



T.C.

KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**LİYOFİLİZASYONUN KARADUT (*Morus nigra*)
KURUTMADAKİ POTANSİYELİNİN
KONVEKSİYONEL VE VAKUMLU KURUTMA
TEKNİKLERİYLE KIYASLANARAK
BELİRLENMESİ**

HATİCE DOBOOĞLU

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
BİYOMÜHENDİSLİK ve BİLİMLERİ ANABİLİM DALI**

KAHRAMANMARAŞ 2012

T.C.

**KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**LİYOFİLİZASYONUN KARADUT (*Morus nigra*)
KURUTMADAKİ POTANSİYELİNİN
KONVEKSİYONEL VE VAKUMLU KURUTMA
TEKNİKLERİYLE KIYASLANARAK
BELİRLENMESİ**

HATİCE DOBOOĞLU

**Bu tez,
Biyomühendislik Anabilim Dalında
YÜKSEK LİSANS
derecesi için hazırlanmıştır.**

KAHRAMANMARAŞ 2012

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü öğrencisi Hatice DOBOOĞLU tarafından hazırlanan “Liyofilizasyonun karadut (*Morus nigra*) kurutmadaki potansiyelinin konveksiyonel ve vakumlu kurutma teknikleriyle kıyaslanarak belirlenmesi” adlı bu tez, jürimiz tarafından 30 / 05 / 2012 tarihinde oy birliği / oy çokluğu ile Biyomühendislik ve Bilimleri Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Yard.Doç.Dr. İnci ÇINAR

.....

Biyomühendislik ve Bilimleri Anabilim Dalı, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi

Prof.Dr. Metin DIĞRAK

.....

Biyomühendislik ve Bilimleri Anabilim Dalı, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi

Doç.Dr. Ümit ALVER

.....

Biyomühendislik ve Bilimleri Anabilim Dalı, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi

Yukarıdaki imzaların adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. M. Hakkı ALMA

.....

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orijinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Hatice DOBOOĞU

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

**LİYOFİLİZASYONUN KARADUT (*Morus nigra*) KURUTMADAKİ
POTANSİYELİNİN KONVEKSİYONEL VE VAKUMLU KURUTMA
TEKNİKLERİYLE KIYASLANARAK BELİRLENMESİ**

(YÜKSEK LİSANS TEZİ)

HATİCE DOBOOĞLU

ÖZ

Bu çalışmada Kahramanmaraş ve yöresinde yetiştiriciliği yapılan ancak işlenmiş ürün olarak değerlendirilmesi sınırlı karadutun potansiyel bir teknik olan liyofilizasyon ile kurutulması olanakları araştırıldı. Liyofilizasyonun kurutmadaki potansiyeli konveksiyonel ve vakumlu kurutma teknikleriyle kıyaslanmasıyla sağlandı. Kurutulmuş üründe kalite faktörleri olan nem içeriği, ağırlık kaybı, su aktivitesi, antosiyanin kaybı, renk, yığın yoğunluğu, rehidrasyon kapasitesi ve SEM görüntüleme kurutma sistemlerinin kıyaslanmasında kullanıldı.

Liyofilizasyon antosiyaninleri en iyi koruyan ve en yüksek rehidrasyon kapasitesine sahip kurutma tekniği olurken en düşük yığın yoğunluğu, su aktivitesi ve nem içeriğini sağladı. Kurutulmuş örnekler arasındaki en yüksek nem, su aktivitesi ve yığın yoğunluğu konveksiyonel kurutulan örneklerde saptandı. Vakumlu kurutulan örneklerin şeklinin konveksiyonel kurutulan örneklerle göre daha iyi korunduğu ve rehidrasyon kapasitesinin daha yüksek olduğu görülürken, nem miktarı, su aktivitesi ve antosiyanin kaybının daha düşük olduğu gözlemlendi. Araştırma sonuçları SEM görüntüleme ile desteklendi.

Anahtar Kelimeler: Karadut, Kurutma, Liyofilizasyon, Antosiyanin, SEM, Su aktivitesi.

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Biyomühendislik ve Bilimleri Anabilim Dalı, Mayıs/ 2012

Danışman: Yard. Doç. Dr. İnci ÇINAR

Sayfa sayısı: 63

**BLACK MULBERRY (*Morus nigra*), DRYING POTENTIAL DETERMINATION
OF LYOPHYZATION IN COMPRAISON TO CONVECTIVE AND VACUUM
DRYING**

(M.Sc. THESIS)

HATİCE DOBOOĞLU

ABSTRACT

This study focuses on investigation of black mulberry drying potential of lyophilization in comparison to convective and vacuum drying due to the fact that black mulberry is widely grown fruit of Kahramanmaraş region and yet there is very limited industrial processing and processed fruit products. Potential achievement of lyophilization was evaluated by the quality factors of dried fruit namely moisture content, weight loss, water activity, anthocyanin loss, color, bulk density, rehydration capacity ve SEM imaging in comparison to both convective and vacuum drying.

According to findings, lyophilization is the most succesful drying technique among others with the highest anthocyanin content and rehydration capacity and the lowest bulk density, water activity and water content. The highest water content, water activity and bulk density values was observed in convective drying. Vacuum dried samples preserved physical structural integrity better and had higher rehydration capacity, also had lower water content, water activity and anthocyanin loss in comparison to convective drying. Findings were supported by SEM imaging and were in good accordance.

Key Words: Black mulberry (*Morus nigra*), Drying, Lyophilization, Anthocyanin, SEM, Water activity.

Kahramanmaraş Sütçü İmam University
Institute for Graduate Studies in Science and Technology
Department of Bioengineering and Science Mayıs/ 2012

Supervisor: Assist. Prof. Dr. İnci ÇINAR

Page number: 63

LİYOFİLİZASYONUN KARADUT (*Morus nigra*) KURUTMADAKİ POTANSİYELİNİN KONVEKSİYONEL VE VAKUMLU KURUTMA TEKNİKLERİYLE KIYASLANARAK BELİRLENMESİ

ÖZET

Bu çalışmada antioksidan ve antosiyanin yönünden zengin karadutun, fiziksel ve kimyasal özelliklerini koruyarak alternatif bir teknik olan liyofilizasyonla kurutma potansiyeli araştırıldı. Kurutmanın başarısı son üründen beklenen kalite kriterleri olan nem içeriği, ağırlık kaybı, su aktivitesi, antosiyanin kaybı, renk, yığın yoğunluğu, rehidrasyon kapasitesi ve SEM görüntüleme ile değerlendirildi.

Hammadde olarak kullanılan karadut Kahramanmaraş yöresinden temin edildi. Liyofilizasyon -55°C’de ve 0,02 atm’de gerçekleştirilirken konveksiyonel ve vakumlu kurutmada 70°C’deki sıcak hava akımından yararlanıldı.

Yapılan analizler sonucunda raf ömrü üzerine etkili olan nem miktarı ile su aktivitesi içeriğinin, bütün denemelerde kabul edilebilir seviyede bulunduğu, liyofilizasyonla kurutulmuş örneklerde rengin daha iyi korunduğu belirlendi. Antosiyanin miktarları liyofilizasyonda taze numunedeki seviyeye yakınken diğer kurutma sistemlerinde büyük oranda azaldığı saptandı. En yüksek rehidrasyon kapasitesinin liyofilize örneklerde, en düşük ise konveksiyonel kurutulan örneklerde olduğu görüldü. Yığın yoğunluğunun kurutma işleminden etkilendiği, sıcak hava ile kurutulan örneklerin yığın yoğunluklarının taze örnekten yüksek olduğu, buna rağmen dondurarak kurutulan karadutların ise yığın yoğunluklarının taze örnekten daha düşük olduğu belirlendi. Kurutulan ürünlerin analiz sonuçları SEM görüntüleri ile de desteklendi.

Bulgulara göre liyofilizasyon tekniğinin, konveksiyonel ve vakumlu kurutma ile kıyaslandığında, başarılı olarak karaduta uygulanabileceği ve kurutulmuş ürünün kalite açısından niteliklerini daha iyi koruduğu sonucuna ulaşılmıştır.

BLACK MULBERRY (*Morus nigra*) DRYING POTENTIAL DETERMINATION OF LYOPHILIZATION IN COMPARISON TO CONVECTIVE AND VACUUM DRYING

SUMMARY

Study aims to determine antioxidants and anthocyanins rich black mulberry drying potential of lyophilization with the emphasize on preserving physical and chemical properties of fruit.

Drying performance was evaluated by the quality factors of dried fruit namely water content, weight loss, water activity, anthocyanin loss, color, bulk density, rehydration capacity and SEM imaging.

Blackmulberry raw material was provided from Kahramanmaraş region. Lyophilization was conducted at -55°C under 0,02 atm pressure whereas convective and vacuum drying were carried with hot air at 70°C.

According to findings, all drying techniques were succesful in providing reasonable shelf life due to the water content and water activity values of dried samples. It was determined that the color was better preserved in lyophilized samples. The amount of anthocyanins in lyophilized samples were almost same as the fresh blackberry samples whereas convective and vacuum drying were caused significant decreases in dried blackberry anthocyanins. Rehydration capacity of lyophilized samples was the highest while convective dried samples had the lowest rehydration capacity. It was determined that the bulk density was significantly affected by the drying technique. Bulk density of convective dried samples were higher than the fresh samples whereas lyophilized samples showed lower bulk density values than the fresh samples. These findings were supported by and in good agreement with the SEM imaging.

According to these findings, lyophilization is very succesfully applicable method for blackberry drying providing good alternative to convective and vacuum drying along with the long shelf-lived dried products having acceptable quality.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez çalımsam süresince bana değerli görüş ve katkılarıyla yol gösteren ve katkıda bulunan hocam Sayın Yard.Doç.Dr. İnci ÇINAR'a, SEM görüntülerinin oluşturulması sırasında bilgilerini ve tecrübelerini paylaşan hocam Sayın Doç.Dr. Ferit KOCAÇINARA'a,

Eğitimim için her türlü fedakârlığı gösteren, hayatım boyunca destek ve sevgilerini hissettiğim değerli aileme, ve çalışmalarım boyunca bana olan desteğinden dolayı değerli Ramazan Kara'ya

Teşekkürü bir borç bilirim.

Hatice DOBOOĞLU

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖZ.....	I
ABSTRACT	II
ÖZET	III
SUMMARY	IV
TEŞEKKÜR	V
İÇİNDEKİLER.....	VI
ŞEKİLLER DİZİNİ	VIII
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	IX
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR TARAMASI.....	4
2.1. Kurutma	10
2.2. Kurutma Terimleri	10
2.2.1. Nem içeriği.....	10
2.2.2. Su buharının uzaklaştırılması	11
2.2.3. Su aktivitesi ve bozulma ilişkisi.....	11
2.2.4. Kurutma hızı.....	12
2.2.5. Kurumanın kinetiği	13
2.3. Kurutma Yöntemleri	15
2.3.1. Konveksiyonel kurutma	15
2.3.2. Vakumlu kurutma.....	16
2.3.3. Liyofilizasyon (Dondurarak kurutma)	16
2.3.3.1. Liyofilizatör sistem elemanları.....	21
2.3.3.2. Liyofilizasyonun kullanım alanları	22
2.3.3.3. Liyofilizasyonun avantajları ve dezavantajları	22
2.4. Karadut Kurutmada Önemli Kalite Unsurları.....	24
2.4.1. Antosiyanin kaybı	24
2.4.2. Yığın yoğunluğu.....	25
2.4.3. Renk özellikleri	26
2.4.4. Nem içeriği.....	26
2.4.5. Su aktivitesi	27
2.4.6. Rehidrasyon kapasitesi	27

3. MATERYAL VE METOT	28
3.1. Materyal	28
3.2. Metot	29
3.2.1. Kurutma denemeleri	29
3.2.2. Deneysel çalışmada uygulanacak analizler	31
4. BULGULAR ve TARTIŞMA	36
4.1. Farklı Kurutma Sistemlerinin Karadutun Kuruma Davranışı Üzerine Etkileri	36
4.1.1. Ağırlık kaybı, nem içeriği, boyutsuz nem oranının belirlenmesi	36
4.1.2. Su aktivitesinin belirlenmesi	41
4.2. Yığın Yoğunluğu Tayini	42
4.3. Toplam Antosiyanin İçeriğinin Belirlenmesi	46
4.4. Rehidrasyon Kapasitesi Ölçümü	47
4.5. Renk Ölçümü	51
4.6. Farklı Sistemlerde Kurutulmuş Örneklerin Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Görüntüleri	54
5. KAYNAKLAR	59

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil.2.1. Kurutma hızının özgül nemin seyrine bağlı değişimi.....	13
Şekil.2.2. Doğal kurutma	15
Şekil.2.3. Denge faz diyagramı.....	19
Şekil.2.4. Laboratuvar tipi liyofilizatör	22
Sekil.3.1. Karadut işleme basamakları ve son ürün analizler	28
Şekil 3.2. Liyofilizatör	29
Şekil 3.3. Etüv.....	30
Şekil 3.4. Vakumlu etüv	31
Şekil 4.1. Farklı sistemlerde kurutulan örneklerin zamana bağlı nem içeriği	37
Şekil 4.2. Farklı sistemlerde kurutulan örneklerin boyutsuz nem oranlarının zamana bağlı değişimi.....	40
Şekil 4.3. Farklı sistemlerde kurutulan karadut örneklerinin su aktivitesinin zamana bağlı değişimi.....	41
Şekil 4.4. Taze ve farklı sistemlerde kurutulmuş örneklerde yığın yoğunluğu değerleri	43
Şekil 4.5. Kurutma denemeleri sırasında örneklere ait görüntüler	43
Şekil 4.6. Farklı sistemlerde kurutulan örneklerdeki toplam antosiyanin miktarlarının zamana bağlı değişimi	46
Şekil 4.7. Farklı sistemlerde kurutulan örneklerin rehidrasyon kapasiteleri	48
Şekil 4.8. Farklı sistemlerde kurutulan örneklerin birim zamandaki ağırlık kazanımları	49
Şekil 4.9. Farklı sistemlerde kurutulan örneklerin 24 saatlik rehidrasyon sonundaki % ağırlık kazanımları	50
Şekil 4.10 Farklı sistemlerde kurutulan örneklerdeki L* değerinin birim zamanda değişimi	52
Şekil 4.11 Farklı sistemlerde kurutulan örneklerdeki a* değerinin birim zamanda değişimi	53
Şekil 4.12. Taze örneklerin SEM görüntüleri	55
Şekil 4.13. Liyofilize örneklerin SEM görüntüleri	56
Şekil 4.14. Konveksiyonel kurutulan örneklerin SEM görüntüleri	57
Şekil 4.15. Vakumlu kurutulan örneklerin SEM görüntüleri	58

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa No

Çizelge 2.1. Farklı dut çeşitlerinin bazı fitokimyasal özelliklerine ilişkin bulgular.....	6
Çizelge 2.2. Bazı gıdaların su aktiviteleri.....	11
Çizelge 2.3. Dondurma hızı ve dondurulma sıcaklığının oluşan buz kristalleri üzerine etkisi	18
Çizelge 2.4. Geleneksel kurutma ve liyofilizasyon yönteminin karşılaştırılması	23
Çizelge 2.5. Konveksiyonel ve dondurarak kurutulmuş çilekte büzülmenin incelenmesi	23
Çizelge 4.1. Farklı sistemlerde kurutulan örneklerin nem içeriğinin zamana bağlı ampirik modeli	37
Çizelge 4.2. Farklı sistemlerde kurutulan örneklerin zamana bağlı nem içeriklerinin Duncan çoklu karşılaştırma testi	38
Çizelge 5.8. Farklı sistemlerde kurutulan karadut örneklerinin kurutma süresince kaydedilen renk ölçüm değerleri	51

1. GİRİŞ

Gıda maddelerini uzun süreli muhafaza etme ihtiyacı insanların sürekli çalıştığı konulardan biridir. Gıdaların uzun süreli muhafazası ortam şartlarına ve yeni teknolojilere bağlı olarak sürekli değişim göstermiştir. Gıdalar kimyasal, mikrobiyolojik ve enzimatik olarak bozulurlar. Geleneksel ve teknolojik tüm uygulamalar bozulmayı engellemeyi hedeflemiştir. Gıdaların muhafazasında kullanılan başlıca yöntemlerin temel prensibi düşük ve yüksek sıcaklık uygulamaları, düşük ve yüksek basınç uygulamaları, ultraviyole ve radyoaktif ışınlama uygulamalarıdır (Kırmacı, 2008).

Tarım sektöründe gelişmiş pek çok ülke, bir yüksek sıcaklık uygulaması olan kurutma prosesini, gıdanın raf ömrünü uzatmak, paketleme maliyetini düşürmek, tonaj ağırlığını azaltmak, ürünün görünüşünü geliştirmek, orijinal tadını ve besin değerini korumak için kullanmaktadır. Bu bakımdan gıda endüstrisinde kurutma prosesinin temel hedeflerini gıda kalitesi ve güvenliğinin yanı sıra ekonomik ve ekolojik etkenler belirlemektedir. Kurutma mekanizmasına bağlı olarak son ürün, nitelikleri hammadeninkinden oldukça farklı bir son ürün haline gelebilir (Günhan ve ark. 2005).

Meyve ve sebzeler başlıca vitamin ve mineral kaynakları olarak insan beslenmesinde önemli bir yer teşkil etmelerine rağmen %70 su içeriğine sahip olmaları sebebiyle kolay bozulabilirler. Bu yüzden hasattan hemen sonra uygun koşullarda saklanmalı, nakliye edilmeli ve işlenene kadar depolanmalıdır. Aksi takdirde önemli ölçüde besinsel içerik kaybına uğrarlar ve bozulurlar. Uygun olmayan depolama ve taşıma koşullarından dolayı gelişmiş ülkelerde dahi hasat edilen meyve ve sebzenin yaklaşık %30'u kullanılamamaktadır.

Meyve ve sebzelerin kurutulması birçok avantajına rağmen, işlemin gerçekleşmesini sağlayan ısı ve kütle transferi mekanizmaları iyi anlaşılmasa üründe fiziksel, kimyasal, mikrobiyal vb. bazı değişimlere sebep olarak son ürünün kalitesini düşürebilirler (Dikbasan, 2007). Gözlemlenebilir fiziksel değişimlerin başlıcaları; büzüşme, çökme, şişme, kırılma, çatlama ve kristalizasyon şeklinde gerçekleşmektedir. İstenen ve/veya istenmeyen kimyasal ya da biyokimyasal reaksiyonlar sonucunda maddenin tat, koku, renk, görünüş gibi özelliklerinde değişiklik görülebilir (Mujumdar and Devahastin, 2000). Isıl işlem sırasında hücre membranı geçirgenliğini kaybeder, tekstür değişir ve hücre

duvarlarındaki pektik maddeler parçalanmaya uğrarlar. Aroma maddeleri kendine özgü niteliklerini yitirir ve istenmeyen aroma bileşikleri oluşur. Anılan bu değişiklikler ısı işlemin süre ve derecesine bağlı olduğu gibi meyve çeşidi, olgunluk, antosiyaninler, karotenoidler, fenolik bileşikler, şekerler ve su içeriği ile de yakından ilişkilidir (Holdsworth, 1971). Bu değişimler sebebiyle optimum kurutma sisteminin ve kurutma parametrelerinin belirlenmesi önem taşımaktadır.

Geleneksel kurutma yöntemleri (konveksiyonel) ürün üzerine sıcak hava akımı uygulamasıyla gerçekleştirilmekte ve bu yüzden üründe özellikle renk ve besinsel içerik açısından kayıplara sebep olabilmektedir. Bu olumsuz etkilerin azaltılması için daha düşük sıcaklıklarda ve vakum altında kurutma yapılmaktadır. Liyofilizasyon (dondurarak kurutma) ile dondurulmuş ürünün süblimasyonla kurutulması hedeflenmekte ve kurutma çok düşük sıcaklıklarda gerçekleşmektedir. Liyofilizasyon diğer yöntemlerle karşılaştırıldığında rehidrasyon yeteneğinin yüksek olması, büzüşmenin ihmal edilecek düzeyde az olması sebebiyle ürünün şeklinin bozulmaması, ürünün fiziksel, kimyasal özellikleri ve besin içeriğinin daha iyi korunması, kurutmanın düşük sıcaklıklarda gerçekleşmesi ve protein denatürasyonunun, enzimatik ve nonenzimatik reaksiyonların minimize edilmesinin sağlanması gibi avantajları bulunmaktadır.

Dut üretimi açısından Kahramanmaraş ve yöresi Türkiye’de 7. sıradadır. Kahramanmaraş ilinde, iklim ve toprak faktörleri dut yetiştiriciliğine çok uygundur. Bölgedeki dut ağaçlarında ilaçlama, gübreleme, budama ya da sulama gibi hiç bir kültürel uygulama yapılmamaktadır. Buna rağmen ağaçlar oldukça verimli ve kaliteli meyvelere sahiptir. Bu anlamda bölgedeki dut ağaçlarının tamamen doğal olarak yetiştiği söylenebilir. Toplanan meyvelerden beyaz olanlar (*Morus alba*) ve mor-kırmızı (*Morsu rubra*) dutlar daha çok sofralık tüketilmektedir. Halk arasında “Urmu Dutu” olarak adlandırılan karadut (*Morus nigra*) ise hem sofralık olarak tüketilmekte hem de sanayide reçel, meyve suyu ve özellikle dondurmaya işlenmekte ayrıca ilaç yapımında kullanılmaktadır. Karadutlu dondurma hem renk hem de aroma yönünden tercih edilen ürünler arasında yer almaktadır. Meyve mevsimi birkaç ayla sınırlı olduğu için karadutun katma değerli ve uzun raf ömürlü ürünlere işlenmesiyle ilgili çalışmaların yapılması önem taşımaktadır.

Bu çalışmada antosiyanin açısından zengin karadut meyvesi fiziksel ve kimyasal kalite kriterleri dikkate alınarak uzun süre muhafaza edilebilmesi amacıyla liyofilizasyon yöntemiyle kurutuldu. İşlem sonucunda elde edilen veriler konveksiyonel ve vakumlu

kurutma yöntemleri ile elde edilen verilerle kıyaslanmıştır. Kurutma yöntemlerinin başarılarının kıyaslanmasında kurutulan örneklerde renk, su aktivitesi, nem içeriği, antosiyanin miktarı, rehidrasyon kapasitesi, yığın yoğunluğu ve SEM görüntüleri kullanıldı.

Bu amaçla karadut liyofilizasyon, yöntemiyle kurutularak konveksiyonel ve vakumla kurutma yöntemleriyle kurutularak yöntemlerin birbirleriyle kıyaslanması renk, su aktivitesi, nem içeriği, antosiyanin miktarı, rehidrasyon kapasitesi, yığın yoğunluğu ve SEM görüntüleri değerlendirildi.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Türkiye’de her yıl yaklaşık 3.554.000 adet kayıtlı dut ağacından yaklaşık 80.000 ton/yıl dut hasadı yapılmakta ancak işleniş ürünlerin eldesi oldukça sınırlı olmaktadır. Dut meyveleri Türkiye’de daha çok geleneksel olarak pekmez üretiminde ve kurutularak kuru gıda üretiminde kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra karadut ve kırmızı dut çeşitleri geleneksel olarak ve az miktarda da ticari olarak reçel endüstrisinde kullanılmaktadır. Karadut üzerine yapılan çalışmaları ise karadutun daha çok kimyasal bileşimi, antioksidan kapasitesi ve sağlığa faydaları üzerine yoğunlaşmıştır.

Dut (*Morus spp.*) Urticales takımının Moraceae ailesinin *Morus* cinsine girmektedir. Karadut (*Morus nigra L.*) ülkemizde çok bilinen ve hemen her yerde yetişen bir meyvedir. Vatanı Türkistan olan dut, batıda İran, Irak, Türkiye, Akdeniz ülkelerinden Avrupa'ya ve doğuda Çin'e kadar çok geniş bir alana yayılmıştır. *Morus nigra L.* 10-15m boyunda kalın dallı geniş tepeli bir ağaçtır. Gövdeleri esmer gri renkte sürgünleri tüylüdür. Esmer gri renkli kabuk kalın ve uzunlamasına çatlaktır. Yapraklarını döken bir ağaçtır. Olgunlaşmaya başlayan meyve parlak kırmızı, tam olgunlaşmış meyve siyah renklidir (Baytop, 1999; Davis, 1982). *Morus* cinsine ait türleri (*Morus alba L.*, *Morus nigra L.*) flavonoidler açısından zengindir ve antioksidan kapasiteleri yüksektir. Antioksidanlar vücutta aktif oksijen birikimini engelleyerek oksidatif strese engel olmaktadır. Oksidanlar ise insan metabolizmasında vücudun oksijen kullanımı sırasında oluşmaktadır. Bugün ise 50 den çok hastalığın aktif oksijenle oluştuğu bilinmektedir. Bunlar arasında en önemlileri yaşlanma, katarakt, kanser, aşırı trombosit kümelenmesi gibi dolaşım ve kalp hastalıklarıdır (Sivritepe, 2000; Young ve Woodside, 2001). Ayrıca potansiyel olarak herpes simplex virus, rhinovirus, rotavirus ve HIV (Human Immunodeficiency Virus) üzerinde antiviral aktiviteleri mevcuttur (Du ve ark., 2003; Ma ve ark., 2002).

Karadut meyvelerinde oldukça fazla miktarda antosiyanin bulunmakta ve bu antosiyaninlerin başlıcalarını siyanidin 3-rutinozid ve siyanidin 3-glukozit oluşturmaktadır. Belirtilen antosiyaninlerinin insan karaciğer kanser hücrelerine bakteri ve virüslerin yayılması ve bulaşması üzerinde engelleyici etkide bulunduğu saptanmıştır (Chen ve ark., 2005).

Karadutun bileşiminde flekerler, organik asitler (tartarik ve sitrik asit), flavonoidler (izokuersitin) ve boyar maddeler bulunmaktadır. İçerdiği siyanidin 3-glukozit sayesinde

doğal renklendirici olarak da kullanılmaktadır. Karadutun bileşiminde bulunan papyriflavonal A, kuraridin, saphoraflavanone D ve saphoraiso flavanone A iyi bir antifungal ve gcl antimikrobiyal aktivite göstermektedir (Sohn ve ark., 2004).

Yiğit ve ark. (2007) yaptıkları çalışmada karadut meyvelerinin su metanol ekstraktının antikandidal aktivitesini araştırmışlardır. Çalışma sonucunda, su metanol ekstrelerinin *Candida albicans*, *Candida parapsilosis*, *Candida propicalis* ve *geotricum candidum* izolatları üzerinde antikandidal aktiviteleri belirlenmiştir.

Karadut meyvelerinden elde edilen morin, flavanoid yapısında bir maddedir ve bu maddenin makrofajlar üzerinde antienflamatuar aktivitesi belirlenmiştir. Yine meyvelerden elde edilen sikloperm (CsA) maddesi ise otoimmun hastalıkların tedavisinde ve organ transplantasyonu sırasında potansiyel immunsupresif ajan olarak kullanılabileceği belirlenmiştir (Fang ve ark., 2005).

zen ve Akbulut (2006) karadut meyvesinin antosiyanin içeriğini siyanidin-3-glikozit, siyanidin-3-rutinozit ve pelargonidin-3-glikozit olduğunu belirlemiş ve miktarının 367,7±4 mg/L olduğunu saptamıştır. Kırca ve ark. (2005) antosiyaninlerin yüksek reaktiviteleri ve sıcaklığa duyarlılıklarından dolayı renksiz ya da istenmeyen kahverengi bileşenlere degrade olduklarını belirtmişlerdir.

Snappyan ve ark. (1981) karadutun toplam kuru madde miktarını % 21,5, titrasyon asitliğini % 0,59, sakkaroz miktarını % 16, askorbik asit miktarını 15,4 mg/g olarak belirlemişlerdir. Yine aynı çalışmada tiamin, pantotenik asit, pirodoksin, niasin ve inositol miktarları sırasıyla 0,49 µg/ml, 5,62 µg/ml, 0,04 µg/ml, 19,05 µg/ml ve 241,4 µg/ml olarak saptanmıştır.

Farklı dut çeşitlerinin kimyasal ve mineral madde içerikleri ile ilgili çalışmalar literatürde mevcut olup bulgular izelge 2.1'de verilmiştir (Akbulut ve ark., 2006).

Çizelge 2.1.Farklı dut çeşitlerinin bazı fitokimyasal özelliklerine ilişkin bulgular (Akbulut ve ark. 2006).

Fitokimyasal özellikler	Dut çeşitleri			
	Kara dut	Kırmızı dut	Beyaz dut A(çekirdeksiz)	Beyaz dut B
Toplam Kuru Madde (%)	29.5	21.4	22.9	23.2
Toplam Fenolik Madde	354.5	237.7	114.3	137.3
Toplam Antosiyanin (mg/100g)	227.0	184.3	**	**
Renk				
L	10.80	15.74	**	**
a	0.47	10.15		
b	0.42	1.91		
Kül (%)	2.76	124.5	74.8	79.6

**Tespit edilemedi

Kurutma tekniklerinin kıyaslanması açısından bakıldığında sadece kurutulacak gıda maddesinin kimyasal bileşenlerin bilinmesi yeterli değildir. Dütün kimyasal bileşenlerinin yanı sıra bu bileşenlerin ve kurutma sıcaklığının ürünün nitelikleri üzerine etkilerinin araştırıldığı çalışmalarda mevcuttur. Fakat karadütün kurutulması üzerine literatürde çalışma sayısı az olduğundan üzümü ve diğer meyveler üzerine yapılan çalışmalardan da yararlanılmıştır.

Ergüneş ve ark. (2004) yaptıkları bir çalışmada beyaz dütün Tokat şartlarında kurutulmasında 3 farklı tipte (sera tipi güneşli kurutucu, sera içi havasının kullanıldığı fanlı kurutucu, kontrol amacıyla dış ortamda güneşe serilerek geleneksel kurutma) kurutma tekniği kullanılmıştır. Kurutulan meyve örnekleri bazı kalite kriterleri dikkate alınarak değerlendirilmiştir. Özellikle güneşe maruz kalan örneklerde %70'lere varan esmerleşmeler görülürken, en iyi sonucu sera içi havasının kullanıldığı ortamda yapılan uygulama vermiştir.

Tsami ve ark. (1999) pektin-şeker jellerini dondurarak, mikrodalga ile, vakumla ve sıcak hava ile kurutmuşlardır. Çalışma sonucunda dondurarak ve vakumlu kurutulmuş örneklerin daha düşük hacim/ağırlık (yığın yoğunluğu) ve daha yüksek gözenekliliğe sahip olduğunu ayrıca vakumla kurutulmuş ürünlerin parlaklığının (L) daha iyi olduğunu gözlemişlerdir.

Rehidrasyon kapasitesindeki farklılıklar ise kurutulmuş ürünün hacim/ağırlık oranı ve gözenek büyüklüklerindeki farklılıktan kaynaklanmıştır. Dondurarak kurutmada gözenek büyüklüğü küçük fakat gözeneklilik fazladır. Bu da diğer kurutma yöntemlerine göre daha çok su tutmasını sağlamaktadır. Vakumla kurutulmuş ürünler yüksek gözenekliliğe sahipse de rehidrasyon yeteneği dondurarak kurutulmuş ürünlere göre daha azdır.

Kwok ve ark. (2004) saskatoon berry meyvesini dondurarak kurutma (DK), vakumlu mikrodalga kurutma (VMK), hava ile kurutma (AK) ve AK ve VMK'nin kombinasyonu ile kurutmuşlardır. Kurutma yöntemleri karşılaştırıldığında, dondurarak kurutma dışındaki yöntemlerde toplam fenolik madde, antosiyanin içeriği ve antioksidan aktivitesi azalmıştır.

Cemeroğlu (1990) nar suyu antosiyaninleri üzerine ısıtma işleminin ve depolama süresinin etkilerini incelemiştir. Nar suyunda antosiyanin tayini esas olarak pH diferansiyel metodu ile yapılmış ve dominant antosiyanin siyanidin-3 galaktosid olduğu spektral eğrinin analizinden anlaşılmıştır. Isıtma işleminin nar suyu antosiyaninlerinin degradasyonu üzerine etkili olduğu saptanmıştır. Isıtma işleminin depolama sıcaklık ve süresinin antosiyaninlerinin stabilitesi üzerine önemli düzeyde etkisi olduğu saptanmıştır.

Yongsawatdigul ve Gunasekaran (1996) yaptıkları çalışmada sıcak havayla ve mikrodalgalı vakumla kurutmanın kırmızı yaban mersinlerinin, renk ve tekstür üzerine etkilerini araştırmışlar ve mikrodalgalı vakumla kurutulmuş olanların renginin daha kırmızı ve daha yumuşak bir yapıya sahip olduğunu belirlemişlerdir.

Donsi ve ark. (1996) tarafından yapılan bir çalışmada sıcak hava ile kurutma, vakumlu kurutma, dondurarak kurutma ve hava hızının değişken olduğu zorlamalı konveksiyon sıcak hava ile kurutma yöntemlerini, elma ve patatete ürünleri üzerinde uygulamış ve bu ürünlerin değişik kurutma prosesleri sırasında yığın yoğunluğu ve büzüşme miktarını araştırmışlardır. Farklı yöntemlerle kurutulmuş elmaların yığın yoğunluğunda meydana gelen değişme, nem içeriğinin bir fonksiyonu olarak ifade edilmiştir. Kuruma ilerledikçe ısı uygulanan kurutma yöntemlerinde yoğunluk azalırken, dondurarak kurutulmuş örneklerin hacim azalmasının çok daha düşük olduğu görülmüştür. Dondurarak kurutulmuş ürünlerde sürekli bir hacim azalması görülmezken, diğer kurutma yöntemleriyle kurutulmuş örneklerde büzüşme miktarında bir azalma eğilimi görülmektedir.

Krokida ve Maroulis (1997) elma, muz, havuç ve patatese, sıcak hava ile kurutma, mikrodalga ile kurutma, dondurarak kurutma, ozmotik dehidrasyon ve vakumla kurutma yöntemleri uygulamışlardır. Yığın yoğunluğunun kurutma yönteminden büyük lde etkilendiğini saptamışlardır. Vakum altında kurutma yönteminde sıcak hava ile kurutma yöntemine göre daha düşük yığın yoğunluğu olduğu görülmüştür. Yapılan çalışmada dondurarak kurutma yönteminde yığın yoğunluğunun diğer yöntemler ile elde edilen sonuçlara göre en düşük değerlerde olduğu görülmüştür. Yığın yoğunluğu üzerine elma ve muz için mikrodalga kurutma ve sıcak hava ile kurutma yöntemlerinin benzer etkilerini saptamışlardır. Mikrodalga yöntemiyle kurutulmuş havuç ve patates için yığın yoğunluğunun vakum altında kurutma yöntemiyle kurutulmuş örneklere göre daha düşük olduğunu gözlemlemişlerdir.

Ratti ve ark. (2002) tarafından yapılan çalışmada dondurarak kurutma ve sıcak hava ile kurutma yöntemi uygulanan çileklerde son üründe hacim azalması karşılaştırmış, dondurarak kurutma sırasında büzüşmenin asgari düzeyde (% 5-% 15) gerçekleştiği, hava ile kurutma sırasında ise büzüşmenin yüksek düzeyde (% 80 civarında) olduğu görülmüştür.

Lin ve ark. (1998) vakum-mikrodalga kurutma, sıcak hava ile kurutma ve dondurarak kurutma yöntemlerinin havuç dilimlerinin rengi üzerine olan etkisini incelemiştir. Sıcak hava ile kurutulmuş havuç dilimlerinin renginin, dondurarak kurutma ve vakum-mikrodalga yöntemlerinin uygulandığı örneklere göre daha koyu olduğu ve daha az kırmızı ve sarı Hue değerlerine sahip oldukları saptamışlardır. Dondurarak kurutulmuş örneklere en yüksek parlaklık (L) değerine ve vakum-mikrodalga kurutma yöntemi ile kurutulmuş örneklere göre daha düşük sarı Hue değerine sahip olduğu gözlenmektedir. Sıcak hava ile ve vakum-mikrodalga yöntemleri ile kurutulan havuç dilimlerindeki daha koyu görünüş, ürünlerin kurutma sırasında yüksek ısıya maruz kalmaları ile açıklanmıştır.

Krokida ve ark. (2001) elma, muz, havuç ve patatesi 5 farklı yöntemle kurutmuş ve kurutmanın renk üzerine etkisini incelemişlerdir. Taze elma, muz, havuç ve patatesler, 20 mm çapında ve 10 mm kalınlığında kesilmiştir. Hava ile kurutmada, kurutma sıcaklığı $70 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ ve hava bağıll nemi % 7 ve basınç 1 atm'dir. Vakumlu kurutmada, sıcaklık $70 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ ve basınç 3,2 atm'dir. Mikrodalga ile kurutma atmosfer basıncında, 810 W gücünde yapılmıştır. Dondurarak kurutmada, numuneler 20 mm çapında ve 8 mm kalınlığında

kesilmiştir. Numuneler 48 saat -35°C 'de dondurulmuş ve laboratuvar tipi dondurarak kurutma hücresinde 24 saat süreyle kurutulmuştur. Havayla, mikrodalgayla ve vakumla kurutulmuş ürünlere önemli derecede esmerleşme oluşmuştur. Dondurarak kurutmada ise numunelerin renginde esmerleşme olmadığı görülmüştür.

Ratti ve ark. (2002) 5 mm, 10 mm dilimlenmiş ve tüm haldeki çileklerin dondurarak kurutma işlemindeki kurutma kinetikleri, renk ve hacim değişikliklerini, farklı sıcaklıklarda (30, 40, 50, 60 ve 70°C) deneysel olarak incelemiştir. Dondurarak kurutma işlemi sonucunda çileklerin kurutma süreleri, 5mm için 5 saat, 10 mm için 10,7 saat ve tüm halindeki çilekler için ise 50 saat olmuştur. 50°C 'den daha düşük sıcaklıklarda çileklerin iyi kaliteye sahip olduğunu ve 50°C 'den yüksek sıcaklıklarda ise çileklerin yapısında çökme olduğunu bulmuşlardır.

Acevedo ve ark. (2008) haşlanmış ve haşlanmamış elma disklerini vakumla kurutma ve dondurarak kurutma (hızlı yavaş dondurma) yöntemleriyle kurutmuşlar ve bilgisayar bağlantılı mikroskop ile şekil analizi yapmışlardır. Vakum kurutma ile kurutulmuş ve haşlama uygulanmış örneklerde hücre yapısının tamamen kaybedildiği görülmüştür. Dondurarak kurutulmuş (yavaş ve hızlı) örneklerde hücre yapısının daha iyi korunduğu görülmüştür.

Chassagne ve ark. (2009) yaptığı çalışmada farklı sıcaklıklarda dondurulmuş elma disklerinin hücre yapısında meydana getirdiği değişikliği SEM görüntüleriyle incelemiştir. Elma diskleri -20°C ve -80°C 'de dondurulmuşlardır. Çalışma sonucunda -80°C 'de dondurulanların hücre yapısının daha iyi korunduğu görülmüştür.

Litvin ve ark. (1998) havuç dilimlerini, dondurarak kurutmaya, kısa süreli mikrodalga uygulaması ve havalı ya da vakumlu kurutma ile birleştirilerek kurutmuşlardır. Havuçları deneylerde %5'lik nem değerine kadar vakumla ve hava ile kurutulmuşlardır. Kısmen dondurulmuş, mikrodalga uygulanarak ve havayla kurutulmuş ürünün rengi, boyutları ve nemi geri alma oranı, ulaşılan son nem değerine ve aynı kalite parametrelerine sahip dondurarak kurutulmuş ürünle aynıdır. Vakum fırınında yapılan son kurutmanın renk üzerine yararlı bazı etkileri olduğu belirlenmiştir. Dondurarak kurutmanın, mikrodalga uygulanmasını takiben havayla kurutma işlemiyle birleştirilmesi, dondurarak kurutma zamanında önemli bir kazanç sağlanmıştır. 3,5 – 3,75 saatlik kısmi dondurarak kurutmayı

takiben kısa bir mikrodalga uygulaması ve 3,75 saatlik havayla kurutma olmak üzere toplam 7,25 – 7,50 saat sürerken sadece dondurarak kurutmada toplam süresi 30°C’de 9,5 saat sürmektedir.

2.1. Kurutma

Her mevsim aynı miktar ve doğallıkta bulamadığımız gıdaların uzun süre muhafaza edilmesini sağlayan yöntemlerin başında kurutma gelmektedir. Kurutma, ürünlerin hasat mevsimi dışında da tüketilmesine imkan sağlayabilen en eski muhafaza yöntemlerinden biridir. Kurutma gıdalardaki nemin uzaklaştırılması anlamı taşımaktadır. Böylece gıdanın nem seviyesi mikroorganizma gelişimini engelleyecek düzeye düşürülmektedir. Bu özellikleriyle kurutma, çok çeşitli ürünler için kolay ve genel bir gıda muhafaza yöntemidir. Tarım ürünlerinin kurutulmasının başlıca amaçları raf ömrü uzatma, depolama kayıplarını en aza indirme ve taşıma kolaylığı sağlamaktır. Kurutulmuş gıdalar diğer yöntemlerle işlenenlerden farklı olarak besin öğeleri açısından yoğunlaştırılmış bir nitelik kazanmışlardır. Ayrıca kurutma diğer muhafaza yöntemleri arasında oransal olarak daha ucuz bir muhafaza yöntemi olup, daha az işçilik, daha az ekipman, ürünlerin depolanma ve taşınmasında da daha az masraf gerektirmektedir. Kurutulmuş ürünler taze ürün pazarına etkili bir alternatif olmuştur. Kurutulmuş gıda maddeleri gerek kurutulmuş olarak tüketilmekte, gerekse hazır çorba, bebek maması, hazır yemekler gibi farklı alanlarda kullanılmaktadır.

2.2. Kurutma Terimleri

2.2.1. Nem içeriği

Kurutma açısından nem içeriği hem gıda ve hem de kurutucu havanın nitelikleri için önem taşır. Nem içeriği havanın veya gıdanın içerdiği su miktarı olarak tanımlanır. Kurutma ile gıdadaki nem içeriği uzaklaştırılarak belli bir seviyenin altına düşürülür. Böylece kuruyan gıda atmosferik koşullarında kimyasal, enzimatik ve mikrobiyolojik bozulmalara karşı daha dayanıklı hale gelir. Gıdanın nemi çevrenin neminden düşükse ürün su kazanır tersi söz konusu olduğunda ise su kaybeder. Kurutucu havanın nem uzaklaştırma kapasitesi bu havanın içerdiği nem miktarına ve sıcaklık derecesine bağlıdır. Belirlenen şartlarda hava nemi maksimum miktarda ise hava belirlenen bu sıcaklık derecesi ve basınçta su buharına doymuş demektir (Gürses, 1986).

2.2.2. Su buharının uzaklaştırılması

Kurutma sırasında nemin gıdadan uzaklaştırılmasının yanında, nemli havanın bu su buharını sistem dışına taşıyabilmesi de kurutma başarısı açısından önem taşır. Atmosferik kurutmada su buharı yüklü havanın uzaklaştırılması için su buharı yüklü hava atmosfere verilir. Dondurarak ve vakumlu kurutmada su buharının uzaklaştırılması için su buharı yüklü havanın atmosfere verilmeden önce vakum pompasından geçmesi gerekir. Bu vakum pompası nemli havayı emerek ortam basıncını atmosfer basıncına yükseltir (Gürses, 1986).

2.2.3. Su aktivitesi ve bozulma ilişkisi

Su aktivitesi (a_w); gıdalar içinde bulunan suyun buhar basıncının aynı sıcaklıktaki saf suyun buhar basıncına oranı olarak tanımlanır. Bir gıdanın su aktivitesi, onun mikrobiyolojik, kimyasal veya biyokimyasal yollarla bozularak kalite kaybına neden olan önemli bir faktördür (Anthony ve Fontana, 2000). Gıda maddesindeki suyun buhar basıncının değişmesine neden olan her faktör su aktivitesinin de değişmesine neden olmaktadır. Örneğin kuru maddenin artışı su aktivitesinin azalmasına neden olmaktadır.

Gıdaların su aktiviteleri saf suyun su aktivitesi olan 1.0'e değerine çok yakındır. Yaş meyve ve sebzelerin su aktiviteleri çoğunlukla 0.90-99 arasındadır. Meyvelerin su aktiviteleri sebzelerinkinden biraz daha düşüktür. Bazı gıda gruplarının su aktiviteleri çizelge 2.2'de verilmiştir (Kırmacı, 2008).

Çizelge 2.2. Bazı gıdaların su aktiviteleri (Kırmacı, 2008).

Gıdalar	Su aktivitesi (a_w)
Kuru meyveler	0.60 – 0.75
Kuru sebzeler	0.30 – 0.40
Reçel-marmelat	0.80 – 0.91
Meyve suyu konsantreleri	0.79 – 0.84
Tahıllar ve baklagiller	0.65 – 0.75
Bal	0.75
Kek ve kuru pasta	0.60 – 0.90
Şekerlemeler	0.60 – 0.65
Meyveli kekler	0.73 – 0.83
Ekmek	0.96
Dondurulmuş gıdalar	0.60 – 0.90

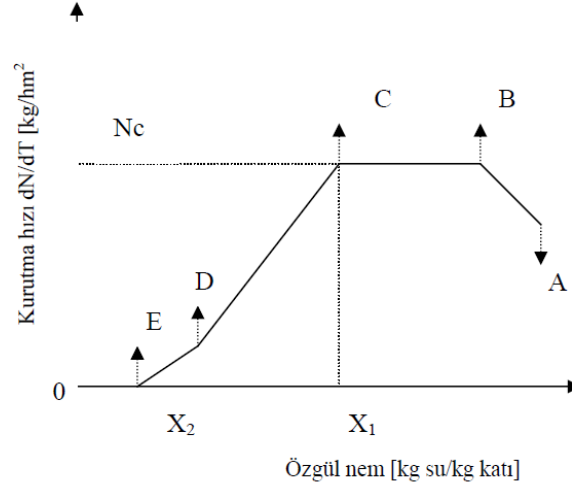
Mikroorganizmalar su aktivitesine duyarlılıkları açısından farklılıklar göstermektedir. Genellikle su aktivitesi 0,6'nın altında tüm mikrobiyolojik faaliyetlerin kontrol altında olduğu kabul edilmektedir. Gıdalarda bozulmaya neden olan bakterilerin çoğu 0.90'ın altındaki su aktivitelerinde faaliyette bulunmazken, küf faaliyetlerinin sona erdiği su aktivitesi 0.70-0.75 arasındadır. Mayalar için ise bu kritik sınırın 0.85 düzeyinde olması gerektiği bildirilmektedir (Kırmacı, 2008).

Su aktivitesi sadece mikroorganizma faaliyeti üzerinde değil aynı zamanda reaksiyon hızları üzerinde de etkilidir. Su aktivitesinin düşük olduğu kurutulmuş gıdalarda gerçekleşen en önemli reaksiyon enzimatik olmayan esmerleşme, yani Maillard reaksiyonudur. Maillard reaksiyonu suya bağımlı bir reaksiyondur ve bu reaksiyon çok düşük su aktivitelerinde yavaşlarken su aktivitesinin yükselmesiyle hızlanmaktadır. Bu nedenle orta nemli gıdalarda esmerleşmeler daha hızlı gerçekleşmektedir (Kırmacı, 2008).

2.2.4. Kurutma hızı

Gıda maddelerinin kurutulabilecekleri optimum ve kritik sıcaklıklara bağlı olarak kuruma davranışları değişir. Herhangi bir kurutma işleminin fiziksel yönünün araştırıldığı çalışmalarda, kurutma koşullarına bağlı olarak, kurutulan gıdanın nem ve sıcaklık değişimleri saptanır (Van Arsdel,1973).

Kurutmanın temeli yaş üründeki suyu buharlaştırmak ve oluşan buharı ortamdan olabildiğince hızlı uzaklaştırmaktır. Bu durumda buharlaşma gizli ısını sağlamak gereklidir. Bu ısı normal sıcaklıklarda buharlaştırılacak 1 kg su için 2470 kJ'dür. Kurutma hızının belirlenmesinde birim zamanda birim alandan buharlaşan su kütlesi kullanılır. Kaliteli ürün elde edilmesi ve ısı ekonomisi açısından kurutma hızı büyük önem taşımaktadır. Ürüne has kurutma parametreleri için örnek kurutma çalışmaları yaparak kurutma eğrilerini belirlemek gerekmektedir (Kırmacı, 2008).



Şekil 2.1. Kurutma hızının özgül nemin seyrine bağlı değişimi (Aktaş, 2007).

Bir kurutma prosesinin mekanizmasının ve periyotlarının detaylı incelenmesi kurutmanın başarısı açısından çok önemlidir. Şekil 2.1’de gösterilen kurutma hızı eğrisi kuruma sırasındaki periyotları içermektedir. Başlangıçta nem, doymuş halde bulunan yüzeyden buharlaştırılarak uzaklaştırılır. Kuruma ilerledikçe doymuş halde bulunan yüzey alanı kademeli olarak azalır. Bunu maddenin iç kısmındaki suyun buharlaşması izlemektedir. Şekil 2.1’deki değerler ayrıntılı incelendiğinde C değeri, kurutulacak ürünün özellikleri ile ilgili birçok faktöre bağlı olan kritik nem miktarını göstermektedir. Yüzeyde ilk kuru bölgenin oluştuğu duruma “kritik nokta” adı verilir. Kritik nokta, sabit kuruma periyodunun sonunu ve azalan hızda kuruma periyodunun başlangıcını simgelemektedir.

Şekil 2.1’de AB bölgesi kurutucu ve ürünün ısınma süresini göstermektedir. BC bölgesinde buharlaşma ürünün yüzeyinde oluşan sıvı film tabakasıyla gerçekleşmektedir. CD bölgesinde ise ürün yüzeyine difüze edilebilen su buharlaşmaktadır. Bu nedenle BC bölgesinde kurutma hızı sabit kalmakta ve CD bölgesinde ise doğrusal olmaktadır. DE bölgesi, ürün içindeki suyun yüzeye çok yavaş difüze edildiği azalan hızla kuruma dönemidir. AB kararsız durumu, BC ise sabit hız periyodunu göstermektedir (Aktaş, 2007).

2.2.5. Kurumanın kinetiği

Kurutma kinetiğinin belirlenmesi için temel olarak kurutulan gıda ve çevresindeki hava arasında zamana bağlı olarak gerçekleşen ısı ve kütle transferlerinin saptanması gerekir. Kuruma prosesi sırasında ısınma periyodu, sabit hızla kuruma periyodu ve azalan hızla

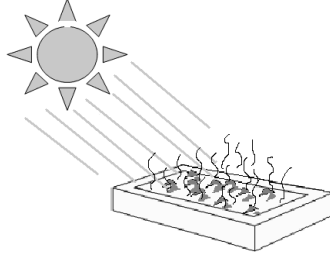
kuruma olmak üzere 3 periyot bulunmaktadır. Kurutma işleminin başlangıcında görülen ısınma periyodu, kurutulacak ürünün sıcaklığı, kurutma ortamının sıcaklığı ile dengeye gelinceye kadar devam etmektedir. Bu periyotta kuruma hızı giderek artar ve bu evrenin sonunda en yüksek değerine ulaşır (Güner, 1991; Mengeş, 2005). Sabit hızla kuruma periyodunda kurutulacak materyalin yüzeyi başlangıçta ince bir su tabakası ile kaplıdır. Öncelikle bu su tabakası buharlaşmaya başlar. Ürünün özelliklerine bağlı olmayan bu buharlaşma tamamen kurutma havasının nitelikleriyle belirlenmekte ve nem materyalin yüzeyinden, herhangi bir serbest su tabakasının yüzeyinden buharlaşan su ile aynı davranışı göstererek buharlaşmaktadır (Kırmacı, 2008). Yüzeydeki serbest su tabakası sabit bir kuruma hızı ile buharlaşırken devamlı olarak hücreler arası boşluk, kapillerlerdeki kılcallarla beslenmektedir. Sabit hızla kuruma periyodu boyunca, suyun materyal yüzeyine iletim hızı ile yüzeyden buharlaşan suyun hızı birbirine eşit olmaktadır (Akyurt ve ark., 1971).

Sabit hızla kuruma periyodu boyunca, materyalden yüzeye doğru bir nem taşınması söz konusu olduğundan, materyalin iç katmanlarındaki nem içeriği giderek azalmaktadır. Kurumakta olan materyalin yüzeyinden birim zamanda buharlaşarak ayrılan suya eşit miktarda su, iç kısımlardan yüzeye taşınmamaktadır. Bunun sonucunda, materyalin yüzeyinin tamamen serbest su ile kaplı olması durumu sona ermektedir. Bu anda materyalin sahip olduğu nem düzeyine birinci kritik nem ve kuruma eğrilerinde bu durumu belirleyen noktaya ise birinci kritik nokta adı verilmektedir. Yukarıdaki açıklamalardan da anlaşılacağı gibi, sabit hızla kuruma periyodu, ısınma evresinin sona erdiği nokta ile birinci kritik nokta arasında yer alır. Birinci Kritik Nokta değerinden sonra, kuruma eğrisinin eğimi azalan yönde hızla değişim göstermektedir. Bu noktadan itibaren, kuruma hızının zaman içinde giderek azaldığı başka bir periyot başlamaktadır. Bu periyot, birim zaman aralıklarında buharlaşan nem miktarının bir önceki zaman dilimine göre azalma göstermesi nedeniyle, azalan hızla kuruma periyodu olarak tarif edilmektedir (Kırmacı, 2008). Azalan hızla kuruma periyodunda materyalin yüzeyindeki su filmi kaybolmaya başladığından kuruma hızı ıslak yüzey alanı ile orantılı olarak azalır. Bu evre sonunda, suyun materyalin iç kısımlarından yüzeye iletim hızı, yüzeyden meydana gelen buharlaşma hızından daha küçük olduğundan, materyalin yüzeyinin tamamen ince su tabakası ile kaplanması durumu ortadan kalkmaktadır. Bahsedilen kurutma periyotlarının modellenmesinde bu mekanistikler açısından teorik, yarı teorik ve deneysel yöntemlerden faydalanılmaktadır (Mengeş, 2005).

2.3. Kurutma Yöntemleri

Gıda kurutulmasında uygulanan bir çok yöntem ısı kaynağına göre geleneksel olarak doğal kurutma (güneşte kurutma) ve yapay kurutma olarak sınıflandırılır.

Yüzyıllardır uygulanan geleneksel bir teknik olarak doğal kurutma ürünün güneş altında kurutulmasıdır (Şekil 2.2). Ürün, toprak veya beton zemine branda, naylon ve bez üzerine serilerek veya tablalarda ve tepsilerde kurutulur. Güneş enerjisi gerektirdiğinden hava sıcaklık ve nemi önemli iki faktördür. Dolayısıyla tekniğin başarılı olabilmesi için iklim koşullarının uygun olması gerekir. Her mevsim uygulanması mümkün olmayabilir. En önemli dezavantajları, kontrollü bir kurutma sıcaklığı ve nemin olmaması ile dışarıdan kontaminasyona açık olmasıdır.



Şekil.2.2. Doğal kurutma (Kırmacı, 2008).

Yapay kurutma metotları kurutma süresini kısaltmak, kalitesini yükseltmek, ürünü güneşin radyasyon etkilerinden korumak için sıklıkla kullanılmaktadır. Doğal kurutmaya göre en büyük üstünlüğü kontrollü bir kurutma ortamı sağlanmasıyla doğal kurutmadan daha iyi nitelikte ürün elde edilmesidir (Bulduk, 2002). Ürünün, nem miktarı-sıcaklık-süre ilişkisi, kullanılan kurutucu tipine göre değiştiğinden kaliteli ürün için uygun kurutucu tipi seçimi gerekir.

2.3.1. Konveksiyonel kurutma

Konveksiyonel kurutmada ısı, gıda üzerine ısıtılmış hava üzerinden iletilerek gıdadan buharlaşan su bu hava ile sistemden uzaklaştırılır (Gürses, 1986). Sıcak hava ile kurutma yönteminde kurutucu hava bir ısı kaynağından faydalanılarak ısıtılmaktadır. Isıtılan hava kurutulacak ürünün üzerine gönderilerek ürün içinde önce sıcaklık artışına sonra da suyun buharlaşması ile kurumaya sebep olur. Bu kurutma tekniği tepsili kurutucularda gerçekleşir. Yaş (ıslak) ürün yüksek su içeriği sebebiyle yüzeyde sürekli ıslak olan bir tabakaya sahiptir. Bu su tabakası ile hava arasında yüksek yüzey gerilimine kuvvetlerine

sahip bir ara yüz (sınır tabaka) oluşur. Buharlaşan su molekülleri su-hava ara yüzeyindeki yüzey gerilim kuvvetine karşı koyamadığından üründe büzüşmeler görülmeye başlar. Bu durumun engellenmesi için kontrollü sıcaklık, süre ve nem oranı rejimlerinin kullanılması gerekir.

Atmosferik hava akımını kullanan sistemlerden biri olarak kabin kurutucuların, ısıtılan tavanlı sistemler (bu sistemlerde sadece doğal taşınım ve genelde zayıf ve düzensiz bir kurutma sağlanır), zorlanmış taşınımlı ve özel olarak tasarlanmış bölmeli tipler gibi birçok modeli vardır. Bu tip kurutucularda ısıtma, tavalara paralel sıcak hava akımı ile yani iç sirkülasyon ile tavaların yerleştirileceği ısıtılmış plakalar veya raflardan kondüksiyon ile veya ısıtılmış yüzeylerden radyasyon ile olur. Bu tip kurutucuların çoğunluğu aynı zamanda oluşan buharı da sürükleyip uzaklaştıran sıcak hava akımı ile ısıtılır (Gürses,1986).

2.3.2. Vakumlu kurutma

Vakumlu kurutma tekniği suyun buharlaşmasının, düşük basınçta atmosferik basınçtakinden daha kolay olması prensibine dayanır. Kurutulacak ürün kuruma sistemi içine alınır ve üründeki su vakumla uzaklaştırılır. Vakumlu kurutma, alternatif bir kurutma metodu olup, maliyetli olduğundan özellikle sıcaklığa duyarlı meyvelerin kurutulmasında kullanılan önemli bir yöntemdir. Yapılan çalışmalar bu metodun kuruma süresini kısalttığını göstermiştir (Zhong ve Lima, 2003). Ayrıca suyun uzaklaştırılması esnasında ortamda hava bulunmadığı için oksidasyon reaksiyonlarını azaltmaktadır. Vakumlu kurutucularda kurutulmuş ürünlerde renk, tekstür ve aroma atmosferik basınçta kurutma yönteminden daha iyi korunabilmektedir (Yongsawatdigul, 1995). Vakumlu kurutucular bölmeli kurutucular veya raflı kurutuculara benzer. Isı iletimi konveksiyon, kondüksiyon ve radyasyon yoluyla olur. Gıdadaki suyun buharlaşmasıyla oluşan su buharı yoğunlaştırılır ve sadece yoğunlaşmayan gazlar vakum pompasına gider (Gürses, 1986).

2.3.3. Liyofilizasyon (Dondurarak kurutma)

Liyofilizasyon dondurulmuş üründeki donmuş suyun düşük basınç altında (vakum) süblimasyon yoluyla uzaklaştırılmasıdır. Ürüne ısı iletimi kondüksiyon veya radyasyonla sağlanır. Ürün içindeki donmuş haldeki su, süblimasyonla su buharına dönüşür ve vakum pompası ile uzaklaştırılır, kondenser ile de yoğunlaştırılır (Gürses, 1986).

Genel olarak liyofilizasyon biyoteknolojik ürünler, bazı hassas kimyasallar ve ecza endüstrisinde yaygın olarak kullanılır. Gıda teknolojisi alanında bu tekniğin uygulanmaya başlaması gıdaların taze halde düşük sıcaklıklarda muhafaza edilmesi için gerekli enerji ihtiyacını otadan kaldırdığı gibi kurutulmuş ürünlerin uzun süre bozulmadan saklanabilmesini mümkün hale getirmiştir (Cabi, 1978).

Bozulmaya ve yüksek sıcaklığa karşı hassas ve su içeriği çok yüksek olan karadut gibi meyve ve sebzelerin kurutulmasında geleneksel yöntemlerin kullanılması zordur. Liyofilizasyonda ise yüksek sıcaklıklar söz konusu olmadığından çoğunlukla biyolojik orjinli sıvı veya fazla miktarda su ihtiva eden katı maddelerin uzun süre dış ve iç etmenlerden en az zarar görecektir şekilde kurutulmaları sağlanır ve diğer geleneksel kurutma yöntemleriyle kıyaslandığında enzimatik olmayan esmerleşme reaksiyonları, protein denatürasyonu ve enzimatik reaksiyonlar minimuma indirilir (Çelebi, 2006). Liyofilizasyonda işlem süresince yüksek vakum uygulanmasıyla neredeyse meyve üzerinde hiç basınç olmadığından tat ve koku hücreleri zarar görmez. Burada önemli bir faktör olan yapısal sertlik, süblimasyonun meydana geldiği yüzeyin donmuş olmasıyla sağlanmaktadır (Aschkenasy,1989). Liyofilize gıda yüksek rehidrasyon yeteneğinde olduğundan gözenekli yapısı sayesinde bünyesine suyu hızla alarak taze yapısına çok yakın bir yapıya ulaşır.

Liyofilizasyon işlemi dondurma, birinci kurutma ve ikinci kurutma olarak 3 ana basamaktan oluşur. İlk basamakta ürün içindeki suyun tamamı buz haline geçene kadar ürün dondurulur. İlk basamakta tamamen bir katılaşma gerçekleştikten sonra, 1.kurutma basamağında buzun süblimasyonunda kullanılacak olan ısıyı sağlamak için sıcaklık yavaşça artırılır. İkincil kurutma evresi, suyun genellikle oda sıcaklığından daha üst sıcaklıklarda desorpsiyonla uzaklaştırılmasını içerir (Gieseler, 2004).

Dondurma evresinde materyal, özelliğine uygun biçimde dondurulur. Dondurma metodu, dondurma hızı ve çözeltinin içeriği, kurutma hızını ve kurutulmuş ürün kalitesini doğrudan etkiler. Donma hızı, gıdanın cinsi, şekli, yapısı ve ileride kullanılma amacına bağlı olarak değişir. Yine donma hızına bağlı olarak gıdanın besin değerinde değişimler (protein denatürasyonu ihtimali yavaş dondurma tekniğinde daha fazladır), rehidrasyon özelliği (tekrar su alma kapasitesi ve bunun için geçecek süre) ve dondurmadan sonra strüktür (yapı) değişiklikleri gözlemlenebilir. Yavaş dondurma sonucunda gıda içerisindeki buz

kristallerinin büyüklükleri, hızlı bir dondurma sonucunda meydana gelenlerden çok daha fazladır. Çizelge 2.3’de dondurma hızı ve dondurulma sıcaklığının oluşan buz kristalleri üzerine etkisi verilmiştir.

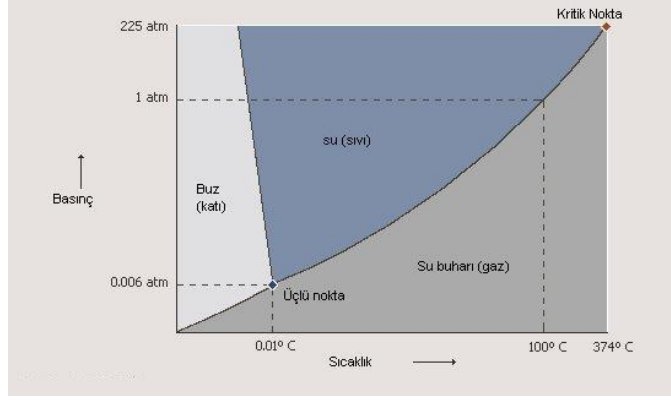
Çizelge 2.3. Dondurma hızı ve dondurulma sıcaklığının oluşan buz kristalleri üzerine etkisi (Gieseler, 2004).

Dondurma işleminin yapıldığı sıcaklık derecesi (°C)	Dondurma hızı (cm/dak)	Buz kristallerinin büyüklüğü (cm²)
-10	0,06	42
-25	0,12	11
-42	0,13	14
-196	0,95	1,7

Buz kristallerinin büyük veya küçük oluşu, süblimasyon safhasında gıda maddesinin kuruyan tabakalarının su buharına karşı geçirgenlik değeri üzerinde büyük rol oynar. Eğer buz kristalleri küçük ve birbirleriyle olan bağları az ise kurutulmuş tabakadaki su buharının taşınımı sınırlı olacaktır (Sadıkoğlu ve Özdemir, 2003). Diğer bir deyişle, kurumuş tabakadaki olası küçük boyuttaki gözenekler, birinci kurutma evresi boyunca su buharının transferine karşı direnç gösterir. Bu durum kuruma süresini uzatacaktır. Diğer taraftan, küçük buz kristalleri yüksek oranda yüzey alanına sahiptir ve bu sayede ikinci kurutma evresi boyunca suyun hızlı uzaklaştırılmasını sağlar (Gieseler, 2004).

Birincil kurutma evresinde önceden dondurulmuş olan gıda, kurutma haznesine yerleştirilir ve donmuş haldeki su süblimasyonla uzaklaştırılır. Süblimasyon, katı haldeki çözücünün sıvı faza geçmeden gaz faza geçmesidir (Dolan, 1998). Bir maddenin hangi hali (katı, sıvı, ya da gaz) alacağını belirleyen iki temel faktör vardır. Biri sıcaklık, diğeri ise atmosfer basıncıdır. Bir maddenin belli bir hali alabilmesi için sıcaklığın ve basıncın belirli bir sınır aralığında olması gerekmektedir.

Bir madde katı fazdan buhar fazına iki yolla geçebilir. Birinci yolda önce sıvı faza sonra buhar fazına geçer. İkinci yolda ise katı madde doğrudan buhar fazına geçer. Doğrudan geçiş ancak üçlü nokta altındaki basınçlarda olabilir. Çünkü maddenin bu basınç noktasının altında sıvı halde bulunması söz konusu değildir (Çengel ve Boles, 2002).



Şekil.2.3. Denge faz diyagramı (Özkara, 2003).

Şekil 2.3'den anlaşılacağı gibi maddenin katı halden sıvı hale geçmesi erime, sıvı halden katı hale geçmesi donma olduğu gibi sıvı halden gaz haline geçişi buharlaşma, gaz halinden sıvı hale geçiş ise yoğuşmadır. Liyofilizasyon işleminde önemli olan katı halden gaz haline geçiş olarak tanımlanan süblimasyon olayıdır (Özkara, 2003; Dolan,1998). Süblimleşme koşulları için, suyun denge faz diyagramı kullanılır. Denge faz diyagramı (üçlü nokta), suyun tek bir bileşen sisteminde farklı fazların dengede olduğu basınç ve sıcaklığı gösterir. Bu diyagram aynı zamanda süblimasyon için gerekli sıcaklık ve basınç aralıklarının belirlenmesi için kullanılabilir. Şekil 3.3'de görüldüğü gibi suyun her üç fazının bir arada dengede bulunduğu koşul (0.006 atm, 0.0098°C), suyun üçlü noktası (triple point)'dır. Bu, sistemde üç fazın aynı anda dengede kalabilmesi için hiç bir değişkenin değiştirilmemesi gerekir. Değişkenlerin herhangi birinin değiştirilmesi durumunda sistem iki veya tek fazlı duruma döner. Normal şartlar altında su 0°C'de donmasına rağmen, hava basıncının 1 atm'den 0.006 atm'e indirilmesi ile donma sıcaklığı yükselerek 0.0098°C olur. Üçlü noktanın altındaki basınç değerlerinde buz halindeki su, sıcaklığın artırılması ile sıvılaşmadan buhar fazına geçer (süblimasyon).

Liyofilizasyonda, kurutma prosesi ısı iletimi açısından değerlendirilir ise kurutulacak gıdaya ısı iletiminin kondüksiyon veya radyasyonla veya her iki yolla olduğu gözlemlenir. Bu yöntemle kurutmada en önemli husus ısı iletim hızının kontrolüdür. Donmuş durumdaki gıda maddesinin yani buzun erimemesine dikkat etmek gereklidir. Bu nedenle ısı iletim hızı buzun erimemesini sağlayacak düzeyde düşük olmalıdır. Diğer taraftan kurutmayı uygun olan kısa bir sürede tamamlayabilmek için ısı iletim hızı olanaklar ölçüsünde yüksek olmalıdır. Kontrol edilmesi gereken diğer bir faktör yüzey sıcaklığının, gıda yüzeyinde herhangi bir bozulmaya neden olabilecek düzeye yükselmemesidir

(Gürses,1986). Bu en yüksek ve kontrollü ısıtma hızını sağlamak etkili ve verimli bir dondurarak kurutucunun dizaynında en önemli konudur.

Süblimasyonun gerçekleşmesi ve devamının sağlanması için su buharı moleküllerinin bu ortamından ayrılmasının sağlanması gerekir. Bunun için en etkili metod, daha düşük basınçlı ortam (0.06 atm'in altında tutulur) ve daha soğuk bir yüzey (kondenser) oluşturularak su buharı moleküllerinin bu yüzeye doğru hareketinin sağlanmasıdır. Bu koşullar altında su buharı molekülleri soğuk olan yüzeye difüze olacaklar ve bu yüzeyde yoğunlaşarak buz kristalleri halinde tutulacaklardır. Bundan sonraki aşama ise su buharı moleküllerinin kondenserde hapsedilmesi için daha kolay bir yol izlemelerini sağlamaktır. Bunun için yoğunlaşmayan moleküllerin vakum pompasıyla uzaklaştırılması sağlanmalıdır. Dolayısıyla kurutma haznesinin havası boşaltılarak vakum oluşturulur (Yurdakul, 2008). Donmuş haldeki saf su buharlaştırılıyorsa saf suyun 0°C'deki süblimasyonu 4,58 mmHg basınçta gerçekleşir. Fakat genellikle gıdaların veya çözeltilerin içindeki suyla beraber suda çözünen bileşenler bulunduğu için donma sıcaklığı 0°C'nin altındadır. Bu yüzden bu evre boyunca donmuş tabakanın sıcaklığı -10°C'nin altında, kurutma haznesi içindeki mutlak basınç ise 2 mmHg'nin altında olmalıdır (Sadıkoğlu ve Özdemir, 2003).

Süblimasyon endotermik bir reaksiyon olduğu için, buza süblimasyon enerjisi (670 kcal/kg) verildiği anda süblimasyon başlar ve buhar halinde gıdadan ayrılan su kondensör üzerinde yoğunlaşarak buz haline geçer ve orada toplanır (Mc cleary, 1987). Kondüksiyon ile ürünün ısıtılması ürünün bulunduğu haznenin altında bulunan plakaların ısıtılmasıyla sağlanır. (Cabi,1978). Süblimasyon sonucu kuruyan ve hala donmuş halde olan tabaka arasında bir ara yüzey meydana gelir. Kuruyan alandaki gözenekler buhar akışında bir ara yüzey oluşturularak buhar akışına karşı direnç oluşturur. Bu direnç süblimasyon oranını azaltır ve zamanla sıfıra yakalaşır. Serbest suyun tamamen süblimasyonu ile nem miktarı %7-8'e düşer ve birinci kurutma periyodu biter (Özkara, 2003).

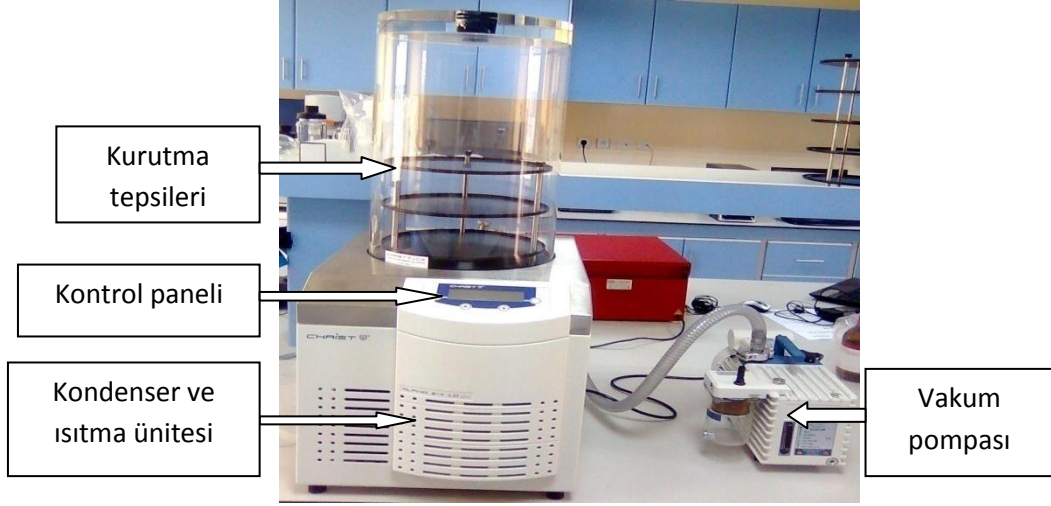
Bu safhada kurumuş tabakanın permeabilitesi, numunenin özelliği ve dondurulma tekniğinin yanı sıra, süblimasyon sınırı ile gıdanın yüzeyi arasındaki basınç farkından da önemli derecede etkilenmektedir. Bu iki noktadaki basınçlar arasındaki farkın fazla olması permeabiliteyi, dolayısıyla kurumuş bölgeyi geçen su buharı miktarını artırmaktadır (Cabi, 1978).

Donmuş suyun süblimasyonla uzaklaşmasından sonra birincil kurutma safhası biter. Numunenin sıcaklığı sıfır ve üstündeki derecelere yükselmiş olacaktır. Bu andan itibaren ikincil kurutma başlar. Birincil kurutma evresinde kurutulmuş tabakalardan geçen su buharının bir kısmı bu tabakalar tarafından geçiş sırasında absorbe edilmektedir. Absorbe olmuş su üründen bu safhada uzaklaştırılır. Bu safha numune içerisinde bulunan uçucu tat ve koku maddelerinin kaybını önlemek için çok düşük basınç altında oda sıcaklığına yakın derecelerde gerçekleştirilir. Bu sıcaklık ürüne göre değişmekle beraber genelde 30-50°C arasında ve çok düşük basınç altında (0,010 mmHg) gerçekleşmektedir (Cabi, 1978). Numune içerisindeki suyun tamamını almak mümkün değildir. Belirli bir süre sonunda gıdada kalan su buharı basıncı ile onu çevreleyen ortamdaki su buharı basıncı arasında bir denge oluşacaktır. Kurutmadan beklenen amaca uygun olarak kurutma işlemine bu safhada son verilir.

2.3.3.1. Liyofilizatör sistem elemanları

Liyofilizatör sistemi Şekil 2.4'te görüldüğü gibi, soğutucu (kondenser), kurutma haznesi, vakum pompası ve ısıtma ünitesi olmak üzere dört kısımdan oluşur.

Liyofilizasyon işleminin kendi içinde enerji maliyetini incelemek için Ratti (2001) yaptığı çalışmada süblimasyonun toplam enerjinin yarısını kullandığı ve dondurmanın toplam enerjinin ancak %4'ünü kullandığını saptamıştır. Vakum ve yoğuşma için gereken enerjiler ise hemen hemen eşittir. Enerji maliyetlerini azaltmayı sağlamada süblimasyonu kolaylaştırmak için ısı transferi geliştirilmeli, kurutmayı kısa tutmak için vakum düşürmeli ve yoğuşturucuları kullanmaktan kaçınılmalıdır.



Şekil 2.4. Laboratuvar tipi liyofilizatör.

2.3.3.2. Liyofilizasyonun kullanım alanları

Stabil olmayan ve ısıya duyarlı yapıya sahip ürünlerde rehidrasyon hız ve yeteneğinin yüksek olması istendiğinde, kurutulacak ürün ekonomik açıdan yüksek değere sahipse ve ürün ağırlığının minimize edilmesi istendiğinde liyofilizasyon başarıyla uygulanabilir (Taylor ve Zhai, 2000).

Liyofilizasyon yöntemi gıda sanayisinde geleneksel kurutma yöntemleri ile kurutulmaları zor olan meyve ve sebzeler, bebek mamaları ve askeri yemekler gibi hazır gıdaları için uygulanmaktadır. Liyofilize sebzeler ve bitkiler ticari anlamda ağırlıklı olarak hazır çorba benzeri ambalajlanmış, pişirmeye hazır kuru ürünlerde kullanılırken, liyofilize meyveler bunların yanında tahıl ve gevrek içerikli kahvaltılık malzemelerde kullanılmaktadırlar (Yurdakul, 2008). İlaç sanayinde, zamanla bozulmaya uğrayabilen ilaçların moleküllerinin kararlı hale getirilmesi ve böylece biyoaktivitenin korunması şeklinde uygulanır (Kırmacı, 2008).

2.3.3.3. Liyofilizasyonun avantajları ve dezavantajları

Liyofilizasyon ile geleneksel kurutma arasındaki temel farklılıklar Çizelge 2.4'te verilmiştir (Fellows, 2000). Görüldüğü üzere liyofilizasyon besin değeri, renk, tat ve koku ile yığın yoğunluğunun az olması sebebiyle geleneksel kurutmaya göre avantajlı olup rehidrasyon yeteneği daha iyidir.

Çizelge 2.4. Geleneksel kurutma ve liyofilizasyon yönteminin karşılaştırılması (Fellows, 2000).

Geleneksel kurutma	Liyofilizasyon
Kolay kuruyan gıdalarda	Çoğu gıda maddesinde
Sıcaklık aralığı 37-93°C	Donma noktasının altında
Atmosferik basınç	Düşük basınç (0,02 atm)
Yapısal bozulma ve büzülme	Minimum yapı bozulumu ve büzülme
Yüzeyden buharlaşma	Buz düzeyinde süblimasyon
Çözücü hareket halinde	Minimum çözücü hareketi
Yavaş ve tamamlanmamış rehidrasyon	Hızlı ve tamamlanmış rehidrasyon
Kuru ürün orijinal üründen yüksek yığın yoğunluğunda	Düşük yığın yoğunluğunda
Koku ve tatta genelde bozulma	Koku ve tat normal
Renkte koyulaşma	Renk normal
Besin değeri düşer	Besin değeri korunur

Liyofilize maddeye tekrar su ilave edildiğinde gözenekli iç yapısı sayesinde kolayca su alarak (rehidrasyon) kurutma öncesi yapısına yeniden kavuşur. Büzüşme ihmal edilecek kadar az olduğundan ürünün ilk şekli bozulmamaktadır. Konveksiyonel kurutulmuş ürünlerde; ürün hacminin azalması, kırışıklıklar, renk değişimi ve deformasyon, çöküşü gösteren niteliklerdir (Jankovie, 1993). Çizelge 2.5'te dondurarak ve konveksiyonel kurutma sırasında gıdanın hacimlerindeki değişimler karşılaştırılmıştır.

Çizelge 2.5. Konveksiyonel ve dondurarak kurutulmuş çilekte büzülmenin incelenmesi (Jankovie, 1993).

Fiziksel değişiklik	Hacim korunması (%)	
	Konveksiyonel kurutma	Dondurarak kurutma
Kurutma yöntemleri		
Çilek	6.59	80.26
Ahududu	6.13	74.97
Böğürtlen	16.13	78.05

Liyofilize ürünlerin aroma ve beslenme değerleri yüksek düzeyde korunurken ürünün besin değerini düşüren etmenler klasik kurutma tekniklerinde bir sorundur (Yağcıoğlu, 1999). Liyofilize ürün soğukta saklamaya gerek kalmadan oda sıcaklığında saklanabilir (Sadıkoğlu ve Özdemir, 2003).

Liyofilizasyon işleminin avantajlarına karşılık dezavantajları da vardır. Liyofilizasyon yöntemiyle kuruyan gıdalarda oluşan açık gözenekli yapı, hızlı ve tamamlanmış bir

rehidrasyon sağlamasına rağmen oldukça narın ve kırılğan özelliktedir. Bu yüzden mekanik olarak gelebilecek zararlara karşı korunmalıdırlar. Bu amaçla paketlemede genellikle inert bir gaz kullanılmalıdır (Fellows, 2000). Diğer kurutma yöntemlerine göre daha yüksek yatırım ve işletme masrafları gerektirmektedir. Bunun nedeni, kurutma hızının düşük olması ve enerji kullanılmasını gerektiren işlemler içermesidir (Sadıkoğlu ve Özdemir, 2003).

2.4. Karadut Kurutmada Önemli Kalite Unsurları

Gıdaların korunmasında, işlem ve depolama sırasında besin değerini korumak amaçlanır. Gıda bileşenlerinin bozulması, kötü tat, koku oluşumu, renk bozulması ve yapısal özelliklerde meydana gelen değişimler sonucu gıdaların kalitesinde değişiklikler görülmektedir. Genel olarak kurutma işlemi sırasında üründe gözlenen kalite değişimleri şöyle sıralanabilir; suda çözünen maddelerin yüzeye veya merkeze doğru hareketi, büzülme, kabuk bağlama, kuru üründe su alma özelliğinin olmaması, uçucu bileşenlerin kaybı, aroma ve besin kaybı, enzimatik olmayan kararma ve oksidasyon, enzimatik ve mikrobiyolojik reaksiyonlardır.

Yukarıda sayılan ilk dört özellik, gıda maddesinin tekstürel yapısını belirler. Uçucu bileşenlerin kaybının önlenmesi, gıda maddesinin orijinal tat ve kokusunun muhafazası açısından önemlidir. Enzimatik olan ve olmayan reaksiyonlarla, mikrobiyolojik değişimler, gıda maddesini tüketilmez hale getiren ve besin değerini azaltan reaksiyonlardır. Bu reaksiyon hızlarına karşı, kuruma oranının optimize edilmesi için kuruma işlemi sırasında, süre, sıcaklık ve nem değişiminin (kuruma kinetiğinin) ve belirli bir sıcaklık ve nemde, bozulma reaksiyonlarının hız stabilitelelerinin bilinmesi gerekir (Van Arsdel, 1973).

2.4.1. Antosiyanin kaybı

Fenolik bileşikler yapılarında fenol fonksiyonu taşıyan çeşitli bileşikler kapsar. Hepsi antioksidan aktivite göstermekte ve bunlardan yaklaşık 50 tanesi gıdalarda bulunmaktadır. Bunlardan flavanoidler C halkasındaki sabsitiye gruplara ve B halkasının pozisyonuna bağlı olarak flavonoidler çeşitli alt gruplara sınıflandırılmıştır. Bunlar arasında en önemlileri antosiyaninler ve tanenlerdir (Peterson ve ark., 2005). Antosiyaninler karadut, üzüm, çilek, vişne gibi meyvelere rengini veren (kırmızı, mor, pembe, mavi) ayrıca çeşitli çiçekler ve bitki köklerinde de bulunan, en iyi doğal renklendiricilerdir. Antosiyaninler

doğada antosiyanidinlerin glikozitleri olarak bulunurlar. Antosiyaninlerin şeker olmayan kısmı, fenolik maddelerden antosiyanidinler ($C_6-C_3-C_6$) olarak adlandırılmaktadır. Her bir antosiyanidin farklı şeker ya da asitlerle, farklı pozisyonlarda bağlanması ile çok sayıda antosiyanin oluşabilmektedir (Jamet ve Ebeling, 2002; Çalimli, 2003). Flavonoidlerin antioksidan aktivitesi genellikle üç türlü olmaktadır. Flavonoidler ya birincil antioksidan olarak, ya da şelatlayıcı olarak ya da süperoksit anyon yakalayıcısı olarak serbest radikallerin etkisini giderirler.

Antosiyaninlerin stabilitesini etkileyen faktörler; pH, sıcaklık, ışık, kopigmentler, metalik iyonlar, oksijen, askorbik asit, şeker ve degradasyon ürünleri şeklinde sıralanabilir. Bu faktörlerin yanı sıra açılma gibi antosiyanin yapısını etkileyen durumlar da stabiliteyi etkilemektedir (Türker ve ark., 2004). $40^{\circ}C$ 'den yüksek sıcaklıklarda antosiyanin renk pigmentinin azaldığı ve parçalandığı yapılan çalışmalarla saptanmıştır (Dalal ve Salunke,1964). Antosiyaninler parçalanmış olsa da bunun gözle algılanması olanaklı olmadığı gibi aksine rengin daha da yoğunlaşmış olduğu gibi yanlış bir algılama sözü konusu olmaktadır. Çünkü parçalanma ürünlerinin polimerizasyonu ile, bu defa esmer-siyah renkli bileşikler oluşmakta ve buda gözle yanlış algılanmaktadır. Bu nedenle renk değişmelerinin belirlenmesi için antosiyanin tayini yapılmaktadır.

2.4.2. Yığın yoğunluğu

Yığın yoğunluğu kurutulmuş bir ürünün kalite göstergesidir ve kurutma yöntemleri ile kurutma koşullarından etkilenmektedir. Yığın yoğunluğu, bir gıda materyalinin birim hacminin ağırlığı olarak tanımlanır. Endüstriyel anlamda ise metreküp hacmi dolduran ürünün ağırlığı (kg)'dır. Eğer kurutulmuş üründe büzülme olmamışsa ve ürün başlangıçtaki boyutlarını korumuşsa, bu ürünün yığın yoğunluğu, sadece kaybettiği su kadar azalmıştır. Fakat kurutulan ürünler uygulanan kurutma yöntemine ve kurutma koşullarına bağlı olarak kendine özgü bir büzülme niteliği göstermektedir. Bu da kuru ürünün yığın yoğunluğu değerlerini değiştirmektedir. Kurutulmuş ürünün su kaybına bağlı olarak hacminde ve ağırlığında kayıplar meydana gelmekte buda yığın yoğunluğunu değiştirmektedir (Ratti,1994).

2.4.3. Renk özellikleri

Gıdaların kurutulması sırasında ortaya çıkan en önemli renk değişimleri enzimatik ve enzimatik olmayan (Maillard reaksiyonları) esmerleşme reaksiyonları sonucu oluşmaktadır. Bu reaksiyonlardan enzimatik olmayan esmerleşme daha çok depolama sıcaklığı ve süresi ile ilişkilidir. Buna karşılık enzimatik esmerleşme özellikle proses sırasında ortaya çıkmaktadır. Kurutma sırasında gıdalarda meydana gelen reaksiyonlar kuru üründe kahverengi pigment oluşumuna yol açarak renk üzerinde kimyasal değişmelerin meydana gelmesine yani esmerleşmeye neden olmaktadır. Kaliteyi olumsuz yönde etkileyen bu değişimin minimum düzeyde tutulması gerekmektedir (Katara ve Nath, 1985).

Bir ürüne rengi veren pigmentler ise estetik öneme sahip olmalarının yanında meyvelerde olgunluk simgesidir ve meyvelerde olgunlaşma zamanının ve muhafaza süresinin belirlenmesinde kullanılan önemli bir kalite kriteridir. Özellikle üzümü meyvelerde ısıl bozulma nedeniyle önemli ölçüde antosiyanin kaybı oluşmaktadır (Yang ve Atallah, 1985). Kurutma işlemi sırasında renk bozunma mekanizmalarının açıklanması amacıyla çeşitli araştırmalar yapılmaktadır. Yapılan çalışmaların çoğu kurutulmuş ürünlerin kurutma sonrası renk değerlerinin (L^* , a^* , b^*) ölçümü temeline dayanmaktadır. L^* eksen parlaklık değerini vermekte olup, ölçülen renge göre 0 ile 100 arasında değişen değerler alabilmektedir. Ölçülen renk koyu ise L^* değeri düşük; renk açık ise yüksektir. a^* değeri pozitif değer aldığı anda ölçülen renk kırmızı, negatif değer aldığı anda ise yeşil olmaktadır. b^* pozitif değer aldığı anda ölçülen renk sarı, negatif değer aldığı anda ise mavidir. a^* değerindeki azalış klorofil kaybını, b^* değerindeki azalma ise karotenoid kaybını göstermektedir.

2.4.4. Nem içeriği

Nem içeriği gıda işleme ve gıda kontrolünde en fazla kullanılan parametrelerdendir. Kurutulmuş gıdanın nem içeriği raf ömrü ve kurutmanın etkinliğinin belirlenmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Gıdadaki su miktarı arttıkça kuru madde miktarı azalır. Genel olarak gıdalar ortamın ve gıdanın nemine bağlı olarak su kazanır veya kaybeder. Gıdanın nemi çevrenin neminden düşükse ürün su kazanır tersi söz konusu olduğunda ise su kaybeder. Nem miktarı gıdanın dayanıklılığını etkileyen önemli bir faktördür. Gıdada nem miktarı arttıkça mikrobiyal gelişme açısından daha uygun bir ortam oluşmaktadır ve

gıdalarda nonenzimatik (enzimatik olmayan) esmerleşme reaksiyonları (Maillard reaksiyonları) oluşmaktadır (Ayhan, 2000).

Gıdalarda nem üç şekilde bulunur. Bağlı nem gıdadaki protein ve karbonhidrat moleküllerine veya kolloid yüzeylere bağlı olarak bulunur. Serbest su hücreler arasında bulunan ve buharlaştırma ve kurutma ile uzaklaşabilen sudur. Absorbe olmuş (emilmiş) nem gıdaların üst yüzeylerinde bulunan sudur. İşlenmiş gıdalarda bulunabilecek maksimum nem miktarı standart ve tüzüklerle sınırlandırılmıştır. Genel olarak taze sebze ve meyvelerde %75 – 95, kuru meyvelerde %20, sütte %85, taze yumurtada %70 – 75, ette %45 – 65, tahıllar, kuru baklagiller ve kuru yemişlerde %5 – 15 su bulunmaktadır.

2.4.5. Su aktivitesi

Bütün gıdalar su içermektedir ve bu durum gıdalardaki mikrobiyolojik ve kimyasal değişikliklerden kaynaklanan bozulmalara neden olmaktadır. Su içeriğinin kontrolü ile gıdaların korunması prensibi en eski yöntemlerden biridir. Gıdaların korunması amacıyla göz önünde tutulması gereken ve mikrobiyolojik gelişme ile enzim aktivitesi açısından su miktarını en iyi açıklayan kriter su aktivitesidir. Su aktivitesi, gıda ürünlerinde suyun yapısal ve kimyasal olarak ne kadar sıkı bağlandığının ölçüsüdür. Bu açıdan gerek gıdanın işlenmesi gerekse depolanması sırasında su aktivitesinin kontrolü önemlidir.

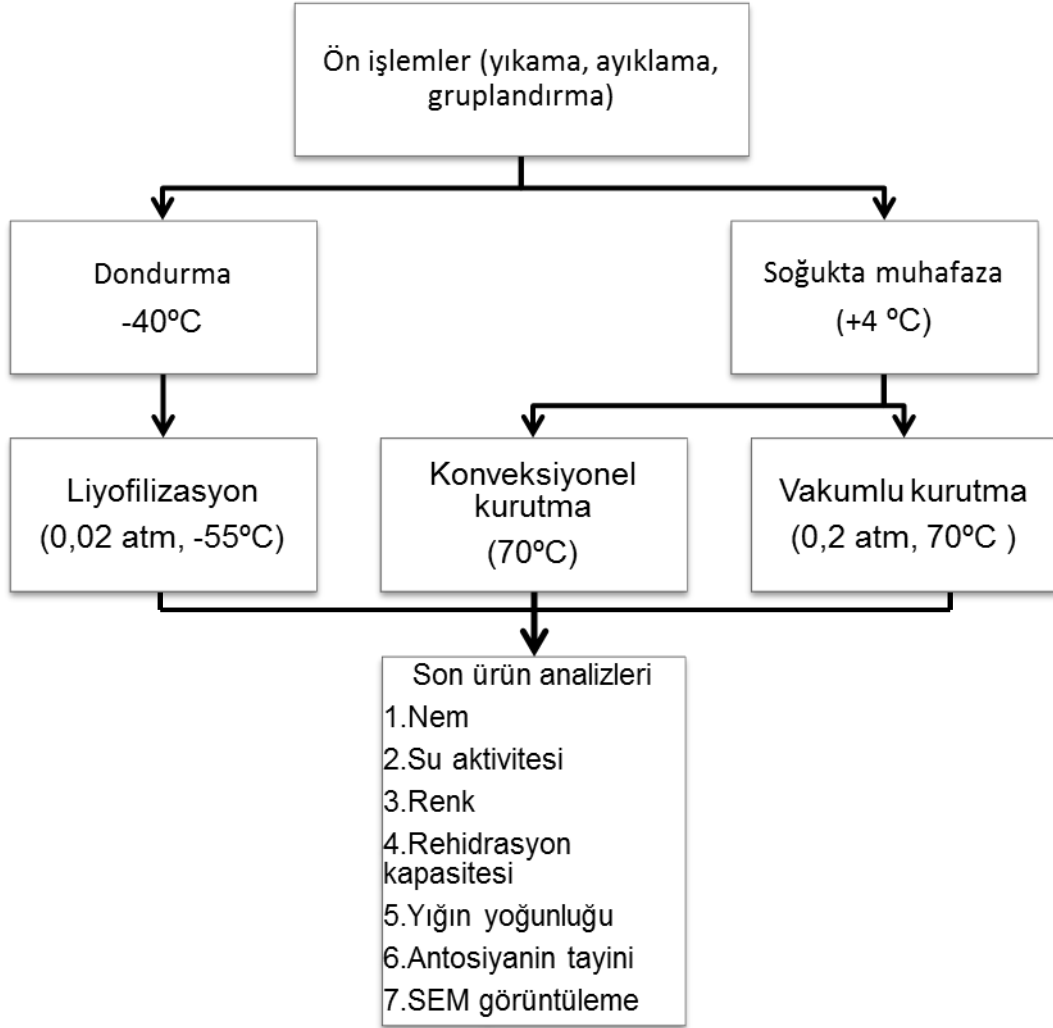
2.4.6. Rehidrasyon kapasitesi

Rehidrasyon kurutulmuş ürünün tekrar suda bırakıldığında su alabilme yeteneğinin ölçüsüdür. Rehidrasyon kapasitesi kurumuş gıdanın kalitesini belirlemede bir parametre olarak kullanılır. Rehidrasyon süresince, kurutma işlemi ile uzaklaştırılan suyun tamamı geri kazanılmasa da, kazanılan suyun miktarı ile gıdanın orijinal tekstürüne ve su içeriğine ulaşması aynı seviyede gerçekleşir. Bu nedenlerle kuru üründe yüksek rehidrasyon kapasitesi aranan bir kalite kriteridir.

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Materyal

Denemelerde hammadde olarak kullanılan karadutlar hasat mevsiminde K.Maraş yöresinde aynı ağaçtan toplanarak temin edildi. 3 farklı kurutma yöntemiyle kurutulması için yapılan ön işlemler, kurutma sonunda son ürünlerin eldesi ve bu ürünlere yapılan analizler için işlem basamakları Şekil 3.1’de verildi.



Şekil 3.1. Karadut işleme basamakları ve son ürün analizler.

Karadutların çürük ve bozuk olanları ayıklanarak boyutları birbirine yakın olanlar gruplara ayrıldı. Liyofilizasyon işlemi uygulanacak olan örnekler -40°C’de derin dondurucuda, konveksiyonel ve vakumlu kurutulacak örnekler ise +4°C’de işlem zamanına kadar buzdolabında muhafaza edildi.

3.2. Metot

Çalışma kapsamında dondurarak, vakumlu ve konveksiyonel olmak üzere 3 farklı teknikle kurutulan karadut örneklerinin kıyaslanması için seçilmiş kalite kriterleri belirlendi. Kurutma sırasında belirli zaman aralıklarında (nem ve su aktivitesi tayini için 1 saat aralıkla, renk tayini için 5 saat aralıkla) kurutuculardan örnekler alınarak ağırlıkları, nem içerikleri, su aktiviteleri ve renk değerleri kaydedildi.

3.2.1. Kurutma denemeleri

Karadut 3 farklı yöntem olan liyofilizasyon, konveksiyonel ve vakumlu kurutma teknikleriyle kurutuldu. Liyofilizasyon için Şekil 3.2’de görülen Christ Alpha marka LD 2-4 model liyofilizatör kullanıldı. Kurutma işlemi öncesi kondenser sıcaklığı -55°C ’ye ayarlandı. Ön işlemde geçirilen ve -40°C ’de dondurulan örnekler liyofilizatör tepsilerine yerleştirildi. Kurutma haznesinin kapağı kapatıldıktan sonra vakum açılarak basınç $0,02\text{ atm}$ ’e ayarlandı.



Şekil 3.2. Liyofilizatör.

Konveksiyonel kurutma denemeleri için ön işlemlerden geçirilen karadutlar kurutulmak üzere 70°C ’ye ayarlanmış Şekil 3.3’te görülen Med Center marka Ecocell model etüve yerleştirildi. Kurutma süresince ağırlık değişimi takip edildi. Değerler birer saat aralıklarla ölçülerek kaydedildi ve son bir saatteki ölçümler arasındaki fark %1’den daha az olana kadar kurutma işlemine devam edildi.

Vakumlu kurutma prosesi için ön işlenmiş karadutlar Şekil 3.4'te görülen Med Center marka Vacucell model vakumlu etüve yerleştirilerek kurutma işlemi 70°C ve 0,2 atm'de gerçekleştirildi.



Şekil 3.3. Etüv.

Tüm kurutma prosesleri için ağırlık değişimi birer saat aralıklarla kaydedilerek tartımlar arasındaki fark % 1'den daha az olana kadar kurutma işlemine devam edildi.



Şekil 3.4. Vakumlu etüv.

3.2.2. Deneysel çalışmada uygulanacak analizler

Liyofilizasyonun karadut kurutmadaki potansiyelinin belirlenmesinde konveksiyonel ve vakumlu kurutma teknikleri ile kıyaslamalar yapılabilmesi için taze karadut ve kurutulmuş örnekler nem, su aktivitesi, renk, toplam antosiyanin, yığın yoğunluğu analizleri uygulandı. Kurutulmuş örneklerin ayrıca rehidrasyon kapasiteleri belirlendi ve SEM görüntüleri oluşturuldu.

3.2.2.1. Ağırlık kaybı, nem içeriği, boyutsuz nem oranı ve su aktivitesinin belirlenmesi

Çalışmada 3 farklı kurutma yöntemiyle 5 paralelli kurutulan örneklerin zamana bağlı ağırlık kaybı ve nem içerikleri kaydedildi ve bu değerler farklı sistemlerin kurutma başarılarının kıyaslanmasında kullanıldı.

Örneklerin nem içerikleri TSE 485 metoduna göre belirlendi. Bu amaçla parçalanmış meyvelerin 1/10 oranında saf su ile karıştırılarak denge çözünür kuru madde noktasına ulaşılan kadar bekletilmesiyle homojenatlar hazırlandı. Kapağı ile beraber sabit tartıma kadar etüvde kurutulmuş petri kutusunun darası alındı. 54 gr homojenat (homejen hale gelinceye kadar ezilmiş) 0,1 mg hassasiyetle tartılarak kurutma kabına alındı ve kapağı açık şekilde etüvde 105°C'de kurutuldu. İlk 3 saat sonunda numuneler kapağı kapatılarak

desikatöre alındı, oda sıcaklığına gelinceye kadar desikatörde bekletildi ve tartılarak ağırlık değişimi kaydedildi. İlk tartımdan sonra her saat sonunda numuneler tekrar tartılarak iki tartım arasındaki fark 1 mg'den az oluncaya (sabit tartım) kadar işleme devam edildi. Nem içeriği ağırlık üzerinden yüzde olarak Eşitlik (1)'e göre hesaplandı.

$$\% \text{ Nem içeriği} = 100 \times \frac{(M-M_1)}{M_1} \quad (1)$$

Burada;

M = Deneysel numunesinin başlangıç ağırlığı, gr

M₁ = Deneysel numunesinin kurutulduktan sonraki ağırlığı, gr

Örneklerdeki nemin kuruma süresince zamana bağlı değişimini belirlemek amacıyla boyutsuz nem oranı kullanıldı. Yarı teorik modeller içinde yaygın kullanılan nem oranının (MR) zamana (t) bağlı değişimi Eşitlik (2) ile ifade edildi.

$$MR = \frac{N_t - N_d}{N_0 - N_d} \quad (2)$$

Eşitlikte

N₀: Başlangıç nem içeriğini,

N_t: t anındaki nemi,

N_d: Denge nemini ifade etmektedir (Mengeş, 2005).

Farklı kurutma tekniklerinin kurutma başarısı açısından kıyaslanması için nem içeriği yanında su aktivitesi değerleri de büyük önem taşımaktadır. Bu açıdan taze ve kurutulmuş örneklerin su aktiviteleri AQUA LAB marka su aktivitesi ölçer ile belirlendi. Cihazın LCD ekranından 22°C'deki su aktivitesi değerleri doğrudan kaydedildi. Her kurutma yöntemi için örnekler 5 paralelli olarak çalışıldı.

3.2.2.2. Yığın yoğunluğunun belirlenmesi

Yığın yoğunluğu kütlenin hacme oranı olup farklı kurutma prosesleri sırasında hacimde meydana gelen değişimleri ve buna bağlı olarak ürünlerdeki büzüşme düzeyini ifade etmektedir. Başarılı bir kurutmada büzüşmelerin kabul edilebilir seviyelerde olması beklenir. 5 paralelli çalışılan taze ve kurutulmuş örneklerin kütlesi analitik terazi ile

hacimleri ise belli ağırlıktaki örneklerin, içi su dolu silindir içine batırılarak taşan su miktarının ölçülmesiyle belirlendi. Bu verilerle yağın yoğunluğu (gr/mL) Eşitlik (3)'e göre hesaplandı (Kırmacı, 2008):

$$d = \frac{m}{v} \quad (3)$$

Eşitlikte;

d: Yoğunluğu (gr/mL),

m: Örneklerin kütlesini (gr),

v: Örnek hacmi (mL)'ni ifade etmektedir.

3.2.2.3. Toplam antosiyanin içeriğinin belirlenmesi

Örneklerdeki toplam antosiyanin miktarı farklı kurutma proseslerinin örnek üzerindeki sıcaklık etkilerini (antosiyeninler sıcaklıkla parçalanır) kıyaslamak amacıyla belirlenmiştir. Metodun ilkesi, ortam pH 1.0 (renkli oksonium formu) ve pH 4.5 (renksiz hemiketal formu) olduğunda ölçülen absorbans değerleri farkının, doğrudan antosiyanin konsantrasyonu ile orantısına dayanmaktadır (Cemeroğlu, 2010). Üründeki toplam toplam antosiyanin Eşitlik (4) ve (5)'e göre hesaplanmıştır:

$$A = (A_{vis-max} - A_{700})_{pH 1.0} - (A_{vis-max} - A_{700})_{pH 4.5} \quad (4)$$

$$\text{Toplam antosiyanin mg/L} = \frac{(A) \times (MW) \times (Sf) \times 1000}{(\beta) \times \alpha} \quad (5)$$

Eşitlikte;

A: Absorbans farkını,

MW: Baz alınacak antosiyaninin molekül ağırlığını (siyanidin-3-glukozid için 449.2),

Sf: Seyreltme faktörünü,

β : Molar absorptiviteyi (siyanidin-3-glukozid için 26 900),

α : Spektrofotometrik kuvvet ışın yolu kalınlığını (1) ifade etmektedir.

3.2.2.4. Rehidrasyon kapasitesinin belirlenmesi

İyi nitelikte kurutulmuş bir ürünün tekrar su alabilme yeteneğinin (rehidrasyon kapasitesi) yüksek olması beklenir. Bu amaçla çalışmalar 5 paralelli yürütülmüş olup her bir ölçüm için bir adet karadut örneği tartılarak 50 mL sıvı içeren beherlere konulup 1., 2., 3., 4.,5.

dakikalarda ve 24 saat sonunda süzülerek ağırlıkları kaydedildi (Cemeroğlu, 2010). Elde edilen verilerle rehidrasyon kapasitesi Eşitlik (6)'ya göre hesaplandı:

$$RK = \frac{M_3}{M_1 - M_2} \quad (6)$$

Eşitlikte;

RK: Rehidrasyon kapasitesini

M₁: Taze örneklerin su içeriğini, gr

M₂: Kurutulmuş örneklerin su içeriğini, gr

M₃: Rehidrasyonda kazanılan su miktarını, gr ifade etmektedir.

3.2.2.5. Renk ölçümü

Farklı kurutma proseslerinin örneklerin renk değerleri üzerindeki etkileri belirlendi. Çalışmada farklı yöntemlerle kurutulan örneklerden belirli zaman aralıklarında alınan numunelerin renk ölçümleri Hunter Lab marka Color Flex model renk ölçerde belirlendi ve L, a* ve b* değerleri olarak kaydedildi (Rattanathanalerk ve ark, 2005).

Ölçülen değerlerden L* (aydınlık/karanlık), a* (kırmızı/yeşil) ve b* (sarı/mavi) koordinatlarını ifade etmektedir. Ölçülen değerlerden L* değeri gıdalarda esmerleşme indeksi (Lozano ve Ibarz, 1997) ve a* değerleri örneklerin antosiyanin pigment kaybının kıyaslanmasında kullanıldı.

3.2.2.6. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüsü

SEM, elektronları kullanarak örneklerden alınan kesitlerin yüksek çözünürlükte üç boyutlu görüntülerinin belirlenmesini sağlayan yöntemdir. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)'nda görüntü, yüksek voltaj ile hızlandırılmış elektronların örnek üzerine odaklanması, bu elektron demetinin yüzeyinde taratılması sırasında elektron ve örnek atomları arasında oluşan çeşitli girişimler sonucunda meydana gelen etkilerin uygun algılayıcılarda toplanması ve sinyal güçlendiricilerden geçirildikten sonra dedektöre aktarılmasıyla elde edilir.

Çalışmada farklı kurutma prosesleriyle (liyofilizasyon, vakumlu ve konveksiyonel kurutma) kurutulmuş örneklerin dokularındaki değişimleri gözlemlemek amacıyla NEOSCOPE JCM-5000 ve ZEISS EVOLS10 markalı SEM cihazlarında görüntüleri alınmıştır. Örneklerden alınan kesitler karbon bantla yapıştırılmış ve 10 kV hızlandırıcı voltajı altında genel görünüş, uygun oranlarda büyütülerek fotoğraflanmıştır.

3.2.2.7. Deneysel dizayn ve istatistiksel analiz

Karadutların kurutulmasında maksimum rehidrasyon kapasitesi ve antosiyanin miktarı, minimum hacim değişmesi, nem içeriği ve su aktivitesi ile renk değişimini ve kabul edilebilir duyusal kaliteyi sağlayacak optimum işlem koşulları SPSS Production Facility programı kullanılarak %95 güven aralığında varyans analizi ve Duncan çoklu karşılaştırma testi uygulanarak değerlendirilmiştir.

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

Karadut kimyasal ve fiziksel yapısı itibariyle kurutma prosesine oldukça hassastır. Özellikle geleneksel kurutmada kullanılan yüksek sıcaklık ürün kalitesini olumsuz etkilemektedir. Bu amaçla liyofilizasyon tekniği ile kurutmanın potansiyel başarısı konveksiyonel ve vakumlu kurutma teknikleriyle kıyaslandı. Kıyaslanmada kurutulmuş ürünün kalite parametreleri olan nem içeriği, rehidrasyon kapasitesi ve renk değerleri belirlenerek üründe meydana gelen mikroyapısal değişiklikler SEM ile görüntülenmiştir.

4.1. Farklı Kurutma Sistemlerinin Karadutun Kuruma Davranışı Üzerine Etkileri

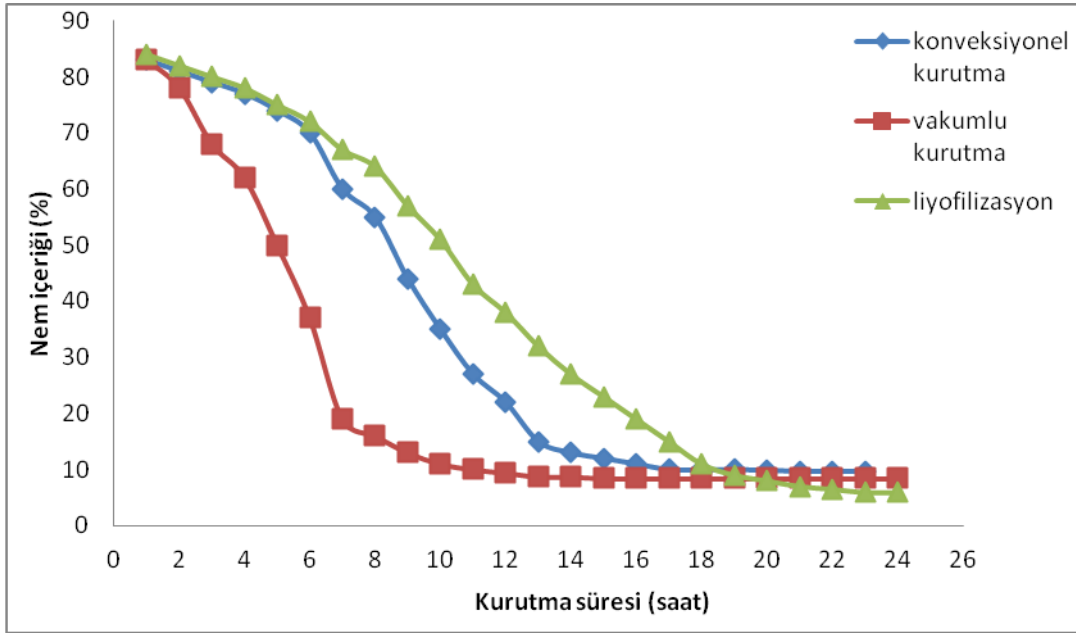
Kurutma sistemlerinin karadutun kuruma davranışı üzerine etkilerini incelemek amacıyla örneklerin nem içeriği, boyutsuz nem oranları ve su aktiviteleri belirlenmiştir.

4.1.1. Ağırlık kaybı, nem içeriği, boyutsuz nem oranının belirlenmesi

Nem içeriğinin belirlenmesi kurutulmuş gıdaların uzun süreli muhafazasını sağlayan önemli bir kalite kriteri oluşu için aynı zamanda kurutma başarısının da bir ölçüsüdür. Çalışmada taze örneklerde nem içeriği ölçüldükten sonra örneklerin kuruma süresince ağırlık kaybından faydalanılarak nem içerikleri 5 tekrarlı olarak belirlenmiştir. Taze örneklerde nem içeriği yapılan denemelerde ortalama %83 olarak bulundu. Farklı tekniklerle kurutulan örneklerin %nem içerikleri 24 saatlik toplam kuruma süresi boyunca belirlenerek Şekil 4.1’de verilmiştir.

Şekil 4.1’de görüleceği gibi, konveksiyonel ve liyofilizasyon kuruma eğrileri arasında çok belirgin bir fark olmazken, vakumlu kurutulan örnekler daha hızlı bir şekilde nem kaybederek kurumuştur.

Nem içeriğinin kritik nem değeri olan %20’ye inmesi için gereken kurutma süresi liyofilizasyonda 16 saat iken konveksiyonel ve vakumlu kurutmada sırasıyla 12 ve 7 saat olarak belirlenmiştir. Literatürde belirtildiği üzere liyofilizasyon tekniğinde örneğin nem kaybı kurutmanın 1.aşamasında daha yavaş gerçekleşmekte ve bu durum buharlaşan nemden geriye kalan kapillerlerin çapının küçük olmasından kaynaklanmaktadır (Gieseler, 2004).



Şekil 4.1 Farklı sistemlerde kurutulmuş örneklerin zamana bağlı nem içeriği.

Özellikle taze karadutun bireysel hızlı dondurulmasıyla (IQF, -40°C) çok sayıda ve küçük buz kristalleri oluşturulmuş ve buharlaşma sonrası kalan küçük boyutlu gözenekler ısı transferine, dolayısıyla kurumaya direnç göstermiş ve kuruma bu nedenle liyofilizasyonda daha uzun sürmüştür.

Yine toplam kuruma süresi ve %nem içerikleri değerlendirildiğinde kurumanın konveksiyonel kurutma ve liyofilizasyon için 24 saat süreyle devam ettiği konveksiyonel kurutmanın yaklaşık 20 saatte sonlandığı görülmektedir. Vakumlu kurutmada ise kurutmanın büyük oranda ilk 6 saatte gerçekleştiği ve toplam 16 saat sonunda sonunda örneklerin %nem içeriğinde değişimin çok sınırlı olduğu görülmektedir.

Ganjyal ve ark. (2003) çalışmalarında ilk nem içeriği %72–78 olan tropikal meyvelerden sapota'nın kuruma sonunda nem içeriğinin vakumlu kurutulmuş örneklerde konveksiyonel kurutulmuş örneklerle göre daha düşük olduğunu saptamışlardır. Ayrıca kurutma boyunca geçen süre, konveksiyonel kurutmada, vakumlu kurutmaya göre 3 ile 5 saat daha uzun sürede gerçekleştiğini belirlemişlerdir. Bu sonuçlar çalışmamızla uyum içindedir.

Liyofilizasyon, konveksiyonel ve vakumlu kurutmada örneklerdeki nem içeriğinin zamana göre değişimi lineer ve polinomal olmak üzere 2 ampirik modelle ifade edilmiş ve model eşitlikleri Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Farklı sistemlerde kurutulan örneklerin nem içeriğinin zamana bağlı ampirik modeli.

Kurutma yöntemleri	Lineer model		Polinomal model	
	% nem içeriği	R ²	% nem içeriği	R ²
Liyofilizasyon	-3,8162t + 84,548	0,9533	0,085t ² - 5,8563t+92,029	0,9741
Konveksiyonel kurutma	-3,5069t + 76,167	0,8431	0,1667t ² - 8,2286t+93,48	0,9598
Vakumlu kurutma	-2,6225t + 54,709	0,6165	0,2827t ² - 9,3838t+79,5	0,9295

t=zaman (saat)

Çizelge 4.1 de görüldüğü üzere lineer modellerde en iyi uyum liyofilizasyonda (R²=0,9533) iken bunu sırasıyla konveksiyonel (R²=0,8431) ve vakumlu kurutma (R²=0,6165) izlemiştir. Liyofilizasyonda nem içeriğinde zamana bağlı azalmanın doğrusal olarak kabul edilebileceği ancak konveksiyonel ve vakumlu kurutmada daha uyumlu modellerin oluşturulabileceği görülmektedir. Bu amaçla polinomal model eşitlikleri oluşturulmuştur. Buna göre en iyi uyum liyofilizasyonda (R²=0,9741) olup bunu konveksiyonel (R²=0,9598) ve vakumlu kurutma (R²=0,9295) izlemiştir. Ampirik modellerden anlaşılacağı üzere liyofilizasyonun lineer modeli başarıyla ifade edebilmesinin muhtemelen düzenli ve daha yavaş kurumaya bağlı olduğu söylenebilir. Konveksiyonel ve vakumlu kurutmada ise hızlı gerçekleşen kurutma dönemi daha belirgin olduğundan polinomal modeller kuruma davranışını daha iyi ifade etmektedir.

Çizelge 4.2’de kurutulan örneklerin zamana bağlı nem içerikleri Duncan çoklu karşılaştırma ile kıyaslanmıştır.

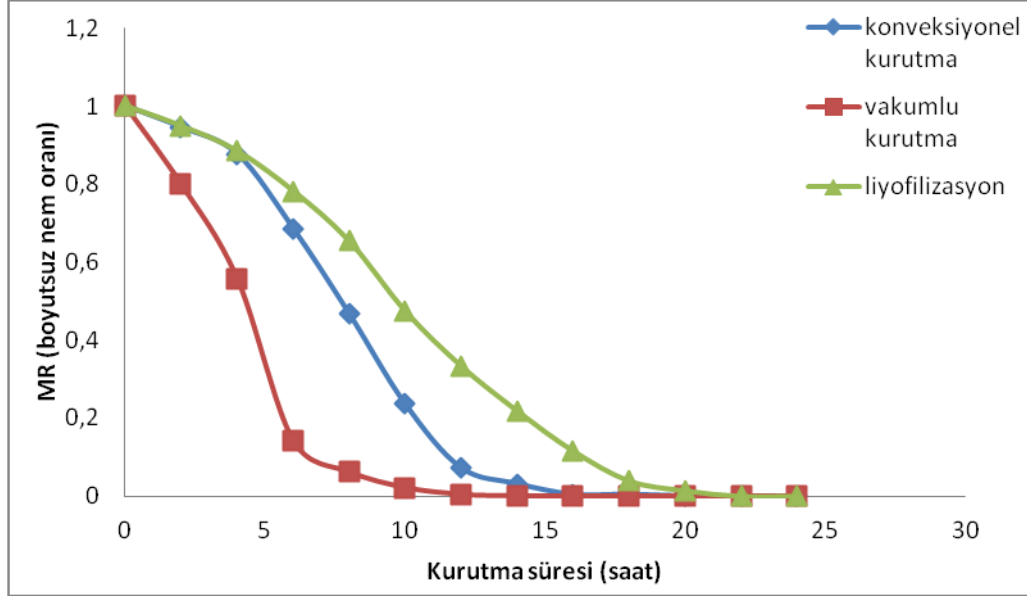
Duncan çoklu karşılaştırma testine göre sırasıyla vakumlu kurutmada 10.saatten, konveksiyonel kurutmada 17.saatten ve liyofilizasyonda 23. saatten sonra örneklerin nem içerikleri istatistiksel olarak önemli bulunmamış ve aynı ortalama grubu içine dahil olmuştur. Yine tüm kurutma yöntemlerinde birim zamanda (1saat) %nem içeriğindeki değişimler istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (p<0,05).

Çizelge 4.2. Farklı sistemlerde kurutulan örneklerin zamana bağlı nem içeriklerinin Duncan çoklu karşılaştırma testi.

Zaman (saat)	Nem içeriği (%)		
	Konveksiyonel kurutma	Vakumlu kurutma	Liyofilizasyon
1	83,200 a	83,400 a	84,200 a
2	81,200 ab	78,800 b	82,400 ab
3	79,200 bc	68,800 c	80,200 bc
4	77,400 c	62,000 d	78,200 c
5	74,000 d	50,040 e	75,200 d
6	70,200 e	37,800 f	72,600 d
7	60,200 f	19,600 g	67,800 e
8	55,800 g	16,800 gh	64,800 f
9	44,600 h	13,000 hı	57,200 g
10	35,200 ı	11,000 ı	51,200 h
11	27,800 j	10,000 ı	43,600 ı
12	22,600 k	9,400 ı	38,400 j
13	15,800 l	8,754 ı	32,600 k
14	13,800 lm	8,732 ı	27,800 l
15	12,400 mn	8,484 ı	23,200 m
16	11,200 mn	8,484 ı	19,000 n
17	10,800 n	8,484 ı	15,000 o
18	10,154 n	8,484 ı	11,144 p
19	9,944 n	8,484 ı	9,300 pq
20	9,786 n	8,484 ı	8,096 pqr
21	9,786 n	8,484 ı	7,212 qr
22	9,786 n	8,484 ı	6,584 qr
23	9,786 n	8,484 ı	5,986 r
24	9,786 n	8,484 ı	5,986 r

Kurutma yöntemlerinin kıyaslanmasında ilk nem değerleri arasındaki farkları ortadan kaldırmak üzere %nem içerikleri boyutsuz nem oranına çevrilerek Şekil 4.2’de verilmiştir. Kuruma eğrisi, kuruma başlangıcında 1 değerinde başlamış, sıfır değerine doğru azalmıştır. Sıfır değeri, kuruyan materyalde uzaklaştırılabilir (serbest) nem kalmadığını ifade etmektedir. Kuruma eğrileri farklı kurutma teknikleri için farklı değişimler gösterdiği saptandı. Örneklerin boyutsuz nem oranlarındaki değişim kurutmanın ilk saatlerinde hızlı bir şekilde meydana gelirken denemenin sonlarında yavaş seyrettiği görülmektedir. Kurutmada en yavaş kuruma liyofilizasyonda gözlenirken en hızlı kuruma vakumlu kurutma tekniğinde olmuştur.

Kuruma eğrilerindeki hızlı düşüşler örneklerde su kaybının yüksek olduğunu ifade etmektedir. Kurutma süreleri arasındaki farkların kurutma sistemlerindeki farklılıklara bağlı değiştiği saptanmıştır.



Şekil 4.2. Farklı sistemlerde kurutulan örneklerin boyutsuz nem oranlarının zamana bağlı değişimi.

Toplamda 24 saat kurutma süresi sonunda konveksiyonel kurutulan örneklerin nem içeriklerinin dondurarak ve vakumlu kurutma sistemiyle elde edilen örneklere göre yüksek olduğu görülmüştür. Ölçülen nem miktarları taze örneklerde % 83,69 iken 24saatlik kurutma süresi sonunda liyofilize örneklerde ortalama % 5,97, vakumlu kurutulan örneklerde % 8,78, konveksiyonel kurutulan örneklerde ise % 9,79 olarak saptanmıştır. Kurutma sistemleri arasında farklılık bakımından yapılan tek yönlü varyans analizi sonuçlarına göre nem miktarları arasındaki fark önemli bulunmuştur ($p < 0,05$).

Litvin ve ark. (1998) çalışmalarında havuç dilimlerini sadece liyofilizasyonda 9,5 saatte kuruturken; konveksiyonel, vakumlu ve liyofilizasyon tekniklerinin birleştirilmesiyle toplam 7,25 – 7,50 saatte kurduklarını saptamışlardır. Yurdakul (2008) liyofilizasyon sisteminde konveksiyonel kurutma sisteminde göre daha düşük nem seviyelerine inildiğini çalışmalarında saptamıştır. Bu sonuçlar çalışmamız ile uyum içindedir.

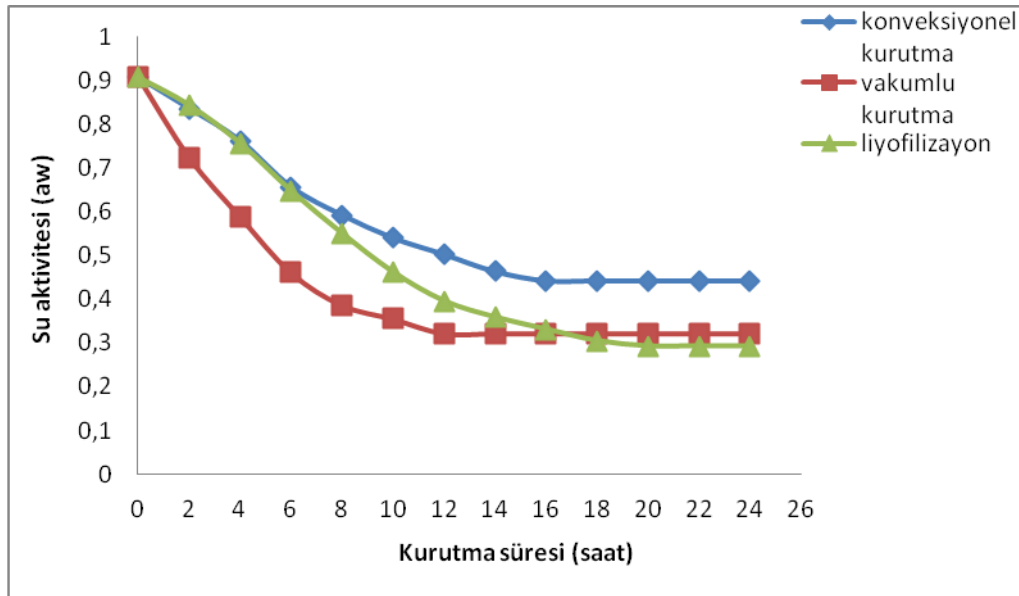
Bulgulara göre düşük basıncın ve yüksek sıcaklığın kurumayı hızlandırdığı ve ayrıca düşük basıncın ürün nemini düşürmede etkili olduğu sonucu çıkarılabilmektedir. Vakumlu

kurutmada nemin gıdadan uzaklaşma süresi hızlı olsa da son ürünlerde nem oranları kıyaslandığında bir kalite kriteri olarak en düşük nem seviyesi liyofilizasyon sistemiyle kurutulmuş örneklerde görülmüştür.

4.1.2. Su aktivitesinin belirlenmesi

Kurutulmuş ürünlerde düşük su aktivitesi bir kalite faktörüdür. Çünkü mikrobiyolojik gelişme ile enzim aktivitesi açısından suyun reaksiyonlara girebilme yeteneğini açıklayan kriter su aktivitesidir.

Bu amaçla liyofilizasyon, konveksiyonel ve vakumlu kurutulan karadut örneklerinin su aktivitelerinde zamana bağlı değişimler 24 saatlik kuruma süresince kaydedilerek Şekil 4.3'te verilmiştir. Kurutma süresi sonunda karadut örneklerinin son su aktivitesi değerleri liyofilizasyonda 0,29 , vakumlu kurutmada 0,33 ve konveksiyonel kurutmada 0,44 olarak ölçülmüştür.



Şekil 4.3. Farklı sistemlerde kurutulan karadut örneklerinin su aktivitesinin zamana bağlı değişimi.

Kurutma sistemleri arasındaki fark tek yönlü varyans analizi sonuçlarına göre istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p < 0,05$).

Şekil 4.3'te görüldüğü üzere vakumlu kurutma sistemiyle kurutulan örneklerin su aktivitesinde kurumanın 12 saatinden sonra belirgin bir değişim gözlenmezken bu süre

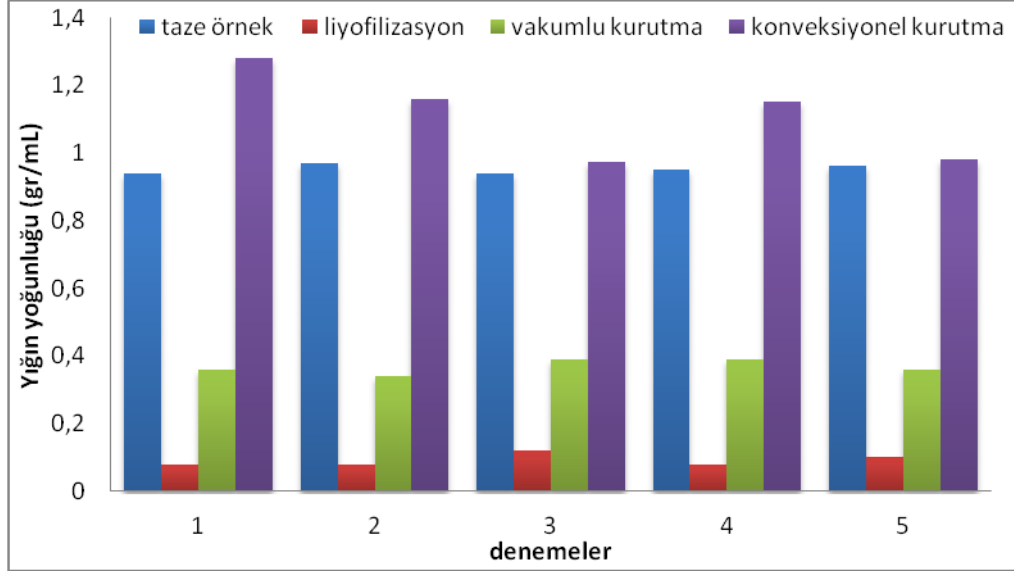
liyofilizasyon ve konveksiyonel kurutmada 16 saattir. Kurutmanın son 6 saatinde liyofilize örneklerin su aktivitesi değerleri konveksiyonel ve vakumlu kurutulmuş örneklerin altında seyretmiştir. 0,6'nın altındaki su aktivitelerinde mikrobiyolojik faaliyetlerin durduğu varsayılmaktadır. Fakat suya bağımlı gerçekleşen enzimatik reaksiyonlar ve enzimatik olmayan esmerleşme reaksiyonları düşük su aktivitelerinde ($a_w=0,2$) yavaşlamaktadır. Su aktivitesinin 0,3'ün üzerinde olması ise enzimatik aktivitenin artmasına neden olmaktadır. Bu nedenle çalışmamız sonucunda konveksiyonel ve vakumlu kurutmaya göre daha düşük su aktivitesine sahip liyofilize örneklerin daha kaliteli ve dayanıklı kuru ürünler olduğu görülmektedir.

Kurutma sistemlerinin kuruma davranışı üzerine etkisinin incelenmesinde su aktivitesi ve nem içeriğinin birbiriyle bağlantılı olduğu düşünülürse örnekler kuru gıdaların stabilitesini sağlayacak kritik nem değeri olan % 20 nem içeriğinde liyofilize örneklerin su aktivitesi 0,3-0,4 arasında, vakumlu kurutulan örneklerin su aktivitesi 0,4-0,5 arasında ve konveksiyonel kurutulan örneklerin ise su aktivitelerinin 0,5-0,6 arasında olduğu saptanmıştır. Buna göre kurutma prosesi %20 nem içeriğinde sonlandırıldığında liyofilize örnekler en düşük su aktivitesine sahip olacaklar ve böylece çalışılan koşullarda en stabil ürünü oluşturacaklardır. Stabilité açısından liyofilizasyonun en başarılı kurutma sağladığı görülmektedir.

4.2. Yığın Yoğunluğu Tayini

Kurutulan ürünlerde uygulanan kurutma yöntemine ve kurutma parametrelerine bağlı olarak ürün kendine özgü bir büzülme özelliği göstermektedir. Kurutulmuş üründe kütle kaybına rağmen büzülme olmamış ve ürün başlangıçtaki boyutlarını korumuşsa, bu ürünün yığın yoğunluğu, sadece kaybettiği su kadar azalır. Bu açıdan kurutma başarısının bir diğer ölçüsü yığın yoğunluğundaki değişimdir.

Çalışmada kurutma sırasında gerçekleşen büzüşmenin sebep olduğu hacim değişimlerinin yığın yoğunluğu üzerine etkisi incelenmiştir. Taze ve kurutulmuş örneklerdeki yığın yoğunluğu değerleri örneklerdeki hacim ve ağırlık değişimlerine bağlı olarak Şekil 4.4'te verilmiştir.

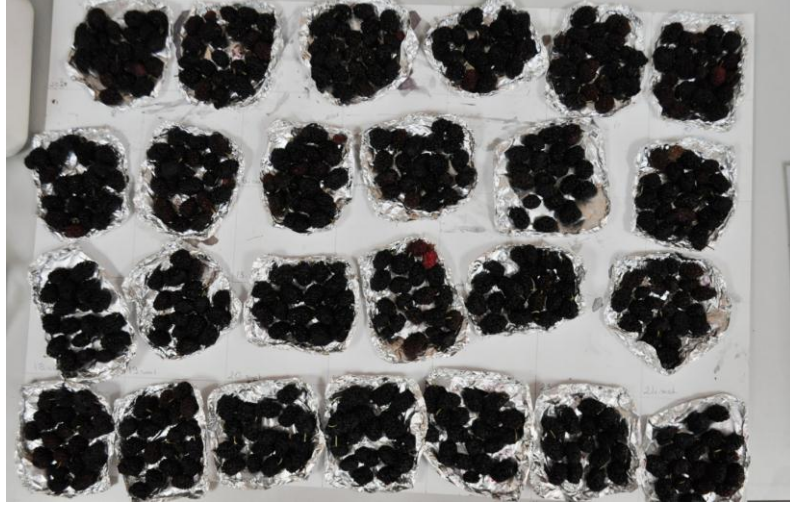


Şekil 4.4. Taze ve farklı sistemlerde kurutulmuş örneklerde yığın yoğunluğu değerleri.

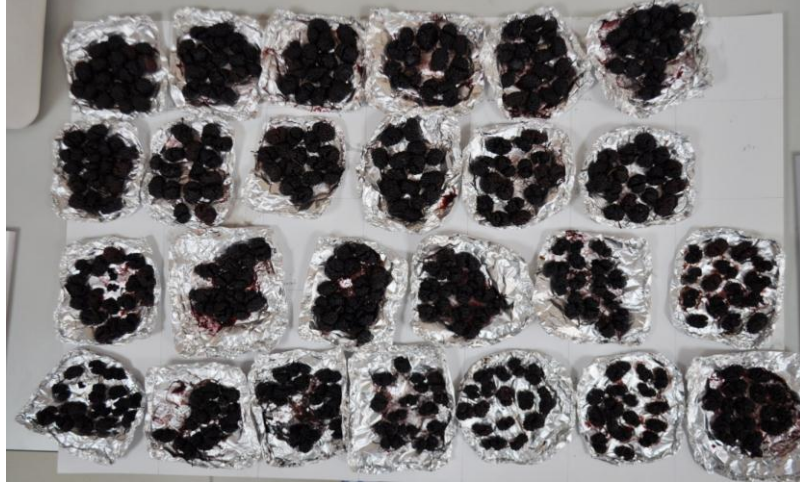
Taze karadut örneklerinin yığın yoğunluğu 0,95gr/ml iken konveksiyonel kurutulan örneklerde ortalama yığın yoğunluğu 1,109 gr/ml, vakumlu kurutulan örneklerde 0,368 gr/ml, liyofilizasyonla kurutulan örneklerin ise 0,092 gr/ml olarak bulunmuştur (Şekil 4.4). Konveksiyonel kurutulan örneklerin yığın yoğunluğu taze örneklerin yığın yoğunluğundan yüksek iken, liyofilizasyonla ve vakumla kurutulan örneklerin yığın yoğunlukları taze örneklerden düşük bulunmuştur. Kurutma sistemlerinin yığın yoğunluğu üzerine etkisi yapılan tek yönlü varyans analizi sonuçlarına göre istatistiksel olarak çok önemli bulunmuştur ($p < 0,01$).

Kurutma işlemi boyunca örnekler Şekil 4.5'te görüldüğü üzere fotoğraflanarak farklı sistemlerdeki büzüşmeler görsel olarak da kıyaslanmıştır. Şekil 4.5'te görüldüğü gibi konveksiyonel kurutulan örneklerde hacim azalması önemli düzeyde gerçekleşirken, liyofilizasyonla kurutulan örneklerde hacim büyük oranda korunmuştur.

Kurutmanın belli bir anındaki hacmin başlangıç hacmine oranı olarak tanımlanan hacim azalış oranı liyofilize örneklerde % 7,5-12,5, konveksiyonel kurutulan örneklerde % 75-87,5 ve vakumlu kurutulan örneklerde ise % 30-62,5 arasında olduğu saptanmıştır. Liyofilize örneklerin hacmi kuruma sırasında çok az miktarda değişim gösterdiğinden yığın yoğunlukları yaklaşık olarak örneğin kaybettiği su kadar azalmıştır.



a. Liyofilize karadut örnekleri



b. Vakumlu kurutulmuş karadut örnekleri



c. Konveksiyonel kurutulmuş karadut örnekleri

Şekil 4.5. Kurutma denemeleri sırasında örneklere ait görüntüler.

Konveksiyonel kurutmada örneğin hacmi ağırlığına oranla daha çok azalma gösterdiğinden örneğin yığın yoğunluğu nem miktarının azalmasıyla artma göstermiştir. Liyofilizasyon yönteminde ise örneğin hacmi ağırlığına oranla çok az miktarda azalma gösterdiğinden örneklerin yığın yoğunlukları nem içeriğinin azalmasıyla azalma göstermiştir. Liyofilizasyon ve vakumlu kurutma yöntemlerinde uygulanan düşük basıncın büzüşme oranını düşürerek ürün hacmini koruduğu görülmüştür.

Ratti (2002) yaptığı bir çalışmada liyofilizasyon ve konveksiyonel kurutma yöntemi uygulanan çileklerde son üründe hacim azalmasını karşılaştırdığında, liyofilizasyon sırasında büzüşmenin % 5-15, konveksiyonel kurutma sırasında ise % 80 olduğunu saptamıştır. Karadutun üzüksü meyvelerden olması sebebiyle çalışmamız literatürle uyum içindedir.

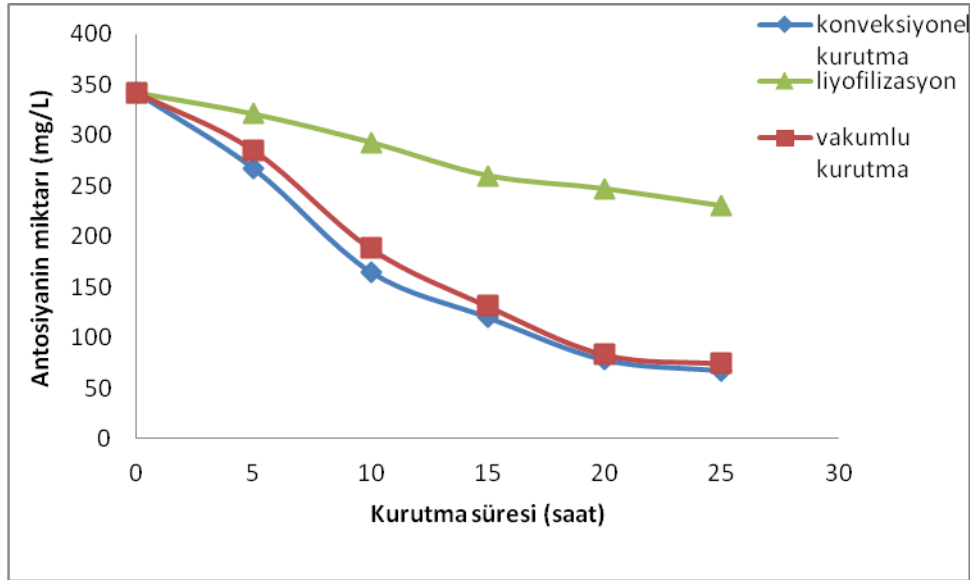
Krokida ve Maroulis (1997), elma, muz, havuç ve patatese, konveksiyonel kurutma mikrodalga ile kurutma, dondurarak kurutma, ozmotik dehidrasyon ve vakumlu kurutma yöntemlerini uygulamışlardır. Osmotik ve geleneksel kurutulmuş örneklerde büzülmenin çok fazla olduğunu, dondurularak kurutulmuş örneklerde büzülmenin minimum olduğunu ve vakumlu kurutma yönteminde konveksiyonel kurutma yöntemine göre daha düşük yığın yoğunluğu olduğunu, en düşük yığın yoğunluğu değerinin ise dondurarak kurutma yönteminde olduğunu belirlemişlerdir. Ertekin ve ark. (2007) ayvayı farklı kurutma yöntemleriyle kurutarak ürünlerin yığın yoğunluğu arasındaki farkı gözlemişlerdir. İşlem sonucunda dondurarak kurutulmuş örneklerin yığın yoğunluğunun nemin azalmasıyla azaldığını, sıcak hava, infrared kurutma ile tepsili ve akışkan yatak kurutma yöntemlerinde ise nem içeriğinin azalmasıyla yığın yoğunluğunun arttığını gözlemlemişlerdir.

Yığın yoğunluğunu, farklı kurutma yöntemlerinin dışında ürünün kendine özgül yapısı da etkilemektedir. Donsi ve ark. (1996) farklı meyveler üzerine konveksiyonel kurutma, vakumlu kurutma ve dondurarak kurutma yöntemlerini uygulamışlardır. Çalışmada dondurularak kurutulmuş bütün ürünlerin hacimlerinin diğer kurutma yöntemlerine göre daha iyi korunduğu (% 80–90) bulunmuştur. Vakumlu kurutma yöntemiyle kurutulmuş muz ve elmada hacimlerinin % 70, havuç ve patatesin hacimlerinin ise % 25-50 arasında korunduğu saptanmıştır.

4.3. Toplam Antosiyanin İçeriğinin Belirlenmesi

Liyofilizasyonun konveksiyonel ve vakumlu kurutma sistemleriyle kurutma başarısı açısından kıyaslanmasındaki diğer bir kalite faktörü kurutulmuş örneklerin antosiyanin içerikleridir. Zira ısı işlem antosiyanin pigmentlerinin zarar görmesine sebep olmaktadır. Bu amaçla yapılan analizlerde kurutma sırasında uygulanan ısı işlemlerin karadutta antosiyanin pigmentinin kaybı üzerine etkisi incelenmiştir.

Taze örneklerdeki antosiyanin miktarı yapılan 3 tekrarlı denemelerde ortalama 342 mg/L olarak saptanmıştır. Kuruma süresi boyunca 5'er saat aralıklarla ölçülmüş olan örneklerdeki toplam antosiyanin içeriği, siyanidin 3-glukozid (CGE) cinsinden ifade edilerek Şekil 4.6'da verilmiştir.



Şekil 4.6. Farklı sistemlerde kurutulan örneklerdeki toplam antosiyanin miktarlarının zamana bağlı değişimi.

Şekil 4.6'da görüldüğü üzere kurutma yöntemlerinin farklılığı, örneklerdeki toplam antosiyanin miktarlarında önemli düzeyde farklılıklara neden olmuştur. Taze numunede toplam antosiyanin miktarı 342 mg/L iken 24 saatlik kuruma süresi sonrasında liyofilize örneklerde 230 mg/L, konveksiyonel kurutulmuş örneklerde 67 mg/L ve vakumlu kurutulmuş örneklerde 74 mg/L olarak belirlenmiştir. Yapılan tek yönlü varyans analizi sonuçlarına örnekler arasındaki toplam antosiyanin miktarı farkları konveksiyonel ve vakumlu kurutmada önemsiz ($p>0.05$) iken liyofilizasyon farkı istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,05$).

Karadutun toplam antosiyanin içeriğini üzerine yapılan bazı çalışmalarda taze karadutun toplam antosiyanin içeriği 367,7 gm/ml (Özen ve Akbulut, 2008), 367,7±4 mg/L, 227,0 mg/100g (Akbulut ve ark., 2006), 311,9 mg/100g (Kafkas ve ark., 2008) olarak saptanmıştır. Liu ve ark. (2004) farklı dut çeşitlerinde toplam antosiyanin miktarının 147.68-2725.46 mg/L arasında olduğunu tespit etmişlerdir. Antosiyaninler fenolik madde grubunda yer aldıklarından toplam antosiyanin miktarına paralel olarak fenolik madde miktarlarının da değişim gösterdiği belirtilmektedir (Oki ve ark. 2006).

Çalışma bulgularına göre konveksiyonel kurutulan örneklerin toplam antosiyanin miktarında % 80 oranında, vakumlu kurutulan örneklerde % 78 oranında, liyofilizasyon yöntemiyle kurutulmuş örneklerin antosiyanin miktarında ise % 32 oranında azalma olduğu gözlenmiştir. Kwok ve ark. (2004), saskatoon berry meyvesini dondurarak kurutma (DK), vakumlu mikrodalga kurutma (VMK), hava ile kurutma (AK) ve AK ve VMK'nin kombinasyonu olan CD yöntemiyle kurutmuşlardır. Kurutma yöntemleri, tazeyken dondurulmuş meyveler ile karşılaştırıldığında, liyofilizasyon dışındaki diğer yöntemlerde toplam fenol ve antosiyanin içeriğinin önemli derecede azaldığını gözlemlemişlerdir. Tsai ve ark. (2005) dut ekstraktlarının konveksiyonel kurutulması sonucu örneklerin antosiyanin içeriğine ısı işlemin etkisini incelediklerinde monomerik antosiyaninlerin kuruma sonunda yüksek miktarda azaldığını gözlemişlerdir. Cemeroğlu ve ark. (1994) vişne suyu ve konsantrisinde antosiyanin degradasyon kinetiğini yüksek sıcaklıklarda (70°C) incelemişlerdir. Yüksek sıcaklığa uzun süre maruz kalmanın antosiyanin degradasyonunu artırdığını belirlemişlerdir.

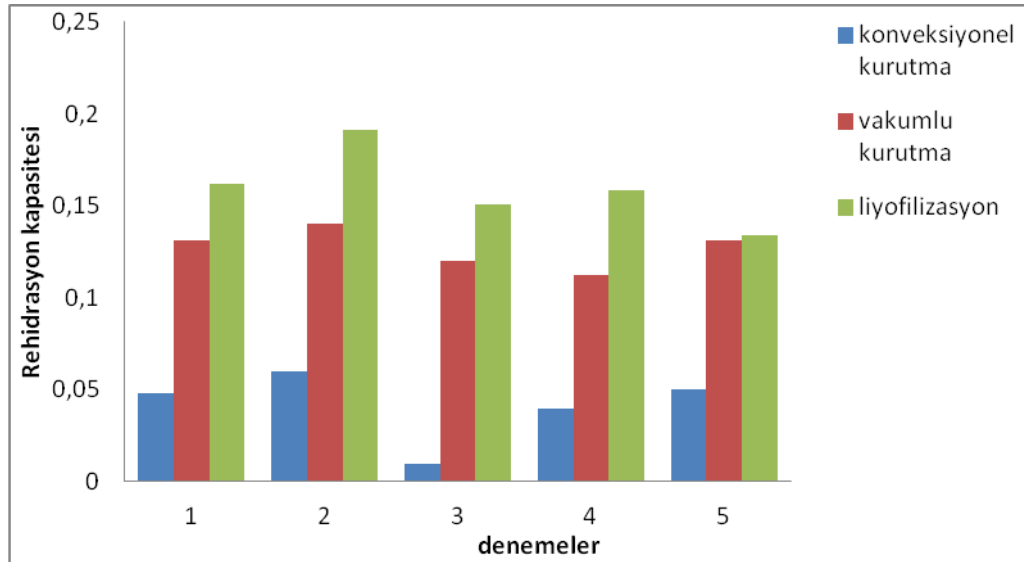
Çalışma bulguları yüksek ısı işlemin karaduttaki toplam antosiyanin miktarı üzerinde olumsuz etkisini göstermiştir. Yüksek ısı işleme maruz kalan örneklerde antosiyanin pigmentlerin yıkıma uğradığı buna karşılık liyofilizasyon yönteminde düşük ısı işlem uygulandığından toplam antosiyanin miktarının büyük oranda korunduğu saptanmıştır.

4.4. Rehidrasyon Kapasitesi Ölçümü

Rehidrasyon kurutulmuş ürünün tekrar kullanılmadan veya tüketilmeden önce kurutma sırasında kaybettiği suyu tekrar kazanmasını sağlamayı amaçlayan bir işlem olup genellikle

kurutulmuş ürünün suya daldırılıp belirli bir süre bekletilmesiyle uygulanır. Böylece kuruma sırasında kaybedilen suyun bir miktarı ürüne rehidrasyonla kazandırılır. Kazanılan suyun miktarı ile ürünün orjinal tekstürüne ve su içeriğine ulaşması aynı seviyede gerçekleşir. Bu nedenlerle kuru üründe yüksek rehidrasyon kapasitesi aranan bir kalite kriteridir. Bu anlamda rehidrasyon kapasitesi kurutma sistemlerinin başarılarının kıyaslanmasında kullanılabilen bir diğer kriterdir.

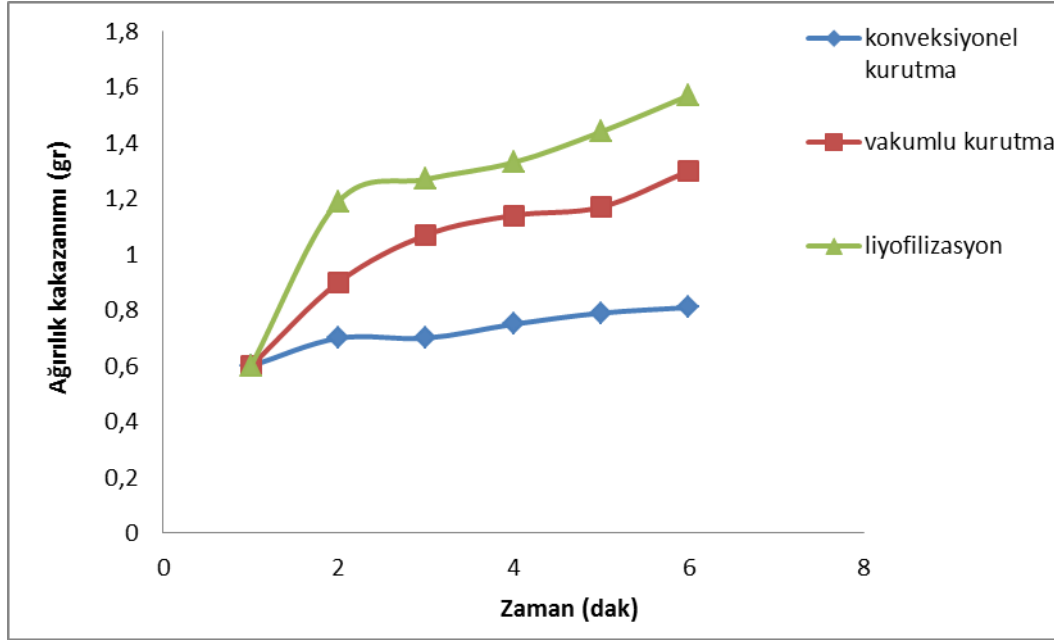
Son üründe rehidrasyon kapasitesinin belirlenmesi için kurutulmuş örneklerden belirli ağırlıklarda tartılarak rehidrasyon kapasiteleri hesaplanmıştır. Her kurutma yöntemi için 5 paralelli çalışılan örneklerin rehidrasyon kapasiteleri Şekil 4.7’de verilmiştir.



Şekil 4.7. Farklı sistemlerde kurutulan örneklerin rehidrasyon kapasiteleri.

Şekil 4.7’de görüldüğü gibi en yüksek rehidrasyon kapasitesi liyofilize örneklerde görülürken konveksiyonel kurutulmuş örneklerin rehidrasyon kapasitesi en düşük olmuştur. Ortalama rehidrasyon kapasiteleri liyofilize örneklerde 0,15, vakumlu kurutulan örneklerde 0,12, konveksiyonel kurutulan örneklerde ise 0,04 olarak hesaplandı. Tek yönlü varyans analizi sonuçlarına göre rehidrasyon kapasitesi açısından kurutma teknikleri arasındaki farklılık istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p < 0,05$).

Farklı sistemlerle kurutulmuş karadut örneklerinin rehidrasyon davranışlarını belirlemek amacıyla rehidrasyonun etkili ve hızlı gerçekleşen ilk 5 dakikalık periyodunda örneklerin zamana bağlı ağırlık kazanımları belirlenmiş ve Şekil 4.8’de verilmiştir.

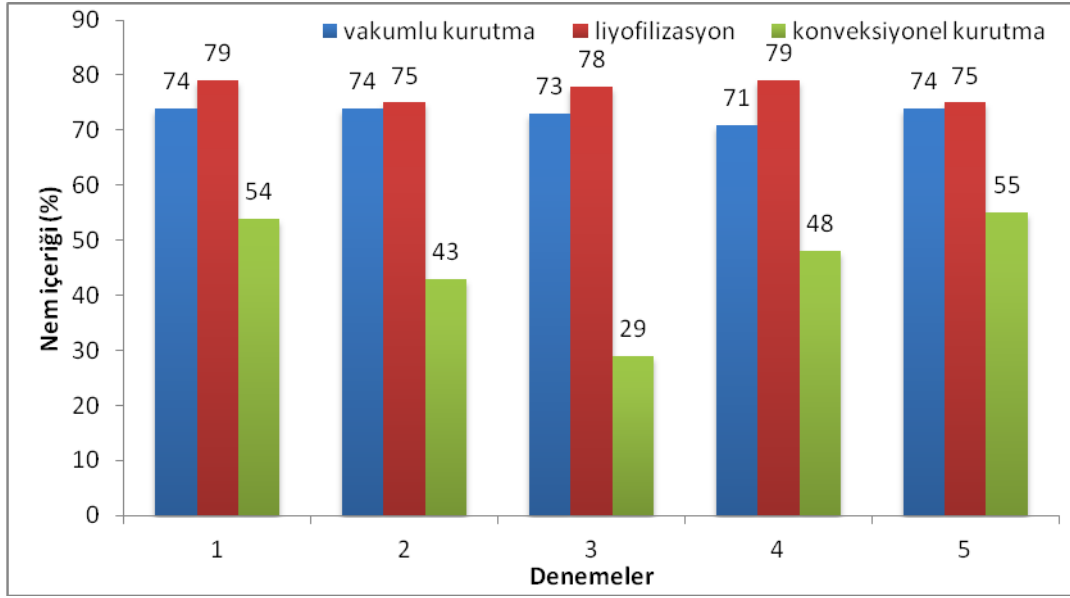


Şekil 4.8. Farklı sistemlerde kurutulmuş örneklerin birim zamandaki ağırlık kazanımları.

Şekil 4.8’de görüldüğü üzere farklı sistemlerle kurutulmuş karadut örneklerinin rehidrasyonun 5. dakikasındaki ağırlıkları liyofilize örnekte 1,57 gr, vakumlu kurutulmuş örneklerde 1,3 gr ve konveksiyonel kurutulmuş örneklerde 0,8 gr olarak belirlenmiştir. Buna göre başlangıç ağırlığı (0,6 gr) ile kıyaslandığında, örneklerin %ağırlık kazanımları liyofilize örnekte %61, vakumlu kurutulmuş örnekte %53 ve konveksiyonel kurutulmuş örnekte % 26 olarak belirlenmiştir. Örneklerin 24 saatlik rehidrasyon işlemi sonundaki ortalama %ağırlık kazanımları belirlenerek Şekil 4.9’da verilmiştir. Buna göre ağırlık kazanımı oranlarının liyofilize örneklerde %78, vakumlu kurutulmuş örneklerde %73 ve konveksiyonel kurutulmuş örneklerde %45 olduğu saptanmıştır. En yüksek ağırlık kazanımı liyofilize örneklerde iken en düşük ağırlık kazanımı konveksiyonel kurutulmuş örneklerde görülmüştür. Liyofilize örneklerdeki toplam ağırlık kazanımının %61’ini rehidrasyonun ilk 5.dakikasında gerçekleştirirken, vakumlu kurutulmuş örnekler %53’ünü, konveksiyonel kurutulmuş örnekler ise %26’sını kazanmıştır.

Örneklerin ağırlık kazanım oranındaki farklılıklar kurutma tekniklerinin farklı olmasından kaynaklanmaktadır. Konveksiyonel kurutulmuş örneklerde, yüksek ısı işleminden dolayı dış

kabuk sertleşmesinden ve büzüşmenin yüksek seviyede olmasından dolayı kurutmada kaybedilen suyu yeniden absorbe etmeleri için uzun bir süre gerekmiş ve rehidrasyonda kazandıkları su miktarı düşmüştür. Liyofilizasyon ve vakumlu kurutmada kurutma sırasında uygulanan düşük basınç büzüşmeyi azaltmış ve rehidrasyon kapasitesini arttırmıştır.



Şekil 4.9. Farklı sistemlerde kurutulmuş örneklerin 24saatlik rehidrasyon sonundaki % ağırlık kazanımları.

Tsami ve ark. (1999), pektin-şeker jellerini dondurarak, mikrodalga, vakumlu ve konveksiyonel kurutma teknikleriyle kurutmada rehidrasyon kapasitelerini araştırmışlar ve rehidrasyon kapasitesinin en yüksek liyofilize örneklerde, en düşük ise konveksiyonel kurutulmuş örneklerde olduğunu saptamışlardır. Beaudry ve ark. (2004) kırmızı yabanmersinlerini düşük nem içeriğine kadar konveksiyonel, mikrodalgalı konveksiyonel, liyofilizasyon ve vakumlu kurutma teknikleriyle kurutmuşlar ve liyofilize yaban mersinlerinin en yüksek rehidrasyon kapasitesine sahip olduğunu saptamışlardır. Çalışma bulgularımız bu açıdan literatürle uyum içindedir. Özellikle liyofilize örneklerin yüksek rehidrasyon yeteneği teknikten beklenen bir başarı ölçütüdür. Liyofilize örneklerden suyun uzaklaştırılmasıyla oluşan boşlukları hava doldurmada ve bu boşluklu ve gözenekli yapı kurutulmuş ürünün rehidrasyon yeteneğinin yüksek olmasını temin etmektedir. Yine liyofilize örneklerin yığın yoğunluğunun konveksiyonel ve vakumlu kurutulmuş örneklerden daha düşük olması bu bulguları desteklemektedir.

4.5. Renk Ölçümü

Liyofilizasyon tekniğinin karadut kurutmadaki başarısının konveksiyonel ve vakumlu kurutma teknikleriyle kıyaslanarak tespitinde bir diğer önemli kalite kriteri de renktir. İşlenmiş ürünlerin tüketici algısını oluşturan renk aynı zamanda ürünün raf ömrü ve besinsel içeriğinin de bir göstergesidir.

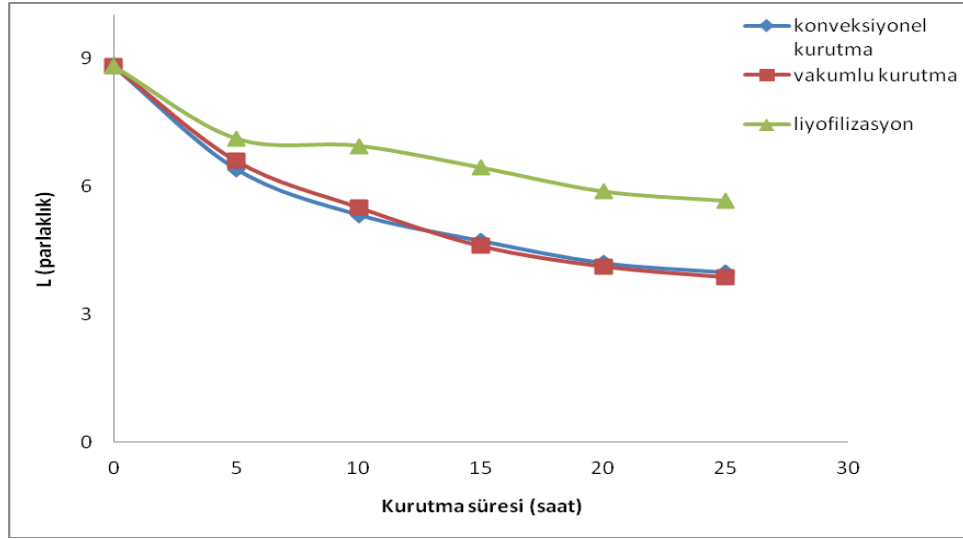
Çalışmada konveksiyonel kurutma, vakumlu kurutma ve liyofilizasyon yöntemleriyle kurutulan örneklerin renk değerleri 5'er saatlik aralıklarla ölçülerek ısı işlemlerin renk değişimleri üzerine etkisi ve dolayısıyla tekniklerin kurutmadaki başarısı incelenmiştir. Örneklerin kurutma süresi boyunca belirli zaman aralıklarında ölçülmüş L^* , a^* ve b^* değerleri Çizelge 4.3'te verilmiştir. Bu renk ölçüm değerleri insan gözünün algıladığı renk kavramıyla paralellik gösteren değerlerdir. Bu değerlere göre farklı yöntemlerle kurutulan örneklerin renk skalasındaki değerlerine bakıldığında yüksek sıcaklık uygulamasına paralel olarak a^* (kırmızılık) değeri ve L^* (parlaklık) değerinde ise düşüş görülmüştür.

Çizelge 4.3. Farklı sistemlerde kurutulan karadut örneklerinin kurutma süresince kaydedilen renk ölçüm değerleri.

KURUTMA YÖNTEMLERİ	RENK DEĞERLERİ	Kurutma süresi (saat)					
		0	5	10	15	20	24
Konveksiyonel kurutma	L	8,8	6,4	5,33	4,72	4,2	3,98
	a	9,66	7,56	4,66	3,4	2,36	2,03
	b	3,63	4,69	3,09	1,67	1,9	1,2
Vakumlu kurutma	L	8,8	6,59	5,5	4,6	4,12	3,87
	a	9,66	7,81	4,96	3,72	2,8	2,5
	b	3,63	3,63	5,15	4,48	5,31	4,65
Liyofilizasyon	L	8,8	7,11	6,94	6,43	5,87	5,65
	a	9,66	9,03	8,52	7,25	6,85	6,51
	b	3,63	2,12	2,56	2,09	2,54	3,01

L değeri parlaklığı ($L=0$ siyah, $L=100$ beyaz) yani karadutun açık veya koyu renkte oluşunu ifade etmektedir. Buna göre düşük L değerleri koyu, yüksek L değerleri de açık rengi ifade etmektedir. Yapılan çalışmalarda karadut örneklerinin başlangıç L^* değeri 8,81 iken kurutma sonunda liyofilize örneklerde 5,65; konveksiyonel kurutulan örneklerde 3,98 ve vakumla kurutulan örneklerde 3,87 olarak ölçülmüştür. Tek yönlü varyans analizi sonuçlarına göre L^* değeri açısından her üç kurutma yöntemi arasındaki farklar istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,05$). L^* değerinin kuruma sırasında birim zamanda değişimi Şekil 4.10'da görülmektedir. Buna göre parlaklıktaki değişim liyofilizasyon

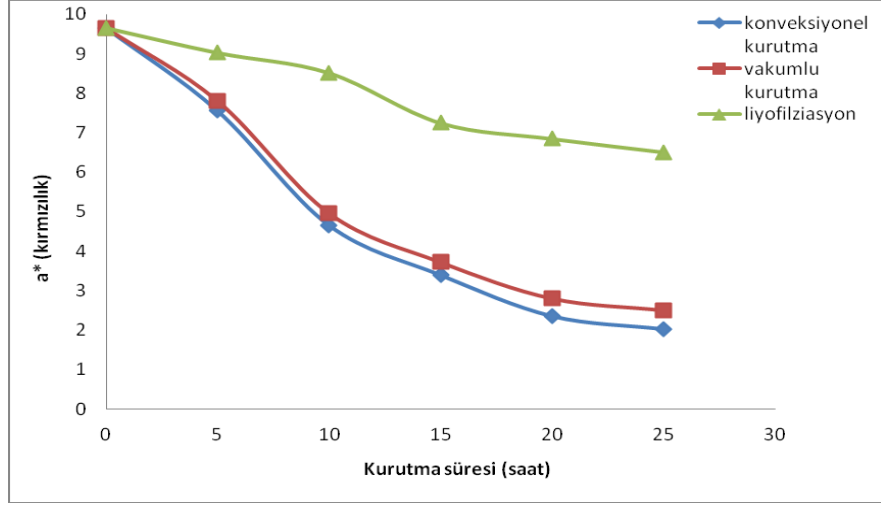
tekniginde en az gerçekleşirken konveksiyonel ve vakumlu kurutma tekniklerinde parlaklık değerleri birbirine yakındır.



şekil 4.10. Farklı sistemlerde kurutulan örneklerdeki L* değerinin birim zamanda değişimi.

Krokida ve ark. (2001), elma, muz, havuç ve patatesi 5 farklı yöntemle kurduklarında sıcak hava akımı, mikrodalga ve vakumlu kurutulmuş ürünlerde önemli derecede esmerleşme olduğunu, liyofilizasyonda ise numunelerin rengine esmerleşme olmadığı saptamışlardır. Ergüneş ve ark. (2004) beyaz dut meyvesini 3 farklı teknik ile kurutmuş ve ürünlerdeki esmerleşme düzeylerini kıyasladıklarında özellikle güneşe maruz kalan örneklerde %70'lere varan esmerleşmeler saptamışlardır.

Kurutulan örneklerin başlangıç a* (kırmızılık) değeri 9,66 iken kuruma sonunda bu değer liyofilize örneklerde 6,51, vakumlu kurutulan örneklerde 2,5, konveksiyonel kurutulan örneklerde ise 2,03 olarak ölçülmüştür. Tek yönlü varyans analizi sonuçlarına göre farklı kurutma tekniklerinin a* değeri açısından kıyaslanmasında konveksiyonel ve vakumlu kurutmadaki farklar istatistiksel olarak önemsiz bulunurken ($p>0,05$) bu iki yöntemle liyofilizasyon arasındaki fark önemli bulunmuştur ($p<0,05$). şekil 4.11'de karadut örneklerinde a* değerinin kuruma süresi boyunca birim zamandaki değişimi verilmektedir.



Şekil 4.11. Farklı sistemlerde kurutulan örneklerdeki a* değerinin birim zamanda değişimi.

Cemeroğlu (1990) yaptıkları çalışmada konveksiyonel kurutma sırasında yüksek sıcaklık etkisiyle oluşan esmerleşme ve renk değişiminin pigment yıkımını kapsayan değişik reaksiyonların sonucunda meydana geldiğini saptamışlardır. Yongsawatdigul ve Gunasekaran (1996) yaptıkları çalışmada vakumla kurutulmuş kırmızı yabanmersinlerinin, renk değerlerini belirleyerek sıcak hava ile kurutulmuş örneklerle kıyaslamışlardır. Vakumla kurutulmuş örneklerin renginin daha kırmızı olduğunu saptamışlardır. Tsai ve ark. (2005) dut ekstraktlarının konveksiyonel kurutulması sonucu örneklerin antosiyanin içeriğine ısıl işlemin etkisini araştırdıkları çalışmada zamana bağlı olarak antosiyanin degradasyon indeksinin arttığını gözlemlemişlerdir. Kırca ve ark. (2005) antosiyaninlerin yüksek reaktivitelerinden ve sıcaklığa karşı olan dayanıksızlıklarından dolayı renksiz ya da istenmeyen kahverengi bileşenlere degrade olduklarını saptamışlardır.

Karaduta karakteristik rengini veren antosiyaninler kırmızı renkte ve baskın oldukları halde meyve bünyesinde yer alan klorofil sebebiyle yeşil renkte önemlidir. Bu açıdan resesif olmasına rağmen örneklerin b* (yeşillik) değerleri de ölçülmüştür. Çizelge 4.2’de görüldüğü üzere farklı kurutma sistemleri b* değeri açısından kıyaslandığında antosiyaninlerdeki düşüş sebebiyle a* değerindeki düşüşü bağlı olarak konveksiyonel kurutmada kurutmanın 5. saatinde artış göstermiş daha sonra düşmüştür. Vakumlu kurutmada da benzer şekilde 10. saatte artış göstererek daha sonra azalmıştır. Liyofilizasyonda ise b*değerleri stabil şekilde azalarak kurutmanın son saatinde yine a*değerine bağlı olarak artış göstermiştir.

Lin ve ark (1998) çalışmalarında havucu konveksiyonel, vakumlu kurutma ve liyofilizasyon yöntemleriyle kurutmuşlar ve işlem sonucunda liyofilize örneklerin en yüksek L^* ve a^* değerine, en düşük b değerine sahip olduklarını, konveksiyonel kurutulmuş örneklerin ise en düşük L^* ve a^* değerine sahip olduklarını gözlemişlerdir. Bu sonuçlar çalışmamızla uyum içindedir.

Konveksiyonel kurutma ve vakumlu kurutma yöntemlerinde örnekler kurutma sırasında yüksek ısıya maruz kaldıklarından antosiyanin ve uçucu bileşen içerikleri ile su kaybına bağlı olarak daha yoğun bir yapı kazanmış ve dolayısıyla taze ve liyofilize örneklere göre daha koyu görünüşte oldukları görülmüştür. Buna bağlı olarak ölçülen L^* ve a^* değerlerinin daha düşüktür. Buna karşılık liyofilizasyon yönteminde düşük ısı uygulamasından dolayı L^* ve a^* değerindeki düşüş minimum düzeyde gerçekleştiği için kurutulmuş ürünün renk kalitesi daha yüksektir.

4.6. Farklı Sistemlerde Kurutulmuş Örneklerin Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Görüntüleri

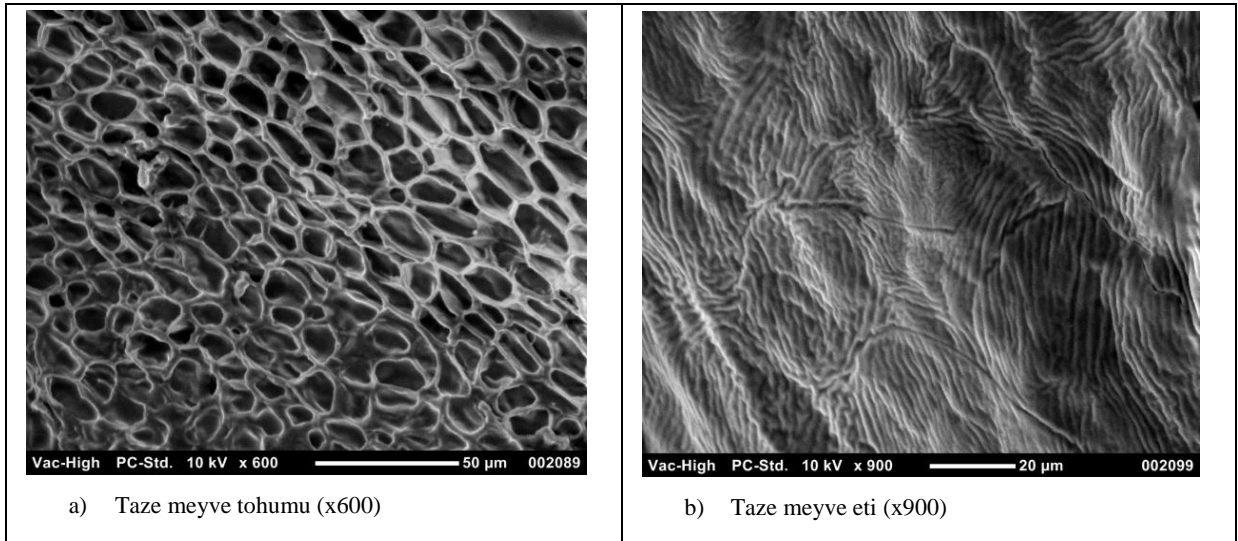
Dokuda suyun yeri oldukça önemlidir. Bitki hücresinde su hücre içinde, hücrelerarası boşlukta ve moleküllerin üzerinde multimoleküler olarak bulunmaktadır. Kurutma sırasında karadut meyvesindeki suyun uzaklaştırılmasına çalışıldığı için kurutulmuş üründe dokularda meydana gelen değişikliklerin görüntülenmesi büyük önem taşımaktadır. Kurutma sırasında gerçekleşen büzüşme, katlanma, kapillerler veya doku zedelenmelerinin görüntülenmesiyle ilgili literatür de pek çok çalışma yer almasına rağmen karadutla ilgili çalışmaya rastlanmamıştır. Bu açıdan liyofilizasyon tekniğinin kurutma başarısının ve potansiyelinin belirlenmesinde konveksiyonel ve vakumlu kurutma teknikleriyle kıyaslanmasını sağlamak açısından karadut örneklerinin SEM görüntüleri oluşturularak kurutma sistemleri görsel olarak kıyaslanmıştır.

Liyofilizasyon yönteminde vakum ve düşük sıcaklıklarda çalışılmasından dolayı dokuların ve hücrelerin büzüşmesi ve birbiri üstünde katlanmalarının konveksiyonel kurutmaya göre daha az seviyede olduğu Şekil 4.13'de görülmektedir. Konveksiyonel kurutmada yüksek ısı işleminden dolayı suyun uzaklaşmasıyla beraber dokular kendine has şeklini yitirmiş, farklı katlanma ve kırılmalar göstermişlerdir. (Şekil 4.14). Vakumlu kurutulmuş örneklerin SEM görüntülerinde hücre katlanmalarının ve büzüşmelerinin konveksiyonel kurutulmuş

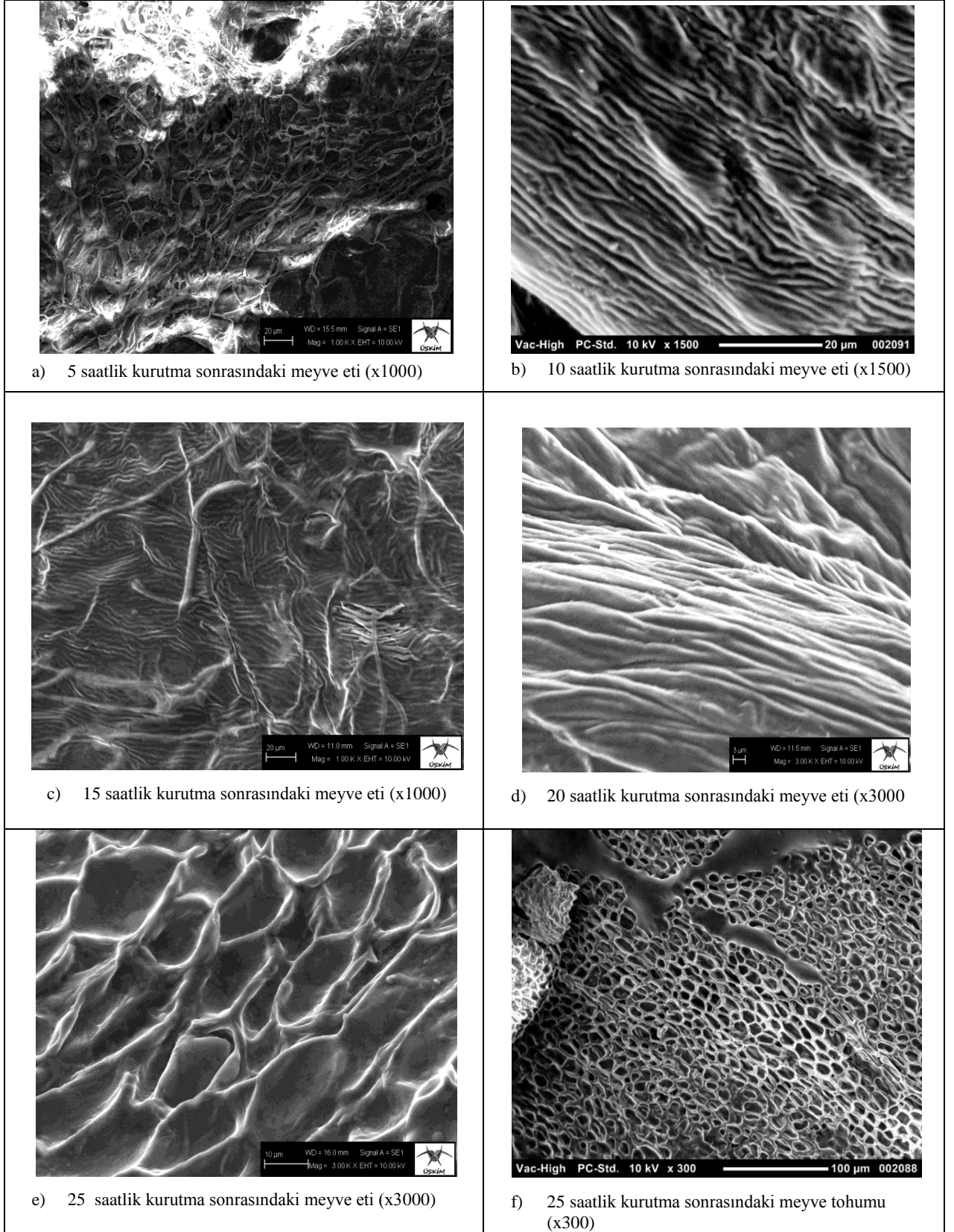
örneklerle göre daha az ancak liyofilize örneklerden daha fazla olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 4.15).

Acevedo ve ark. (2008), haşlanmış ve haşlanmamış elma disklerini, vakumlu kurutma ve liyofilizasyon yöntemleriyle kurutmuşlar ve bilgisayar bağlantılı mikroskop ile şekil analizi yapmışlardır. Vakumlu kurutma ile kurutulmuş ve haşlama uygulanmış örneklerde hücre yapısının tamamen kaybedildiği görülmüştür. Dondurarak kurutulmuş (yavaş ve hızlı) örneklerde ise hücre yapısının daha iyi korunduğu gözlemlenmiştir.

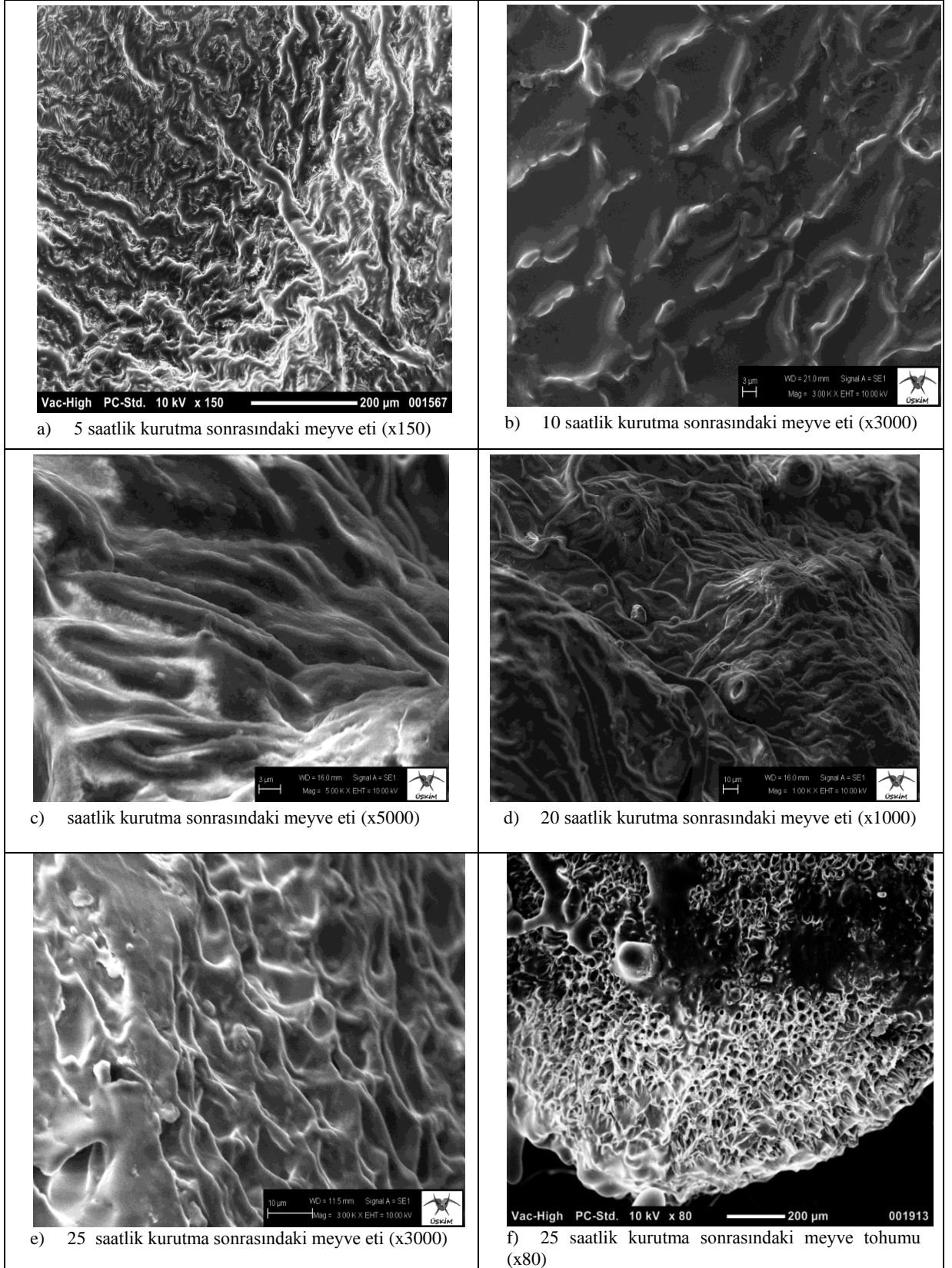
Elde edilen SEM görüntüleri yığın yoğunlukları ile kıyaslandığında ise görüntüler yığın yoğunluğu değerleri ile uyum içindedir. Liyofilize örneklerin yığın yoğunluğu taze örneğe (Şekil 4.12) çok yakın dolayısıyla SEM görüntüsünde doku ve hücrelerdeki büzüşmeler diğer tekniklere göre daha azdır. Vakumlu kurutulmuş ve konveksiyonel kurutulmuş örneklerin yığın yoğunluğu sırasıyla artmakta buna bağlı olarak SEM görüntülerindeki hücre büzüşmeleri ile katlanmalar daha belirgin görülmektedir.



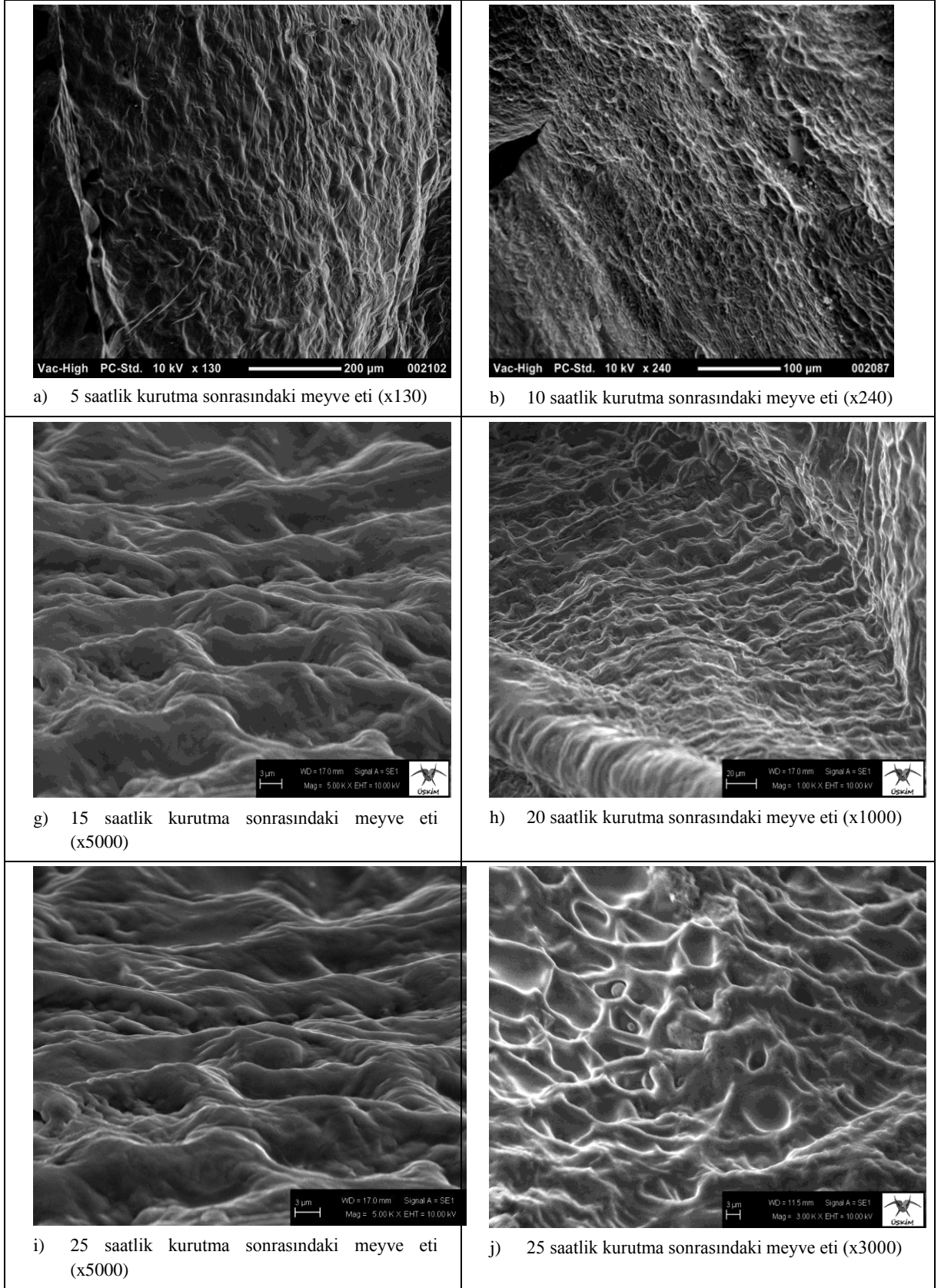
Şekil. 4.12. Taze örneklerin SEM görüntüleri (Açık ve parlak renkte görünenler hücre duvarları ve hücrelerarası boşluklardır).



Şekil 4.13. Liyofilize örneklerin SEM görüntüleri (Açık ve parlak renkte görünenler hücre duvarları ve hücrelerarası boşluklardır).



Şekil 4.14. Konveksiyonel kurutulmuş örneklerin SEM görüntüleri (Açık ve parlak renkte görünenler hücre duvarları ve hücrelerarası boşluklardır).



Şekil 4.15. Vakumlu kurutulan örneklerin SEM görüntüleri (Açık ve parlak renkte görünenler hücre duvarları ve hücrelerarası boşluklardır).

5. KAYNAKLAR

- ACEVEDO, N.C., BRIONES, V., BUERA, P., AGUILERA, M. J., 2008. Microstructure affects the rate of chemical, physical and color changes during storage of dried apple discs, *Journal of Food Engineering*, s. 222–231.
- AKBULUT, M., ÇEKİÇ, Ç., ÇOKLAR, H. 2006. Farklı Dut Çeşitlerinin Bazı Kimyasal Özellikleri ve Mineral Madde İçeriklerinin Belirlenmesi, *Gıda Teknolojisi*, Detay Yayıncılık, Ankara, s. 20-24.
- AKTAŞ, M. 2007. Isı Pompası Destekli Fındık Kurutma Fırınının Tasarımı, İmalat ve Deneysel İncelenmesi, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, s. 41-81.
- AKYURT, M., SEVİLİR, E., SÖYLEMEZ, E., SELÇUK, K. 1971. Güneş Enerjisi ve Bazı Yakıtlarla Meyve ve Sebze Kurutulması, TUBİTAK, Proje No:TOAG-97, Yayın No:299, Ankara.
- ANTHONY, J., FONTANA, JR. 2000. Water Activity's Role in Food Safety and Quality, Presented at the Second NSF International Conference on Food Safety, Savannah, GA, USA.
- ASCHKENASY, H. 1989. Applications of Freeze Dried Fruits in Confectionary Products, The Manufacturing Confectioner Publishing, MC Publishing Company, Princeton, WI 54968 USA.
- AYHAN, K. 2000. Gıda Mikrobiyolojisi ve Uygulamaları. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü Yayını. Ankara, s.522.
- BAYTOP, T. 1999. Türkiye'de Bitkiler ile Tedavi. 2.Baskı, Nobel Tıp Kitabevlei, İstanbul, s. 200.
- BEAUDRY, C., G. S. V. RAGHAVAN, C. RATTI, T. J. RENNIE. 2004. Effect of four drying methods on the quality of osmotically dehydrated cranberries. *Drying Technology*, 22; 521-539.
- BULDUK, S. 2002. Gıda Teknolojisi, Detay Yayıncılık, Ankara, s. 40-44.
- CABI, O. 1978. Dondurarak Kurutmanın Tanımı, Tekniği ve Kullanma Alanları, *Gıda Dergisi*, 3:1;8.
- CHASSAGNE, S., POIRIER, C., DEVAUX, M., FONSECA, F., LAHAYE, M., PIGORINI, G., GIRAULT, C., MARIN, M., GUILLON, F., 2009. Changes in texture, cellular structure and cell wall composition in apple tissue as a result of freezing, *Food Research International* 42; 788–797.
- CEMEROĞLU, B. 1990. Isıl işlem ve depolama koşullarının nar antosiyaninleri üzerine etkisi, *Gıda dergisi*, 15, 1, 13-19.
- CEMEROĞLU, B., VELİOĞLU, S., IŞIK, S. 1994. Degradation Kinetics of Anthocyanins in Sour Cherry Juice and Consantrate. *Journal of Food Science*, 59: 1216- 1218.
- CEMEROĞLU, B. 2010. Gıda Analizleri, gıda teknolojisi derneği yayınları, 34; 109.
- CHEN, P.N., CHU, S.C., CHIOU, H.L., KUO, W.H., CHIONG, C.L., HSIEH, Y.S. 2005. Mulberry anthocyanins, cyanidin 3-rutinoside and cyanidin 3-glucoside, exhibited and inhibitory effect on the migration and of a human long cancer cell line. *Cancer Letters* xx, s. 1-12.
- ÇALIMLI, A. 2003. Kayısı ve vişne suyu üretimindeki atıkların değerlendirilmesi, Ankara Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri. Ankara. http://papyrus.ankara.edu.tr/arastirma/2003/a2003_28/proje.pdf.

- ÇENGEL, Y.A., BOLES, M.A. 2002. Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik, Literatür Yayıncılık, İstanbul, s. 25-26.
- ÇELEBİ, S. 2006. Liyofilizasyon ve Kullanım Alanları, Vegapaks Medikal ve Analitik Cihazlar, Kimyasallar ve Gıda Ltd. Sti. web yayını, http://www.vegapaks.com/morbuttdosyaları/dondurarak_kurutabilecekleriniz.html.
- DAVIS, P.H. 1982. Flora of Turkey and The East Agean Island. Edinburgh University Press, Edinburgh, 642s.
- DALAL, K.B., SALUNKE, D.K., 1964. Food Technologie, s. 88.
- DIKBASAN, T. 2007. Determination Of Effective Parameters For Drying Of Apples, A MSc Thesis Submitted to the Graduate School of Engineering and Sciences of İzmir Institute of Technology.
- DOLAN, J.P. 1998. Use of Volumetric Heating to Improve Heat Transfer During Vial Freeze-Drying, PhD. Thesis, Virginia Polytechnic Institute and State University, Virginia, s. 22.
- DONSI, G., FERRARI, G., NIGRO, R., 1996. The Effect of Process Conditions on Physical Structure of Dehydrated Foods, Food and Bioproducts, 74: 73-80.
- DU, J., He, Z-D., Jang, R-W., Ye, W-C., Xu, H-X., But, PP-H., 2003. Antiviral Flavonoids From Root Bark of Morus Alba L. Phytochemistry, s. 1235-1238.
- ERGÜNEŞ, G., GÜNEŞ, M., ÇEKİŞ, Ç., 2004. Dut Meyvesinde Değişik Kurutma Tekniklerinin Kuru Ürün Kalitesi Üzerine Etkisi, Ulusal Kivi ve Üzümü Meyveler Sempozyumu, s. 442-447.
- ERTEKİN, F., EREN, İ., KOÇ, B. 2007. Modelling bulk density, Porosity and Shrinkage of Quince During Drying: The Effect of Drying Method, Journal Food Engineering Vol. 85, pg.340-349.
- FANG, S.H, HOU, Y.C, CHAO, P.D. 2005. Pharmacokinetic and Pharmacodynamic Interactions of Morin and Cyclosporin. Toxicol Appl Pharmacol, 15: 205;65-70.
- FELLOWS, P. J. 2000. Food Processing Technology; Principles and Practice, 2nd edition, Woodhead Publishing, UK.
- GANJYAL, G. M., M. A. HANNA, D. S. K. DEVADATTAM. 2003. Processing of Sapota (Sapodilla): Drying. Journal of Food Science, 68 (2):517-520.
- GIESELER, H. 2004. Product Morphology and Drying Behavior Delineated by a New Freeze-Drying Microbalanc, PhD Thesis, Department of Pharmaceutical Technology, University of Nuremberg-Erlangen, Erlangen, Germany.
- GÜRSES, Ö. 1986. Gıda İşleme Mühendisliği, Ziraat Fakültesi Yayınları, Ankara, 132s.
- GÜNHAN, T., DEMİR, V., HANCIOĞLU, E., HEPBASLI, A., 2005. Mathematical Modelling of Drying of Bay Leaves, Energy Conversion and Management 46, s. 1667-1679.
- GÜNER, M. 1991. Kurutmanın Bilimsel Temelleri, Kurutma Modelleri ve Güneşli Kurutucular, Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, Ankara, 1205: 48.
- HOLDSWORTH, S.D.1971. Journal Food Techn. 6, s. 331.
- JAMET, A., EBELING, P.W. 2002. Stabilization Mechanisma for Anthocyanin: The Case for Copolymerization Reactions. Engineering and Food for the 21.st Centruy, CRC Pres LLC, s. 1-4.
- JANKOVIE, M.1993. Physical properties of convectively dried and freeze-dried berrylike fruits, Faculty of Agriculture. Belgrade 38: 129–135.
- KAFKAS E., BOZDOĞAN, A., BURGUT, A., TÜREMİŞ, N., PAYDAŞ KARGI, S., CABAROĞLU, T., 2008. Bazı üzümü meyvelerde toplam fenol ve antosiyanin içerikleri, II.Ulusal Üzümü Meyveler Sempozyumu (14-16 Eylül 2006).

- KATARA, D.K., NATH, N. 1985. Effect of Pretreatments on Quality of Dried Potato Cubes, *Indian Food Packer*, s. 68-73.
- KIRMACI, V. 2008. Dondurarak Kurutma Sisteminin Tasarımı, İmalatı ve Performans Deneylerinin Yapılması, G.Ü. Doktora Tezi, Ankara, s.151.
- KROKIDA, M.K., MAROULIS, Z.B.1997. Effect of Dring Method on Shrinkage and Porosity, *Drying Technology*, 15:2441–2458.
- KROKIDA, M.K., MAROULIS, Z.B., SARAVACOS, G.D. 2001. The Effect of the Method of Drying on the Colour of Dehydrated Products, *International Journal of Food Science and Technology*, 36: 53-59.
- KIRCA, A., ÖZKAN, M., CEMEROĞLU, B. 2005. Stability of black carrot anthocyanins in various fruit juices and nectars, *Food Chemistry*, 97: 598-605.
- KWOK, B.H.L., HU, C., DURANCE, T., KITTS, D.D. 2004. Dehydration techniques affect phytochemical contents and free radical scavenging activities of Saskatoon berries (*Amelanchier alnifolia* Nutt.), *Journal of Food Science*, 69:122-126.
- LITVIN, S., MANNHEIM, C.H., MILTZ, J. 1998. Dehydration of Carrots by a Combination of Freeze Drying, Microwave Heating and Air or Vacuum Drying, *Journal of Food Engineering*, 36: 103-111.
- LIU, X., XIAO, G.,CHEN, W., XU, Y., WU, J. 2004. Quantification and Purification of Mulberry Anthocyanins with Macroporus Resins, *J. of Biomed. And Biotech.* 5: 326–331.
- LIN, T.M., DURANCE, T.D. ve SCAMAN, C.H. 1998, Charactezation of Vacuum Microwave, Air and Freze Dried Carrot Slices, *Food Research International*, 31: 111-117.
- LOZANO, J.E. ve IBARZ, A. 1997. Colour changes in concentrated fruit pulp during heating at high temperatures. *Journal of Food Engineering*, 31: 365-373.
- MA, S.C., DU J, BUT P.P.H., DENG, X.L., ZHANG, Y.W., DOI, V.E.C., XU, H.X, LEE S.H.S., LEE, S.F. 2002. Antiviral Chinese Medicinal Herbs Againts Respiratory Syncytical Virus. *J Ethnopharm*, 79: 205-211.
- MC CLEARY, J.P. 1987. Vacuum Freze Drying, A Method Used To Salvage Water Damaged Archival and Libraray Materials: A Ramp Study with Guidelines, Paris.
- MENGEŞ, G. 2005. Patatesin Farklı Kurutma Şartlarındaki Kurutma Karakteristiklerinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, s. 77.
- MUJUMDAR, A. S., DEVAHASTIN, S. 2000. Mujumdar's practical guide to industrial drying. Exergex Corporation, Canada.
- OKI, T., KOBAYASHI, M., NAKAMURA, T., OKUYAMA, A., MASUDA, M., SHIRATSUCHI, H. ve SUDA, I. 2006. Changes in radical-scavenging activity and components of mulberry fruit during maturation. *Journal of Food Science*, 71:18-22.
- ÖZEN, G., AKBULUT, M., 2008. Dut Suyu Antosiyaninlerinin Yüksek Performanslı Sıvı Kromatografisi (HPLC) İle Belirlenmesi. Türkiye 10. Gıda Kongresi.Erzurum,s.191-194.
- ÖZKARA, T. 2003. Dondurarak Kurutma Yöntemi İle Saklanan Greftlerin Mekanik Özellikleri Üzerine Radyasyonla Sterilizasyonun Etkileri. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, s. 78.
- PETERSON, J., DWYER, J., BHAGWAT, S., HAYTOWITZ, D., HOLDEN, J., ELDRIDGE, A.L., BEECHER, G. and ALADESANMI, J. 2005. Major flavonoids in dry tea. *Journal of Food Composition and Analysis*, 18, 487-501.
- RATTI, C. 2001. Hot-air and Frezee-drying of High Value Foods: A Review. *Journal of Food Engineering*, 49: 311-319.

- RATTI, C., MAKHLOUF, J., SHISHEHGARHA, F. 2002. Freeze Drying Characteristics of Strawberries. *Drying Technology*, 20: 131-145.
- RATTI, C. 1994. Shrinkage During Drying of Foodstuffs. *J. of Food Engineering*, 23: 91-105.
- RATTANATHANALERK, M., CHIEWCHAN, N., SCICHUMPOUNG, W. 2005. Effect of Thermal Processing on the Quality Loss of Pineapple Juice. *Journal of Food Engineering*, 66: 259-265.
- SADIKOĞLU, H., ÖZDEMİR, M. 2003. Dondurarak kurutma teknolojisi ve evreleri. *Gıda*, 28 (6):643-649.
- SİVRİTEPE, N. 2000. Asma, Üzüm ve Şaraptaki Antioksidantlar. *Gıda Dünya Yayınları*, 12: 73-78.
- SNAPYAN, G.G., MINASYAN, S.M., ASTABASYAN, G.A., CHECENKO, Z.A., KHACHATRYAN, G.V., KHODZUMYAN, G.A., AKOPYAN, A.A., GEVORKYAN, V.G. 1981. Biochemical indices and technological properties of mulberries. *Konsevnaya-i Ovoshchesushil'naya Promyshlennost*, 6:35-36.
- SOHN, H.Y., SON, K.H., KWON, C-S., KWON, G-S., KONG, S.S. 2004. Antimicrobial and Cytotoxic Activity of 18 Prenylated Flavonoids Isolated From Medicinal Plants: *Morus Alba L.*, *Morus Mongolica Schneider*, *Broussonetia Papyrifera (L) Vent*, *Saphora Flavescens Ait* And *Echinosophora Koreensis Nakai*. *Phytomedicine*, 11: 666-672.
- TAYLOR, R., ZHAI, S. 2000. Department of Chemical Engineering University of Cambridge, Cambridge U.K.
- TSAI, P.J., DELVA, L., YU, T.Y., DUFOSSE, L. 2005. Effect of sucrose on the anthocyanin and antioxidant capacity of mulberry extract during high temperature heating. *Food Research International*, 38: 1059-1060.
- TSAMI, E., KROKIDA, M.K., DROUZAS, A.E. 1999. Effect of Drying Method on the Sorption Characteristics of Model Fruit Powders. *Journal of Food Engineering*, 38: 381-392.
- TÜRKER, N., AKSAY, S., ve EKİZ, H.I. 2004. Effects of storage temperature on the stability of anthocyanins of a fermented black carrot (*Daucus carota* var. *L.*) beverage: shalgam. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 52: 3807-3813.
- VAN ARSDEL, W.B. 1973. Food dehydration, Vol. 1. AVI Publ. Co Inc. Westport, Connection.
- YAĞCIOĞLU, A. 1999. Tarım Ürünleri Kurutma Tebliği, İzmir. Ege Üniversitesi, s. 225.
- YANG, C.S.T., ATALLAH, W.A. 1985. Effect of Four Drying Methods on the Quality of Intermediate Moisture Lowbush, blueberries. *Journal of Food Science*, 50: 1233-1237.
- YİĞİT, N., YİĞİT, D., ÖZGEN, U., AKTAŞ, A.E. 2007. Kara dut (*Morus nigra L.*)'un Antikandidal Aktivitesi. *Türk Mikrobiyal Cem. Dergisi*, 37: 169-173.
- YOUNG, I.S., WOODSIDE, J.V. 2001. Antioxidants in Health and Disease. *J. Clin Pathol*, 54: 176-186.
- YONGSAWATDIGUL, J., GUNASEKARAN, S. 1996. Microwave-vacuum drying of cranberries: Part I. Energy use and efficiency. *Journal of Food Processing and Preservation*, 20: 121-143.
- YONGSAWATDIGUL, J. 1995. Microwave-Vacuum Drying of Cranberries: Part II. Quality Evaluation. University of Wisconsin Madison, 252s.
- YURDAKUL, E. 2008. Kahvaltılık Gevrekleri Zenginleştirmek Amacıyla Üretilen Dondurarak Kurutulmuş Kestanenin Kalite Kriterlerinin Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi. Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İzmir, 189s.

ZHONG, T, LIMA, M. 2003. The Effect of Ohmic Heating on Vacuum Drying Rate of Sweet Potato Tissue. *Bioresource Technology*, 87: 215–220.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı, soyadı : Hatice DOBOOĞLU
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 09.05.1987 Almanya
Medeni hali : Bekar
Telefon : 0 (553) 388 09 81
e-posta :htc_dobooglu@hotmail.com.

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	KSÜ/Biyoloji	2008
Lise	Özel Beyza Lisesi	2003

Yabancı Dil

İngilizce

Hobiler

Dizayn-Tasarım, Doğa bilimleri, Kayak, Yüzme