

**VAKUM SOĞUTMA SİSTEMİNİN MANTAR VE MARUL  
SOĞUTULMASINDA UYGULANMASI**

**Hande MUTLU ÖZTÜRK**

**Ağustos 2007  
DENİZLİ**

**VAKUM SOĞUTMA SİSTEMİNİN MANTAR VE MARUL  
SOĞUTULMASINDA UYGULANMASI**

**Pamukkale Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Yüksek Lisans Tezi  
Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı**

---

**Hande MUTLU ÖZTÜRK**

**Danışman: Yrd. Doç. Dr. Yusuf YILMAZ**

**Ağustos, 2007**

**DENİZLİ**

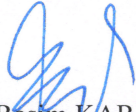
**YÜKSEK LİSANS TEZİ ONAY FORMU**

Hande MUTLU ÖZTÜRK tarafından Yrd. Doç. Dr. Yusuf YILMAZ yönetiminde hazırlanan “**Vakum Soğutma Sistemi Geliştirilmesi ve Gıda Sanayisinde Uygulanması**” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.



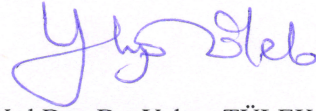
Yrd. Doç. Dr. Yusuf YILMAZ

Jüri Başkanı (Danışman)



Prof. Dr. Rasim KARABACAK

Jüri Üyesi



Yrd. Doç. Dr. Yahya TÜLEK

Jüri Üyesi

Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun  
.../.../..... tarih ve ..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

**Prof. Dr. Mehmet Ali SARIGÖL**

**Müdür**

## TEŞEKKÜR

Bu çalışmayı gerçekleştirmemde benden maddi ve manevi hiçbir desteğini esirgemeyen tez danışmanım Yrd.Doç. Dr. Yusuf YILMAZ'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 teşekkür ederim.

Ayrıca bugünlere gelebilmem için her türlü fedakarlığı sevgiyle yapmış olan aileme ve bu çalışmanın en büyük gizli destekçisi sevgili eşime, her zaman yanımda olarak bana sonsuz bir güven aşıladıkları için çok teşekkür ederim.

Hande MUTLU ÖZTÜRK

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırılmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğini beyan ederim.

İmza

:



Öğrenci Adı Soyadı : Hande MUTLU ÖZTÜRK

**ÖZET****VAKUM SOĞUTMA SİSTEMİNİN MANTAR VE MARUL SOĞUTULMASINDA UYGULANMASI**

MUTLU ÖZTÜRK, Hande

Yüksek Lisans Tezi, Gıda Mühendisliği ABD

Tez Yöneticisi: Yrd.Doç.Dr. Yusuf YILMAZ

Temmuz 2007, 64 Sayfa

Vakum soğutma sebzelerin, etlerin ve çiçeklerin soğutulmasında kullanılan hızlı bir soğutma tekniğidir ve mekanik kompresyonlu soğutma sistemlerinden soğutma kaynağı cismin kendi içinde olması nedeni ile farklıdır. Vakum altında, gıda içerisindeki suyun kaynama sıcaklığı düşer, suyun bir kısmı uzaklaşır ve yeni bir denge noktasına ulaşılır. Soğutma yükü buharlaşma oranı ve buharın gizli ısısına bağlı olarak belirlenir. Soğutmanın kaynağı olan su buharı direkt olarak üründen geldiği için, kütle yapısı ve ürün içerisindeki ısı transferini araştırmak çok önemlidir; vakum soğutmada ürün de soğutmanın bir parçasıdır. Bu tezde, bir vakum soğutucu sistemi kurulmuş ve deneysel çalışmalar yürütülmüştür. Bir vakum soğutucu gıda içerisinde suyun buharlaşarak soğutma etkisi yaratılabilen sızdırmazlığı olan bir odadır. Çalışmada, mantar ve marulun vakum soğutması deneysel olarak çalışılmıştır. Deneyler 7 mbar, 10 mbar ve 15 mbar da yürütülmüş ve denemeler sırasında numunenin yüzey ve merkez sıcaklığı, ortamın sıcaklığı ve nemi kaydedilerek grafik olarak verilmiştir. Mantarın vakum altında soğutulması sırasında vakum pompası çalışır durumda 7, 10 ve 15mbar'da ulaşılabilen en düşük merkez sıcaklıklar sırasıyla 5,6 (380 saniye), 5,2 (550 saniye) ve 8,0°C (486saniye) olurken kütle kayıpları sırasıyla %3,3, 3,7 ve 2,8 olmuştur. Marulun aynı koşullar altında soğutulması sırasında 7, 10 ve 15mbar'da ulaşılabilen en düşük merkez sıcaklıklar sırasıyla 3,6 (330 saniye), 12,0 (480 saniye) ve 16,5°C (480saniye) olurken kütle kayıpları sırasıyla %9,6, 5,7 ve 4,9 olmuştur. Mantar ve marulun mekanik kompresyonlu soğutulması 6°C, -16°C ve -20°C'de buzdolabında gerçekleştirildi ve sonuçlar vakum soğutmadaki sonuçlar ile karşılaştırıldı. Mantar ve marulun vakum soğutma sırasındaki meydana gelen kütle kaybının buzdolabında soğutma sırasında oluşan kütle kaybından çok büyük olmadığı görülürken, merkez sıcaklıklarının istenen seviyelere düşürülmesi daha uzun sürelerde gerçekleşmiştir. Sonuç olarak, vakum altında marul ve mantarın soğutulması mekanik kompresyonlu soğutmadan daha hızlı olmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Vakum Soğutma, Mantar, Marul, Vakum Odası, Vakum Pompası

Yrd.Doç.Dr. Yusuf YILMAZ

Prof.Dr. Rasim KARABACAK

Yrd.Doç.Dr. Yahya TÜLEK

**ABSTRACT****APPLICATION OF VACUUM COOLING FOR COOLING OF MUSHROOM AND LETTUCE**

MUTLU ÖZTÜRK, Hande

M. Sc. Thesis in Food Engineering

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Yusuf YILMAZ

July, 2007, 64 Pages

Vacuum cooling is a rapid cooling technology widely used for vegetables, beef, flowers etc and vacuum cooling could be considered different from the conventional cooling in the internal generation of cooling source. Under the vacuum condition, boiling temperature of water in the food will be decreased, and some water in the food will boil away until new equilibrium condition is reached. The cooling load is determined by the evaporation rate and the latent heat of water evaporation. Since the evaporated water, which is the cooling source, comes from the product directly, it is very important to investigate the characteristics of mass and heat transfer in the product, which will be an integrated part of the vacuum cooling systems. In this thesis, a vacuum cooler has been designed and experimental studies have been carried out. The vacuum cooler is an instrument designed to maintain the vacuum pressure in a sealed chamber, where the boiling of the water in the food occurs to produce the cooling effect. In this study, vacuum cooling of mushroom and lettuce was experimentally studied. Experiments have been carried out at 7 mbar, 10 mbar and 15 mbar and during tests, surface and center temperature of samples, humidity and temperature of surroundings have been recorded and given as graph. Minimum internal temperatures reached during vacuum cooling of mushroom at 7, 10 and 15mbar were 5,6 (380s), 5,2 (550s) and 8,0°C (486s) while mass losses were 3,3, 3,7 and 2,8%, respectively. Minimum internal temperatures reached during vacuum cooling of lettuce at 7, 10 and 15mbar were 3,6 (330s), 12,0 (480s) and 16,5°C (480s) while mass losses were 9,6, 5,7 and 4,9%, respectively. Cooling of mushroom and lettuce have been also performed at a refrigerator at 6°C, -16°C and -20°C and results were compared with vacuum cooling. It has been seen that mass loss during vacuum cooling is not much higher than mass loss for cooling at a refrigerator. In conclusion, cooling of lettuce and mushroom under vacuum is faster than conventional cooling.

**Keywords:** Vacuum Cooling, Mushroom, Lettuce, Vacuum Chamber, Vacuum Pump.

Asst. Prof. Dr. Yusuf YILMAZ

Prof.Dr. Rasim KARABACAK

Asst. Prof. Dr. Yahya TÜLEK

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
Yüksek Lisans Tezi Onay Formu .....	i
Teşekkür .....	ii
Bilimsel Etik Sayfası.....	iii
Özet .....	iv
Abstract .....	v
İçindekiler.....	vi
Şekiller Dizini.....	viii
Tablolar Dizini.....	x
1. GİRİŞ.....	1
2. SOĞUTMA.....	4
2.1. Soğutma Sistemleri.....	4
2.1.1. Geleneksel soğutma .....	4
2.1.2. Su ile soğutma .....	5
2.1.3. Zorlamalı hava ile soğutma .....	6
2.1.4. Vakum soğutma .....	7
3. VAKUM SOĞUTMA .....	8
3.1. Vakum Soğutmanın Avantaj ve Dezavantajları.....	10
3.2. Vakum Soğutma Oranını Etkileyen Faktörler .....	15
4. VAKUM SOĞUTMANIN UYGULAMA ALANLARI .....	17
4.1. Meyve ve Sebzeler .....	17
4.1.1. Marul.....	17
4.1.2. Mantar .....	19
4.1.3. Lahana.....	20
4.2. Et ve Et Ürünleri.....	21
4.3. Balık ve Deniz Ürünleri.....	29
4.4. Soslar, Çorbalar ve Bazı Özel Yiyecekler .....	29
4.5. Hazır Yiyecekler.....	30
5. MATERYAL VE METOT.....	32
6. BULGULAR VE TARTIŞMA .....	38
6.1. Mantarın Vakum Altında Soğutulması.....	38
6.1.1. 7 mbar vakum basıncında mantarın soğutulması .....	38
6.1.2. 10 mbar vakum basıncında mantarın soğutulması.....	40
6.1.3. 15 mbar vakum basıncında mantarın soğutulması.....	42
6.2. Mantarların Geleneksel Yöntemle Soğutulması .....	46
6.2.1. Mantarların 6°C sıcaklıkta soğutulması.....	47
6.2.2. Mantarların -16°C sıcaklıkta soğutulması.....	47
6.2.3. Mantarların -20°C sıcaklıkta soğutulması.....	47



6.3. Marulun Vakum Altında Soğutulması.....	48
6.3.1. Marulların 7 mbar basınç altında soğutulması .....	49
6.3.2. Marulların 10 mbar basınç altında soğutulması .....	50
6.3.3. Marulların 15 mbar basınç altında soğutulması .....	51
6.4. Marulun Geleneksel Yöntemle Soğutulması .....	53
6.4.1. Marulların 6°C sıcaklıkta soğutulması.....	53
6.4.2. Marulların -16°C sıcaklıkta soğutulması .....	54
6.4.3. Marulların -20°C sıcaklıkta soğutulması .....	54
6.5. Tartışma .....	55
7. SONUÇ.....	58
KAYNAKLAR .....	61
ÖZGEÇMİŞ.....	64

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
<b>Şekil 2.1</b> Geleneksel soğutma sistemi.....	5
<b>Şekil 2.2</b> Su ile soğutma sistemi.....	6
<b>Şekil 2.3</b> Zorlamalı hava ile soğutma tüneli.....	7
<b>Şekil 3.1</b> Suyun sıcaklık değerlerine göre doyma basıncı değerlerinin değişimi.....	9
<b>Şekil 3.2</b> Basit bir vakum soğutma sisteminin kısımları.....	10
<b>Şekil 3.3</b> Vakum soğutma sırasında değişik gıdaların sıcaklık dağılımlarının zamanla değişimi	11
<b>Şekil 3.4</b> Farklı yöntemlerle ile soğutulan (4-5 kg) ağırlığındaki pişirilmiş sığır etinin soğuma süreleri .....	13
<b>Şekil 4.1</b> Farklı depolama koşullarında 4, 7, 10 ve 15 gün depolanan mantarlardaki kararma dereceleri.....	20
<b>Şekil 4.2</b> Pişirilmiş domuz etinin vakum soğutma sırasında nem içeriği değişimi .....	25
<b>Şekil 4.3</b> Pişmiş domuz etlerinin dört farklı yöntemle soğutulması sırasında zamana bağlı olarak merkez sıcaklıklarındaki değişimler .....	28
<b>Şekil 5.1</b> Gıdaların soğutulması amacıyla kullanılan vakum soğutma sistemi .....	32
<b>Şekil 5.2</b> Vakum odası .....	33
<b>Şekil 5.3</b> Vakum pompası (a) Edwards marka pompa, (b) Ulvac marka pompa .....	34
<b>Şekil 5.4</b> Sirkülasyonlu Su Banyosu.....	34
<b>Şekil 5.5</b> Data Logger kontrol ünitesi ve depolama ünitesi .....	35
<b>Şekil 5.6</b> İnkübatör.....	36
<b>Şekil 6.1</b> 7 mbar sabit basınç altında (vakum pompası kapalı durumda) mantarın yüzey ve merkez sıcaklığı ile ortam sıcaklık ve bağıl nemindeki değişim .....	39
<b>Şekil 6.2</b> 7 mbar sabit basınç altında (vakum pompası kapalı durumda) mantarın vakum soğutma öncesi ve sonrasında sıcaklık profili .....	39
<b>Şekil 6.3</b> 7 mbar sabit basınç altında (vakum pompası açık durumda) mantarın yüzey ve merkez sıcaklığı ile ortam sıcaklık ve bağıl nemindeki değişim .....	40
<b>Şekil 6.4</b> 7 mbar sabit basınç altında (vakum pompası açık durumda) mantarın vakum soğutma öncesi ve sonrasında sıcaklık profili .....	41
<b>Şekil 6.5</b> 10 mbar sabit basınç altında (vakum pompası kapalı durumda) mantarın yüzey ve merkez sıcaklığı ile ortam sıcaklık ve bağıl nemindeki değişim .....	42
<b>Şekil 6.6</b> 10 mbar sabit basınç altında (vakum pompası kapalı durumda) mantarın vakum soğutma öncesi ve sonrasında sıcaklık profili .....	42
<b>Şekil 6.7</b> 10 mbar sabit basınç altında (vakum pompası açık durumda) mantarın yüzey ve merkez sıcaklığı ile ortam sıcaklık ve bağıl nemindeki değişim .....	43
<b>Şekil 6.8</b> 10 mbar sabit basınç altında (vakum pompası açık durumda) mantarın vakum soğutma öncesi ve sonrasında sıcaklık profili .....	43
<b>Şekil 6.9</b> 15 mbar sabit basınç altında (vakum pompası kapalı durumda) mantarın yüzey ve merkez sıcaklığı ile ortam sıcaklık ve bağıl nemindeki değişim .....	44
<b>Şekil 6.10</b> 15 mbar sabit basınç altında (vakum pompası kapalı durumda) mantarın vakum	

soğutma öncesi ve sonrasında sıcaklık profili .....	44
<b>Şekil 6.11</b> 15 mbar sabit basınç altında (vakum pompası açık durumda) mantarın yüzey ve merkez sıcaklığı ile ortam sıcaklık ve bağıl nemindeki değişim .....	45
<b>Şekil 6.12</b> 15 mbar sabit basınç altında (vakum pompası açık durumda) mantarın vakum soğutma öncesi ve sonrasında sıcaklık profili .....	46
<b>Şekil 6.13</b> Buzdolabında 6°C sıcaklık altında zaman bağılı olarak mantarların yüzey ve merkez sıcaklığı ile ortam sıcaklığındaki değişim .....	48
<b>Şekil 6.14</b> Buzdolabının derin dondurucusunda -16 °C sıcaklık altında mantarın yüzey ve merkez sıcaklığı ile ortam sıcaklığındaki değişim .....	48
<b>Şekil 6.15</b> Buzdolabının derin dondurucusunda -20 °C sıcaklık altında mantarın yüzey ve merkez sıcaklığı ile ortam sıcaklığındaki değişim .....	49
<b>Şekil 6.16</b> 7 mbar sabit basınç altında, marul yaprağının yüzey ve merkez sıcaklığı ile ortam sıcaklık ve bağıl nemindeki değişim .....	50
<b>Şekil 6.17</b> 7 mbar sabit basınç altında marul yaprağının vakum soğutma öncesi ve sonrasında sıcaklık profili .....	50
<b>Şekil 6.18</b> 10 mbar sabit basınç altında, marul yaprağının yüzey ve merkez sıcaklığı ile ortam sıcaklık ve bağıl nemindeki değişim .....	51
<b>Şekil 6.19</b> 10 mbar sabit basınç altında marul yaprağının vakum soğutma öncesi ve sonrasında sıcaklık profili .....	51
<b>Şekil 6.20</b> 15 mbar sabit basınç altında, marul yaprağının yüzey ve merkez sıcaklığı ile ortam sıcaklık ve bağıl nemindeki değişim .....	52
<b>Şekil 6.21</b> 15 mbar sabit basınç altında marul yaprağının vakum soğutma öncesi ve sonrasında sıcaklık profili .....	53
<b>Şekil 6.22</b> Buzdolabında 6°C sıcaklık altında zaman bağılı olarak marulların yüzey ve merkez sıcaklığı ile ortam sıcaklığındaki değişim .....	54
<b>Şekil 6.23</b> Buzdolabında -16°C sıcaklık altında zaman bağılı olarak marulların yüzey ve merkez sıcaklığı ile ortam sıcaklığındaki değişim .....	55
<b>Şekil 6.24</b> Buzdolabında -20°C sıcaklık altında zaman bağılı olarak marulların yüzey ve merkez sıcaklığı ile ortam sıcaklığındaki değişim .....	56

**TABLolar DİZİNİ**

	<b>Sayfa</b>
<b>Tablo 1.1</b> Yaygın kullanılan gıda muhafaza yöntemleri .....	2
<b>Tablo 3.1</b> Vakum soğutma sistemlerinin diğer soğutma sistemleri ile karşılaştırılması .....	12
<b>Tablo 6.1</b> Mantarın farklı vakum basınçları altında soğutulması durumunda merkez ve yüzeyindeki sıcaklık değişimleri, zaman ve kütle kayıpları.....	46
<b>Tablo 6.2</b> Marulun farklı vakum basınçları altında soğutulması durumunda merkez ve yüzeyindeki sıcaklık değişimleri, zaman ve kütle kayıpları.....	53

## 1. GİRİŞ

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 taşır. Gıdaların dayanıklı hale konmalarında 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).

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).

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 vb uygulamalar olup Tablo 1.1’de gösterilmektedir. Bu yöntemlerin kullanılmasıyla gıdaların muhafazası sağlanabildiği gibi yeni gıda ürünleri de 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 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.

**Tablo 1.1** Yaygın kullanılan gıda muhafaza yöntemleri (Dinçer 2003)

YÖNTEM	ÖRNEK
FİZİKSEL	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>Yüksek sıcaklıkta muhafaza</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Konserve</li> <li>• Sterilizasyon</li> <li>• Aseptik proses hattı</li> <li>• Pastörizasyon</li> </ul> </li> <li>- <i>Düşük sıcaklıkta muhafaza</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Önsoğutma</li> <li>• Soğutma ve soğukta muhafaza</li> <li>• Dondurma</li> </ul> </li> <li>- <i>Dehidrasyon</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kurutma</li> <li>• Dondurarak kurutma</li> <li>• Ozmotik dehidrasyon</li> </ul> </li> <li>- <i>Ekstrüzyon pişirme</i></li> <li>- <i>Işınlama</i></li> </ul>
KİMYASAL	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Renklendiriciler</li> <li>• Çeşni vericiler</li> <li>• Yoğunlaştırıcı ve jelleştirici ajanlar</li> <li>• Emülsifiyerler</li> <li>• Antioksidanlar</li> <li>• Gıda preservatifler</li> <li>• Asit, baz ve tuz</li> <li>• Besin takviyeleri</li> </ul>
BİYOLOJİK	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fermantasyon</li> </ul>

Bu çalışmada bir vakum soğutma sistemi kurularak, mantar ve marulun vakum soğutma altında soğutulması gerçekleştirilmiş ve sonuçlar mekanik kompresyonlu 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, -20°C, -16°C ve 6°C değerleri için gerçekleştirilmiştir. Deneyler sonucunda vakum soğutmanın geleneksel soğutma ile karşılaştırıldığında çok hızlı bir soğutma yöntemi olduğu görülmüştür.

Bu çalışmanın ilk bölümünde konuya ilişkin genel bir giriş yapılmıştır. 2. Bölümde, soğutmanın tanımı, amacı anlatılmış ve gıdaların soğutulmasında kullanılan farklı soğutma yöntemleri irdelenmiştir, 3. Bölümde ise vakum soğutma yöntemi detaylı olarak tanıtılmış ve yöntemin avantaj ve dezavantajları verilmiştir. 4. Bölümde, vakum soğutmanın farklı gıda ürünlerinde uygulanması anlatılmıştır. 5. Bölümde çalışmanın yöntemi ve kullanılan materyaller tartışılmıştır. Kurulan vakum soğutma sistemi tanıtılmış, sistem elemanlarının teknik özellikleri verilmiştir. 6. Bölümde elde edilen deneysel sonuçlar verilmiş ve değerlendirilmiştir. 7. ve Son bölümde ise sonuç bölümü yer almaktadır.

## 2. SOĞUTMA

Bir maddenin veya ortamın sıcaklığını onu çevreleyen hacim sıcaklığının altına indirmek ve orada muhafaza etmek üzere ısının alınması işlemine soğutma denir (Özkol 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 uygulamanın ana amacı mikrobiyal ve biyokimyasal reaksiyonların hızını yavaşlatmak ve sırasıyla bozulmayı önlemek, kaliteyi korumak ve raf ömrünü uzatmaktır (Dinçer 2003).

Et, balık, sebze ve meyveler gibi bozulabilir taze yiyeceklerin raf ömürleri genellikle donma sıcaklığının hemen üstünde sıcaklıklarda (1-5°C aralığında) depolanarak birkaç gün uzatılabilir. -18 ve -35°C sıcaklıklar arasında depolanarak ise bu süre birkaç aya kadar uzatılabilir (Çengel 1998).

### 2.1. Soğutma Sistemleri

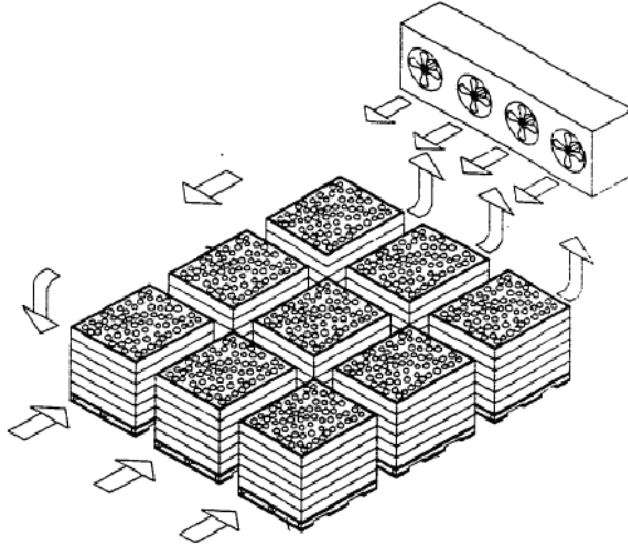
Gıda endüstrisinde ürünlere ön soğutma veya doğrudan soğutma için çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Bunlar geleneksel soğutma, su ile soğutma, buzla temas ettirerek soğutma, hava ile soğutma ve vakum soğutma sistemi olarak adlandırılırlar. Bu yöntemlerin her biri kendine özgü avantaj, dezavantaj veya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

#### 2.1.1. 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 2.1). 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).



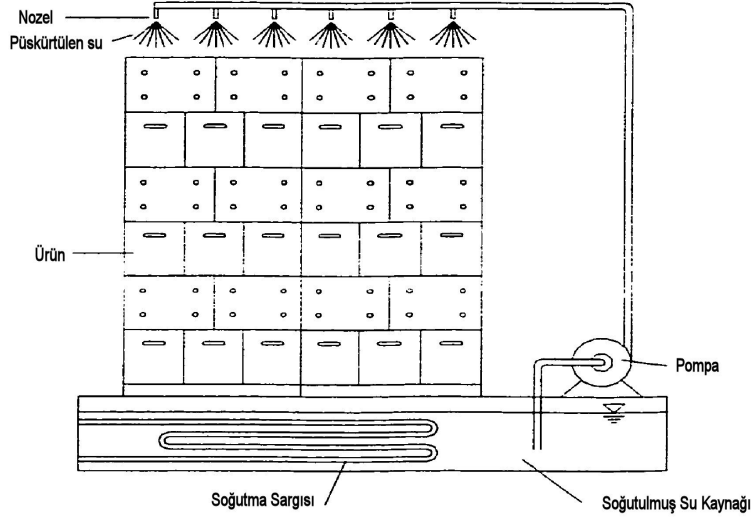
**Şekil 2.1** Mekanik kompresyonlu soğutma sistemi (Rennie 1999)

### 2.1.2. 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 almakta ve yüzeyden başlayarak ürün soğumaktadır. Su ile soğutmak için kullanılan sistem Şekil 2.2’de ayrıntılı olarak gösterilmiştir.

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).

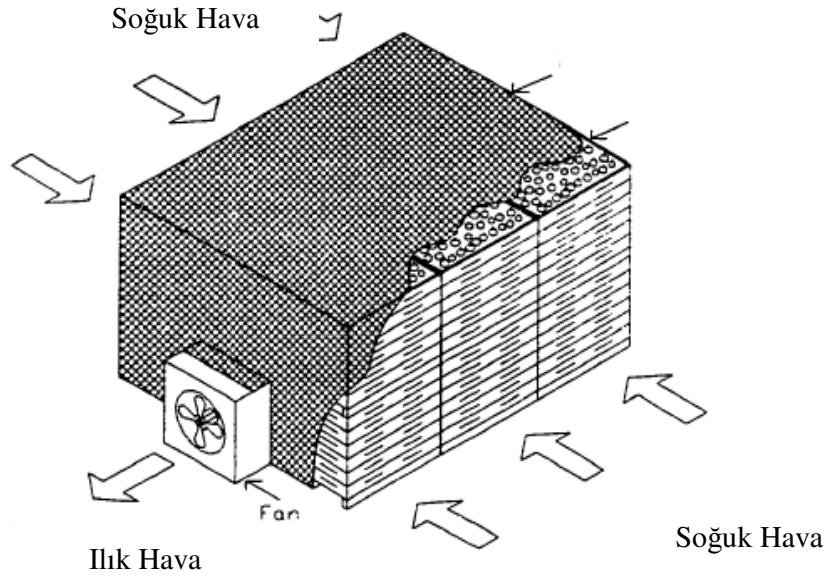


**Şekil 2.2** Su ile soğutma sistemi

### 2.1.3. Zorlamalı hava ile soğutma

Zorlamalı hava ile soğutma en çok uygulaması olan yöntemdir. Soğutulmuş hava ürün üzerine üflenerek üründen ısı çekilmek sureti ile soğutma gerçekleştirilir (Şekil 2.3). 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 üfleme 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  $0^{\circ}\text{C}$ 'nin altına düşerek üründe donma meydana gelebilmesidir. Hava üfleterek soğutulan bazı ürünler şöyle sıralanabilir; et, turuncgiller, üzüm, kavun, karpuz, yeşil fasulye, çilek, erik, şeftali, kiraz, vişne, karnabahar ve kayısı.



**Şekil 2.3** Zorlamalı hava ile soğutma tüneli (Rennie 1999)

#### **2.1.4. 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 içerisinde su buharlaştığında, suyun buharlaşma gizli ısı kadar bir soğuma gerçekleştirilmiş olunur. Vakum soğutma hızlı bir soğutma yöntemi olarak göze çarpmaktadır ve bir sonraki bölümde daha ayrıntılı olarak ele alınacaktır.

### 3. VAKUM SOĞUTMA

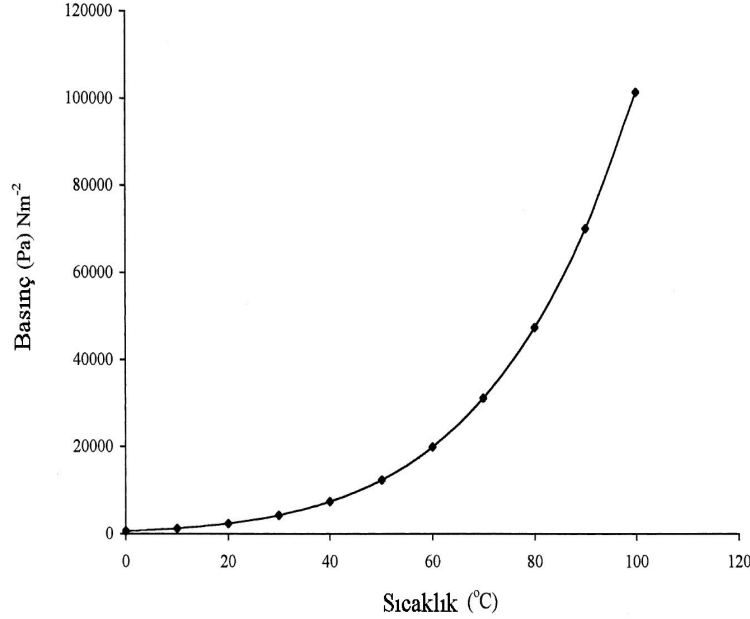
Vakum soğutmanın prensibi ortam basıncının düşürülmesiyle suyun buharlaşmasına izin vererek ürünün sıcaklığının düşürülmesidir (Jongen 2005, Sofos 2005). Vakum soğutma yüzey alanının toplam hacme oranının büyük olduğu ıspanak, marul, kereviz gibi yapraklı sebzelerde çok iyi sonuçlar vermektedir. Vakum soğutma uygulanmadan önce sebzelere, sprey olarak su sıkılması da soğutma etkisini artırabilmektedir (Suslow 2000).

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 gözükmektedir. Rennie (1999) çalışmasında soğutma işlemini marul ile 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 basınç düşüşüne 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 sınırlı uygulama alanına rağmen diğer soğutma yöntemleriyle kıyaslandığında birçok avantaj sağlamaktadır. Bunların en önemlisi kısa soğutma süresi ve buna paralel olarak enerji tasarrufu, yüksek ürün kalitesi, uzun raf ömrü ve güvenli çalışma tekniğidir. Yapraklı sebzeler ve mantarlarda daha çok uygulama alanına sahiptir. Ancak son zamanlarda yapılan çalışmalar göstermiştir ki vakum soğutma, et ürünleri, fırın ürünleri, meyve ve sebzeler için de uygun bir soğutma yöntemi olabilmektedir.

Vakum soğutmanın temeli atmosfer basıncının altına inilmesi sonucunda suyun kaynama noktasının düşmesidir (Bartz ve Brecht 2002). Şekil 3.1'de görüldüğü biçimde sıcaklık, buharlaşma basıncının fonksiyonu olarak değişmektedir. 0°C

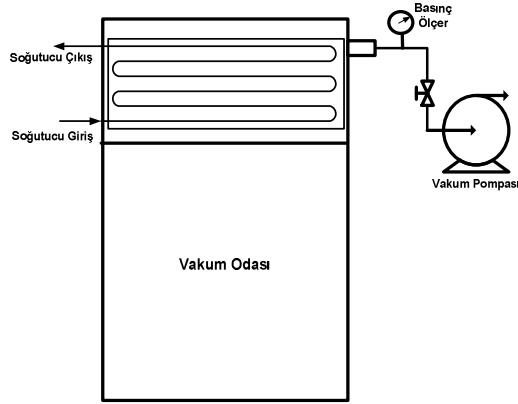
buharlaşma noktası için doyma basıncı 6,09 mbar'dır. Vakum odası içerisindeki basınç düşürüldüğünde, suyun buharlaşması için ihtiyaç duyulan enerji, ürünün kendisinden buharlaşma gizli ısısı biçiminde sağlanmaktadır. Çevre basıncı ve ürün içerisindeki suyun buharlaşma basıncı arasındaki basınç farkı buharlaşmaya sebep olur. Böylece buharın çevre atmosfere geçmesiyle ürünün sıcaklığı düşmektedir (McDonald ve Sun 2000).



**Şekil 3.1.** Suyun sıcaklık değerlerine göre doyma basıncı değerlerinin değişimi (McDonald ve Sun 2000).

Su buharının vakum soğutması sırasında üründen uzaklaştırılması sırasında açığa çıkan ısı miktarı yaklaşık olarak suyun buharlaşma gizli ısısına eşittir. Özellikle %90'ları aşan su içeriğine sahip mantar, marul, kıvırcık marul gibi ürünlerin su içeriklerindeki her %1 oranındaki azalma, yaklaşık olarak 5.5-6°C bir soğutma etkisi yaratmaktadır (McDonald ve Sun 2000).

Basit bir vakum soğutma sistemi temel olarak vakum odası, vakum pompası ve kondenser oluşmaktadır (Şekil 3.2). Vakum odası, soğutulma işlemi sırasında yiyeceklerin konulduğu yerdir ve iyi bir sızdırmazlık özelliğine sahip olmalıdır. Vakum pompaları ise, vakum oluşturmak için kullanılan pompalardır. Yüksek soğutma yükleri için buhar ve su oranları çok büyük olacağından, buharı hava ile birlikte emmek yerine, buharı yoğuşturarak suya dönüştürmek daha pratik ve ekonomiktir.



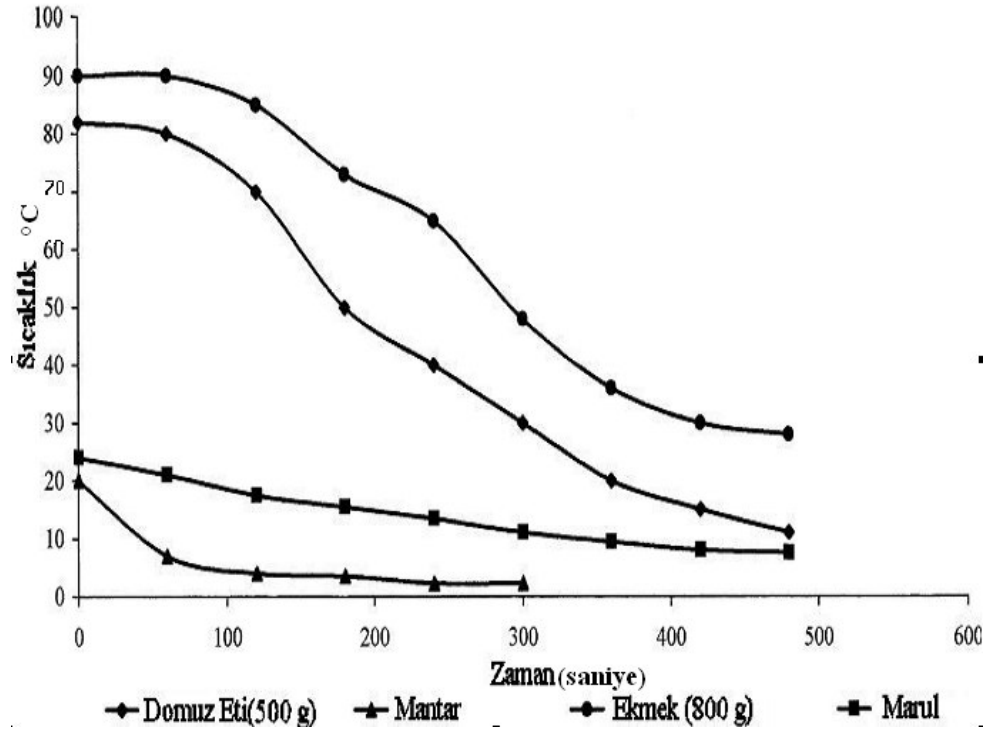
**Şekil 3.2.** Basit bir vakum soğutma sisteminin kısımları

### 3.1. Vakum Soğutmanın Avantaj ve Dezavantajları

Vakum soğutmada gıda maddesi vakum odasına yerleştirilir; vakum odası basıncı önceden belirlenmiş bir vakum değerine kadar getirilir; yiyecek soğutulur ve sonrasında ürün vakum ortamından uzaklaştırılır. Bu soğutma yöntemi birçok kademedен oluşur ve bu nedenle verimli değildir. Bazı durumlarda vakum soğutma yapılan ortamda yiyecekleri geçici olarak tutmak zorunlu olabilir.

Son zamanlarda ki yapılan çalışmalarda 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 yerleştirilirler. Taşıyıcılar içindeki basınç istenilen değere kadar düşürülür ve bu sırada gıda maddeleri istenilen değere soğutulmuş olur. Soğutma işlemi bittiğinde, taşıyıcılar silindirik kap içerisinden bir uçtan alınır ve diğer bir grup silindirik kap içerisine yerleştirilir ve bu işlem tekrar edilir.

Vakum soğutmanın diğer soğutma tekniklerine göre en büyük avantajı, soğutulacak ürünlerin istenilen sıcaklık değerine soğutulması için gerekli olan sürenin kısa olmasıdır. Vakum soğutma ile mantar 300 saniyede 20°C'den yaklaşık olarak 0°C'ye kadar soğutulmuştur (Şekil 3.3). Vakum soğutmanın diğer soğutma yöntemleri olan hava üflenmesi, suya daldırma veya geleneksel soğutma yöntemleri ile soğutma zamanı açısından karşılaştırılması yapılmış ve bu karşılaştırma Şekil 3.4'de verilmiştir. Farklı gıda sektörleri için vakum soğutmanın avantaj ve dezavantajları Tablo 3.1'de özetlenmektedir (Mc Donald ve Sun 2000).



**Şekil 3.3** Vakum soğutma sırasında değişik gıdaların sıcaklık dağılımlarının zamanla değişimi (Mc Donald ve Sun 2000)

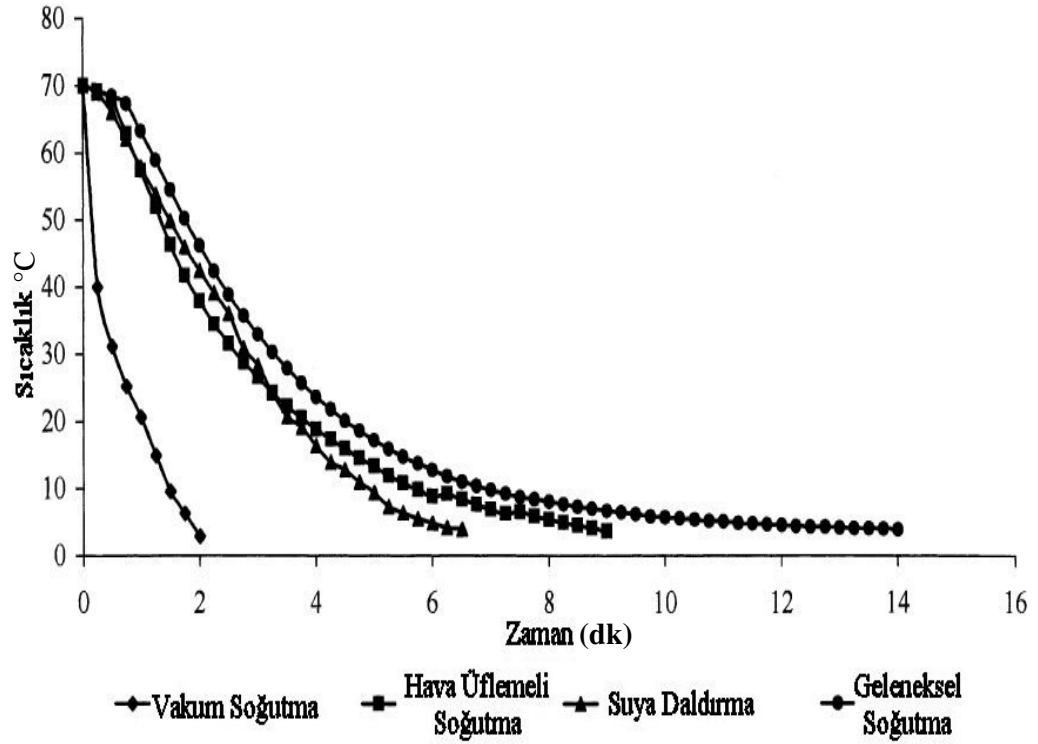
Diğer soğutma yöntemlerinden farklı olarak, vakum soğutma yiyeceğin içinden gerçekleştiği için (buharlaşma nedeni ile yiyecek içindeki sıcaklığın düşmesi), çok sıkı paketlenmiş ürünler de dahil olmak üzere, ürün içerisinde çok üniform bir sıcaklık dağılımı sağlanmış olur ve her yerde sıcaklık aynı anda aynı değerlere gelir. Bununla birlikte, ürün içerisinden suyun buharlaşmasına müsaade edilmelidir. Bu yüzden de buharlaşan suyun üründen uzaklaşmasına müsaade edecek şekilde paketlenmesi gereklidir. Eğer ürün yıkanmış ve kurutulması gerekiyor ise, vakum soğutma sadece soğutma amacı ile değil, aynı zamanda ürün içerisindeki fazla suyun uzaklaştırılması için de kullanılmış olacaktır.

Normal şartlarda sebzeler, soğuk hava üflenerek veya soğuk depolarda bekletilerek soğutulurlar. Bununla birlikte, eğer sebzeler doğru bir şekilde soğutulmak isteniyorsa,

**Tablo 3.1.** Vakum soğutma sistemlerinin diğer soğutma sistemleri ile karşılaştırılması (Mc Donald ve Sun 2000).

Uygulama	Avantajları	Dezavantajları
Meyve ve Sebzeler	Raf ömrü uzar. Her yana eşit sıcaklık dağılır ve hızlı soğutma zamanı Düşük işletme maliyeti 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. Soğutmada dolaylı bir zarar görmez.	Mantar yüzey alanı arttıkça ağırlık kaybı artar. Düşük kaliteli mantarlarda renk bozulması olur.
Et Ürünleri	Hijyen artar ve ürün daha güvenli olur. Mikrobiyal yük azalır. Çok hızlı soğutmada dolaylı finansal olarak bir kar sağlanır ve pişirilmiş etlerin soğutulması için uygundur. Soğutma üniteleri bütün haldedir 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. Soğutmada dolaylı meydana gelebilecek ağırlık kayıpları, diğer soğutma sistemlerine göre daha kolayca kontrol edilebilir. Kurutulması zor olan kimi ürünlerin kurutulması mümkündür.	Soğutmada süreklilik sağlamak zordur. Vakum sırasında yiyecekler veya soslar vakum odası duvarlarına sıçrayabilir.
Fırın Ürünleri	Pasta ve kek gibi hassas yiyecekler hızlı soğutulabilir. Vakum soğutmanın uygulandığı diğer yiyeceklerle karşılaştırıldığında ağırlık kaybı daha azdır. AVS (Ayarlanabilir Vakum Soğutucular) kullanarak ürünün şeklindeki bozulmaların önüne geçilebilir ve ekmeğin 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, AVS kullanılması gerekir. Vakum soğutmada dolaylı 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 3.4** Farklı yöntemlerle ile soğutulan (4-5 kg) ağırlığındaki pişirilmiş sığır etinin soğuma süreleri (Mc Donald ve Sun 2000).

büyük alanlara ihtiyaç duyulur. Aynı zamanda, çoğu soğuk hava deposunda, sebzeler sandıklara konur ve bu sandıklar içerisinde de sınırlı sayıda ürün bulunur. Bu ise üretim maliyetlerini yükseltir. Daha da önemlisi, soğuk depolarda ürünün saklanması sağlayan paketlerin çeşidi, soğutma yüküne etki eder. Oysa ki vakum soğutmada bu etki ihmal edilebilecek kadar azdır (Mc Donald ve Sun 2000).

Yapılan çalışmalar hava üflemleri soğutmanın yapraksız, vakum soğutmanın ise yapraklı sebzeler için hızlı bir soğutma sağladığını göstermiştir. Hava üflemleri soğutmada, soğutulacak nesnenin dış yüzeyinde ısı transferi taşınım ile olmakta, içerisinde ise iletimle ısı transferi gerçekleşmektedir. Yapraksız sebzelerde iç kısımlardan buharlaşma zor olduğundan vakum soğutma ile soğutma uzun zaman almaktadır. Yapraklı sebzelerde ise, yapraklar arasındaki hava bir ısıl direnç oluşturduğundan, iletimle ısı transferi zorlaşmakta ve bu nedenle soğuma süresi uzamaktadır. Yüzeylerden buharlaşma kolaylaştığı için vakum soğutma ile soğuma hızlı olmaktadır (Sun ve Zheng 2006).

Birçok yiyeceğin yapısı ve kendine özgü özellikleri nedeni ile soğutmada farklı sorunlar ortaya çıkar. Örneğin, mantar, su içeriğinin fazla olması ve fiziksel olarak çok narin olması nedeni ile geleneksel olarak soğutulması zor sebzelerden birisidir. Oysa, vakum soğutma ile mantar çok hızlı, üniform ve etkili bir şekilde soğutulabilir. Vakum soğutma statik bir ortamda gerçekleştiğinden, ürünlerde (zedelenme veya sürtünmeden kaynaklanan aşınma gibi) fiziksel bir hasar meydana gelmez.

Ön soğutma ve sebzelerin soğuk depolanması ürünün kalitesini korumaya ve raf ömrünü uzatmaya yardımcı olur. Bununla birlikte, soğuk depolarda ön soğutmanın sınırlı olmasının üstesinden vakum soğutma yapılarak gelinebilir. Soğutma ünitelerinde soğuk odalardaki soğutma yükü ve soğutma hızı, ürünün kapasitesi, kasalar içerisine ürünün yerleştirilme bölgesine göre ayarlanabilir. Soğutma depolarındaki hızlı soğutma oranı, hava hızını yükselterek veya soğutma yükünü artırarak sağlanabilir. Bunun sonucu olarak ürünün yüzeylerinde donma, ürünün iç kısımlarında düzensiz bir soğuma dağılımı ve bunu takiben üründe hasar görmeler oluşur. Buna karşın, vakum soğutma oranı, yiyecek üstünde buzlanma oluşmadan 0.5°C/dakika soğutma hızına erişilebilir. Hızlı soğutma, soğuk depolama zamanını azalttığından ürünün raf ömrünü artırır. Vakum soğutmada, sıcaklık kontrolü mümkündür, çünkü sadece oda içindeki basıncı kontrol ederek ürünün sıcaklığı donma noktasına yakın 1-3°C'lere getirilebilir (Sun ve Zheng 2006).

Vakum soğutmanın en büyük dezavantajı yiyecekten buharlaşma olması nedeni ile meydana gelen ağırlık kaybıdır. Ağırlık kaybı, sıcaklığın düşürülmesi için kaçınılmaz bir sonuçtur. Pratikte ağırlık kaybı birçok faktöre bağlıdır. Bunlardan en önemlilerinden biri yiyeceğin yüzey alanıdır. Yüzey alanındaki artış, vakum soğutma sırasında meydana gelebilecek ağırlık kaybını hızlandırır. Ağırlık kaybını azaltabilmek için yapılabilecek en uygun yöntemlerden birisi, ürünün ağırlık kaybını, soğutma sırasında su püskürterek telafi etmek olabilir. Ürünün paketlenmesi, oluşan su kaybını tolere edebilecek şekilde olmalıdır. Vakum soğutma işlemi ve sonrasında ortaya çıkan nem kaybı ürünün kalitesi ve görünümüne zarar verebilir (Mc Donald ve Sun 2000).

Vakum soğutmada kullanılan aletler pahalıdır ve işlem 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 (Sun ve Zheng 2006).

Geleneksel soğutma sistemlerinden hava üfleli sistemde, enerji/elektrik enerji oranı 2.65 iken bu oran vakum soğutmada 0.52'dir. Yani vakum soğutma hava üfleli soğutma sistemleri ile karşılaştırıldığında yaklaşık 5 kat daha az enerji tüketmektedir (Mc Donald ve Sun 2000).

### **3.2. Vakum Soğutma Hızını Etkileyen Faktörler**

Daha önce de bahsedildiği üzere, vakum soğutmanın diğer soğutma sistemleri ile karşılaştırıldığında en büyük avantajı soğutma hızının yüksek olmasıdır. Vakum soğutma ekipmanları ve ürünün kendisi vakum soğutma hızına etki eder. Vakum soğutma sistemlerinde kullanılan vakum pompasının kapasitesi vakum odasındaki atmosfer basıncı, ürünün gerek duyduğu basınca düşürmek için gerekli olan süreyi etkiler.

Soğutma sırasında belli zamanlarda pompa hızının ayarlanabilir olmasının, soğutma hızını artırmakta veya azaltmaktadır. Vakum odasında ulaşılan minimum basınç da ürünün soğutma hızına etki etmektedir. Ticari vakum soğutucularında düşük basınçların kullanılması, ürünün kısa bir zaman içerisinde istenen sıcaklığına ulaşabilmesini mümkün kılmaktadır. Kondenser sıcaklığı ayarlanarak, ürünler için soğutma hızını azaltmak veya artırmak mümkün olabilir. Bununla birlikte, kondenser sıcaklığını ve son basıncı dikkatli bir şekilde kontrol ederek, yüzeyin buzlanması veya ürünün zarar görmesi gibi sorunlardan kaçınılabilir.

Farklı sıcaklıklarda ürünler aynı ortamda soğutuluyorsa ürünün başlangıç sıcaklığı, son sıcaklığı üzerinde etkilidir. Bunun yanı sıra, pişirilmiş gıdalar gibi yüksek sıcaklıklardaki ürünlerin soğutulması uzun zaman alırken, marul gibi yapısı, geometrisi ve geçirgenliği daha uygun olan gıda maddelerinin soğutulması kısa zamanda gerçekleşir. Diğer önemli olan bir konu da, yiyeceğin paketlenme durumu,

ambalaj malzemesi ve şekli vakum soğutmanın hızını etkiler, çünkü sıcaklığın düşmesinde en önemli etken buharlaşma ve buharın gıda maddesinden uzaklaşmasıdır. Ambalaj ve ambalajın cinsi bu buharlaşmanın gerçekleşmesine engel olmamalıdır. Bazı ambalajlar buharlaşmanın önüne geçer. Örneğin, ambalajsız marullar veya delikli paket malzemesi ile paketlenmiş marullarda soğutma hızlı olurken, kartonlarda veya geçirgen olmayan ambalajlarda soğutma hızı oldukça yavaşlar (Sun ve Zheng 2006).

Sebze veya meyvelerin vakum soğutma öncesinde, ön nemlendirme ile soğutma sonrasında oluşabilecek ağırlık kaybının önüne geçilebildiği gibi soğutma etkisinin de arttığını göstermiştir. Ön nemlendirme, mısır, kereviz ve marul gibi sebzelerde büyük faydalar sağlamaktadır. Mantar gibi değişik ürünlerde, ön nemlendirme süresi uzadıkça, soğutma sırasında oluşacak ağırlık kaybı azalır. Mantarlarda 5 dakikalık bir ön nemlendirme, ağırlık kaybını önlediği gibi %0.6 oranında bir kütle kazanımı da gerçekleştirmektedir (Mc Donald ve Sun 2000). Ön nemlendirme, yüksek başlangıç sıcaklıklarındaki pişirilmiş gıdalar için de uygun olabilir, çünkü vakum soğutma ile oluşabilecek ağırlık kaybı ön nemlendirme ile sağlanmış olur. Burada dikkat edilmesi gereken konu, ön nemlendirmede verilecek suyun gıdada kirlenmeye yol açmamasıdır.

Vakum soğutmada ürün sıcaklığındaki azalma, ürünlerdeki suyun buharlaşması ile ilgilidir. Soğutma sırasında ürün sıcaklığının üniform dağılması da ürünlerdeki suyun üniform dağılımı ile ilgilidir. Ürün içerisinde su dağılımının farklı olması her noktada eşit olmayan soğuma bölgeleri oluşturacaktır. Ürünün vakum soğutma yöntemi ile verimli bir şekilde soğutulabilmesi için ürünün içerisindeki sıcaklık dağılımının belirlenmesi gerekmektedir. Ürün içerisindeki üniform bir su dağılımı üniform bir soğutma sağlamaktadır. Sonuç olarak vakum soğutmada en önemli parametrelerden birisi kuşkusuz ürünün su içeriği ve dağılımıdır.

## 4. VAKUM SOĞUTMANIN UYGULAMA ALANLARI

Vakum soğutma yöntemi farklı gıda ürünleri için uygulanmıştır. Yapılan çalışmalarda vakum soğutmanın serbest su içeriği yüksek ve yüzey alanının hacmine oranı büyük gıda ürünleri için uygulanabileceği görülmüştür. Bu bölümde çeşitli gıda ürünleri için vakum soğutmanın uygulanmasına ilişkin yapılan çalışmalar incelenmiştir.

### 4.1. Meyve ve Sebzeler

Vakum soğutma, vakum odasındaki bir maddede bulunan suyun buharlaştırılmasıyla ısı çekilerek maddenin soğutulması olarak tanımlanabilir. Vakum soğutma hızlı bir buharlaştırma tekniğidir. Çoğunlukla bazı sebzeler ile özel gıdalarda uygulanabilmektedir. Vakum soğutma yüzey alanının toplam hacme oranının büyük olduğu ıspanak, marul, kereviz gibi yapraklı sebzelerde çok iyi sonuçlar vermektedir. Yapılan araştırmalar göstermiştir ki; vakum soğutma uygulamasından önce sebzelere, sprey olarak su sıkılması da soğutma etkisini artırabilmektedir (Suslow 2000).

#### 4.1.1. Marul

Vakum soğutma hacmine göre yüzey alanı fazla olan ve dokudaki suyu vakum altında kolaylıkla buharlaşabilen ürünlere uygun bir yöntemdir. Buna göre; yaprak sebzelerde çok etkili bir uygulamadır (Cemeroğlu 2001). Marul en çok uygulaması yapılan ürünlerden biridir.

Marul optimum koşullarda saklandığı zaman (Bağıl Nem (RH): %98-100, 0°C) 2-3 hafta muhafaza edilebilmektedir. Marul için tercih edilen ön soğutma yöntemi vakum soğutmadır çünkü sıcaklığı çevre sıcaklığından 1°C'ye 25 dakikadan az zamanda düşürmek mümkündür. Zorlamalı hava ile soğutmada su kaybı fazladır ve su ile soğutma çok yavaş ve yapraklar arasında kalan su mikrobiyal gelişme için uygun şartlar oluşturmaktadır (Rennie vd 2001)

He vd (2004), "iceberg" türündeki marulların soğutulma ve saklanma kalitesine, vakumlu soğutmada basınç düşürme oranlarının etkilerini incelemişlerdir. Yaptıkları

çalışmada 600 Pa basınca, 15, 30 ve 60 dakikada inilmiş ve sonrasında soğutulmuş marullar 1°C, %85 bağıl nemli bir ortamda 2 hafta süre ile depolanmıştır. Farklı basınç indirgeme oranları uygulamasıyla meydana gelen kalite değişimleri hakkında karar verebilmek için depolama süreci boyunca kütle değişimi, stabilitesi, askorbik asit, klorofil, katalaz ve ultra doku yapıları gözlenmiştir. Orta derecede basınç düşürme oranı (30 dak) ile soğutulmuş ürünler mikroskopta incelendiğinde, mikro ve ultra doku yapıları ve ayrıca fiziksel ve kimyasal parametreleri açısından en verimli sonuçların alındığı gözlenmiştir.

Rennie vd (2001) yaptıkları bir çalışmada vakum soğutmada basıncın farklı oranlarda azaltılmasının soğutma sonrasında ve depolama boyunca marulun (*Lactuca sativa*) kalitesi üzerine etkisini araştırmışlardır. Marullar farklı basınçlarda soğutulmuş ve 16 gün boyunca %85 bağıl nem şartlarında depolanmıştır. Basıncın farklı oranlarda düşürülmesi bitki dokusundan su buharlaşma oranını değiştirmektedir. Buharlaşmanın yavaş seyretmesi doku tahribatına neden olabilmektedir. Depolama boyunca kütle kaybı, görsel kalite ve flüoresan klorofil ölçümleri yapılmıştır. Yapılan ölçümler göstermiştir ki, vakum soğutma ile yapılan ön soğutma işleminde farklı basınç uygulamasının marulun genel kalitesi üzerine hiçbir etkisi yoktur. Depolama sürecince toplam kütle kaybı %2.9 olarak belirlenmiştir. Depolama sonrası ürünün kalitesi uygulanan soğutma hızına bakılmaksızın “kabul edilebilir” olarak değerlendirilmiştir. Ancak flüoresan klorofil ölçümleri soğutma işleminin bitki dokusunda strese neden olabileceğini göstermiştir ama bu minimum düzeyde gerçekleşmiş ve 1-2 günlük depolama sonrasında kaybolmuştur.

Vakumlu soğutmada en önemli parametrelerden birisi, vakumla beraber üründeki sıcaklık değişiminin incelenmesidir. Tambunan vd (2000) yaptıkları bir çalışmada vakum altında soğutulan marulların farklı yerlerindeki sıcaklık değişimini termograf aracılığı ile 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. Bu da vakum soğutmanın üniform bir soğuma sağladığını göstermektedir.

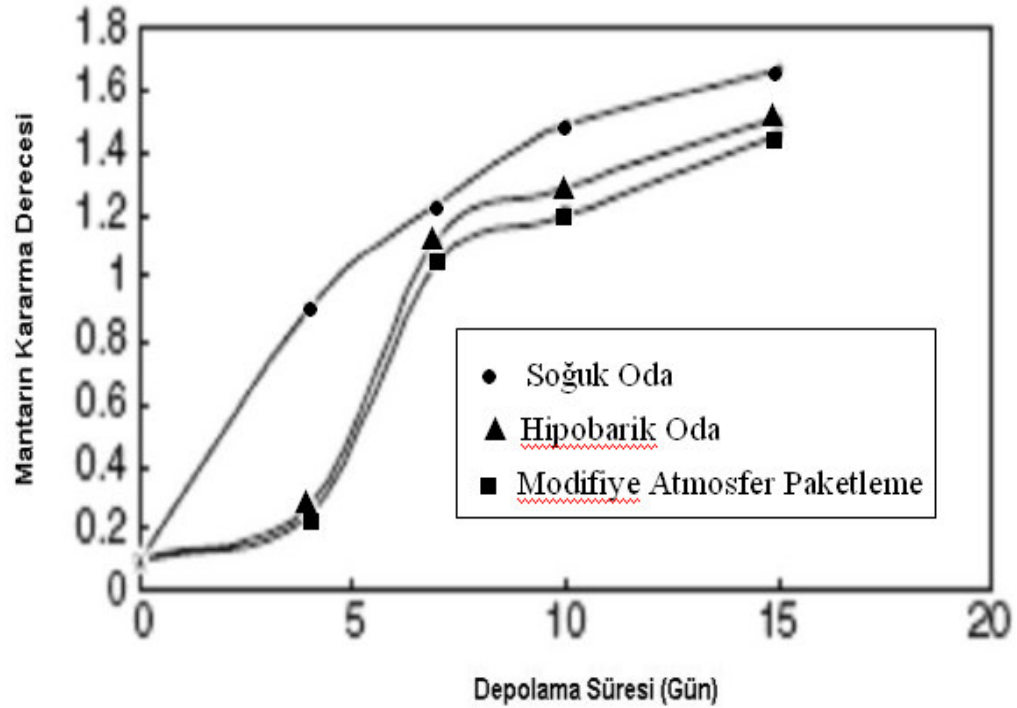
Geleneksel soğutma ortamı için kontrollü bir atmosfer sağlamak amacıyla marullar tüketime sunulmadan önce genellikle polimerik filmlerle kaplanırlar. Martinez ve Artes (1999) yaptıkları bir çalışmada “iceberg” türü marullarda değişik paketleme yöntemlerinin vakum altında soğutma üzerine etkilerini incelemişler ve bu tür marulların raf ömürlerini artırmak için kaplanan filmin hava almaması gerektiği sonucuna ulaşmışlardır. Yapılan çalışmalarda aktif ya da pasif atmosfer modifikasyonlarını da kapsayan beş farklı yöntemle paketleme yapılmıştır. Vakum altında soğutulan ve sonrasında hava geçirmeyen bir filmle kaplanan ve 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 pembeleşmesinin ve yaprağın zedelenmesinin de engellenmesi gerektiğini bildirmişlerdir.

#### **4.1.2. Mantar**

Mantar su içeriği yüksek bir bitkidir ve genel olarak %75-90 içeriğine sahiptir. Mantarların su içeriği tür ve çeşitlerine göre değişebileceği gibi yetiştirme dönemine, mantarın boyutuna ve iklim değişikliklerine göre farklılık gösterebilmektedir. Mantarın dokusu da suyun buharlaşmasına olanak sağlayacak biçimde olduğundan mantar vakum soğutma için uygun bir üründür.

Vakum soğutma tekniğini kullanarak Tao vd (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 O<sub>2</sub>, %3±1 CO<sub>2</sub> LPDE membran, 4±1°C sıcaklık ve %75 bağıl nem) koşullarında iki haftalık depolama sırasındaki lipid oksidasyonu ile bahsi geçen enzimlerdeki değişimler araştırılmıştır. Vakum altında soğutulan mantarlarda, bitkinin antioksidan savunma mekanizmasını oluşturan bu enzimlerde 1.1 ila 1.2 kat arasında değişen oranlarda artış meydana gelmiştir. Vakum soğutma işleminin mantarlarda lipid oksidasyonunun bir göstergesi olan malondialdehit seviyesi ve süperoksit anyon üretiminde az da olsa azalmaya neden olduğu bulunmuştur. Vakum soğutma sırasında mantarlarda gözenekli yapının gelişmesi ve membranla dokuların parçalanmasıyla lipid yapılarının ortaya çıkması hakkındaki literatür çalışmaları (McDonald vd 2000) göz önüne alındığında, bunun muhtemel nedenleri arasında vakum işleminin mantarlarda oluşturduğu fiziksel ve

biyokimyasal değişiklik olduğu ortaya çıkmaktadır. Tao vd (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 olmaktadır. Araştırma sonuçları, vakumda soğutulan mantarların depolanması için en iyi koşulunun modifiye atmosfer paketlemenin olduğunu ortaya koymuştur (Şekil 4.1).



**Şekil 4.1** Farklı depolama koşullarında 4, 7, 10 ve 15 gün depolanan mantarlardaki kararma dereceleri (Tao vd 2006).

#### 4.1.3. Lahana

Sebzelerin raf ömürlerini uzatmak ve daha efektif bir soğutma için vakumlu soğutma sistemleri ile yapılan çalışmalarda gözle görünür bir artış vardır. Lahananın bileşiminde yaklaşık olarak %90 su bulunmaktadır. Su oranının yüksek olması her ne kadar vakum soğutma için önemli bir parametre olsa da lahananın katlı bir sebze olması iç kısımların soğumasını güçleştirebilmektedir.

Yapraksı sebzelerin ön soğutulmasında vakum soğutma tekniği kullanılabilir. Bu teknik lahana gibi sebzelere uygulandığında dikkat etmek



gerekir çünkü lahananın iç kısımlarının soğuması yetersiz olabilmektedir. Cheng ve Hsueh (2007) yaptıkları çalışmada çok katlı bir sebze olan lahananın vakumda soğutulmasını incelemişler ve lahana benzeri sebzelerin vakum altında soğutulması amacıyla kademeli vakum uygulaması yöntemini geliştirmişlerdir. 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  $-37^{\circ}\text{C}$  olarak rapor etmişlerdir. Çok aşamalı vakum soğutma işlemini ise, vakumu 13.3mbar'da 600saniye, 10.7mbar'da 600saniye, 8mbar'da 600saniye 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 1800saniyelik işlemi kullanmışlardır. Düşük basınçlı çok aşamalı vakum soğutma tavsiye edilmemiş olup, 5.3mbar'lık bir vakumun lahana yüzeyinde buzlanmaya neden olduğu rapor edilmiştir. Lahana ve ıspanakların vakum altında soğutulmasında 8mbar üzerinde çok aşamalı bir vakum soğutma önerilmiştir.

#### 4.2. Et ve Et Ürünleri

Et, gerek besin değeri gerekse özel tat ve kokusu ile insan beslenmesinde önemli bir gıda maddesidir. Su etin bileşenleri arasında en yüksek oranlı olan ögedir. Etin türüne göre su oranı değişmektedir; sığır etinde yaklaşık % 55-70, domuz etinde % 50-60 ve tavuk etinde ise %70-75 oranında su bulunmaktadır (Öztan 1999).

Etlerin soğutulması amacıyla et endüstrisinde genel olarak hızlı, çok hızlı veya şok soğutma uygulaması için soğuk hava depoları kullanılmaktadır. Farklı soğutma sistemlerinin geliştirilmesiyle et ürünleri için oldukça önemli olan soğutma aşaması daha etkili ve kısa sürelerde uygulanabilme imkanı bulmuştur. Son zamanlarda birçok çalışmada vakum soğutma pişmiş etler için de uygulanmaktadır. Bu çalışmalara örnek olarak Cheng ve Sun (2006a) ortalama 2.2 kg ağırlığındaki pişmiş domuz etinin soğutulmasında vakumlu soğutma ve geleneksel bir yöntem olan hava akımlı soğutma (air blast cooling) sistemlerini karşılaştırmışlardır. Vakumlu soğutma 470 Pa basınç altında pişmiş ete, 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 bulunmuştur.

Cheng ve Sun (2006b) yaptıkları diğer bir 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 ila 8 kez tekrarlanmıştır. Aynı numunede tekrar yapıldığında etin kalitesinin arttığı gözlenmiştir. Dörtlü tekrara kadar kalite artmış, daha sonra sabitlenmiştir. Bu çalışma göstermiştir ki, pişmiş etlerin vakum altında soğutulmasında, tuzlu su ortamında ardı ardına maksimum dört kez yapılan vakum işlemi ürün kalitesinde olumlu sonuçlar vermekte, bunun üzerinde tekrarlanan vakum işlemi kalitede herhangi bir artışa neden olmamaktadır. Bu ise zaman ve para kaybına neden olacaktır.

Günümüzde etleri soğutmada vakum soğutma, 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 vd 2000). Vakumlu soğutma pişirilmiş et ürünlerinde diğer tekniklere göre çok hızlı olması gibi bir avantaj sağlamasının yanı sıra (1,9 saat, 11,7 saat, 14,3 saat) kütle kaybı yönünden dezavantajlıdır (%11, %4, %4). Kütle kaybının yüksek olması etin yenmesi sırasında ağızda daha sert ve kuru hissedilmesine neden olmaktadır. Bunun yanı sıra verim açısından vakumlu soğutma diğer soğutma sistemleri ile karşılaştırıldığında avantajlıdır.

Desmond vd (2002) yaptıkları diğer bir çalışmada pişirilmiş domuz bacağına veya jambonu (5-6 kg) geleneksel ve vakum soğutma sistemleri ile soğutmuşlardır. Et içerisine %20 veya %30 oranlarında salamura karışımı enjekte edilmiştir. Soğutma sonrasında etin lif ve kimyasal analizleri yapılmıştır. %30 salamura karışımı ilave edilen pişirilmiş etlerin vakumda soğutma testleri geleneksel yöntemlere eşdeğer verimlilikte sonuçlar verdiği gözlenmiştir.

Houska vd (2003) pişirilmiş sığır etinin vakum altında soğutulmasını çalışmışlardır. Etin boyutunun soğutma süresinde parametre olarak etki gösterip

göstermediğinin belirlenmesi için zaman-sıcaklık, zaman-basınç ve kütle kaybı ölçülmüştür. Bu çalışmanın diğer bir amacı vakum soğutma sırasında ette meydana gelen kütle kaybını indirgeyecek bir metod bulunmasıdır. Bu etin vakum soğutma işleminden önce tuzlu su içerisinde kaynatılması uygulamasıyla gerçekleştirilmiştir. 16 deney için ortalama kütle değişimi +%0.48 olarak tespit edilmiştir. Bu değer soğutma sırasında kütle kazanımını göstermektedir. Enjekte edilmiş sığır filetosu için kütle %7.7 artış göstermiştir. 75°C'den 5°C'ye gerçekleşen vakum soğutma işleminde soğutma süresi soğutma sonrası et örneklerinin kütleleriyle bağlantılı gözükmektedir. Bütün örnekler için ortalama soğutma süresinin değeri 762 saniyedir. Bu deney aynı zamanda göstermiştir ki vakum soğutma işleminin sonunda vakum pompası durduğunda ve havalandırma valfinden hızla hava geldiğinde tuzlu su etin gözenekleri içine işlemektedir. Bu çalışma endüstride etin istenen doğal sos aromasıyla (veya yemek sosu) çeşnilendirilmesinde pratik olarak kullanılabilceğini göstermektedir.

Eğer pişirilmiş et marinatlanmış ise ve vakumlu soğutma ile soğutulacak ise dikkat edilmesi gereken birkaç nokta vardır. Bu hususlar uygulanmadığı takdirde etin lezzetinde azalmalar gözlenebilmektedir. Yapılan çalışmada, pişirilmiş et 2 farklı proses ile vakumda soğutulmuştur. Birincisinde, pişmiş et ile sos birlikte vakumda soğutmaya tabi tutulmuş; ikincisinde ise, et pişirilmeden önce sos ile birlikte 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 değerdedir. Ayrıca, ikinci proseste soğutulan etin tadı ve kıvamı birinci metoda göre çok daha iyi bulunmuştur (Houska vd 2005)

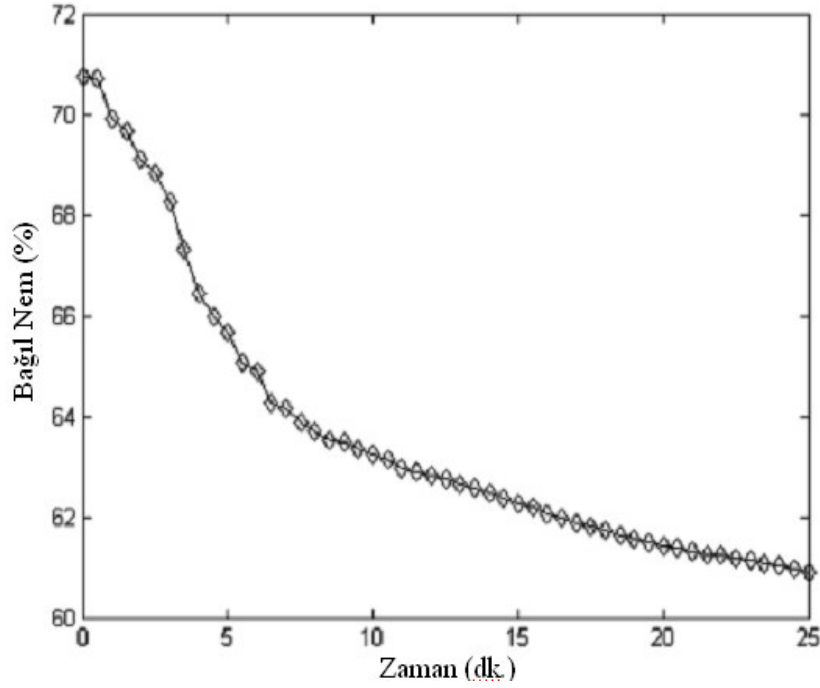
McDonald vd (2002) yaptıkları bir çalışmada vakum soğutma (6.5 mbar) ve püskürtmeli hava ( $1\pm 1^\circ\text{C}$  hava sıcaklığı,  $2\pm 0.02$  m/s hava hızı ürün üzerinde), suya daldırma ( $1\pm 1^\circ\text{C}$  sirkülasyonlu su banyosu) ve düşük hızlı hava ( $1\pm 1^\circ\text{C}$  hava sıcaklığı,  $1\pm 0.02$  m/s hava hızı ürün üzerinde) ile soğutmaya kapsayan 3 farklı soğutma uygulaması ile soğutma yapılmış pişirilmiş sığır etinin termofiziksel özellikleri ölçülmüştür. 3,75 kg çiğ et  $82^\circ\text{C}$ 'lik bir fırın içinde pişirilip merkez sıcaklığı  $82^\circ\text{C}$ 'ye getirilmiş ve farklı soğutma teknikleriyle merkez sıcaklığı  $4^\circ\text{C}$ 'ye getirilmiştir. Tamamen pişirilmiş ve soğutulmuş örneklerde ısı iletkenlik, özgül ısı kapasitesi, ısı diffüzyon hızı, gözeneklilik, gerçek yoğunluk ve görünen yoğunluk

hesaplanmıştır. Isıl iletkenlik özellikle vakum soğutulmuş örneklerde su içeriği ve gözeneklilik ile iyi bir korelasyon göstermiştir. Örneklerde azalan görünen yoğunlukla birlikte ısı iletkenlik de azalmıştır. Vakum soğutma sırasındaki nem kaybı ve gözeneklilik gelişimi, soğutulan örneklerin termofiziksel özellikleri üzerine en belirgin etki olmuştur.

Gıda endüstrisinde hazır gıda üretiminin artması, insanları bu tür gıdaları hızlı bir biçimde soğutmak amacıyla yeni teknikler bulmaya itmiştir. Vakum 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.

Vakum altında soğutma çok hızlı olmasından dolayı meyve, sebze ve et ürünlerinin soğutma teknolojisinde kullanılma potansiyeli bulunmaktadır. Landfeld vd (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. Bu çalışmada bunun nedenine ilişkin bir açıklama yer almamaktadır.

Jin (2007)'in yaptığı çalışmada pişmiş etlerin vakum altında soğutulmasına, vakum odasındaki sıcaklık değişiminin, nem miktarının ve buharlaşma oranının etkileri incelenmiştir. Yapılan deneylerde pişmiş ette ortalama %71 olan nem miktarı, vakum soğutma sonucunda yaklaşık %61'e düşmüştür. Pişmiş etin merkez noktasındaki nem azalması ise %4 civarında bulunurken, etin yüzeyindeki nem kaybı yaklaşık %11 olarak tespit edilmiştir. Vakum soğutma sırasında pişmiş etteki buharlaşma oranı ilk 4 dakika 2.8 g/dak. iken, nem kaybı %71'den %66'ya düşmüştür. İkinci aşamada buharlaşma oranı 0.2 g/dakikaya düşerken, izleyen 21 dakika içinde nem kaybı %66'dan %61'e düşmüştür (Şekil 4.2).



**Şekil 4.2** Pişirilmiş domuz etinin vakum soğutma sırasında nem içeriği değişimi (Jin 2007).

Kırmızı et oldukça fazla miktarda yağ ve su içerebilmektedir. Masengi vd (2001) haşlanmış kırmızı etlerin vakum soğutma tekniği uygulanarak, oksidasyon ile yağ ve buharlaşma ile su içeriğini 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.

Wang ve Sun (2004) vakum soğutmada işlem parametrelerinin pişmiş haldeki iri et parçaları için soğutma performansı üzerine etkileri matematiksel bir model yardımıyla araştırmışlardır. Simülasyon sonuçlarına göre vakum odasının hacmi, pompa hızı ve kondenser sıcaklığı soğutma hızını önemli seviyede etkilemektedir. Pompa hızının artmasıyla soğutma hızı artmaktadır. Ayrıca kondenser sıcaklığı azaldıkça soğutma hızı artmaktadır. Wang ve Sun (2004), sistemde kondenser

kullanılmadığında, oluşacak büyük miktarlardaki su buharını uzaklaştırmak için pompanın zorlandığını rapor etmişler ve bu işlem parametrelerinin vakum soğutma sırasında üründe oluşabilecek ağırlık kaybı üzerine etkisinin çok az olduğunu bildirmişlerdir.

McDonald ve Sun (2001a) ise vakum soğutma sırasında hava tahliye hızının kütle kaybı, yüzde kütle kaybı başına düşen sıcaklık azalması, soğutma hızı, sıcaklık dağılımı ve son ürün sıcaklığı üzerine etkisi pişirilmiş bir dana eti ürünü kullanılarak incelenmiştir. 500m<sup>3</sup>/saat hızındaki vakum pompası ile 0.21m<sup>3</sup> hacmindeki vakum hücresinden oluşan laboratuvar ölçekli bir vakum soğutma sistemi kullanılarak merkezi 72°C olan et ürünlerinin (yaklaşık 6kg) sıcaklığı 4°C'ye düşürülmüştür. Pompaların kullanılmasıyla atmosfer basıncından 100 mbar'ın altındaki vakum ortama geçiş 12 saniye gibi kısa bir sürede gerçekleştirilmiştir. 6.5mbar olan son basınca geçiş için ise dakikada 1,56 mbar'dan 9,35 mbar'a kadar değişen altı farklı tahliye hızı kullanılmıştır. Soğuma hızlı iken kütle kaybının geleneksel ticari yöntemlerden daha fazla olduğu belirtilmiştir. Tahliye hızının soğutmadaki ağırlık kaybı üzerine etkisi önemli bulunurken, düşük hızlarda kayıp azalmış fakat soğutma süresinin uzadığı belirtilmiştir.

Değişik işlem koşullarının (enjeksiyon seviyesi, tamburlama ve yoğurma), paketlemenin, pişirme ve vakum soğutmanın pişirilmiş bir et ürününün görünür yoğunluğu, gerçek yoğunluğu, gözenek yapısı, sünme ve nem seviyesine etkisini araştıran McDonald ve Sun (2001b), örnekteki gözenek yapısının vakum soğutma hızını doğrudan etkilediğini göstermişlerdir. Bahsi geçen işlemlerin ürün üzerinde gözenekli yapının gelişmesinde etkili olduğu ve 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. 500m<sup>3</sup>/dakikalık bir debi ile tahliye edilmiştir. 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 pişirilmesini takiben soğutulması amacıyla McDonald vd (2000) bir çalışmalarında vakum soğutma tekniğini kullanmış

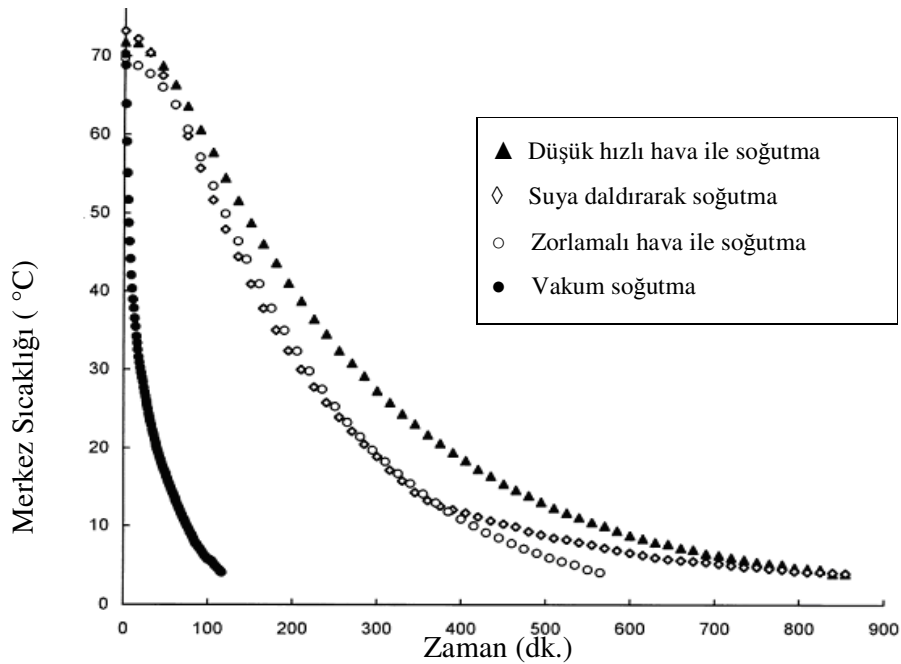
ve bu tekniği üfleli, durağan soğuk havalı ve soğuk suya daldırma yöntemi gibi geleneksel yöntemlerle karşılaştırmışlardır. Et örnekleri 80°C'lik bir fırında merkez sıcaklığı 70°C olana kadar pişirilmiş ve farklı soğutma yöntemleri kullanılmak suretiyle merkez sıcaklıkları 4°C'ye kadar soğutulmuştur. 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 2,8 saat iken, hava üfleli sistemde 8 saat, durağan soğuk havalı sistemde 10,3 saat, soğuk suya daldırmada ise 14,2 saat olarak bulunmuştur. Vakum altında soğutulan ürünlerde ağırlık kaybı fazla olmuştur bununla birlikte bu ürünlerde tiyobarbitürik asit reaktif ürünleri (TBARS) cinsinden ölçülen lipid oksidasyonu ise diğer yöntemlere göre daha yüksek bulunmuştur. Yazarlar bu artış vakum soğutmadaki nem kaybı ile 5-6 mbar'da gerçekleşen membran ve kas fibrinlerinin parçalanarak demir gibi ( $Fe^{3+}$ ) prooksidantların açığa çıkmasına bağlamışlardır. Vakumda soğutulan etlerin renklerinin ise diğer yöntemlerle soğutulanlarla kıyaslandığında daha iyi olduğu gözlenmiştir.

McDonald vd (2001) vakum soğutmanın pişmiş marine sığır eti ürününün kalitesi üzerine etkisini suya daldırarak soğutma tekniği ( $1\pm 1^\circ C$ ) 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 ürünlerinin 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 duyuşal puanlar alırken, marinasyon miktarı artırılmış ürünlerin vakumda soğutulmasıyla tuzluluk puanları artmış ve istenmeyen duyuşal puanlar almıştır.

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 daldırma (1°C) ve düşük hızda soğuk havada (1°C) olmak üzere 4 farklı soğutma yöntemi uygulayarak pişirilmiş domuz etinin soğutulması sırasında etteki ısı transferini 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 4.3). Diğer yöntemlere kıyasla vakum soğutma farklı ısı transfer özellikleri göstermektedir ki, vakum altında soğutma hızı gıdadan suyun uçurulmasına bağlı iken, diğer üç soğutma yönteminde soğutma hızı gıdanın ısıl iletkenliğine ve gıdadan ortama taşınımına gerçekleşen ısı transferine bağlı olmaktadır.

Sun ve Wang (2004), %10, 20, 30 ve 40'lık tuz çözeltisi enjekte edilmiş ve daha sonra fırında pişirilmiş iri et (domuz eti) parçalarının soğutulması amacıyla vakum soğutma tekniğini kullanmıştır. Saatte 250 m<sup>3</sup> hava çekme hızına sahip iki adet vakum pompası ile buhar kondansatörü kullanan vakum soğutma sistemi kullanılarak, başlangıç sıcaklığı 74°C olan 5-8kg 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 6,0-6,5°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 olabileceği belirtilmiştir.



**Şekil 4.3.** Pişmiş domuz etlerinin dört farklı yöntemle soğutulması sırasında zamana bağlı olarak merkez sıcaklıklarındaki değişimler (Sun and Wang 2000).



### 4.3. Balık ve Deniz Ürünleri

Vakum soğutma tekniğinin balık ve deniz ürünlerinde uygulamaları sınırlıdır. Bununla birlikte, tuna balığının endüstriyel prosesinde, vakum soğutmanın bazı uygulamaları mevcuttur. Normal olarak tuna balığı denizde yakalandığında, karaya getirilmeden önce, tuzlu suda hemen dondurulur. Karaya çıkarıldığında önce çözündürülür ve daha sonra silindirik kaplarda 65°C sıcaklıkta buhar altında pişirilir. Bunu takiben, vakum soğutma kullanarak tuna balığı 35-40°C'ye kadar soğutulur ve bunun sonucunda da %3-4 oranında bir ağırlık kaybı oluşur. Son soğutma sıcaklığının (35-40°C) yüksek olmasından dolayı, hassas yumuşak etinin zarar görmesini önlemek için, 20 dakikadan daha uzun bir soğutma süresine ihtiyaç duyulur. Ayrıca gemilerdeki güç sistemlerinin atık enerjisinden ve çıkan gazlardan faydalanarak karides gibi kabuklu balıkların ve küçük balıkların denizde iken vakum sistemiyle soğutulmasının mümkün olabileceğini göstermiştir (Mc Donald ve Sun 2000).

Midyeler endüstriyel ölçekte işlendiğinde önce sıcak su veya buhara maruz bırakılır ve sonra ön soğutma uygulanır. Ön soğutma işlemi, midyeler soğuk su içine daldırılarak gerçekleştirilir. Yapılan çalışmada midyelerin hızlı bir şekilde soğutulması amacıyla vakum soğutma tekniğini kullanmıştır. Vakum soğutmayla 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 8,7°C'lik bir sıcaklık düşüşü için yaklaşık olarak %1'lik ağırlık kaybı tespit edilmiştir. Midyelerden kabuklar uzaklaştırılıp midye et halinde soğutulduğunda ise her 7,5°C'lik düşüş için %1'lik ağırlık kaybı görülmüştür. Vakum soğutma tekniği, hızlı olması ve çapraz-kontaminasyonu sınırlandırması bakımından midyelerin soğutulmasında kullanım potansiyeli olan bir işlemdir. Vakum soğutma düzeneği olarak 13,4 L hacme sahip, cam bir desikatör ile pompalama hızı 200L/min olan bir pompa kullanılmıştır. Kondansatör olarak buz banyosuna gömülü bir tüp kullanılmıştır. Atmosfer basıncından 7mbar'a 420saniye içinde inilmiştir (Huber vd 2006).

### 4.4. Soslar, Çorbalar ve Bazı Özel Yiyecekler

Et sosu, et suyu veya et içeren yiyecekler, hazır donmuş gıda üretiminde

dondurulmuş olarak tüketiciye sunulan ve sıkça karşılaşılan ürünlerdir. Vakum soğutma yöntemi kullanarak, sıvı gıdaların etkili ve verimli bir şekilde sıcaklıklarının düşürülmesi mümkündür. Bu tip soğutma sistemlerinde, ürün sızdırmaz bir şekilde yapılmış vakum odalarına yerleştirilir ve basınç altında pişirilmenin sonrasında, vakum soğutma uygulanır. Böyle kapalı bir sistem olarak tasarlanan vakum odalarında, ürünün ağırlık kaybı diğer vakum odalarına göre daha iyi bir şekilde kontrol altında tutulabilir. Bu kontrol basınç sensörler yerleştirilerek yapılabilir (Sun ve Zheng 2006).

Bazı şirketler et suyu içeren gıdaların soğutulmasında geleneksel yöntemlerde bazı zorluklar olduğunu belirtmişlerdir. Yapılan çalışmalar 1100 kg büyüklüğündeki et sosunun, 85°C sıcaklıktan 10°C sıcaklığa vakum soğutma tekniği kullanarak soğutmanın 30 dakikadan daha az bir süre almasına rağmen, geleneksel hava üflenerek yapılan soğutmada bu sürenin 6 saati aştığını göstermiştir. Ayrıca, 3785 L domates sosunun 93°C sıcaklıkta pişirilmesinin 18 dakika aldığı ve bunun 7°C ye vakum soğutma tekniği ile soğutulmasının 14 dakikada mümkün olduğunu göstermiştir. Bu işlem kısa ve üniform bir soğutma sağlamaktadır. Böyle bir sistemin kurulması ve işletilmesindeki zorluk ise, temizlenmesindeki güçlükler ve sürekli soğutmanın sağlanabilmesindeki problemlerdir (Mc Donald ve Sun 2000).

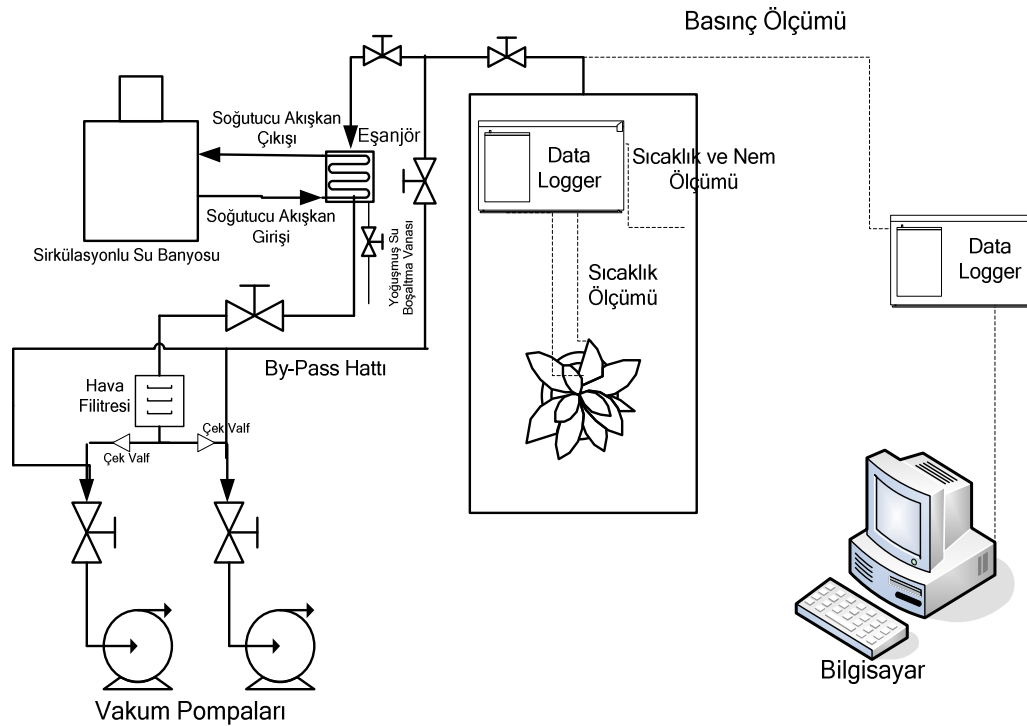
#### **4.5. Hazır Yiyecekler**

Vakum soğutma sistemleri, birçok hazır gıda üretim işlemlerinde, pişirme ile birlikte çok geniş ve yaygın bir kullanım alanı bulmuştur. Bu üretim sisteminde, hem pişirme hem de soğutma ürün fiziksel olarak bir yerden başka bir yere taşımaksızın ve zaman kaybetmeden aynı ortamda yapılır. Bu yüzden de üretim zamanı kısılır, üretim artar, ısıya duyarlı ürünlerde yüksek kalite sağlanır ve bu yöntemle yüksek etki ve verimlilikte soğutma sağlanabilir. Bununla birlikte, vakum soğutma yöntemi ve ihtiyaç duyulan araç ve gereçlerin iyi düşünülmesi gerekir. Yüksek vakum uygulanması, soğutma ünitesindeki gıdaların vakum pompası tarafından çekilmesi gibi bir sonuç doğurabilir veya gıda ürünü üzerindeki sosların vakum odası yüzeylerine sıçramasına neden olabilir. Bu gibi durumlarda, mikrobiyal çoğalmanın önüne geçmek ve ekipmanları üzerine bulaşan yiyecek maddelerinden arındırmak için kapsamlı temizliklerin yapılması gerekecektir. Öte yandan, vakumu düşürmek,

soğutma zamanını uzatacaktır. Pişirilmiş et ürünlerinde, vakum oranı sosların görünümünü etkilemektedir. Vakum uygulandığında, ürün içerisinde oluşan buharlaşma nedeni ile ürün genişerek dokuda bozulmalar oluşabilecektir. Bunun önüne geçebilmek için, çalışma basıncının negatif ve pozitif basınç aralığında değiştirilmesi gerekir (Wang ve Sun 2004).

## 5. MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada kullanılan vakum soğutma sistemi Şekil 5.1’de görüldüğü gibidir. İki pompa paralel kullanılarak vakum hızının artırılması mümkün olabilmektedir. Bu nedenle, çalışma hem tek pompa, hem de iki pompa çalıştırılarak yürütülmüş ve vakum hızının soğutma üzerindeki etkisi incelenmiştir. Sisteme ayrıca bir hava filtresi eklenerek toz ve benzeri istenmeyen parçacıkların pompaya kaçması engellenmiştir. Ayrıca, hava filtresi nemin %65 kısmını tutabilme özelliğindedir. Sisteme eklenen her bir parça basınç kaybına neden olmaktadır. Hava filtresi kullanılmadan önce 4 mbar basıncına düşülebilirken hava filtresi kullanıldıktan sonra 8 mbar’ın altına inmek mümkün olmamıştır. Eşanjörün ve çek valfin montajından sonra da benzer bir basınç kaybı olmaktadır. Bu nedenle, 4 mbar vakum basıncına ulaşmak amacıyla sisteme “by-pass” hattı eklenmiştir.



**Şekil 5.1.** Gıdaların soğutulması amacıyla kullanılan vakum soğutma sistemi

Deneylerin gerçekleştirilmesinde kullanılan vakum soğutma düzeneği, esas itibariyle 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

oluşturulması için kullanılmaktadır ve ürünler sızdırmazlığı iyi bir şekilde sağlanan bu odada vakuma tabi tutulmaktadır. Bu amaçla kullanılan vakumlu etüv 29 litre iç hacme sahip, dijital göstergeli, mikroprosesör kontrollü, 1°C hassasiyetle çalışan, paslanmaz çelik, basınç göstergesi dijital olarak ayarlanabilen ve iç kısmının gözlenebilmesi için ön panelde cam bir kısım bulunan vakumlu etüvdür (Şekil 5.2).

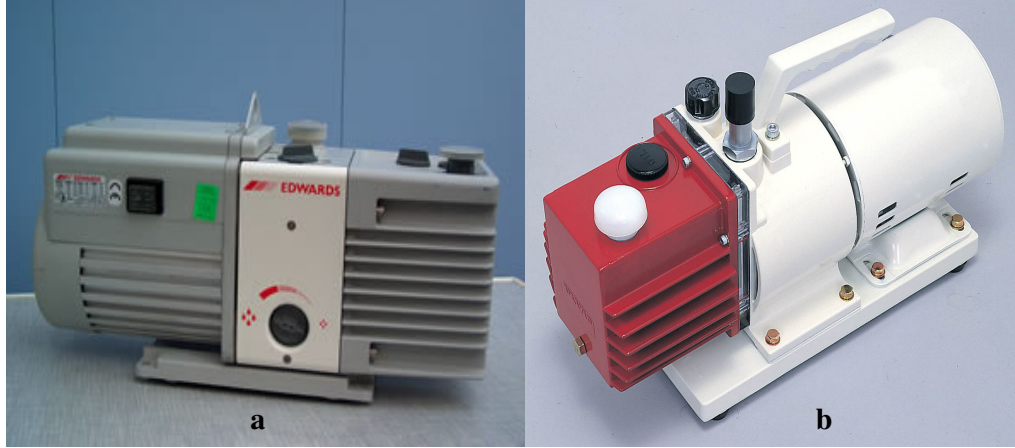


**Şekil 5.2.** Vakum odası

Vakum pompası vakum oluşturmak amacı ile kullanılmaktadır. İki pompa paralel olarak kullanılarak vakum hızını artırmak, böylece vakum hızının soğutma hızı üzerindeki etkisini görmek mümkün olmaktadır. Ulvac pompa 50 L/dak pompalama hızına sahip, nihai basıncı gaz valfi açıkken 6,7, gaz valfi kapalıyken  $6,7 \times 10^{-2}$  olan, devir sayısı 1450 (devir/dk) dir. Edwards pompa ise  $8,5 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$  pompalama hızına sahiptir (Şekil 5.3).

Vakum odası ile pompa arasına hava içerisindeki nemi tutarak pompaya gitmesini önlemek için sirkülasyonlu su banyosu ve eşanjörden oluşan bir nem tutucu yerleştirilmiştir. Soğutucu olarak sirkülasyonlu su banyosu (POLYSCIENCE 9506, Niles, Illinois, ABD) kullanılmıştır. 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 yoğuşturulması gerekmektedir. Bu

amaçla sirkülasyonlu su banyosunda soğutulan akışkan, bir eşanjörden geçirilerek hava içerisindeki suyun yoğunlaştırılması sağlanmaktadır. Cihazın pompalama hızı 9-15 L/dak ve dijital göstergelidir ( Şekil 5.4).



**Şekil 5.3.** Vakum pompası (a) Edwards marka pompa, (b) Ulvac marka pompa.



**Şekil 5.4.** Sirkülasyonlu su banyosu

Verilerin elde edilmesi için Data Logger (TESTO 350-XL-450, Lenzkirch, Almanya) kullanılmıştır. Data Logger bir kontrol ünitesi ve bir depolama ünitesi olmak üzere iki parçadan oluşmaktadır (Şekil 5.5). Kontrol ünitesi alt üniteden bağımsız bir şekilde de çalışabilmektedir. Soğutulacak ürünlerin yüzey ve merkez sıcaklıkları 2 adet sıcaklık probu (T10000, TESTO, Lenzkirch, Almanya) kullanılarak ölçülmüştür. Sıcaklık problemlerinin çalışma aralığı  $-30^{\circ}\text{C}$  ile  $240^{\circ}\text{C}$  ve hassasiyeti  $0,2^{\circ}\text{C}$ 'dir. Vakum soğutma sırasında vakum odasının 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.



**Şekil 5.5** Data Logger kontrol ünitesi ve depolama ünitesi

Deneysel çalışmalarda kullanılan mantar ve marul örnekleri yerel bir süpermarketten temin edilmiştir. Deneysel süreçte süreklilik sağlamak amacıyla aynı boyutlara sahip ürünler tercih edilmiştir. Vakum altında soğutmaya başlamadan önce gıda ürünlerinin aynı sıcaklıkta olması gerekmektedir. Gıda ürünlerinin aynı sıcaklığa getirilmesi için inkübatör (MEMMERT I P P-400, Schwabach, Almanya) kullanılmıştır. Cihaz dijital göstergeli ve elektronik termostatik kontrollüdür (Şekil 5.6). 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.

Ön denemeler yapılarak hangi basınçlarda soğutma yapılacağına karar verilmiştir. Her bir basınç değeri için 5'ten fazla tekrar yapılmıştır. Denemeler neticesinde 7, 10 ve 15 mbar basınç değerlerinin bu çalışma için uygun olduğuna karar verilmiştir. 15 mbar'dan daha yüksek basınç değerlerinin istenen soğutma etkisini yaratmadığı görülmüştür. Denemeler yapılırken amaçlanan hangi basınç değerlerinde minimum hangi sıcaklıklara erişilebileceğini de gözlemlemektir. Mantar, vakum altında (7, 10 ve 15 mbar) ve geleneksel yöntemlerle soğutulması karşılaştırılması yapılmıştır. Geleneksel soğutma için ev tipi buzdolabı (Beko D 9470 NE, Türkiye) kullanılmıştır.

Numuneler buzdolabının üst ve alt bölmelerinde 6, -16, -20°C’de soğutulmuş ve elde edilen veriler Data Logger aracılığı ile kaydedilmiştir.



**Şekil 5.6.** İnkübatör

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

Aynı sıcaklığa gelen numuneler tartım ve görüntüleme işleminin ardından proplar yerleştirilerek soğutmaya tabii tutulmuştur. Mantar ve marulda iç kısımda meydana gelen soğumayı tespit etmek için yüzeyden belli bir mesafeye kadar prob batırılmıştır ve bu noktada ölçülen sıcaklık her ürün için merkez sıcaklığı olarak ifade edilmiştir. Merkez sıcaklığı için prob mantarda yüzeyden 1 cm, marulda ise damarlı yapıda 0,2 cm derine batırılmıştır. Yüzey sıcaklığının ölçümü için prob yüzeye (yaklaşık olarak 0,05 cm) batırılmıştır. Numunelerin merkez ve yüzey sıcaklıkları ile ortam sıcaklığı ve nem oranı her 10 saniyede bir ölçülmüştür. Ağırlıklar soğutma öncesi ve sonrasında 0,01 g hassasiyet ile ölçülmüştür. Böylece kütle kaybı da belirlenmiştir. Kütle kaybının hesaplanmasında aşağıdaki formülasyon kullanılmıştır:

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

$\Delta m$ : Kütle Kaybı (%)

$m_1$ : Soğutma öncesi ürün kütlesi (kg)

$m_2$ : Soğutma sonrası ürün kütlesi (kg)



Ortam sıcaklığına getirilen numunelerin öncelikle termal kamera ile sıcaklık dağılımını gösteren resimleri çekilmiş ve numunelerin tartımı gerçekleştirilmiştir. 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 kullanılmıştır. Vakum odası içersine bağlı nemi ve ortam sıcaklığını ölçen prob konulmuştur. Data logger’da ölçüm aralıkları her bir deney için ayarlanarak cihaz ölçüme hazır hale getirilmiştir. Vakum odası kapatılarak vakum pompaları çalıştırılmıştır. Denemeler başlamadan önce sirkülasyonlu su banyosu çalıştırılarak sıvı akışkanın istenen sıcaklığa gelmesi (-20°C) ve eşanjörün sıcaklığının da bu değere ulaşması sağlanmıştır. Deneme süresince sirkülasyonlu su banyosu çalışır durumda tutulmuştur.

Göstergeli sıcaklık probundan numunenin merkezinde istenen sıcaklığa ulaşıldığında vakum odası emme hattındaki vana kapatılarak vakum işlemi sonlandırılmıştır. Numune vakum odası dışına alınarak termal kamera ile görüntüsü alınmış ve tartımı gerçekleştirilmiştir.

## 6. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde elde edilen deneysel sonuçlar verilmiş; sonuçlar değerlendirilmiş ve tartışılmıştır. Vakum soğutma sistemi mantar ve marul için paralel iki pompa kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Mantar ve marul geleneksel soğutma sistemiyle (buzdolabı) de soğutulmuş ve sonuçlar vakum soğutma ile karşılaştırılmıştır.

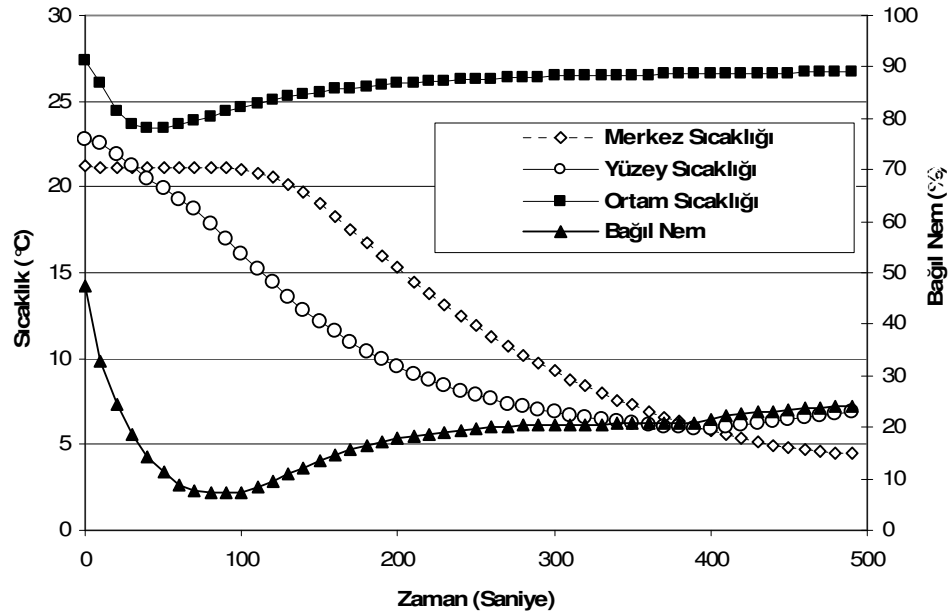
### 6.1. Mantarın Vakum Altında Soğutulması

Mantarın vakum altında soğutulmasına ilişkin 30'un üzerinde deney gerçekleştirilmiştir. Aşağıda vakum değeri istenilen basınca geldikten sonra 7 mbar, 10 mbar ve 15 mbar basınçları için, pompanın açık tutulması ve kapalı tutulmasına ilişkin veriler sunulmuştur. Burada amaç, sabit basınçta sızdırmaz bir ortamda üründeki sıcaklık değişiminin incelenmesidir. Her iki durumda da basınç sabit olmasına rağmen, pompanın açık tutulması durumunda ürün içerisinden buharlaşan su, pompa ile çekilerek uzaklaştırılmış, kapalı olması durumunda ise su buharı ortamda kalmıştır. Bazı denemelerde mantarın merkez sıcaklığının ölçülmesinde zorluklarla karşılaşmıştır. Mantarın iç kısmı gözenekli bir yapı olduğundan, prob ile mantar arasında boşluk oluşmuş ve bu nedenle iç kısımdaki sıcaklık değerlerinde sapmalar gözlenmiştir.

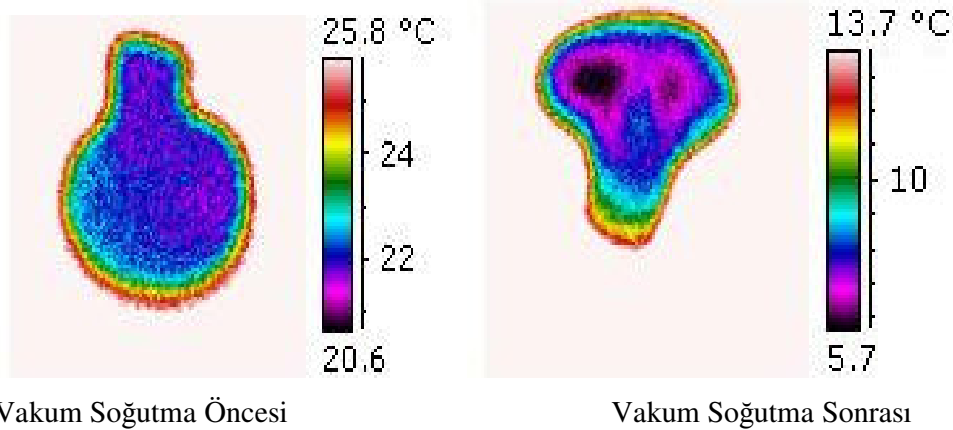
#### 6.1.1. 7 mbar vakum basıncında mantarın soğutulması

İlk denemede vakum odası basıncı 7 mbar'a getirilmiş ve vakum pompası kapatılmıştır. Böylece sabit vakum ortamında mantarların yüzey ve merkez sıcaklığı ile ortam sıcaklığı ve bağıl nemindeki değişimler incelenmiştir. Şekil 6.1'de görüldüğü gibi, mantarların merkez ve yüzey sıcaklığı başlangıçta hızla düşmüştür. 390 saniye sonra merkez ve yüzey sıcaklıkları aynı sıcaklığa (6°C) ulaşmıştır. Bu zamandan sonra mantarların merkez sıcaklığı düşerken yüzey sıcaklığı yükselmeye başlamıştır. Yüzeydeki sıcaklığın yükselmesinin nedeni şu şekilde açıklanabilir: Vakum sabit bir değerde tutulduğunda ve pompanın çalışmaması durumunda, mantardan su buharlaşması devam etmektedir. Bu esnada vakum odası içerisindeki bağıl nem de yükselmektedir. Ortamın nem oranı yükseldiğinde mantarın yüzeyinden gerçekleşen buharlaşma yavaşlamaktadır. Bu nedenle yüzeydeki sıcaklık düşüş hızı yavaşlamıştır. Vakum odasındaki ortam sıcaklığı 20°C değerindedir. Yüzeyden

buharlaşıma yavaşlayınca çevreden mantara ısı transferi gerçekleşmektedir. Bu nedenle yüzeydeki sıcaklık çok az artarken mantarların merkez sıcaklığı düşmeye devam etmektedir. Merkezdeki sıcaklık yaklaşık olarak 5°C'ye düştüğünde deneme durdurulmuştur. Mantar sıcaklığının 20°C'den 5°C'ye gelmesi yaklaşık 500 saniye (yaklaşık 8 dakika) sürmüştür. Pompanın kapatılarak sabit vakum ortamında gıdaların soğutulması ile ilgili literatürde bir çalışma yapılmamıştır. Mantarın merkez sıcaklığı başlangıç sıcaklığı olan 20°C'den 4.46°C'ye gelirken kütle kaybı %3.4 olarak gerçekleşmiştir. Denemeye ait termal kamera resimleri Şekil 6.2'de verilmiştir.



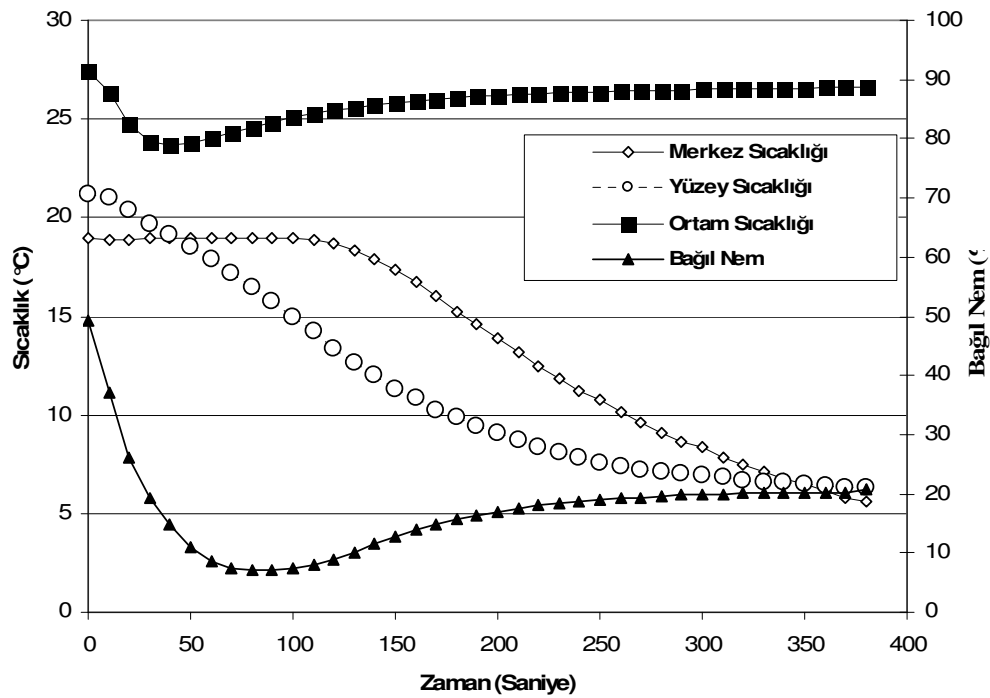
**Şekil 6.1.** 7 mbar sabit basınç altında (vakum pompası kapalı durumda) mantarın yüzey ve merkez sıcaklığı ile ortam sıcaklık ve bağıl nemindeki değişim.



**Şekil 6.2.** 7 mbar sabit basınç altında (vakum pompası kapalı durumda) mantarın vakum soğutma öncesi ve sonrasında sıcaklık profili

Çalışmanın devamında ise 7 mbar'lık bir basınç kullanılmış fakat önceki

çalışmadan farklı olarak 7 mbar basınçta pompa çalışır durumda tutulmuştur. Böylece mantardan buharlaşan su buharı vakum pompası ile ortamdan uzaklaştırılmıştır. Kütle kaybı %3,3'dür ve bir önceki çalışmayla yaklaşık olarak aynıdır. Vakum pompasının sürekli açık tutulması durumundaki mantarların yüzey sıcaklığı, merkez sıcaklığı ile ortam sıcaklığı ve bağıl nemindeki değişimler Şekil 6.3'te gösterilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi pompa çalışır durumda iken soğuma daha kısa bir zamanda gerçekleşmiştir (380 saniye, yaklaşık 6 dakika). Yüzey sıcaklığında deneme esnasında herhangi bir artış gerçekleşmemiştir. Denemeye ait termal kamera resimleri Şekil 6.4'de verilmiştir.

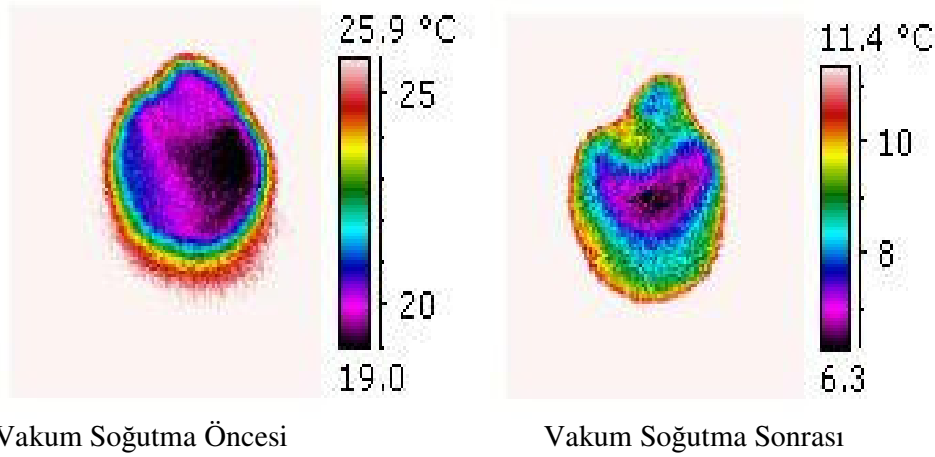


**Şekil 6.3.** 7 mbar sabit basınç altında (vakum pompası açık durumda) mantarın yüzey ve merkez sıcaklığı ile ortam sıcaklık ve bağıl nemindeki değişim.

### 6.1.2. 10 mbar vakum basıncında mantarın soğutulması

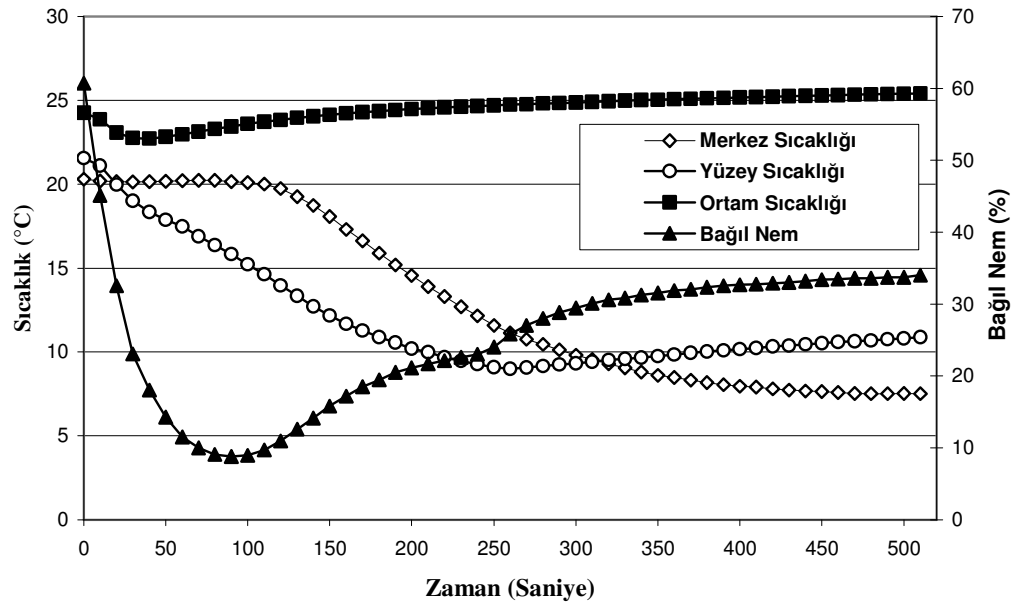
Bu denemenin ilk kısmında vakum odası basıncı 10 mbar'a getirilmiş ve daha sonra vakum pompası bu basınçta kapatılmıştır; mantarların yüzey sıcaklığı, merkez sıcaklığı ile ortam sıcaklığı ve bağıl nemdeki değişimler incelenmiştir. Şekil 6.5'te görüldüğü gibi, mantar merkez ve yüzey sıcaklığı başlangıçta yine hızlı düşmüştür ve 330 saniyenin sonunda eşit değere ulaşmıştır. 7 mbar basınçta pompa kapalı durumda gerçekleştirilen denemede olduğu gibi 330 saniyeden sonra mantarın yüzey sıcaklığı

artmıştır. 10 mbar vakum basıncı uygulandığında mantarların merkez sıcaklığı ticari depolama sıcaklığı olan 5°C değerine getirilememiştir. Mantarların merkez sıcaklığı en düşük 7,5°C sıcaklığa ulaşırken, yüzey sıcaklığı 9°C değerini aldıktan sonra yükselmiştir. Mantarların merkez sıcaklığının 7,5°C'ye gelmesi 530 saniye (8,8 dakika) almıştır. 10 mbar sabit basınç altında (vakum pompası kapalı durumda) gerçekleşen soğutmada kütle kaybı % 2,6'dır. 10 mbar basınçta pompa kapalı durumda gerçekleştirilen denemeye ait mantarın vakum soğutma öncesi ve sonrasında sıcaklık profili Şekil 6.6'da verilmiştir.

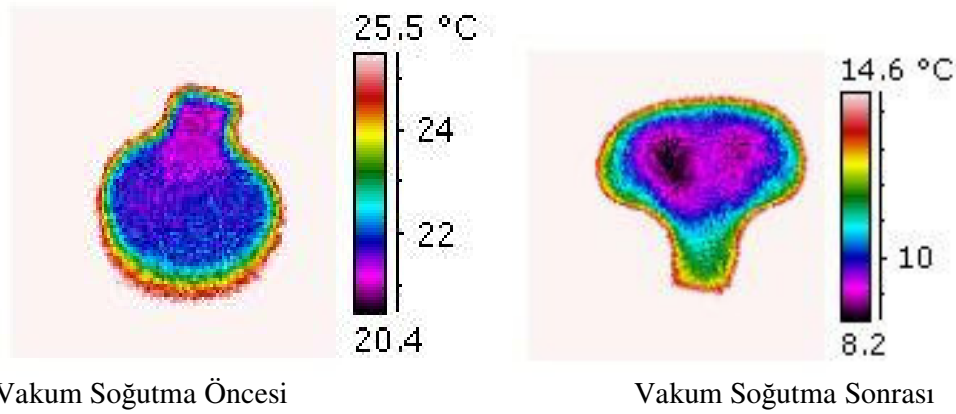


**Şekil 6.4.** 7 mbar sabit basınç altında (vakum pompası açık durumda) mantarın vakum soğutma öncesi ve sonrasında sıcaklık profili

10 mbar basınçta yürütülen denemelerin ikinci kısmında pompa çalışır durumda tutulmuştur. Böylece mantardan buharlaşan su vakum pompası ile vakum odasından uzaklaştırılmıştır. Bu denemede 10 mbar vakum basıncında mantarların merkez sıcaklığı 5°C'ye getirebilmek için gerekli zaman 550 saniye (9,5 dakika) olmuştur. Şekil 6.7'de 10 mbar basınç altında vakum pompası çalışır durumda mantarların merkez ve yüzey sıcaklığı ile ortam sıcaklığı ve bağıl neminin zamana bağlı olarak değişimi verilmektedir. 10 mbar basınçta pompa açık durumda gerçekleştirilen denemeye ait mantarın vakum soğutma öncesi ve sonrasında sıcaklık profili Şekil 6.8'da verilmiştir. Bu deneme için kütle kaybı %3,7 olarak bulunmuştur.



**Şekil 6.5.** 10 mbar sabit basınç altında (vakum pompası kapalı durumda) mantarın yüzey ve merkez sıcaklığı ile ortam sıcaklık ve bağıl nemindeki değişim.

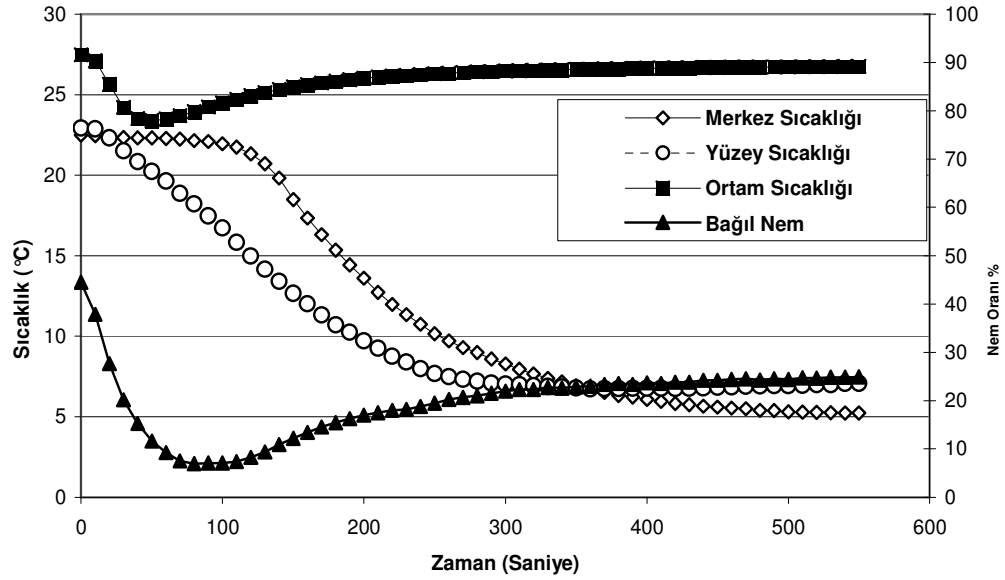


**Şekil 6.6.** 10 mbar sabit basınç altında (vakum pompası kapalı durumda) mantarın vakum soğutma öncesi ve sonrasında sıcaklık profili

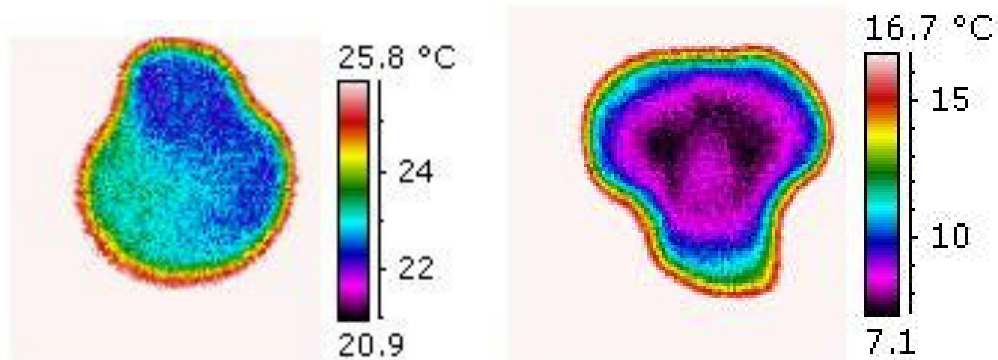
### 6.1.3. 15 mbar vakum basıncında mantarın soğutulması

Çalışmanın bu kısmında vakum odasının basıncı 15 mbar'a geldikten sonra pompa kapatılmış ve mantarın soğutulması gerçekleştirilmiştir. Şekil 6.9'de 15 mbar basınç altında mantarların merkez ve yüzey sıcaklığı ile ortam sıcaklığı ve bağıl neminin zamana bağlı değişimi verilmiştir. 15 mbar basınçta pompa kapalı durumdayken mantarların yüzey ve merkez sıcaklıklarının sırası ile 12,4 °C ve 13,5

$^{\circ}\text{C}$  olarak gerçekleşmiş ve bu sıcaklığın altına düşmemiştir. Mantar %2,8 oranında kütle kaybına uğramıştır. Şekil 6.10'da 15 mbar sabit basınç altında (vakum pompası kapalı durumda) mantarın vakum soğutma öncesi ve sonrasında sıcaklık profili verilmiştir.



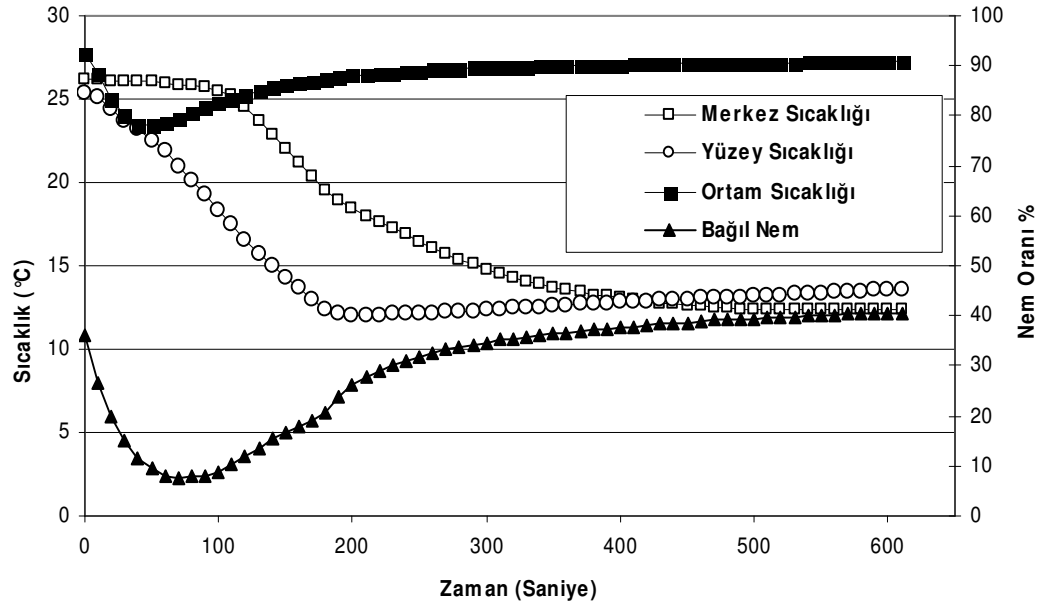
**Şekil 6.7.** 10 mbar sabit basınç altında (vakum pompası açık durumda) mantarın yüzey ve merkez sıcaklığı ile ortam sıcaklık ve bağıl nemindeki değişim.



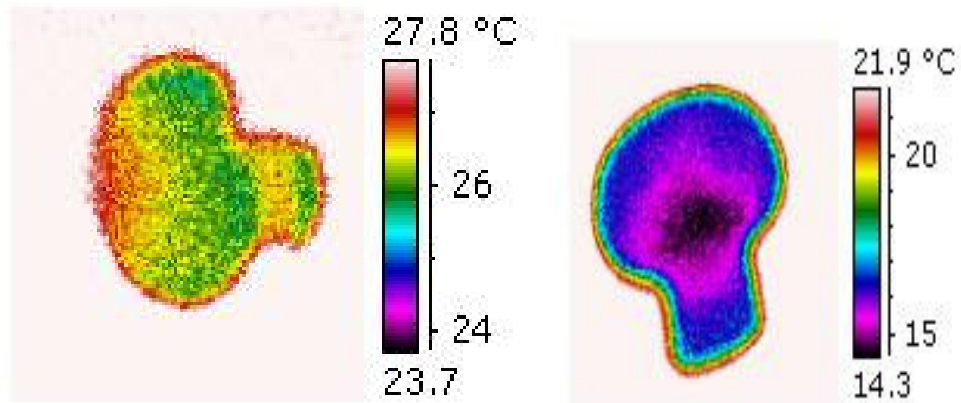
Vakum Soğutma Öncesi

Vakum Soğutma Sonrası

**Şekil 6.8.** 10 mbar sabit basınç altında (vakum pompası açık durumda) mantarın vakum soğutma öncesi ve sonrasında sıcaklık profili



**Şekil 6.9.** 15 mbar sabit basınç altında (vakum pompası kapalı durumda) mantarın yüzey ve merkez sıcaklığı ile ortam sıcaklık ve bağıl nemindeki değişim.



Vakum Soğutma Öncesi

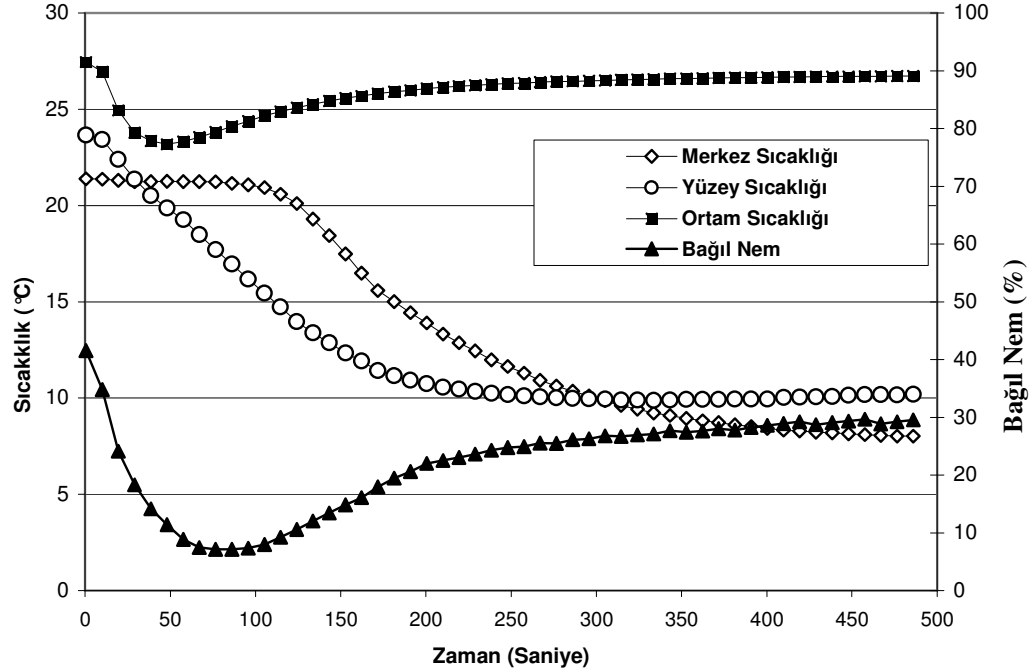
Vakum Soğutma Sonrası

**Şekil 6.10.** 15 mbar sabit basınç altında (vakum pompası kapalı durumda) mantarın vakum soğutma öncesi ve sonrasında sıcaklık profili

15 mbar'da gerçekleşen denemelerin ikinci kısmı vakum pompası çalışır durumda yapılmıştır. Şekil 6.11'da 15 mbar basınç altında mantarların merkez ve yüzey sıcaklığı ile ortam sıcaklığı ve bağıl neminin zamana bağlı değişimi verilmiştir. 15 mbar basınçta pompa çalışır durumdayken mantarların yüzey ve merkez sıcaklıkları sırasıyla 10,2°C ve 8°C olarak gerçekleşmiştir. Bu soğutma işlemi mantarlarda %2,8



oranında kütle kaybına neden olmuştur. Şekil 6.12’de 15 mbar sabit basınç altında (vakum pompası açık durumda) mantarın vakum soğutma öncesi ve sonrasında sıcaklık profili verilmiştir.

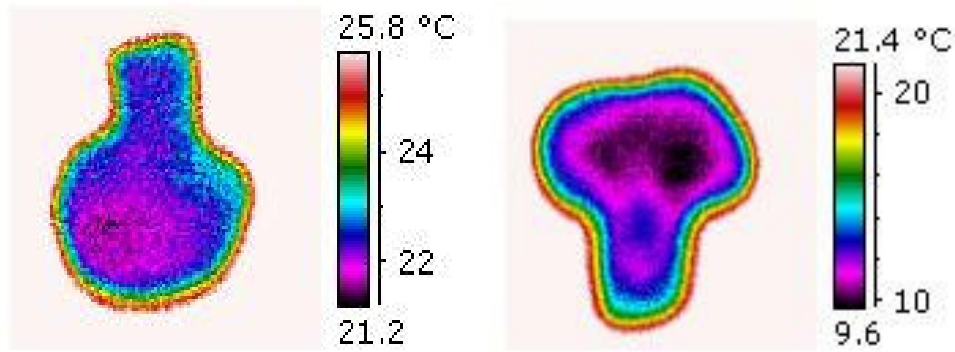


**Şekil 6.11.** 15 mbar sabit basınç altında (vakum pompası açık durumda) mantarın yüzey ve merkez sıcaklığı ile ortam sıcaklık ve bağıl nemindeki değişim.

Mantar için 7 mbar, 10 mbar ve 15 mbar basınçlar altında, vakum pompasının açık ve kapalı olması durumlarında soğutulması halinde yüzey ve merkez sıcaklıkları ile soğutma süresi ve kütle kaybı toplu bir halde Tablo 6.1 de verilmiştir. Tablodan da görüldüğü gibi, pompanın kapalı olması durumundaki soğutma süresi açık olması durumundakine göre daha fazla zaman almaktadır. Aynı zamanda yapılan deneylerden görülmüştür ki, yüksek basınçlarda (10 mbar ve 15 mbar için), pompanın kapalı olması durumunda sıcaklığı istenilen değere düşürmek mümkün olamamaktadır. Örneğin pompa açıkken sıcaklık 5,2°C'ye düşürülebilirken, pompanın kapalı olması durumunda sıcaklık 7,5°C'nin altına inememektedir. Bu nedenle yüksek basınç durumlarında çalışılması durumunda sıcaklığı düşürebilmek için pompanın açık olması gereklidir.

Tablo 6.1 den görüldüğü gibi kütle kaybı % 2,6 ile % 3,7 arasında değişmektedir.

Mantar için yüzde kütle kaybında sıcaklık değişimi 7 mbar, 10 mbar ve 15 mbar basınçlar için sırası ile 4,8°C, 5,4°C ve 5,7°C olarak hesaplanmaktadır. McDonald ve Sun (2000) mantar ve marul için yüzde kütle kaybı için sıcaklık değişiminin 5,5°C ile 6°C olduğunu belirtmişlerdir. Bu sonuçlar ile elde edilen deneysel sonuçların uyum içinde olduğu görülebilir.



Vakum Soğutma Öncesi

Vakum Soğutma Sonrası

**Şekil 6.12.** 15 mbar sabit basınç altında (vakum pompası açık durumda) mantarın vakum soğutma öncesi ve sonrasında sıcaklık profili

**Tablo 6.1.** Mantarın farklı vakum basınçları altında soğutulması durumunda merkez ve yüzeyindeki sıcaklık değişimleri, zaman ve kütle kayıpları

ÇALIŞMA KOŞULU		ULAŞILAN EN DÜŞÜK SICAKLIK (°C)		ZAMAN (Saniye)	KÜTLE KAYBI (%)
Basınç	Vakum Pompası	Yüzey	Merkez		
7 mbar	Kapalı	5,9	4,5	490	3,4
	Açık	6,3	5,6	380	3,3
10 mbar	Kapalı	10,9	7,5	510	2,6
	Açık	7,0	5,2	550	3,7
15 mbar	Kapalı	13,6	12,4	610	2,8
	Açık	10,2	8,0	486	2,8

## 6.2. Mantarların Geleneksel Yöntemle Soğutulması

Mantarların klasik yöntemlerle soğutulması buzdolabında (6°C, -16°C ve -20°C sıcaklıkta) gerçekleştirilmiştir. Uygulamada çoğunlukla bu sıcaklıkların kullanılması,

denemelerin bu sıcaklıklarda yapılmasının temel nedenidir.  $-16^{\circ}\text{C}$  ve  $-20^{\circ}\text{C}$  sıcaklıklarda yapılan denemelerde, yüzey sıcaklığı  $0^{\circ}\text{C}$ 'ye geldiğinde mantar yüzeyinde donma başladığı için denemelerde işlem durdurulmuştur. Denemelerde başlangıçta merkez ve yüzey sıcaklıkları arasında farklılıklar gözlenmiştir. Bunun nedeni buzdolabı içersine numuneler konulduktan sonra prob takılıncaya kadar geçen süre içersinde yüzeyde soğumanın gerçekleşmesidir.

### **6.2.1 Mantarların $6^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkta soğutulması**

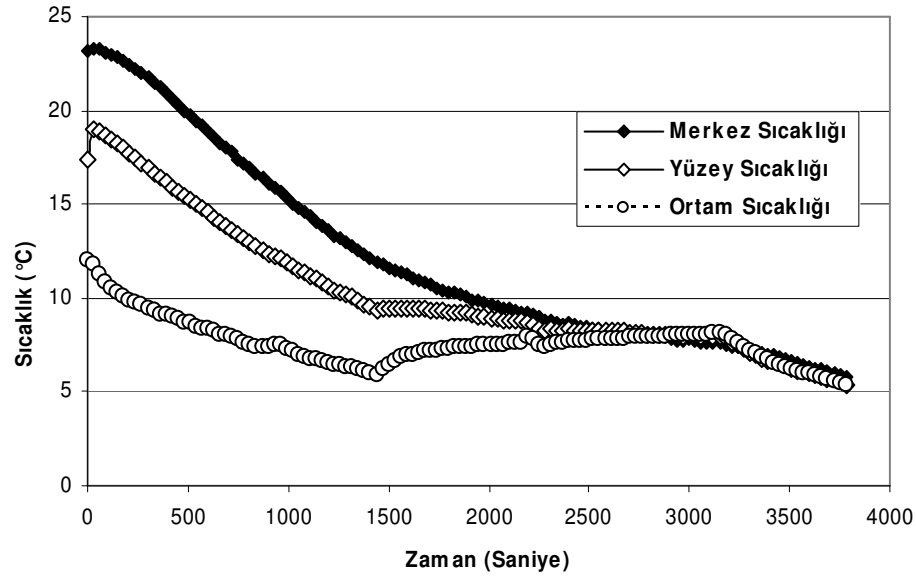
Klasik soğutma öncesi ve sonrasında mantarların ağırlıkları ölçülerek kütle kaybı belirlenmiştir. Şaşırtıcı bir şekilde klasik soğutma altında da mantarda vakum soğutmadaki oranlara yakın (bazı durumlar için daha fazla) bir kütle kaybı meydana gelmiştir. Bu deneme için kütle kaybı %3,79 olarak bulunurken vakum soğutmada kütle kaybı %2,5-3,5 arasında değişmiştir.  $6^{\circ}\text{C}$  sıcaklıkta, klasik yöntemlerle soğutulan mantarların zamana bağlı olarak farklı noktalardaki sıcaklık değişimi Şekil 6.13'de verilmiştir. Mantarın  $6^{\circ}\text{C}$ 'ye soğuması için geçen süre 3780 saniye (63 dakika) olmuştur. Vakum soğutmada ise bu süre vakum basıncına ve vakum pompasının çalışma durumuna bağlı olmakla birlikte 6 ila 10 dakika olmaktadır.

### **6.2.2 Mantarların $-16^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkta soğutulması**

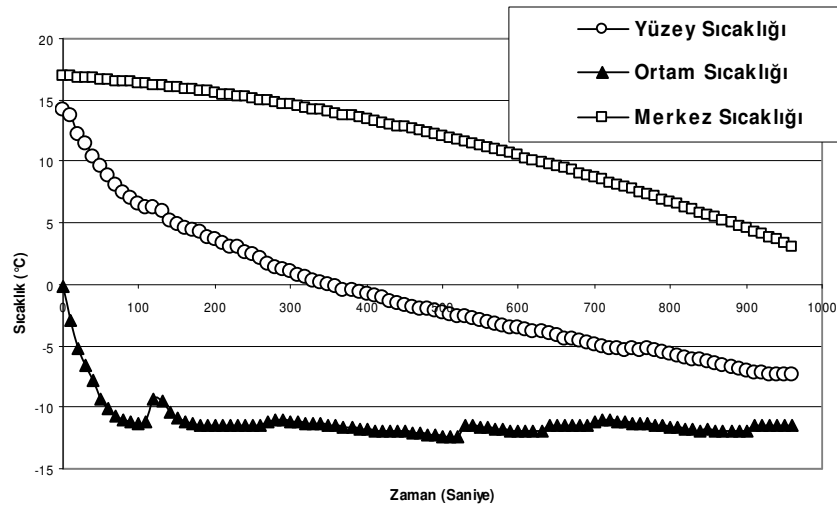
$-16^{\circ}\text{C}$  sıcaklıkta mantarın yüzeyinde hızlı bir soğuma gerçekleşirken, merkezdeki sıcaklık değişimi yavaş olmaktadır (Şekil 6.14). Mantarın merkez sıcaklığı 870 saniyede (14 dakika) depolama sıcaklığı olan  $5^{\circ}\text{C}$ 'ye ulaşmaktadır. Oysa yüzey sıcaklığı 310. saniyede  $0^{\circ}\text{C}$ 'nin altına düşerek yüzeyde donma gerçekleşmektedir. Bu, mantarlarda istenmeyen bir özelliktir ve ürünün hem raf ömrünü kısaltmakta hem de kalitesini bozmaktadır. Bu denemede kütle kaybı %0,65 olarak bulunmuştur. Kütle kaybının az olması kısa sürede soğutma ile ilgilidir ancak bu hızlı soğuma üründe olumsuzluklara neden olmaktadır.

### **6.2.1 Mantarların $-20^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkta soğutulması**

$-20^{\circ}\text{C}$ 'de mantarların soğutulmasına ilişkin sonuçlar Şekil 6.15'te verilmiştir.  $-16^{\circ}\text{C}$ 'de soğutma verileri ile paralellik göstermektedir, fakat soğuma daha kısa sürede gerçekleşmiştir. Bu denemede kütle kaybı % 0,76 olarak bulunmuştur.



**Şekil 6.13.** Buzdolabında 6°C sıcaklık altında zamana bağlı olarak mantarların yüzey ve merkez sıcaklığı ile ortam sıcaklığındaki değişim.

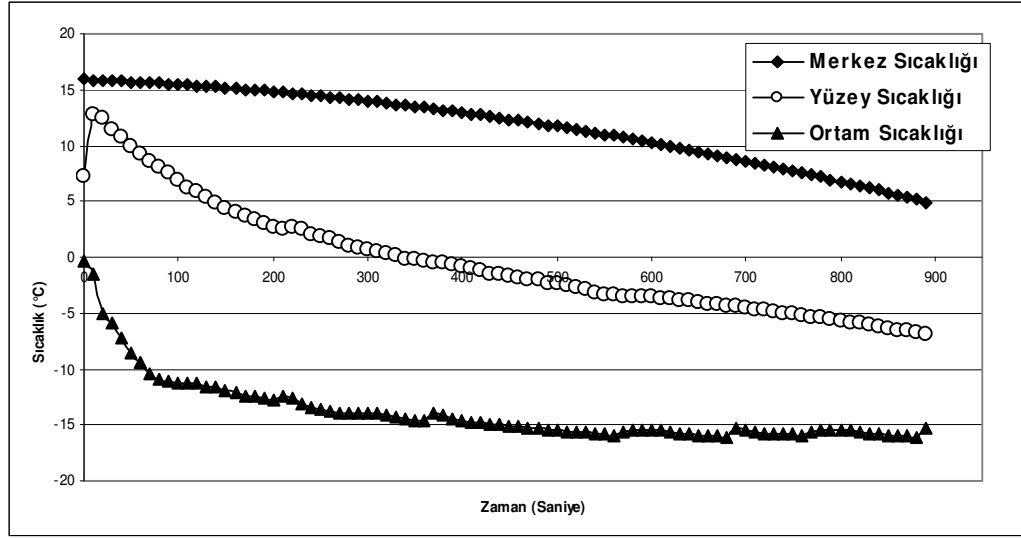


**Şekil 6.14.** Buzdolabının derin dondurucusunda -16 °C sıcaklık altında mantarın yüzey ve merkez sıcaklığı ile ortam sıcaklığındaki değişim.

### 6.3. Marulun Vakum Altında Soğutulması

Marulun vakum altında soğutulmasına ilişkin denemeler de mantarın soğutulmasında olduğu gibi 7 mbar, 10 mbar ve 15 mbar basınçlar altında yürütülmüştür. Mantarların vakum altında soğutulması sırasında vakum pompası kapalı iken soğutmada istenen verim elde edilemediği için çalışmanın bu kısmında

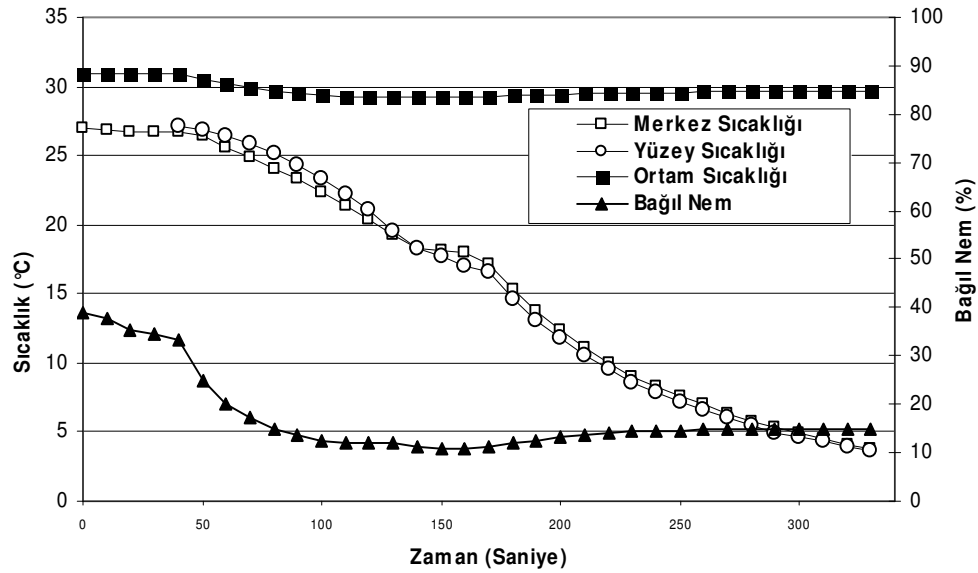
vakum pompası sürekli açık tutulmuştur.



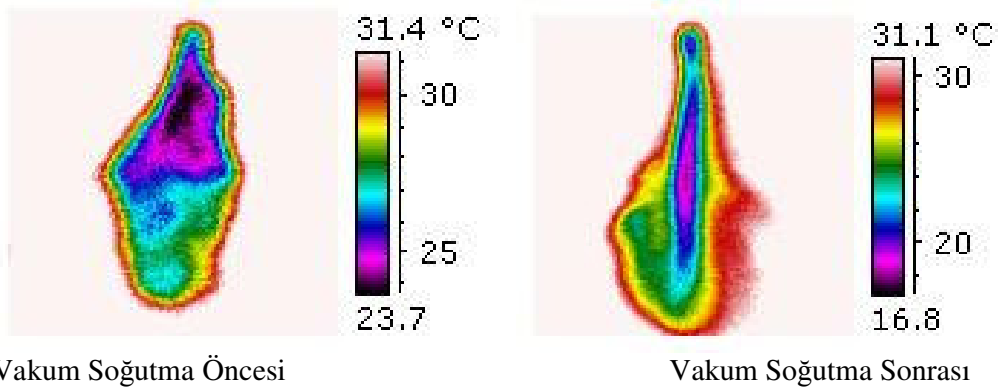
**Şekil 6.15.** Buzdolabının derin dondurucusunda -20 °C sıcaklık altında mantarın yüzey ve merkez sıcaklığı ile ortam sıcaklığındaki değişim.

### 6.3.1 Marulların 7 mbar basınç altında soğutulması

Marulun vakum altında soğutulmasına ilişkin denemeler sırasında pompa çalışır durumda tutulmuştur ve böylece maruldan buharlaşan su buharı vakum pompası ile ortamdan uzaklaştırılmıştır. 7 mbar vakum altında marulların soğutulması sırasında kütle kaybı mantardaki ile karşılaştırıldığında %9,6 gibi bir değerle oldukça yüksek bulunmuştur. Vakum pompasının sürekli açık tutulması durumunda soğuma 330 saniye, yaklaşık 5.5 dakika gibi kısa bir zamanda gerçekleşmiştir (Şekil 6.16). Vakum soğutma öncesi ve sonrası termal kamera ile alınmış görüntüler Şekil 5.17’de verilmiştir. Denemeler esnasında marulun yüzeyindeki ve damar yapısındaki sıcaklıklar vakum odasındaki cam bölmeden görülebilir bir dijital termometre ile izlenmiştir. Vakum altında sıcaklıklar Şekil 5.16’de de görüldüğü gibi 5°C’nin altına inmiş, fakat vakum sonlandırıldığında vakum odasına giren sıcak hava ve vakum sonrasında atmosferik koşullardan dolayı termal kamera ile görüntü alıncaya kadar geçen süre içerisinde sıcaklık yükselmiştir.



**Şekil 6.16.** 7 mbar sabit basınç altında, marul yaprağının yüzey ve merkez sıcaklığı ile ortam sıcaklık ve bağıl nemindeki değişim.

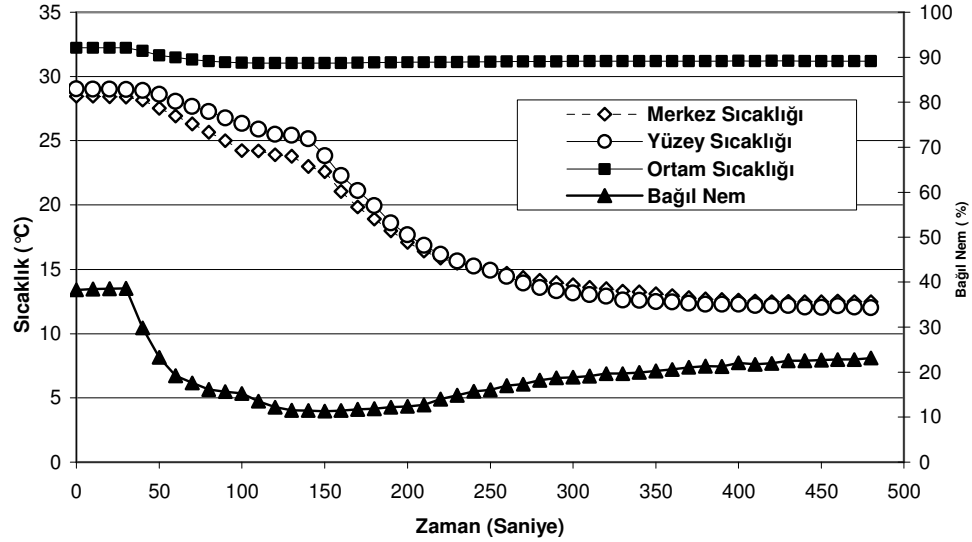


**Şekil 6.17.** 7 mbar sabit basınç altında marul yaprağının vakum soğutma öncesi ve sonrasında sıcaklık profili

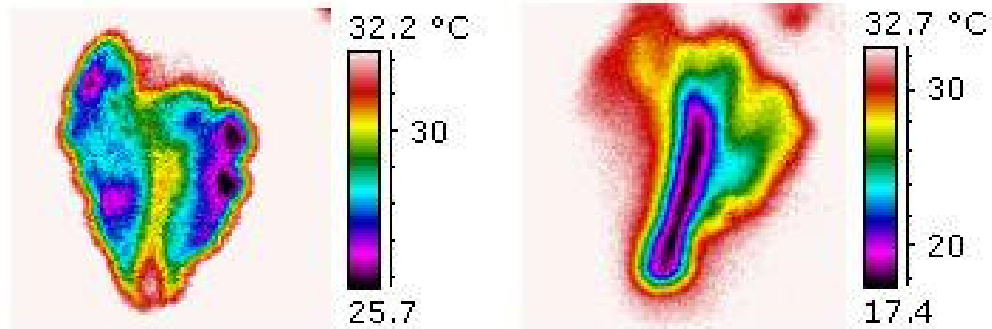
### 6.3.2 Marulların 10 mbar basınç altında soğutulması

Çalışmanın bu kısmında vakum odasının basıncı 10 mbar'a getirilmiş ve vakum pompası çalışır durumdayken ölçümler alınmıştır. 10 mbar basınç altında marulun yüzey ve merkez sıcaklığı ile ortam sıcaklığı ve bağıl nemindeki değişimler incelenmiştir. Marulların merkez ve yüzey sıcaklığı başlangıçta yine hızlı düşmüştür ve 350 saniyenin sonunda sabit değere ulaşmıştır (Şekil 6.18). 10 mbar basınç altında marul sıcaklığı, sebzelerin depolama sıcaklığı olan 5°C değerine getirilememiştir.

Merkez ve yüzey sıcaklığı en düşük 12°C sıcaklığa ulaşabilmiştir. Marullardaki kütle kaybı %5,7 olarak tespit edilmiştir. Marulun vakum altında soğutma öncesi ve sonrası termal kamera görüntüleri Şekil 6.19’da verilmiştir.



**Şekil 6.18.** 10 mbar sabit basınç altında, marul yaprağının yüzey ve merkez sıcaklığı ile ortam sıcaklık ve bağıl nemindeki değişim



Vakum Soğutma Öncesi

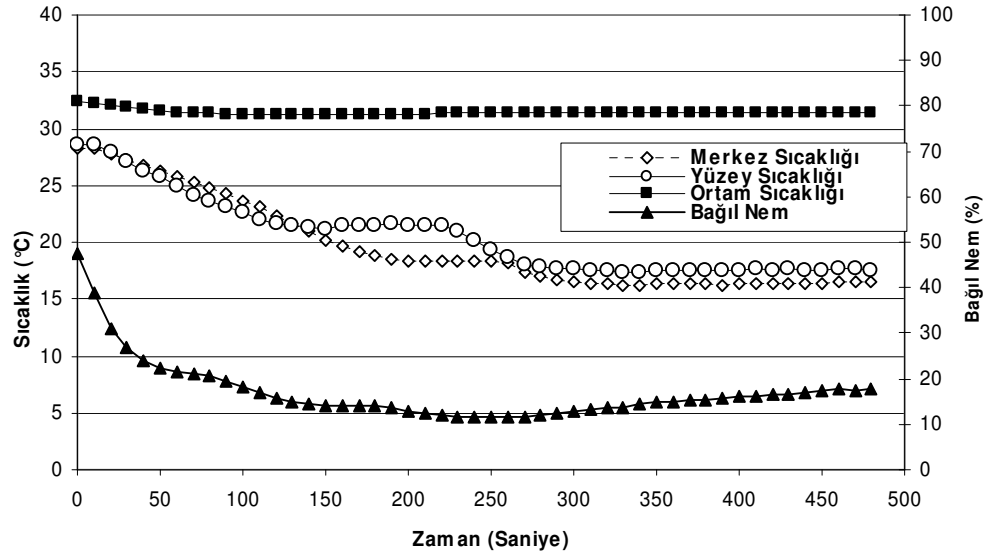
Vakum Soğutma Sonrası

**Şekil 6.19.** 10 mbar sabit basınç altında marul yaprağının vakum soğutma öncesi ve sonrasında sıcaklık profili

### 6.3.3 Marulların 15 mbar basınç altında soğutulması

Çalışmanın bu kısmında 15 mbar basınçta pompa çalışır durumda iken ölçümler alınmıştır. Bu denemeye ait kütle kaybı %4,9 olarak bulunmuştur, bu değer 7 ve 10

mbar’da gerçekleşen denemelere göre daha düşüktür. Şekil 6.20’de 15 mbar basınç altında marulların merkez ve yüzey sıcaklığı ile ortam sıcaklığı ve bağıl neminin zamanla değişimi verilmiştir. 15 mbar basınçta pompa açık durumdayken yüzey ve merkez sıcaklıkları sırası ile 12,4°C ve 13,5°C olarak gerçekleşmiş ve soğutma süresince bu sıcaklığın altına düşmemiştir. Marulun vakum altında soğutma öncesi ve sonrası termal kamera görüntüleri Şekil 6.21’de verilmiştir.



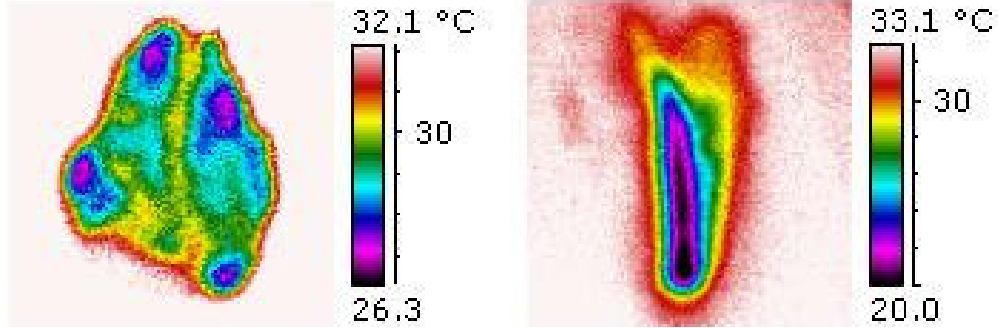
**Şekil 6.20.** 15 mbar sabit basınç altında, marul yaprağının yüzey ve merkez sıcaklığı ile ortam sıcaklık ve bağıl nemindeki değişim

Marulun 7 mbar, 10 mbar ve 15 mbar basınçlar altında vakum altında soğutulması durumu için yüzey ve merkezindeki sıcaklık değişimi ile soğuma süresi ve kütle kaybı Tablo 6.2 de verilmiştir. Tablodan da görüldüğü gibi, marul için uygulanan vakum basıncı yükseldikçe daha düşük sıcaklıklara inilebilmektedir. 10 mbar için yaklaşık 12°C'nin ve 15 mbar için de yaklaşık 17°C'nin altında bir sıcaklığa marulu düşürmek mümkün olamamaktadır. Tablodan da görüldüğü gibi, düşük basınçlarda kütle kaybı daha yüksekken, yüksek basınçlarda kütle kaybı azalmaktadır.

Tablo 6.2 den görüldüğü gibi kütle kaybı % 9,6 ile % 4,9 arasında değişmektedir. Bu durumda yüzde kütle kaybı için sıcaklık değişimi 7 mbar, 10 mbar ve 15 mbar basınçlar için sırası ile 2,39°C, 2,98°C ve 2,44°C olarak hesaplanmaktadır. Rennie (1999) marul için yaptığı deneysel bir çalışmada yüzde kütle kaybı için sıcaklık değişimini incelemiş ve her yüzde kütle kaybı oranı için 5°C ile 5,8°C sıcaklık



değişimi gerçekleştiğini göstermiştir. Görüldüğü gibi Rennie (1999)'in sonuçlar ile bu çalışmadaki sonuçlar arasında yaklaşık 2 kat fark oluşmaktadır. Bunun nedeni bu çalışmada yapraksı marullardaki sıcaklık değişimi incelenirken diğer çalışmada iceberg tipi marul için sıcaklık değişiminin incelenmesidir.



Vakum Soğutma Öncesi

Vakum Soğutma Sonrası

**Şekil 6.21.** 15 mbar sabit basınç altında marul yaprağının vakum soğutma öncesi ve sonrasında sıcaklık profili

**Tablo 6.2.** Marulun farklı vakum basınçları altında soğutulması durumunda merkez ve yüzeyindeki sıcaklık değişimleri, zaman ve kütle kayıpları

ÇALIŞMA KOŞULU	ULAŞILAN EN DÜŞÜK SICAKLIK (°C)		ZAMAN (Saniye)	KÜTLE KAYBI (%)
	Yüzey	Merkez		
Basınç				
7 mbar	3,7	3,6	330	9,6
10 mbar	12,5	12,0	480	5,7
15 mbar	17,6	16,5	480	4,9

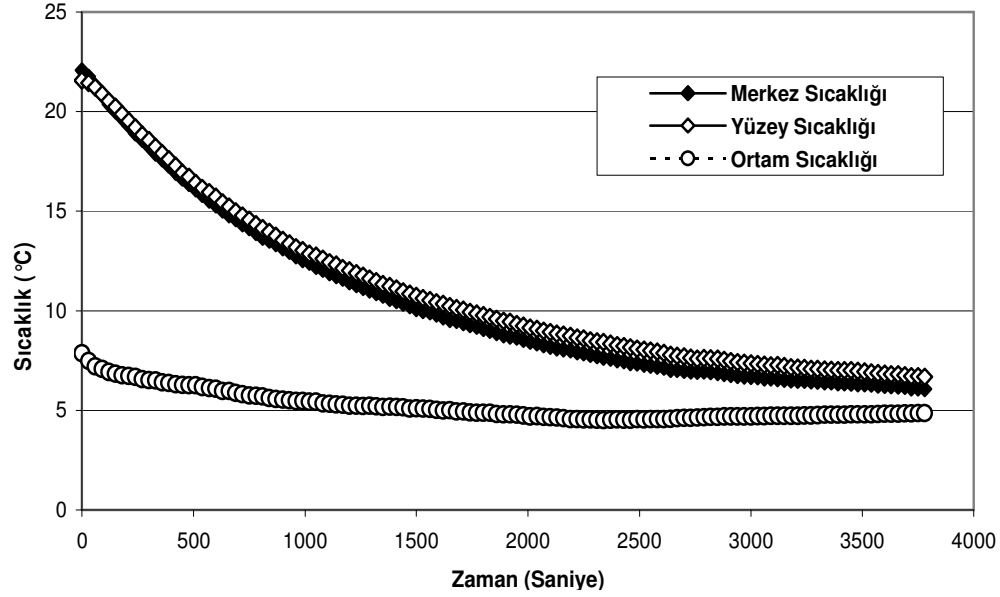
#### 6.4. Marulun Geleneksel Yöntemle Soğutulması

Marulun geleneksel olarak soğutulması denemeleri mantarinkine benzer olarak buzdolabında (6°C, -16°C ve -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.

##### 6.4.1. Marulların 6°C sıcaklıkta soğutulması

Marulun klasik soğutma öncesi ve sonrasında ağırlıkları ölçülmüş ve kütle kaybı

belirlenmiştir, bu na göre kütle kaybı %3,8 olarak bulunmuştur. Bu değer vakum soğutma ile kıyaslandığında daha düşüktür. 6°C sıcaklıkta, buzdolabında soğutmada marulun sıcaklık değişimi Şekil 6.22’de verilmiştir. Marulun 6°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.



**Şekil 6.22.** Buzdolabında 6°C sıcaklık altında zaman bağlı olarak marulların yüzey ve merkez sıcaklığı ile ortam sıcaklığındaki değişim.

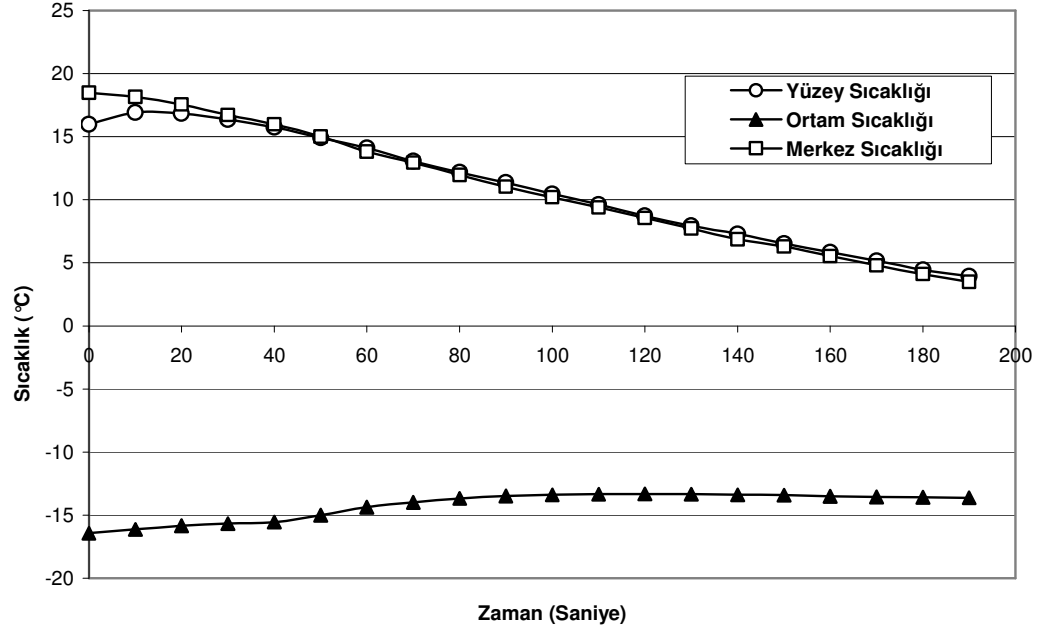
#### 6.4.1. Marulların -16°C sıcaklıkta soğutulması

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 6.23’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, ürünün hem raf ömrünü kısaltmakta hem de kalitesini bozmaktadır.

#### 6.4.3. Marulların -20°C sıcaklıkta soğutulması

Dondurucuda -20°C’de marulun soğutulmasına ilişkin deneysel sonuçlar Şekil 6.24’te verilmiştir. -16°C’de soğutma verilerinden 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,  $-16^{\circ}\text{C}$ 'de gerçekleşen soğutmada da yakın değerler elde edilmiştir.

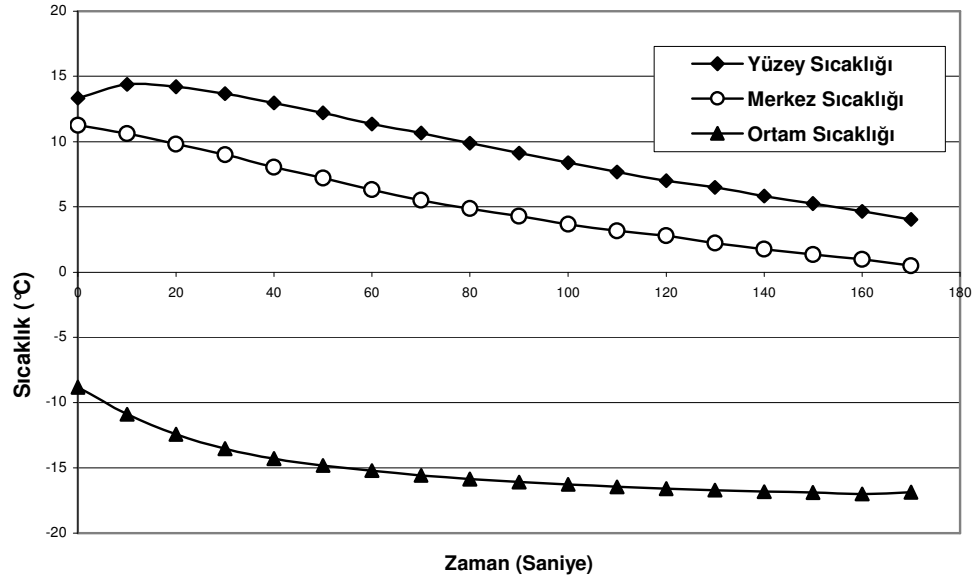


**Şekil 6.23.** Derin dondurucusunda  $-16^{\circ}\text{C}$  sıcaklık altında marulun yüzey ve merkez sıcaklığı ile ortam sıcaklığındaki değişim.

## 6.5. Tartışma

Yapılan deneyler vakum soğutmanın kompresyonlu sıkıştırımlı soğutma yöntemine göre daha hızlı bir soğutma yöntemi olduğunu göstermiştir. Vakum soğutmanın yüzey alanı/kütle oranının büyük olduğu ürünler için çok etkili bir soğutma yöntemi olduğu bilinmektedir. Mantar ve marula ilişkin yapılan denemelerde de, marulun mantarla karşılaştırıldığında daha hızlı soğuduğu görülmüştür.

Vakum soğutmaya ilişkin deneyler 7 mbar, 10 mbar ve 15 mbar basınç altında yürütülmüştür. 15 mbar ve daha büyük basınç değerlerinde üründe depolama sıcaklığı olan  $6^{\circ}\text{C}$  sıcaklığa ulaşamamıştır. 10 mbar ve altındaki basınç değerlerinde  $6^{\circ}\text{C}$  sıcaklığa ulaşılmıştır. Yapılan deneyler düşük basınç değerlerinde sıcaklıktaki azalmanın daha hızlı olduğunu göstermiştir.



**Şekil 6.24.** Buzdolabının derin dondurucusunda  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  sıcaklık altında marulun yüzey sıcaklığı, merkez sıcaklığı ve ortam sıcaklığındaki değişim.

Denemeler istenilen basınca gelindiğinde pompa kapatılarak veya açık olarak yürütülmüş ve sonuçta pompanın kapalı olması durumunda soğuma hızının yavaşladığı görülmüştür. Bunun nedeninin ise pompanın kapalı olması durumunda ortamdaki havanın çekilememesi nedeni ile ortamdaki nem oranının yükselmesi ve bu nedenle üründen çevreye buharlaşmanın yavaşlamasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Vakum soğutmanın dezavantajlarından birisi de, üründen meydana gelen buharlaşma nedeni ile üründe oluşan kütle kaybı olarak bilinmektedir. Oysa yapılan deneyler, buzdolabında saklama sıcaklığı olan  $6^{\circ}\text{C}$  sıcaklıktaki kütle kaybının da vakum soğutmadaki kütle kaybına yakın olduğunu göstermiştir.

Derin dondurucuda yapılan denemelerde soğumanın daha hızlı, kütle kaybının daha az olduğu görülmüştür. Fakat derin dondurucudaki soğuma sırasında ürünün yüzeyinde hızlı bir soğuma gerçekleşirken, ürünün merkezindeki sıcaklık düşüşünün daha yavaş olduğu ve bu nedenle ürünün yüzeyinde donma meydana geldiği tespit edilmiştir. Bu da ürünün bozulmasına sebep olmaktadır.

Sonuç olarak, vakum soğutma ynemi mekanik kompresyonlu soğutma (belli bir sıcaklıkta ürünün soğutulması) ile karşılaştırıldığında daha hızlı bir soğutma tekniğidir ve mantar ve marul gibi ürünlere kolaylıkla uygulanabilir.

## 7. SONUÇ

Bu çalışmada bir vakum soğutma sistemi kurulmuş, mantar ve marul gibi serbest su içeriği yüksek ve yüzey alanının ağırlığına oranı fazla olan ürünler vakum soğutma sisteminde soğutulmuştur. Karşılaştırma yapabilmek için her iki ürün de 6°C, -16°C ve -20°C de klasik soğutma yöntemi ile soğutulmuş soğutma süreleri ve ürünlerdeki sıcaklık dağılımları açısından karşılaştırılması yapılmıştır.

Yapılan deneyler sonucunda literatürle uyum içerisinde sonuçlar ile karşılaşılmıştır. Vakum soğutmada ürünlerin hem yüzey hem de merkez sıcaklıklarının üniform olarak ve hızlı bir şekilde soğuduğu görülmüştür.

Mantarın vakum soğutulmasında yüzey ve merkez sıcaklıkları arasında fark meydana gelirken marulda bu fark hemen hemen ortadan kalkmıştır. Bunun nedeni marulun çok ince yapraklı bir dokuya sahip olması ve merkez ve yüzey arasında çok büyük hacimlerin olmamasıdır.

Yapılan deneylerde marulda vakum soğutma sırasında oluşan kütle kaybının, mantardakinden daha fazla olduğu görülmüştür. Bunun nedeni marulun yüzey alanı/kütle oranının, mantarın yüzey alanı/kütle oranı ile karşılaştırıldığında daha büyük olmasından kaynaklanmaktadır.

Buzdolabında saklama sıcaklığında (6°C) soğuma süresi vakum soğutma ve derin dondurucudaki soğutma ile karşılaştırıldığında oldukça fazladır. Bu nedenle hızlı bir soğutma için tercih edilir bir yöntem değildir. Dondurucuda soğuma esnasında mantarda yüzey ve merkez sıcaklıkları arasında büyük farklılıklar oluşmaktadır. Yüzey sıcaklığı çabuk düşerken merkez sıcaklığındaki düşüş çok yavaş olmaktadır. Yüzeyde hızlı sıcaklık düşmesi sonucunda yüzeyde donmalar meydana gelmekte bu ise ürünün bozulmasına neden olmaktadır. Bu nedenle tercih edilir bir yöntem değildir.

Marul klasik soğutma yöntemi ile -16°C ve -20°C'lerde soğutulduğunda çok kısa bir zamanda soğuma gerçekleşmesine rağmen yüzeylerde donma oluşmakta ve yeniden ortam sıcaklığına geldiğinde özelliğini kaybetmekte ürün rengi koyulaşmakta

ve ürün bozulmaktadır. Bu nedenle marul çok düşük sıcaklıklarda soğutma için uygun değildir.

Yapılan deneysel çalışmalarda hem marul hem de mantar için saklama sıcaklığında soğutmada ( $6^{\circ}\text{C}$ ), vakum soğutmaya yakın hatta bazı durumlar için daha fazla kütle kaybı gerçekleşebilmektedir. Öte yandan dondurucuda soğutulduğunda kütle kaybı oldukça düşüktür, fakat yüzeyde donmalar gerçekleşirken merkez sıcaklığı istenilen sıcaklığa gelememektedir.

Vakum soğutma ve klasik soğutmanın her ikisinde de marul mantara göre çok daha kısa zamanda soğumaktadır. Öte yandan maruldaki kütle kaybı mantara göre çok daha fazladır. Marul açık olarak ortamda bırakıldığında üründe kısa zamanda kuruma meydana gelmekte bu da vakum altında soğutmayı zorlaştırmaktadır.

Mantarda vakum soğutma sonrasında gözle görünür bir değişim oluşmamaktadır. Oysa marulda su kaybı hissedilebilir ölçülerdedir. Yapılan çalışmalarda hem mantar hem de marul için saklama sıcaklığı olan  $6^{\circ}\text{C}$ 'ye erişebilmek için 10 mbar vakum basıncının altına düşmek gerektiği görülmüştür.

Düşük vakum basıncı altında yapılan çalışmalarda, sıcaklığın daha hızlı düştüğü görülmüştür. Bu nedenle vakum soğutma için en kritik noktanın vakum basıncı seviyesidir.

Marul yaprakları soğutma sonrasında ortam sıcaklığına getirildiğinde hızla çevre sıcaklığına gelmektedir. Bunun nedeni yapraksı bir ürün olmasıdır. Bu nedenle vakum ortamındaki sıcaklıklar ile termal kamerada alınan sıcaklıklar arasında fark meydana gelmektedir.

Vakum soğutma işlemi bitirildiğinde ve vakum ortamına atmosferik hava alındığında hem mantar hem de marulun yüzey sıcaklıkları yükselmektedir.

Yapılan bu yüksek lisans çalışmasında mantar ve marulun vakum soğutma yöntemi ve klasik yöntemle soğutma işlemi sırasındaki sıcaklık değişimleri ve kütle kaybı incelenmiştir. Bu çalışmanın farklı sebzelerde denenmesinde ve her bir sebze için basınç-zaman-sıcaklık dağılımlarının çıkarılmasında büyük yarar vardır. Ayrıca

et ve et ürünlerinin, döner, pane et gibi vakum soğutma ile soğutulması konusunda da çalışmaların yoğunlaştırılması uygun olabilir. Et ile ilgili çalışmalar yürütülürken mikrobiyal yüklerin soğutma hızı ile değişimlerinin de incelenmesi yararlı olacaktır. Bu ve benzeri çalışmaların kapsamlı bir şekilde çalışılması gereklidir.



## KAYNAKLAR

- Bartz, J. A. and Brecht, J. K. (2002) Postharvest Physiology and Pathology of Vegetables, **Marcel Dekker Inc.**, Newyork, ABD,744s.
- 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. and Hsueh, C.F. (2007). Multi-stage vacuum cooling process of cabbage. **Journal of Food Engineering**, 79(1): 37-46.
- Cheng, Q. and 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 Technology**, 41: 938–945.
- Cheng, Q. and Sun, D.W. (2006b) Improving The Quality Of Pork Ham By Pulsed Vacuum Cooling in Water, **Journal of Food Process Engineering**, 29: 119–133.
- Çengel, Y. A. (1998) Heat Transfer, **McGraw-Hill**, Boston, 1006s.
- Desmond, E.M., Kenny T.A., Ward, P. and Sun, D.W. (2000) Effect of rapid and conventional cooling methods on the quality of cooked ham joints, **Meat Science**, 56: 271-277.
- Desmond, E.M., Kenny, T.A. and Ward, P. (2002) The effect of injection level and cooling method on the quality of cooked ham joints, **Meat Science**, 60: 271–277.
- Dinçer, İ. (2003) Refrigeration systems and applications, **John Wiley & Sons, Ltd.**, West Sussex, İngiltere, 582s.
- He, S.Y., Feng, G.P., Yang, H.S., Wub, Y. and 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**, 33: 263–273.
- Houska, M., Landfeld, A. and Sun, D.W. (2005) Eating quality enhancement of cooked pork and beef by ripening in brine and vacuum cooling, **Journal of Food Engineering**, 68: 357–362.
- Houska, M., Sun, D.W., Landfeld, A. and Zhang, Z. (2003) Experimental study of vacuum cooling of cooked beef in soup, **Journal of Food Engineering**, 59: 105–110.
- Huber, E. and Laurindo, J. B. (2006) Determination of mass transfer coefficients during the vacuum cooling of pre-cooked meat cuts, **International Journal of Food Properties**, 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 Science Tech. Int.**

12(1): 19–25.

- Jin, T.X. (2007) Experimental investigation of the temperature variation in the vacuum chamber during vacuum cooling, **Journal of Food Engineering**, 78: 333–339.
- 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.
- Landfeld, A., Houska, M., Kyhos, K. and Jiang-Qibin, K. (2002) Mass transfer experiments on vacuum cooling of selected pre-cooked solid foods, **Journal of Food Engineering**, 52: 207–210.
- Martinez, J.A. and Artés, F. (1999) Effect of packaging treatments and vacuum-cooling on quality of winter harvested iceberg lettuce, **Food Research International**, 32: 621-627.
- Masengi, S., Sato, Y., Shindo, J. And Miki, H. (2001) Quality improvement by vacuum treatment of boiled skipjack loins for the production of dried skipjack, **Fisheries Science**, 67: 730–737.
- McDonald, K. and Sun, D.W (2000) Vacuum cooling technology for the food processing industry: a review, **Journal of Food Engineering**, 45: 55-65.
- McDonald, K. and 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., 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 Kenny, T., (2001), The effect of injection level on the quality of a rapid vacuum cooled cooked beef product, **Journal of Food Engineering**, 47: 139-147.
- Mc Donald, K., Sun, D. W. and Ling, J. G., (2002). Effect of vacuum cooling on the thermophysical properties of a cooked beef product. **Journal of Food Engineering**, 52, 195-202.
- Özkoç, N. (1985) Uygulamalı Soğutma Tekniği, **Makine Mühendisleri Odası Yayın No: 115**, Ankara, 464s.
- Öztaş, A. (1999) Et bilimi ve Teknolojisi, **Hacettepe Üniversitesi Mühendislik**

**Fakültesi Yayınları No: 19**, Ankara, 335s.

- 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/Le génie des biosystèmes au Canada**, 43:3.39-3.43.
- Sofos, J.N. (2005) Improving the safety of fresh meat, **CRC Press**, Boca Raton FL USA, 780s.
- Sun, D.W. and 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. and Wang, L. (2000) Heat transfer characteristics of cooked meats using different cooling methods, **International Journal of Refrigeration**, 23: 508-516.
- Sun, D.W. and Wang, L. (2004) Experimental investigation of performance of vacuum cooling for commercial large cooked meat joints, **Journal of Food Engineering**, 61: 527–532.
- Sun, D.W and Zheng, L. (2006) Vacuum cooling technology for the agri-food industry: Past, present and future, **Journal of Food Engineering**, 77: 203–214.
- Suslow, T. (2000) Postharvest Handling For Organic Crops Division of Agriculture and Natural Resources, Publication: 7254, University of California.
- Tao, F., Zhang, M., Hangqing, Y. and 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.
- Tambunan, A.H., Sagara, Y. and Seo, Y. (2000) Immage analysis for precise study on temperature distribution during vacuum cooling of lettuce, Technology Innovation and Sustainable Agriculture, **ICETS2000**, Session 6: 223-228.
- 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.

**ÖZGEÇMİŞ**

Adı, soyadı	: Hande MUTLU ÖZTÜRK
Ana adı	: Şenay
Baba adı	: Mustafa
Doğum yeri ve tarihi	: Ordu 1982
Lisans eğitimi ve mezuniyet tarihi	: Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü - 2001
Bildiği yabancı dil	: Fransızca, İngilizce