaki değişim daha yavaş olmaktadır. Merkez ve yüzey sıcaklıklarındaki değişim vakum soğutmada eş zamanlı gerçekleşirken, geleneksel ve hava üfleli soğutucularda soğutma esnasında sıcaklık farkı meydana gelmektedir. Deney sonuçları aynı zamanda mantar için vakum soğutmanın geleneksel soğutmaya göre daha hızlı bir şekilde ürünün soğutulmasını sağladığını göstermiştir. Ürünün sıcaklığı ortam sıcaklığından, depolama sıcaklığına (5 °C) vakum soğutmada 7 mbar basınçta 480 saniyede, 10 mbar basınçta 700 saniyede gelirken, geleneksel soğutmada bu süre 5 °C sıcaklıktaki ortamda soğutulduğunda 3780 saniye değerlerine kadar çıkmaktadır. Düşük sıcaklıklarda (-16°C ve -20°C) ise bu süre 900 saniye değerlerine kadar

düşmektedir. Bununla birlikte, bu sıcaklık değerlerinde ürünün soğutulması durumunda yüzeylerde donma meydana gelmektedir. Hava üfleli soğutma sisteminde soğutma süreleri klasik soğutma sistemine göre daha kısalmaktadır. Beklendiği gibi, en uzun soğuma süresi 5°C ve 1 m/s hızında oluşmaktadır. Hız arttığında soğuma süresi de kısalmaktadır. Yine beklediği üzere düşük sıcaklıklarda soğuma süresi kısalmaktadır. En kısa soğuma süresi -20°C ve 4 m/s hızlarda gerçekleşmektedir (90 saniyede ortam sıcaklığından 5°C sıcaklığa gelinmiştir). Düşük sıcaklık ve yüksek hızlarda mantarın hava üfleli soğutucuda soğutulma süresi vakum soğutmadan çok daha kısa olmaktadır. Bununla birlikte yukarıda açıklandığı üzere bu durumda da ürünün yüzeyi 0°C sıcaklığın altına kısa bir sürede indiği için yüzeyde donma meydana gelmektedir ki bu da istenmeyen bir durumdur. Mantarın soğutulması ile ilgili enerji değerleri incelendiğinde, vakum soğutma durumundaki enerji tüketiminin yaklaşık 2,36 Wh/m³ gerçekleşirken, geleneksel soğutmada bu değer 28 Wh/m³ ile 100 Wh/m³ ve hava üfleli soğutma sisteminde bu değer 32 Wh/m³ ile 300 Wh/m³ arasında değiştiği görülebilir. Beklenenin tersine hava üfleli soğutma sistemlerinde en yüksek enerji tüketimi yüksek sıcaklık ve düşük hızlarda gerçekleşirken en düşük enerji tüketimi düşük sıcaklık ve yüksek hızlarda gerçekleşmektedir. Bunun nedeni düşük sıcaklıklarda soğuma süresinin oldukça uzun olmasından kaynaklanmaktadır. Hava üfleli soğutma sisteminde mantarın soğutulması sırasında en düşük ve en yüksek enerji tüketimleri arasında yaklaşık 10 kat fark meydana gelmektedir.

Marulun soğutulması ile ilgili deney sonuçları da mantarın soğutulmasına ilişkin sonuçlar ile benzerlikler taşımaktadır. Yapraksı bir sebze olması ve yüzey alanı/kütle oranı yüksek olması nedeni ile vakum soğutma için çok uygun bir ürün olması nedeni ile literatürde üzerinde çok çalışma yapılmış bir üründür. Bu nedenle de tez çalışması kapsamında marul ile ilgili deneyler de yürütülmüştür. Bulgular literatür çalışmaları ile büyük bir benzerlik taşımaktadır. Marulun vakum soğutmada soğuma hızı (7 mbar basınçta 360 saniyede, 10 mbar basınçta 480 saniye) klasik soğutma (5°C de 3700 saniye ve -20°C de 480 saniye) ile karşılaştırıldığında oldukça kısadır. Bununla birlikte hava üfleli soğutma sisteminde(-16°C ve -20°C sıcaklık ve 4 m/s hızda 120 saniye) soğutma hızı vakum soğutma hızından daha kısa gerçekleşmektedir. Beklendiği üzere klasik ve

hava üflemeli soğutma sistemlerinin her ikisinde de sıcaklık düştükçe soğuma süresi kısalmaktadır. Aynı zamanda hava üflemeli soğutma sisteminde hava hızı arttıkça soğuma hızı azalmaktadır. Bu da literatürle benzerlik taşımaktadır. -16°C ve -20°C gibi düşük sıcaklıklarda her ne kadar ürünün sıcaklığı kısa zamanda depolama sıcaklığına geliyor olsa da, bu sıcaklıklarda yüzeyde donma gerçekleşmekte ve bu da ürünün bozulmasına neden olmaktadır. Marulun soğutulması ile ilgili enerji değerleri de mantarın soğutma durumundakiler ile benzerlikler taşımaktadır. Marul için vakum soğutma durumundaki enerji tüketimi ortalama 2 Wh/m^3 olarak gerçekleşirken, geleneksel soğutmada bu değerin 20 Wh/m^3 ile 100 Wh/m^3 ve hava üflemeli soğutma sisteminde bu değerin 7 Wh/m^3 ile 70 Wh/m^3 arasında değiştiği görülebilir. Yine mantardakine benzer olarak, hava üflemeli soğutma sistemlerinde en yüksek enerji tüketimi yüksek sıcaklık ve düşük hızlarda gerçekleşirken en düşük enerji tüketimi düşük sıcaklık ve yüksek hızlarda gerçekleşmektedir. Bunun nedeni de yine düşük sıcaklıklarda soğuma süresinin oldukça uzun olmasından kaynaklanmaktadır. Hava üflemeli soğutma sisteminde marulun soğutulması sırasında da en düşük ve en yüksek enerji tüketimleri arasındaki fark mantarda olduğu gibi yaklaşık 10 kat olmaktadır.

Üç soğutma sisteminin karşılaştırılması ile ilgili en çarpıcı sonuçlardan birisi baş salata için bulan sonuçlar olmuştur. Baş salatanın vakum altında soğutulması durumu için merkez ve yüzeydeki sıcaklık değişimi ilk 300 saniyede biraz farklı bir şekilde azalsa da, 300 saniyeden sonra sıcaklık değişimi eş zamanlı olmaya başlamıştır. Ortam sıcaklığı mantar ve marulda olduğu gibi sabit kalmış ve değişmemiştir. Vakum odası içindeki nem oranı ise 300 saniyelik süre içerisinde azalmış ve sonrasında armaya başlamıştır. Yaklaşık 400 saniye sonra ise logaritmik olarak azalmıştır. Açık literatürde baş salatanın vakum altında soğutulmasına ilişkin sonuçlar mevcut değildir. Baş salatanın vakum soğutmada soğuma süresi, mantar ve marul ile karşılaştırıldığında oldukça uzundur (7 mbar basınçta 1370 saniyede, 10 mbar basınçta 950 saniye) klasik soğutma (5°C de 15510 saniye ve -20°C de 4550 saniye). Hava üflemeli soğutma sisteminde de 5°C sıcaklık ve 1 m/s hızdaki soğuma süresi 17000 saniyeler mertebesinde gerçekleşmektedir, bunun yanı sıra -16°C ve -20°C sıcaklık ve 4 m/s hızlarda bile soğutma süresi 2000 saniyeler mertebesinde ve vakum soğutmaya göre oldukça yüksektir. Klasik ve hava üflemeli soğutma sistemlerinin her ikisinde de düşük

sıcaklıklarda soğuma süresi kısalmasına rağmen, aradaki fark çok büyük değildir. Bu da yuvarlak ve iç içe yapraklı yapısından kaynaklanmaktadır. Vakum soğutmada merkez ve yüzey sıcaklıkları eş zamanlı azalırken, geleneksel ve hava üfleli soğutma sistemlerinde merkez ve yüzey sıcaklıklarının değişimleri arasında oldukça büyük fark meydana gelmektedir.

Baş salata için vakum soğutma durumundaki enerji tüketimi ortalama 6 Wh/m^3 olarak gerçekleşirken, geleneksel soğutmada bu değer 190 Wh/m^3 ile 400 Wh/m^3 ve hava üfleli soğutma sisteminde bu değer 100 Wh/m^3 ile 360 Wh/m^3 arasında değiştiği görülebilir. Mantar ve maruldakinden farklı olarak, hava üfleli soğutma sistemlerinde en yüksek enerji tüketimi, çok büyük farklar olmamakla birlikte düşük sıcaklık ve yüksek hızlarda gerçekleşmektedir. Hava üfleli soğutma sisteminde baş salatanın soğutulması sırasında da en düşük ve en yüksek enerji tüketimleri arasındaki fark mantarda olduğu gibi yaklaşık 3,5 kat olmaktadır.

Semiz otunun vakum altında soğutulmasına ilişkin de açık literatürde bir çalışmaya raslanmamıştır. Yapılan deneyler sonucunda semizotunun vakum altında soğutulması durumu için merkez ve yüzeydeki sıcaklık değişiminin eş zamanlı olarak azaldığı görülmektedir. Yine daha önceki deneylerde olduğu gibi, ortam sıcaklığı bütün soğutma süresince sabit kalmış ve değişmemiştir. Vakum odası içindeki nem oranı ise önce azalmış, sonrasında artmış ve daha sonrasında ise logaritmik olarak azalmıştır. Semiz otunun vakum soğutmada soğuma süresi, ortalama 680 saniye civarında gerçekleşmiştir. Bu süre klasik soğutmada 2000 saniye ile 6000 saniye arasında, hava üfleli soğutmada ise 1000 ile 9700 saniye arasında gerçekleşmiştir. En uzun soğuma süresi 5°C ve 1 m/s hızda gerçekleşirken en kısa soğuma süresi -16°C ve -20°C ve 2 ile 4 m/s hava hızlarında gerçekleşmektedir. Semiz otunun vakum soğutmadaki enerji tüketimi ortalama 3 Wh/m^3 olarak gerçekleşirken, geleneksel soğutmada bu değer 80 Wh/m^3 ile 175 Wh/m^3 ve hava üfleli soğutma sisteminde bu değer 45 Wh/m^3 ile 200 Wh/m^3 arasında değiştiği görülmüştür.

Literatürde daha önce çalışılmamış gıda ürünlerinden birisi de karpuzdur. Karpuz kesilerek dilim olarak soğutulmuştur. Karpuzda da vakum soğutma durumunda daha önceki ürünlerin soğutulması ve literatürde açıklandığı üzere, vakum soğutmada merkez ve yüzey sıcaklıkları eş zamanlı olarak azalmıştır. Yine açık literatürde karpuzun vakum soğutma ile soğutulmasına ilişkin bir çalışma

mevcut değildir. Karpuzun soğuma süresi, haşlanmış patates ve baş salatadan sonra en uzundur. Bunun nedeni karpuzun su oranının çok yüksek olması ve isetenilen sıcaklığa gelinebilmesi için büyük oranlarda suyun buharlaştırılmak zorunda olmasından kaynaklanmaktadır. Karpuzun soğuma süresi 5 mbar vakum basıncında 1800 saniye iken bu süre 10 mbar basınçta 3600 saniyelere çıkmaktadır. Hava üfleli soğutma sisteminde 5 °C sıcaklıkta ve 1 m/s hızlarda bu süre 14000 saniyeler kadar çıkmaktadır. Hava üfleli soğutma sistemlerinde düşük sıcaklık ve yüksek hava hızlarında bu süre oldukça kısalmakta ve 850-1000 saniyelere kadar inmektedir. Bu süre vakum soğutmadaki sürelerden de oldukça kısadır. Karpuz için vakum soğutma durumundaki enerji tüketimi ortalama 14 Wh/m³ olarak gerçekleşirken, geleneksel soğutmada bu değerin 100 Wh/m³ ile 285 Wh/m³ ve hava üfleli soğutma sisteminde bu değerin 40 Wh/m³ ile 400 Wh/m³ arasında değiştiği görülebilir.

Literatürde çalışılmamış ve bu tez kapsamında deneyleri yürütülen bir diğer ürün pişirilmiş patates olmuştur. Patates pişirilmesi nedeni ile sıcak olması, su içeriğinin yüksek olması ve yüzeyinin kabuklu olması nedeni ile oldukça farklı bir karakteristiği sahiptir. Patates pişirildikten sonra çoğunlukla kabuğunda çatlaklar oluşmuş ve buralardan buharlaşma gerçekleşmiştir. Bazı durumlarda ise eğer kabuğunda bir çatlak yoksa patates vakum odasında patlamıştır. Bunun nedeni içeride basıncın yüksek olması ve patates içindeki basıncın yüksek olmasıdır. Patatesin soğuma eğrileri yukarıda detaylı olarak verilen ürünler ile benzerlikler içermektedir. Literatürde ve tez kapsamında yapılan çalışmalardakine benzer olarak yüzey ve merkez sıcaklığı, vakum soğutma sırasında eş bir şekilde azalmaktadır. Patatesin vakum soğutmadaki soğuma süresi 700 saniye civarında gerçekleşmiştir. Klasik soğutma sisteminde ise soğuma zamanı 5°C de 20000 saniye ve -20°C de 4000 saniye olarak gerçekleşmiştir. Hava üfleli soğutma sisteminde de 5°C sıcaklık ve 1 m/s hızdaki soğuma süresi 13000 saniyeler mertebesinde gerçekleşirken bu süre -16°C ve -20°C sıcaklık ve 4 m/s hızında 1800-2000 saniyelere düşmektedir. Çalışılan gıda ürünleri içerisinde en yüksek enerji tüketimi yaklaşık 1850 Wh/m³ ile pişirilmiş patatesten, 5°C sıcaklık ve geleneksel soğutmada gerçekleşmiştir. Hava üfleli soğutma sisteminde enerji tüketim değeri -20°C sıcaklık ve 4 m/s hava hızlarında 370 Wh/m³ değerlerine düşmektedir. 5 °C sıcaklık ve 1 m/s hızlarda ise bu değer 1000 saniyelere

yükselmektedir. Hava üflemlili soğutma sisteminde pişirilmiş patatesin soğutulması sırasında da en düşük ve en yüksek enerji tüketimleri arasındaki fark mantarda olduğu gibi yaklaşık 3,8 kat mertebesinde olmaktadır.

Köfte, tavuk eti ve dönerde daha önce vakum soğutma sistemi ile çalışılmamış ürünler arasında yer almaktadır. Bu ürünler için soğutulmanın yanı sıra aynı zamanda mikrobiyal analiz de yapılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalarda üç ürün için, vakum soğutma için merkez ve yüzey sıcaklıklarının değişimi eş eğriler şeklinde azalmaktadır. Bu değişim, tez çalışması kapsamında sebze, meyve ve pişirilmiş ürünlerinkine ve literatürdeki çalışmalar ile benzerlikler taşımaktadır. Klasik ve hava üflemlili soğutma sistemlerinde de, merkez ve yüzey sıcaklıklarındaki değişim diğer çalışmadakilere benzer bir değişim göstermektedir. Yüzey sıcaklığı hızlı bir şekilde düşerken merkez sıcaklığındaki değişim yavaş olmuştur. Köfte, tavuk eti ve dönerin sıcaklığının 7 mbar vakum basıncında 5 °C sıcaklığa gelmesi için geçen süre sırası ile 1200, 1200 ve 450 saniye olmuştur. 10 mbar basınçta ise bu süre sırası ile 1150, 500 ve 580 saniye olmuştur. Her üç ürün içinde en uzun soğuma süresi geleneksel soğutma sisteminde ve 5°C sıcaklıkta gerçekleşmiştir. Köfte, tavuk eti ve döneri için bu süreler sırası ile 6200, 5000, 2560 saniye olarak kaydedilmiştir. Hava üflemlili soğutma sisteminde ise köfte, tavuk eti ve döner için en hızlı soğuma -20°C ve 4 m/s'de ve sırası 660, 720, 420 saniyede gerçekleşmiştir. Enerji tüketimleri açısından baktığımızda ise yine sırası ile köfte, tavuk eti ve döner için vakum soğutma sistemi için ortalama enerji tüketimleri sırası ile 6.8 Wh/m³, 3.8 Wh/m³ ve 2.5 Wh/m³ olarak bulunmuştur. Klasik soğutma sistemindeki enerji tüketim değeri köfte, tavuk eti ve döner için sırası ile yaklaşık 160 Wh/m³, 130 Wh/m³ ve 65 Wh/m³ olarak hesaplanmıştır.

Köfte, tavuk eti ve döner için aynı zamanda mikrobiyal analizler de yapılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda vakum soğutma ve klasik soğutma sistemlerinde soğutulan ürünler, soğutulma sonrasında aynı sıcaklıkta (4 veya 5 °C) bekletilmeleri durumunda, vakum soğutma ile soğutulmuş ürünlerdeki mikrobiyal gelişmenin klasik soğutma ile soğutulmuş ürünlere göre oldukça düşük olduğu açık bir şekilde görülmüştür. Ayrıca bir ürünlerdeki mikrobiyal yük, eğer ürün düşük sıcaklıklarda soğutulmuş ise daha az olurken yüksek sıcaklıklarda

soğutulmuş ise daha fazla olmaktadır. Bu da ürünlerin hızlı bir şekilde soğutulmasının mikrobiyal gelişmenin önüne geçmesinden kaynaklanmaktadır.

9. SONUÇ

9.1. Sonuçlar ve Değerlendirilmesi

Vakum soğutma ve klasik soğutma deneyleri mantar, marul, baş salata marul, semizotu, karpuz, pişirilmiş patates, köfte, tavuk eti ve döner için yürütülmüştür. Vakum soğutma deneyleri 7 mbar, 10 mbar ve 15 mbar için yürütülmüştür, klasik soğutma da ise deneyler 5°C, -16°C ve -20°C için yürütülmüştür.

Hava üfleli soğutucu ile her bir ürün için 1 m/s, 2 m/s, 4 m/s hız ve 5°C, -16°C, ve -20°C sıcaklıklar için deneylerin gerçekleştirilmiştir. Hava üfleli soğutma deneyleri de vakum soğutma ve klasik soğutmada olduğu gibi ürünlerin soğutma öncesi ve sonrası kütleleri alınarak kütle kayıpları ölçülmüştür. Hızın ve sıcaklığın soğuma süresi ile kütle kaybına etkisi irdelenmiştir. Soğutma öncesi ve sonrasında termal kamera görüntüleri alınarak, soğutma sonrasında ürün içerisindeki sıcaklık dağılımı da görüntülenmiştir.

Tavuk eti, köfte, ve döner için ayrıca mikrobiyal analizler yapılmış ve vakum soğutma ve klasik soğutmaların raf ömürlerine etkileri incelenmiştir. Vakum soğutma, hava üfleli soğutma ve klasik soğutma deneylerinde soğutulan ürünlerin merkez ve yüzey sıcaklıklarının zamana göre değişimleri incelenmiştir. Ayrıca vakum soğutmada ortam neminin ve ortam basıncının değişimi de incelenmiştir. Her üç soğutma yöntemi için de ürünlerin soğutma öncesi ve sonrasında kütleleri ölçülerek soğutma sırasındaki kütle kayıpları ve kütle kayıp oranları tespit edilmiştir. Vakum soğutma, hava üfleli soğutma ve klasik soğutma karşılaştırıldığında aşağıdaki sonuçlara varılmıştır;

- 1) Vakum soğutma, hava üfleli soğutma ve klasik soğutma sistemleri karşılaştırıldığında, soğutulan mantar, marul, baş salata, semizotu, karpuz, pişirilmiş patates, köfte, tavuk eti ve dönerin soğutulmasında, vakum soğutmada tüm ürünler için soğuma süresi en kısa gerçekleşmiştir. Aynı zamanda vakum soğutmada enerji tüketimi bütün ürünler için diğer soğutma sistemlerindeki enerji tüketiminden oldukça düşük gerçekleşmiştir. Bu sonuçlar, vakum soğutmanın gıda ürünlerinin

hızlı ve düşük enerji tüketimiyle soğutulmasında uygulanabilecek bir yöntem olduğunu göstermektedir.

- 2) Vakum soğutmada ürünün yüzey ve merkez sıcaklıkları üniform olarak düşmektedir, klasik ve hava üfleli soğutma yöntemleri ile soğutmada ise ürünün yüzeyinde sıcaklık daha hızlı düşerken, merkezinde sıcaklık daha yavaş azalmaktadır.
- 3) Sebzelerden baş salatada ve pişirilmiş patates, klasik (saklama sıcaklığında, 5°C)ve hava üfleli soğutmada (1 ve 2 m/s hız ve 5°C sıcaklıkta) soğuma süresi çok uzun zaman alırken vakum soğutmada bu süre oldukça kısa olmaktadır.
- 4) Çok düşük sıcaklıklarda (-20°C sıcaklıkta) soğuma esnasında yüzey ve merkez sıcaklıkları arasında büyük farklılıklar oluşmaktadır. Yüzey sıcaklığı çabuk düşerken merkez sıcaklığındaki düşüş çok yavaş olmaktadır. Yüzeylerde donmalar gerçekleşmekte ve ürün tekrar ortam sıcaklığına geldiğinde ürünün yapısında bozulmalar meydana gelmektedir.
- 5) Saklama sıcaklığında (5°C) soğutmada, vakum soğutmaya yakın hatta bazı durumlar için daha fazla kütle kaybı gerçekleşebilmektedir. Bunun nedeni soğuma süresinin bu sıcaklık değerinde çok fazla olmasından kaynaklanmaktadır.
- 6) Düşük sıcaklıklarda soğutulduğunda (-20°C sıcaklıkta) kütle kaybı oldukça düşüktür, çünkü soğuma süresi kısa olmaktadır.
- 7) Vakum soğutma yapmadan önce ürün eğer ortam sıcaklığında ve açıkta bırakılırsa kütle kaybı çok fazla olmakta, bu nedenle vakum altında soğuma gerçekleşmemektedir. Bu nedenle özellikle mantar, marul, semizotu gibi yapraksı sebzelerde vakum soğutmanın ürünün hasatının hemen ardından yapılması uygun olacaktır.
- 8) Vakum soğutma öncesinde ürünün ortam sıcaklığına gelmesi için plastik torbalar içerisinde bekletilerek su (kütle) kayıplarının önlenmesi uygun olmaktadır.
- 9) Baş salatalarda vakum basıncının 7 mbar'a gelmesi uzun zaman almaktadır. Bunun nedeni üründen buharlaşmanın olması ve pompanın sürekli olarak üründen buharlaşan havayı çekmek zorunda kalmasıdır.

- 10) Vakum soğutma sonrası ürünün termal kamera ile görüntüsü alındığında yüzey sıcaklığının vakum altında ölçülen sıcaklıktan daha yüksek olduğu görülmüştür. Bunun nedeni vakum bitirildiğinde vakum ünitesinin kapağını açabilmek için ortama havanın girmesi ve bu sıcak havanın da özellikle ürünün yüzeylerinde sıcaklığı yükselmesidir.
- 11) Pişirilmiş ürünlerin soğutma deneylerinde, ürün pişirildikten sonraki sürede yüzeyde buharlaşmadan dolayı çok hızlı bir soğuma gerçekleşmektedir. Aynı zamanda pişirme sonrasında tartım esnasında bile buharlaşma nedeni ile kütle kaybı meydana gelmektedir.
- 12) Ürünler pişirilirken kütleleri artmaktadır.
- 13) Vakum basıncı azaldıkça kütle kaybı artmaktadır. 15 mbar basınçta 5°C sıcaklığa gelmek mümkün olmamıştır.
- 14) Köfte ve döner pişerken fırında pişirildiği için pişirme esnasında buharlaşma nedeni ile kütlelerinde bir azalma meydana gelmektedir. Tavuk ise suda pişmesine rağmen kütlelerinde bir azalma meydana gelmektedir. Bunun nedeni pişme sırasında tavuk içerisindeki suyun pişirme suyuna geçmesi olabilir.
- 15) Pişirilmiş köfte ve döner için geleneksel ve vakum soğutma sonrası +4°C’de beş günlük depolama sonrasında mikrobiyal analiz yapıldığında ve sonuçlar karşılaştırıldığında vakum soğutmanın özellikle 7 ve 10mbar’da geleneksel soğutmayla karşılaştırıldığında mikrobiyal gelişmenin daha az olduğu gözükmektedir.
- 16) Pişirilmiş tavuk eti ile yapılan deneylerde bir vakum soğutma ve geleneksel soğutmada mikroorganizma üremediği görülmüştür. Bunun nedeni suda pişirildiğinde ürün içerisindeki mikrobiyal yükün indirgenmesi veya tamamen yok olmasıdır.
- 17) Vakum soğutma, hava üfleli soğutma ve klasik soğutma sistemleri enerji tüketimi açısından karşılaştırıldığında, en yüksek enerji tüketiminin, hava üfleli soğutucuda, 5 °C sıcaklık ve 1 m/s hızda gerçekleşmektedir. Bu sıcaklık ve hızdaki değer 7 mbar vakum basıncındaki enerji tüketimi ile karşılaştırıldığında pişirilmiş patates için 400 kat fark olduğu görülmektedir.

- 18)** Klasik soğutma sisteminde, 5 °C sıcaklıktaki enerji tüketimi 7 mbar vakum basıncındaki enerji tüketiminin 50 ile 350 katı arasında gerçekleşmektedir.
- 19)** Hava üfleli soğutucuda en düşük enerji tüketimi -16 ve -20 °C sıcaklık ve 4 m/s hızlarda gerçekleşmektedir.

Vakum soğutma gıda ürünlerinin hızlı bir şekilde soğutulması için uygulanabilecek bir metot olmakla birlikte aşağıdaki noktaların dikkate alınması gerekecektir:

- 1)** Vakum soğutmanın gerçekleşebilmesi için gıda içerisinde buharlaşabilecek serbest suyun olması gerekmektedir. Ayrıca yüzey alanı/kütlesi büyük ürünler vakum soğutma için daha uygundur. Pişirilmiş ürünler de vakum soğutma için uygun ürünlerdir.
- 2)** Vakum basıncı inilmek istenilen sıcaklığı etkileyen bir parametredir. Bu nedenle vakum basıncını seçerken inilmek istenilen sıcaklıkta göz önünde bulundurulması uygun olacaktır. Maydanoz, marul, mantar ve semiz otu gibi yapraksı sebzeler uzun süre ortamda kaldıklarında yüzeylerinden buharlaşma olduğundan su içerikleri azalmaktadır. Bu durumda bu ürünlerin vakum soğutma ile soğutulması zorlaşmaktadır.

Vakum soğutma ile ilgili gelecekteki çalışmalar şu noktalara yoğunlaştırılabilir;

- 1)** Vakum soğutma sadece sanayi de ön soğutma için değil aynı zamanda evlerde buzdolabının bir parçası olarak ön soğutma veya hızlı soğutma amacı ile de kullanılabilir. Bu nedenle bununla ilgili çalışmaların yoğunlaşması uygun olacaktır.
- 2)** Vakum sonrası ürünü vakum odasından alırken atmosferik sıcak hava vakum odasına dolmakta bu durumda da soğutulmuş ürün bir miktar ısınmaktadır. Bunu engellemek için içeriye atmosferik havanın değil soğumuş ürün sıcaklığındaki havanın alınacağı bir düzeneğin tasarlanması uygun olacaktır.

Bu çalışma kapsamında vakum soğutma, klasik soğutma ve hava üfleli soğutma, enerji tüketimi, soğutma süresi, kütle kaybı gibi parametreler açısından

karşılaştırılmış ve yukarıda sıralanan genel sonuçlara varılmıştır. Bundan sonra yapılacak çalışmaların daha çok vakum soğutmanın ticari olarak kullanılabilmesi konusunda yürütülmesinin uygun olacağı genel sonucuna varılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda vakum soğutma sisteminin, diğer soğutma sistemlerinden oldukça düşük enerji tükettiği görülmüştür. Bu sebeple gelecekte vakum soğutma sisteminin yaygın olarak evsel ve ticari anlamda kullanılmasa beklenebilir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Bartz, J. A. and Brecht, J. K.**, 2002, *Postharvest Physiology and Pathology of Vegetables*, Marcel Dekker Inc., Newyork, ABD, 744s.
- Brosnan, T., Sun, D.W.**, 2001, Compensation for Water Loss in Vacuum-Precooled Cut Lily Flowers, *J. agric. Engng Res.*, 79 (3), 299-305, (2001).
- Brosnan, T., Sun, D.W.**, 2003, Influence of Modulated Vacuum Cooling on the Cooling Rate, Mass Loss and Vase Life of Cut Lily Flowers, *Biosystems Engineering*, Vol. 86 (1), 45–49.
- Cemeroğlu, B., Yemenicioğlu, A. ve Özkan. M.**, 2001, Meyve ve Sebzelerin Bileşimi Soğukta Depolanmaları, *Gıda Teknolojisi Derneği Yayınları*, No:24, Ankara, 328s.
- Cheng, H.-P.**, 2006, Vacuum cooling combined with hydrocooling and vacuum drying on bamboo shoots. *Applied Thermal Engineering*, 26:2168-2175
- Cheng, H.-P. and Hsueh, C.-F.**, 2007, Multi-stage vacuum cooling process of cabbage. *Journal of Food Engineering*, 79(1): 37-46.
- Cheng, H.P., Lin, C.T.**, 2007, The morphological visualization of the water in vacuum cooling and freezing process, *Journal of Food Engineering*, 78(2): 569-576.
- Cheng, Q. and Sun, D.-W.**, 2007, Effect of cooking bag and netting packaging on the quality of pork ham during water cooking. *Meat Science*, 75:243-247.
- Cheng, Q. and Sun, D-W.**, 2005, Application of PLSR in correlating physical and chemical properties of pork ham with different cooling methods. *Meat Science*, 70:691-698.
- Cheng, Q. ve Sun, W.**, 2006, Effects of combined water cooking–vacuum Cooling with water on processing time, mass loss And quality of large pork ham, *Journal of Food Process Engineering* 30 51–73.
- Cheng, Q., Sun, D.W.**, 2006a, Feasibility assessment of vacuum cooling of cooked pork ham with water compared to that without water and with air blast cooling, *International Journal of Food Science and Tech.*, Vol. 41, 938–945.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Cheng, Q., Sun, D.W.**, 2006b, Improving The Quality Of Pork Ham By Pulsed Vacuum Cooling In Water, *Journal of Food Process Engineering*, , Vol. 29, 119–133.
- Cheng, Q., ve Sun, D.W.**, 2008, Factors Affecting the Water Holding Capacity of Red Meat Products: A Review of Recent Research Advances Critical Reviews in *Food Science and Nutrition*, Cilt:48, Sayfa:137–159.
- Çengel, Y. A.**, 1998, *Heat Transfer*, McGraw-Hill, Boston, 1006s.
- Desmond, E.M., Kenny T.A., Ward, P., Sun, D.W.**, 2000, Effect of rapid and conventional coolin methods on the quality of cooked ham joints, *Meat Science*, Vol. 56, 271-277.
- Desmond, E.M., Kenny, T.A., Ward, P.**, 2002, The effect of injection level and cooling method on the quality of cooked ham joints, *Meat Science*, Vol 60, 271–277.
- Dinçer, İ.**, 2003, *Refrigeration systems and applications*, John Wiley & Sons, Ltd., West Sussex, İngiltere, 582s.
- Dostal, M. ve Petera, K.**, 2004, Vacuum cooling of liquids: mathematical model, *Journal of Food Engineering*, 61, 533–539.
- Drummond, L.S., Sun, D.**, 2006, Feasibility of water immersion cooking of beef joints: Effect on product quality and yield, *Journal of Food Engineering*, 77 289–294.
- Edin M., Türe E., Güneş Enerjisi Uygulamaları-Gelişmeleri Sempozyumu**, Bildiler Kitabı Muğla, 1994
- Gül, F. ve Önal, A.E.**, 2010, Halk Sağlığı Açısından Gıda Analizlerinin Önemi, Nobel Medicus Online Dergi. <http://www.nobelmedicus.com/contents/200843/07-14.htm>.
- He, S.Y., Feng, G.P., Yang, H.S., Wub, Y., Li, Y.F.**, 2004, Effects of pressure reduction rate on quality and ultrastructure of iceberg lettuce after vacuum cooling and storage, *Postharvest Biology and Technology*, Vol. 33, 263–273.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- He, S.Y., Li, Yun-Fei**, 2003, Theoretical simulation of vacuum cooling of spherical foods, *Applied Thermal Engineering*, Vol. 23, 1489–1501.
- Henning, H., M.**, Erpenbeck, T., Hindenburg, C., Paulussen, S., 1998. Solar cooling of buildings- possible techniques, potential and international development, Eurosun'98, www.wire0.ises.org
- Houska, M., Landfeld, A., Sun, D.W.**, 2005, Eating quality enhancement of cooked pork and beef by ripening in brine and vacuum cooling, *Journal of Food Engineering*, Vol. 68, 357–362.
- Houska, M., Sun, D.W., Landfeld, A., Zhang, Z.**, 2003, Experimental study of vacuum cooling of cooked beef in soup, *Journal of Food Engineering*, Vol. 59, 105–110.
- Hsueh, C.F, Cheng, H.P**, 2007, Multi-stage vacuum cooling process of cabbage, *Journal of Food Engineering*, 79(1): 37-46.
- Huber, E. And Lauringo, J.B.**, 2005, Weight loss of precooked chicken breast cooled by vacuum application. *Journal of Food Process Engineering*, 28:299-312.
- Huber, E., Laurindo, J. B.**, 2006, Determination of mass transfer coefficients during the vacuum cooling of pre-cooked Meat cuts, *International Journal of Food Properties*, Vol. 9: 287–298.
- Huber, E., Soares, L.P., Carciofi, B.A.M., Hense, H. and Laurindo, J.B.**, 2006, Vacuum cooling of cooked mussels (*Perna perna*). *Food Sci. Tech. Int.*, 12(1):19-25.
- Jackman, P., Sun, D.W., Zheng, L.**, 2007, Effect of combined vacuum cooling and air blast cooling on processing time and cooling loss of large cooked beef joints, *Journal of Food Engineering*, cilt:81, sayfa:266–271.
- Jin, T.X.**, 2007, Experimental investigation of the temperature variation in the vacuum chamber during vacuum cooling, *Journal of Food Engineering*, Vol. 78, 333–339.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Jin, T. X., Xu, L., 2006a, Development and validation of moisture movement model for vacuum cooling of cooked meat, *Journal of Food Engineering*, Vol. 75, 333–339.

Jin, T.X., Xu, L., 2006b, Numerical study on the performance of vacuum cooler and evaporation-boiling phenomena during vacuum cooling of cooked meat, *Energy Conversion and Management* 47 1830–1842.

Jin; T.X., Zhu, H.M.; Xu, L., 2006, Moisture Movement Characteristics and Their Effect on the Ultrastructure of Cooked Meat during Vacuum Cooling, *Biosystems Engineering* 95 (1), 111–118.

Jongen, W., 2002, *Fruits & Vegetables Processing*, CRC Press, Boca Raton FL ABD, 350s.

Jongen, W., 2005, *Improving the safety of fresh fruit and vegetables*, CRC Press, Boca Raton FL ABD, 656s.

Kesten, D., Tereci, A., 2005. Soğutma sistemlerinde güneş enerjisi kullanımı, Güneş Enerjisi Sistemleri Sempozyumu ve Sergisi, Mersin, 24-25 Haziran, s. 18-26.

Kumar, R., Kumara, A., Murthy, U.N., 2008, Heat transfer during forced air precooling of perishable food products, *Biosystems Engineering*, Vol. 99, Sayı 2, 228-233

Kuzgun, Ö., 1997. Güneş enerjili absorbsiyonlu soğutma sisteminin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Landfeld, A., Houska, M., Kyhos, K., Jiang-Qibin K., 2002, Mass transfer experiments on vacuum cooling of selected pre-cooked solid foods, *Journal of Food Engineering*, Vol. 52, 207–210.

Martinez, J.A., Artés, F., 1999, Effect of packaging treatments and vacuum-cooling on quality of winter harvested iceberg lettuce, *Food Research International*, Vol. 32, 621-627, (1999).

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Masengi, S., Sato, Y., Shindo, J., Miki, H., 2001, Quality improvement by vacuum treatment of boiled skipjack loins for the production of dried skipjack, *Fisheries Science*, Vol. 67, 730–737, (2001).

McDonald K., Sun D.W., 2000, Vacuum cooling technology for the food processing industry: a review, *Journal of Food Engineering*, 45, 55-65, (2000).

McDonald, K., Sun, D.W., 2001a, Effect of evacuation rate on the vacuum cooling process of a cooked beef product. *Journal of Food Engineering*, 48:195-202.

McDonald, K. and Sun, D.-W., 2001b, The formation of pores and their effects in a cooked beef product on the efficiency of vacuum cooling. *Journal of Food Engineering*, 47:175-183.

McDonald, K. and Sun, D.W., 2001c, Pore size distribution and structure of a cooked beef product as affected by vacuum cooling. *Journal of Food Process Engineering*, 24:381-403.

McDonald, K., Sun, D.-W., and Kenny, T., 2000, Comparison of the Quality of Cooked Beef Products Cooled by Vacuum Cooling and by Conventional Cooling, *Lebensm.-Wiss. u.-Technol.* 33:21-29.

McDonald, K., Sun, D.W., and Lyng, J.G., 2002, Effect of vacuum cooling on the thermophysical properties of a cooked beef product. *Journal of Food Engineering*, 52:167–176.

Özkol, N., 1985, *Uygulamalı Soğutma Tekniği*, Makine Mühendisleri Odası Yayın No: 115, Ankara, 464s.

Rennie, T.J.,1999, *Effect of vacuum rate on the vacuum cooling of lettuce*, Yüksek Lisans Tezi, McGill University Departement of Agricultural and Biosystems Engineering, Montreal, 104s.

Rennie, T.J., Vigneault, C., Raghavan, G.S.V. and DeEll, J.R., 2001, Effects of pressure reduction rate on vacuum cooled lettuce quality during storage. *Canadian Biosystems Engineering*, 43(3):39-43.

Sofos, J.N., 2005, *Improving the safety of fresh meat*, CRC Press, Boca Raton FL USA, 780s.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Sun, D. Ve Zheng, L.**, 2006, Vacuum cooling technology for the agri-food industry: Past, present and future, *Journal of Food Engineering* 77, 203–214.
- Sun, D.W. and Brosnan, T.**, 1999, Extension of the vase life of cut daffodil flowers by rapid vacuum cooling. *International Journal of Refrigeration*, 22:472-478.
- Sun, D.W., Hu, Z.**, 2002, CFD predicting the effects of various parameters on core temperature and weight loss profiles of cooked meat during vacuum cooling. *Computers and Electronics in Agriculture*, 34:111-127.
- Sun, D.W., Hu, Z.**, 2003, CFD simulation of coupled heat and mass transfer through porous foods during vacuum cooling process. *International Journal of Refrigeration*, 26:19–27.
- Sun, D.W., Wang, L.**, 2000, Heat transfer characteristics of cooked meats using different cooling methods. *International Journal of Refrigeration*, 23:508-516.
- Sun, D.W., Wang, L.**, 2006, Development of a mathematical model for vacuum cooling of cooked meats. *Journal of Food Engineering*, 77:379–385.
- Sun, H., Jin, T., Xu, L. and Zhu, H.**, 2005, Effective Heat Flux Model For Vacuum Precooling. *Journal of Food Processing and Preservation*, 29:85–97.
- Suslow, T.**, 2000, Postharvest Handling For Organic Crops Division of Agriculture and Natural Resources, Publication: 7254, University of California.
- SVC**, 2004, Southern Vacuum Cooling, Manufacture and Leasing of Vacuum Coolers, <http://www.southernvacuumcooling.com/>, (2004).
- Tambunan, A.H., Sagara, Y., Seo, Y.**, 2000, Image analysis for precise study on temperature distribution during vacuum cooling of lettuce, *Technology Innovation and Sustainable Agriculture*, ICETS2000, Session 6, 223-228.
- Tao, F., Zhang, M., Hangqing, Y., Jincai, S.**, 2006, Effects of different storage conditions on chemical and physical properties of white mushrooms after vacuum cooling. *Journal of Food Engineering*, 77:545–549.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Tao, F., Zhang, M., Yu, H.G., 2007, Effect of vacuum cooling on physiological changes in the antioxidant system of mushroom under different storage conditions. *Journal of Food Engineering*, 7(4): 1302-1309.

Thomson, J.F., Chen, Y.L., 1994, Comparative energy use of Vacuum, *Hydro*, and Forced Aircoolers for Fruits and Vegetables, ASHRAE Transaction, DA-88-17-3.

Thomson, J.F., Mitchell, F.G., Rumsey, T.R., Kasmire, R.F., Crisostos, C.H., 2002, *Commercial cooling of fruits, vegetables, and flowers*, University of California Publication.

Van Loon, W.A.M., Linssen, J.P.H., Legger, A., Heijmans, R.M.H., van Deventer, H.C., Burgering, M.J.M, van Drooge, B.L. and Voragen, A.G.J., 2005, Study of a new energy efficient process for French fries production. *European Food Research International*, 221:779-786.

Wang, L. and Sun, D.W., 2002, Experimental evaluation of the performance of vacuum cooling method for large cooked meat joints. *Journal of Food Process Engineering*, 25:455-472.

Wang, L. and Sun, D.-W., 2002a, Modelling vacuum cooling process of cooked meat-part 1: analysis of vacuum cooling system. *International Journal of Refrigeration*, 25:854-861.

Wang, L. and Sun, D.-W., 2002b, Modelling vacuum cooling process of cooked meat-part 2: mass and heat transfer of cooked meat under vacuum pressure. *International Journal of Refrigeration*, 25:862-871.

Wang, L. and Sun, D.-W., 2004, Effect of operating conditions of a vacuum cooler on cooling performance for large cooked meat joints. *Journal of Food Engineering*, 61:231-240.

Wood B., A New Absorbtion Cycle Using Solar Energy, Tokyo, 1999

Yamankaradeniz, R., Horuz, İ., Coşkun, S., 2002, *Soğutma Tekniği ve Uygulamaları*, Vipaş A.Ş., Bursa, 607.

Yiğit, A., 1984. Güneş Enerjisinden Faydalanarak Çalışan Soğutma Sistemleri,

Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Zhang, Z., Sun, D.W., 2006a, Effect of cooling methods on the cooling efficiencies and qualities of cooked broccoli and carrot slices. *Journal of Food Engineering*, 77:320–326.

Zhang, Z. and Sun, D.-W., 2006b, Effects of cooling methods on the cooling efficiency and quality of cooked rice. *Journal of Food Engineering*, 77:269-274.

Zheng, C., Sun, D.W., Zheng, L., 2006, Correlating colour to moisture content of large cooked beef joints by computer vision. *Journal of Food Engineering*, 77:858–863.

Zheng, L ve Sun, D., 2004, Vacuum cooling for the food industry—a review of recent research advances, *Trends in Food Science & Technology* 15 555–568.

Büyükalaca, O., Yılmaz, T., 2003. Güneş enerjisi ile soğutma teknolojilerine genel bir bakış, Tesisat müh. Dergisi., 75, 45-56.

ÖZGEÇMİŞ

14.06.1982 tarihinde Ordu’da doğdu. İlköğretimi Fransa’da, orta ve lise eğitimini İstanbul’da tamamladı. 2005 yılında Pamukkale Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümünü bitirdi.

2007 yılında Pamukkale Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümünde Yüksek Lisans eğitimni tamamladı.

2009 yılından bu yana Pamukkale Üniversitesi Turizm İşletmeciliği ve Otelcilik Yüksekokulu Yiyecek ve İçecek İşletmeciliği Bölümünde Öğretim Görevlisi olarak görev yapmaktadır. İleri derecede Fransızca ve iyi derecede İngilizce bilmektedir. Evli ve 2 çocuk sahibidir.