

**T.C.  
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ÖN İŞLEMLERLE KOMBİNE UYGULANAN KAPALI DÖNGÜ MODİFİYE  
ATMOSFER KURUTMANIN BAZI MEYVELERİN KARAKTERİSTİK  
ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİSİ**

**İhsan Burak ÇAM**

**DOKTORA TEZİ  
GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**2016**

**T.C.  
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ÖN İŞLEMLERLE KOMBİNE UYGULANAN KAPALI DÖNGÜ MODİFİYE  
ATMOSFER KURUTMANIN BAZI MEYVELERİN KARAKTERİSTİK  
ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİSİ**

**İhsan Burak ÇAM**

**DOKTORA TEZİ  
GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**Bu tez TÜBİTAK Araştırma Destek Programları Başkanlığı (ARDEB) tarafından  
213 O 065 numaralı proje ile desteklenmiştir. Tez içeriği TPE 2015-GE-369922  
numaralı Patent Başvurusu ile koruma kapsamındadır.**

**2016**

## ÖZET

### ÖN İŞLEMLERLE KOMBİNE UYGULANAN KAPALI DÖNGÜ MODİFİYE ATMOSFER KURUTMANIN BAZI MEYVELERİN KARAKTERİSTİK ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİSİ

İhsan Burak ÇAM

Doktora Tezi, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ayhan TOPUZ

Eylül 2016, 90 sayfa

Bu çalışmada vakum altında kurutma işlemlerine alternatif olarak kapalı döngü modifiye atmosfer kurutma (KADMAK) yönteminin geliştirilmesi ve ön işlemlerle kombine olarak uygulanabilirliğinin araştırılması amaçlanmıştır. Bu amaçla normal kurutma koşullarında rengini ve besin özelliklerini çok hızlı bir şekilde kaybeden çilek, kivi ve muz meyveleri materyal olarak seçilmiştir. Araştırma, sıcak hava akımında kurutma ve yüksek kalitede ürün elde etmeyi sağlayan donuk kurutma yöntemleri ile kıyaslamalı olarak yürütülmüştür. Çilek meyvesinin doğrudan ve ön işlemleri (ozmotik ve sıcak hava ile ön kurutma) takiben, muz ve kivi meyvelerinin ise doğrudan kapalı döngü modifiye atmosfer kurutulması (KADMAK) gıdalarda uygulanabilecek özgün bir kurutma yaklaşımı olarak ele alınmıştır.

Bu tez çalışmasında Akdeniz Bölgesi gibi yüksek nemli bölgelerde faaliyet gösteren firmaların kurutma ihtiyaçlarına cevap verebilecek KADMAK sistemi tasarlanmış ve imalatı gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen bu sistem, güneş enerjisi desteğiyle çalıştırılarak doğrudan ve ön işlemlerle kombine olarak dilimlenmiş meyvelerin kurutulmasında test edilmiştir. Sıcak hava ve donuk kurutmayla kıyaslanarak yürütülen bu denemelerde sistemin kurutma hızı, enerji verimliliği, elde edilen ürünlerin kurutma sonrası ve depolama sürecindeki kalite özellikleri, kurutulmuş gıdalara özgü parametreler üzerinden analiz edilmiştir.

Geliştirilen KADMAK sisteminde kurutma havasının nemini almak için nem tutucu absorbanların kullanımı öngörülmüş, uygun absorban seçimi ve seçilen absorbanın çalışma koşullarında dinamik olarak testlerinin yapılması sonucu kurutucu sistem imalatı tamamlanmıştır. Piyasada endüstriyel kullanıma yönelik mevcut olan Silika Jel (Orange Gel moisture indicator), Zeolit 4A (2,5-5 mm), Zeolit 5A (2,5-5 mm), Zeolit 13X (1,6-2,6 mm) ve Aktif Karbon (CPure) adsorbent olarak test edilmiştir. Her bir adsorbentin adsorpsiyon testleri 60-70°C sıcaklıklarda (kurutma sıcaklıkları) ve 2-3 m/s hava hızlarında; desorpsiyon testleri ise yine aynı hava hızlarında 110-120°C sıcaklıklarda gerçekleştirilmiştir. Adsorpsiyon ve özellikle de desorpsiyon deney sonuçlarına göre en uygun adsorbentin silika jel olduğu değerlendirilmiştir.

KADMAK sisteminde Box-Behnken deneme desenine göre sıcaklık, hava hızı ve oksijen miktarı değişkenleri, üründe minimum askorbik asit kaybı, minimum antosiyanin kaybı ile minimum esmerleşme indeksi ve kuruma süresi parametreleri kullanılarak cevap

yüzey metoduna göre optimize edilmiştir. Buna göre optimum sıcaklık 60°C, optimum hava hızı 3 m/s ve optimum oksijen miktarı %9,5 olarak belirlenmiştir.

KADMAK sistemi, seçilen meyveleri doğrudan ve ön kurutmalarla kombine olarak başarılı bir şekilde kurutmuştur. Kıyaslamalı olarak yürütülen tüm bu yöntemlerin kuruma hızları belirlenmiş, elde edilen ürünlerde doğrudan uygulanan KADMAK yönteminin, kurutma sırasındaki askorbik asit ve toplam monomerik antosiyanin kayıplarını belirgin düzeyde azalttığı ve bu bileşenler açısından donuk kurutmaya emsal sonuçlar sağladığı tespit edilmiştir. Buna ilaveten, çileklerin kurutma işleminde KADMAK yönteminin aynı üretim kapasitesinde donuk kurutmaya nazaran, onda bir maliyetle gerçekleştiği tespit edilmiştir. Ancak, bu sistemde ürünlerin renk özellikleri bakımından kayda değer bir üstünlük sağlanamamıştır.

Geliştirilen KADMAK sisteminin farklı ürünlerin kurutulmasında denenmesi, yaygınlaştırılması ve ülke ekonomisine kazandırılması gerektiği sonucuna varılmıştır.

**ANAHTAR KELİMELEER:** Kapalı Döngü Modifiye Atmosfer Kurutma, Ozmotik Kurutma, Donuk Kurutma, Sıcak Hava ile Kurutma, Çilek, Kivi, Muz.

**JÜRİ:** Prof. Dr. Ayhan TOPUZ (Danışman)  
Prof. Dr. Can ERTEKİN  
Doç. Dr. Yahya TÜLEK  
Doç. Dr. Mustafa Kemal USLU  
Doç. Dr. Hilal ŞAHİN NADEEM

## **ABSTRACT**

### **EFFECTS OF CLOSED CYCLE MODIFIED ATMOSPHERE DRYING COMBINED WITH PRETREATMENTS ON CHARACTERISTICS OF SOME FRUITS**

**İhsan Burak ÇAM**

**PhD Thesis in Food Engineering  
Supervisor: Prof. Dr. Ayhan TOPUZ  
September 2016, 90 pages**

In the present research, development of closed-cycle modified atmosphere drying (CC-MAD) method is aimed as an alternative to vacuum drying techniques and also research of the applicability of CC-MAD combined with projected pre-treatments. For this purpose, strawberry, kiwi and banana fruits was preferred as material due to their perishable characteristics and low storage stabilities. The fruits were dried by CC-MAD followed by osmotic and hot air pre-drying treatments until final moisture content. This unique process carried out comparatively to hot air drying; freeze drying and only CC-MAD techniques in terms of process parameters and final product properties.

Thanks to this new drying system, food-processing facilities located in high humidity and sunny regions such as the Mediterranean Coast, will be able to dry their products. The developed solar assisted CC-MAD system tested for drying fruit slices in combination with/out pre-treatments. Energy efficiency of systems and quality of dried fruits during storage were analyzed in comparison to hot air and freeze-drying techniques according to quality parameters of dehydrated foods.

Moisture adsorbers were intended to use for dehumidifying of drying medium. Selected adsorbents were tested dynamically in operating conditions of developed drying system. Silica Gel (Orange Gel moisture indicator), Zeolite 4A (2,5-5 mm), Zeolite 5A (2,5-5 mm), Zeolite 13X (from 1,6 to 2,6 mm) and activated Carbon (cpur) were tested as adsorbents. Each adsorbent test was performed at 60 to 70°C (drying temperature) and 2-3 m / s in air speed for adsorption and 110 to 120°C and same air speed for desorption. Silica gel was found to be best suitable adsorbent according to the adsorption and especially the desorption test results.

CC-MAD system is optimized based on Box-Behnken experimental design in system temperature, air speed and the amount of oxygen variables; the minimum ascorbic acid loss in the product, minimum browning index and drying time parameters with minimum loss of anthocyanins has been evaluated as answers of the response-surface method. Accordingly, the results indicate that the optimum temperature is 60°C, the optimum air velocity is 3 m/s and the optimum oxygen content was determined as 9,5%.

All selected fruit slices were dried successfully by using direct CC-MAD (developed by this research) and CC-MAD combined with pre-drying applications. Drying curves obtained from these different drying techniques were also eliminated. The

loss of ascorbic acid and total monomeric anthocyanin were significantly reduced by CC-MAD drying technique similar to that of the freeze-drying. In addition, in comparison with freeze-drying at same production capacity, energy cost of CC-MAD was ten times lower than that of freeze drying. However, notable superiority cannot be provided in color of dried strawberry slices by CC-MAD.

The developed CC-MAD system should be tested in different agricultural commodities for extending food industry and integrated to the national economy.

**KEYWORDS:** Closed-Cycle Modified Atmosphere Drying, Osmotic Drying, Freeze Drying, Hot-Air Drying, Strawberry, Kiwi, Banana.

**COMMITTEE:** Prof. Dr. Ayhan TOPUZ (Supervisor)  
Prof. Dr. Can ERTEKİN  
Assoc. Prof. Dr. Yahya TÜLEK  
Assoc. Prof. Dr. Mustafa Kemal USLU  
Assoc. Prof. Dr. Hilal ŞAHİN NADEEM

## ÖNSÖZ

Bu çalışmada, vakum altında uygulanan kurutma yöntemlerine alternatif olarak kapalı döngü modifiye atmosfer kurutma (KADMAK) işleminin uygulanabilirliği araştırılmıştır. Bu amaçla çilek, kivi ve muz meyveleri materyal olarak seçilmiştir. Bu meyveler oksidasyona hassas bileşenlerce zengin olup, bu bileşenler kurutma sırasında kayba uğramaktadır. Çalışma sonucunda geliştirilen KADMAK yöntemi ile kurutma sırasındaki besin ve kalite kayıplarının azaltılması hedeflenmiştir. Bu amaçla doğrudan ve kritik nem değerine kadar ön kurutmalı (ozmotik ön kurutma ve sıcak hava ile ön kurutma) KADMAK uygulamaları gerçekleştirilmiştir. Genel olarak ön kurutma işlemlerinde fiziksel veya besinsel kalite kayıplarının çok daha az olacağı ve bu işlemlerle ürün yüzey suyunun kolayca uzaklaştırılabileceği öngörülmüştür. Kalite kayıplarının yüksek olduğu azalan kuruma periyodu ise KADMAK tamamlayıcı kurutma ile aşılmıştır.

Tamamlayıcı kurutma difüzyon kontrollü bir nem uzaklaştırma işlemi olduğu için üründe kalan düşük miktardaki nem, ürün üzerinden kapalı döngü olarak sürekli döndürülen modifiye gazla (azot/hava karışımı) taşınmış ve bir adsorbentle yakalanarak sistemden uzaklaştırılmıştır. Sınırlı miktarda oksijen içeren modifiye gaz karışımı sayesinde, üründeki oksidasyon kaynaklı kalite kayıpları azaltılabilmektedir. Modifiye gaz karışımı ile taşınan nemin sistemden uzaklaştırılmasında, dönüşümlü olarak çalışan adsorbent içerikli kolonlar kullanılmıştır. Bu amaçla pratikte kullanılan bazı adsorbentlerden en uygun olanı ile modifiye gazın nemi tutulmuş ve bu gaz karışımı tekrar ürüne gönderilerek hedef nem seviyesine ulaşılan kadar işlem sürdürülmüştür. Dönüşümlü olarak çalışan adsorbent içerikli kolonlar, güneş enerjisi ile ısıtılan hava ile rejenere edilerek ve tekrar sistemde kullanılmıştır. Geliştirilen bu kurutma yöntemi, Akdeniz Bölgesi gibi nemin ve güneşin yoğun olduğu bölgelerde, dış ortamın havasından bağımsız olarak ve güneş enerjisi desteği ile çalıştırılabilmektedir. Bu sistemle elde edilen ürünlerin askorbik asit ve toplam monomerik antosiyanin içeriğinin korunabildiği, fonksiyonel ve besleyici özellikleri korunmuş kurutulmuş meyveler üretildiği görülmüştür. Geline aşamada elde edilen ticarileşme potansiyeline sahip çıktılar koruma altına alınabilmesi için gerekli patent başvuruları yapılmıştır. Ancak sistemin farklı gıda ürünlerinin de kullanılabilirliğinin test edilmeye devam edilmesi çalışma başarısını ve geliştirilen sistemin ticarileşebilmesi için önem arz etmektedir.

Bu çalışmayı tez konum olarak öneren, yüksek lisans ve doktora öğrenimim sırasında ve tez çalışmalarım boyunca gösterdiği her türlü destek, anlayış ve yardımından dolayı çok değerli hocam Sn. Prof. Dr. Ayhan TOPUZ'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Doktora tez çalışmalarım süresince değerli katkılarıyla çalışmalarına yön veren Tez İzleme Komitesi üyeleri Doç. Dr. Hilal ŞAHİN NADEEM ve Prof. Dr. Can ERTEKİN'e katkı ve yardımlarından dolayı teşekkür ederim.

Çalışmalarımın çeşitli aşamalarında benden yardımlarını esirgemeyen Gıda Yüksek Mühendisi Emrah EROĞLU'na, Öğr. Gör. Dr. Mehmet TORUN'a, Gıda Yüksek Mühendisi Ferhan BALCI TORUN'a, Araş. Gör. İsmail TONTUL'a, Gıda Mühendisi Ecem VURAL'a ve ayrıca çalışmalarım boyunca yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen

kıymetli arkadaşım Gıda Yüksek Mühendisi Handan BAŞÜNAL'a teşekkürlerimi sunarım.

Görev yaptığım birimde, doktora öğrenimim ve tez çalışmalarım sırasında gösterdikleri tüm destek ve anlayıştan ötürü Gıda Güvenliği ve Tarımsal Araştırmalar Merkezi Müdürü Sn. Prof. Dr. Mehmet İNAN'a, Merkezimiz idari ve akademik personeline, Moleküler Biyoloji Laboratuvarı araştırmacı ve öğrencilerine; özellikle birçok aşamada katkılarını esirgemeyen dostlarım Kimyager Taner ERKAYMAZ'a, Yüksek Kimyager Timur TONGUR'a, Yüksek Kimyager Murat KILIÇ'a, Gıda Yüksek Mühendisi Hanife Aydan YATMAZ'a, Yüksek Fizikçi Fatih PERİNÇEK'e teşekkürü bir borç bilirim.

Daima desteklerini yanımda hissettiğim, tüm aileme yürekten teşekkürlerimi sunarım.

Ve her zaman yanımda olup maddi ve manevi desteğini benden esirgemeyen, öncesindeki pek çok çalışmada olduğu gibi bu çalışmanın da en başından en sonuna kadar her anlamda bana yardımcı olan sevgili eşim Pınar TEKBAŞ ÇAM'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışmanın hayata geçirilebilmesinde önerilen 213 O 065 numaralı projeye verdiği katkılardan dolayı TÜBİTAK-ARDEB yetkili ve çalışanları ile projenin değerlendirilmesi ve izlenmesinde görev alan ve katkı sağlayan bilim insanlarına ve tez çalışmalarının yürütüldüğü Akdeniz Üniversitesi yetkili ve çalışanlarına, KADMAK imalatını özveri ile gerçekleştiren Nokta Teknik Makine İmalat Merkezi'nden Sn. Hüseyin SEVİM'e teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

|                                                                           |     |
|---------------------------------------------------------------------------|-----|
| ÖZET.....                                                                 | i   |
| ABSTRACT.....                                                             | iii |
| ÖNSÖZ .....                                                               | v   |
| İÇİNDEKİLER .....                                                         | vii |
| SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....                                      | x   |
| ŞEKİLLER DİZİNİ.....                                                      | xii |
| ÇİZELGELER DİZİNİ .....                                                   | xiv |
| 1. GİRİŞ.....                                                             | 1   |
| 2. KURAMSAL BİLGİLER ve KAYNAK TARAMALARI.....                            | 2   |
| 2.1. Kurutma Olgusu ve Teknolojisi .....                                  | 2   |
| 2.2. Kurutma Yöntemleri.....                                              | 3   |
| 2.2.1. Sıcak hava ile kurutma .....                                       | 3   |
| 2.2.2. Donuk kurutma .....                                                | 3   |
| 2.2.3. Ozmotik kurutma.....                                               | 4   |
| 2.3. Kurutulmuş Ürünlerin Kalite Özellikleri.....                         | 5   |
| 2.4. Havadan Nem Uzaklaştırma Yöntemleri.....                             | 7   |
| 2.5. İnert (Asal) Gazlar Altında Kurutma Yaklaşımları .....               | 7   |
| 2.6. Çilek Kurutma Konusunda Yapılan Çalışmalar .....                     | 8   |
| 2.7. Kivi Kurutma Konusunda Yapılan Çalışmalar.....                       | 9   |
| 2.8. Muz Kurutma Konusunda Yapılan Çalışmalar.....                        | 9   |
| 3. MATERYAL VE METOT.....                                                 | 11  |
| 3.1. Materyal.....                                                        | 11  |
| 3.2. Yöntem .....                                                         | 11  |
| 3.2.1. KADMAK sisteminin tasarımı .....                                   | 11  |
| 3.2.2. Gerekli Malzemelerin Temini ve KADMAK Tasarımının Uygulanması..... | 12  |
| 3.2.3. Uygun adsorbent seçimi .....                                       | 14  |
| 3.2.4. Meyvelerin kurutulması.....                                        | 15  |
| 3.2.5. Ön İşlemler .....                                                  | 16  |
| 3.2.5.1. Kurutma .....                                                    | 16  |
| 3.2.5.2. Sıcak hava ile kurutma.....                                      | 17  |
| 3.2.5.3. Donuk kurutma .....                                              | 17  |
| 3.2.5.4. Kapalı döngü modifiye atmosfer kurutma (KADMAK).....             | 17  |
| 3.2.5.5. Sıcak hava ile ön kurutma + KADMAK son kurutma.....              | 18  |
| 3.2.5.6. Ozmotik ön kurutma + KADMAK son kurutma .....                    | 18  |
| 3.2.6. Ambalajlama ve depolama .....                                      | 19  |
| 3.2.7. Analizler .....                                                    | 19  |
| 3.2.7.1. Nem içeriği ve su aktivitesi.....                                | 19  |
| 3.2.7.2. Renk analizi ve esmerleşme indeksi (Browning Index).....         | 20  |
| 3.2.7.3. Büzüşme (hacim değişimi) .....                                   | 21  |
| 3.2.7.4. Yeniden su alma kapasitesi.....                                  | 21  |
| 3.2.7.5. Toplam monomerik antosiyanin .....                               | 22  |
| 3.2.7.6. Antioksidan aktivite .....                                       | 22  |
| 3.2.7.7. Askorbik asit .....                                              | 23  |
| 3.2.7.8. Hidroksi Metil Furfural (HMF) .....                              | 25  |
| 3.2.7.9. Aroma analizleri .....                                           | 25  |
| 3.2.7.10. Enerji verimliliği.....                                         | 26  |
| 3.2.7.11. İstatiksel analiz .....                                         | 27  |

|                                                                                                     |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 4. BULGULAR VE TARTIŞMA .....                                                                       | 28 |
| 4.1. Uygun Adsorbent Belirleme Çalışmalarına Ait Bulgular .....                                     | 28 |
| 4.2. KADMAK Optimizasyon Çalışmaları .....                                                          | 30 |
| 4.3. Kurutma Yöntemlerinin Enerji Girdilerinin Belirlenmesi .....                                   | 34 |
| 4.3.1. Donuk kurutma işleminin enerji tüketimi .....                                                | 34 |
| 4.3.2. KADMAK işleminin enerji tüketimi .....                                                       | 36 |
| 4.4. Kuruma Eğrileri .....                                                                          | 36 |
| 4.4.1. Çilek örneklerinin kuruma eğrileri .....                                                     | 37 |
| 4.4.2. Kivi örneklerinin kuruma eğrileri .....                                                      | 38 |
| 4.4.3. Muz örneklerinin kuruma eğrileri .....                                                       | 39 |
| 4.5. Kurutma Yöntemlerinin Ürünlerin Fiziksel ve Kimyasal Özelliklerine Etkisi .....                | 40 |
| 4.5.1. Çileklerin kurutma yöntemleri ile fiziksel ve kimyasal özelliklerinin değişimi .....         | 40 |
| 4.5.1.1. Kurutulmuş çileklerin nem içeriği ve su aktivitesi değişimleri .....                       | 41 |
| 4.5.1.2. Çileklerde kurutma sırasında meydana gelen renk değişimleri .....                          | 41 |
| 4.5.1.3. Kurutulmuş çileklerin büzüşme ve rehidrasyon özellikleri .....                             | 42 |
| 4.5.1.4. Çileklerde kurutma sırasında askorbik asit değişimleri .....                               | 44 |
| 4.5.1.5. Çileklerde kurutma sırasında toplam monomerik antosiyanin değişimleri .....                | 45 |
| 4.5.1.6. Çileklerde kurutma sırasında antioksidan aktivite değişimleri .....                        | 46 |
| 4.5.2. Kivilerin kurutma yöntemleri ile fiziksel ve kimyasal özelliklerinin değişimi .....          | 47 |
| 4.5.2.1. Kivilerde kurutma sırasında meydana gelen nem içeriği ve su aktivitesi değişimleri .....   | 48 |
| 4.5.2.2. Kivilerde kurutma sırasında meydana gelen renk değişimleri .....                           | 48 |
| 4.5.2.3. Kurutulmuş kivilerin rehidrasyon özellikleri .....                                         | 50 |
| 4.5.2.4. Kivilerde kurutma sırasında askorbik asit değişimleri .....                                | 50 |
| 4.5.2.5. Kivilerde kurutma sırasında antioksidan aktivite değişimleri .....                         | 51 |
| 4.5.3. Muzların kurutma yöntemleri ile fiziksel ve kimyasal özelliklerinin değişimi .....           | 52 |
| 4.5.3.1. Muzlarda kurutma sırasında meydana gelen nem içeriği ve su aktivitesi değişimleri .....    | 53 |
| 4.5.3.2. Muzlarda kurutma sırasında meydana gelen renk değişimleri .....                            | 53 |
| 4.5.3.3. Kurutulmuş muzların rehidrasyon özellikleri .....                                          | 55 |
| 4.5.3.4. Muzların kurutma sırasındaki askorbik asit değişimleri .....                               | 56 |
| 4.5.3.5. Muzlarda kurutma sırasında antioksidan aktivite değişimleri .....                          | 57 |
| 4.6. Farklı Depolama Koşullarının Ürünün Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri Üzerine Etkisi .....      | 58 |
| 4.6.1. Çileklerin depolama ile fiziksel ve kimyasal özelliklerinin değişimi ...                     | 58 |
| 4.6.1.1. Çileklerin depolama sırasında nem içeriği ve su aktivitesi değişimleri .....               | 59 |
| 4.6.1.2. Çileklerin depolama ile renk değişimleri .....                                             | 59 |
| 4.6.1.3. Çileklerin depolama sırasında askorbik asit değişimleri .....                              | 61 |
| 4.6.1.4. Çileklerin depolama sırasında toplam monomerik antosiyanin değişimi .....                  | 62 |
| 4.6.1.5. Çileklerin depolama sırasında antioksidan aktivite değişimi .....                          | 63 |
| 4.6.1.6. Kurutulmuş çileklerin depolama sırasındaki aroma değişimi .....                            | 65 |
| 4.6.2. Kurutulmuş kivilerin depolama sırasındaki fiziksel ve kimyasal özelliklerinin değişimi ..... | 66 |
| 4.6.2.1. Kurutulmuş kivilerin depolama sırasında nem içeriği ve su aktivitesi değişimleri .....     | 66 |

|                                                                                                 |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 4.6.2.2. Kurutulmuş kivi dilimlerinin depolamaya bağlı renk değişimleri .....                   | 67 |
| 4.6.2.3. Kurutulmuş kivilerin depolama sırasındaki askorbit asit değişimleri .....              | 69 |
| 4.6.2.4. Kurutulmuş kivilerin depolama sırasındaki antioksidan aktivite değişimi.....           | 70 |
| 4.6.2.5. Kivilerin depolama sırasında aroma değişimi.....                                       | 71 |
| 4.6.3. Muzların depolama ile fiziksel ve kimyasal özelliklerinin değişimi.....                  | 72 |
| 4.6.3.1. Kurutulmuş muzların depolama sırasındaki nem içeriği ve su aktivitesi değişimleri..... | 72 |
| 4.6.3.2. Muzların depolama ile renk değişimleri .....                                           | 73 |
| 4.6.3.3. Kurutulmuş muzların depolama sırasındaki askorbit asit değişimleri .....               | 74 |
| 4.6.3.4. Kurutulmuş muzların depolama sırasındaki antioksidan aktivite değişimi.....            | 75 |
| 4.6.3.5. Kurutulmuş muzların depolama sırasındaki aroma değişimi.....                           | 76 |
| 5. SONUÇ .....                                                                                  | 78 |
| 6. KAYNAKLAR.....                                                                               | 81 |
| ÖZGEÇMİŞ                                                                                        |    |

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### Simgeler

|                |                                                              |
|----------------|--------------------------------------------------------------|
| A              | Kurutma haznesi kesit alanı                                  |
| $A_{\text{ş}}$ | Şahit numunede saptanan absorbands değeri                    |
| $A_{\text{n}}$ | Örnekte saptanan absorbands değeri                           |
| $\alpha$       | Askorbik asit standart eğrisinin eğimi                       |
| $a_w$          | Su aktivitesi                                                |
| $a$            | Yeşillik – Kırmızılık değeri (hunter <i>Lab</i> )            |
| $b$            | Sarılık – Mavilik değeri (hunter <i>Lab</i> )                |
| Bx             | Briks (çözünmüş kuru madde)                                  |
| $c_p$          | Havanın özgül ısısı                                          |
| $c_{pm}$       | Ozmotik çözeltinin özgül ısısı                               |
| $c_{pv}$       | Çilek özgül ısısı                                            |
| $c_{pp}$       | Meyvelerin birinci kurutma aşaması sonundaki özgül ısısı     |
| $c_{pi}$       | Dondurulmuş meyvelerin özgül ısısı                           |
| $c_{pf}$       | Meyvelerin donuk kurutma sonundaki özgül ısısı               |
| $c_{ps}$       | Meyvelerin ikinci kurutma aşaması başındaki özgül ısısı      |
| E              | Toplam enerji                                                |
| $E_p$          | Pompa için gerekli mekanik enerji                            |
| eV             | Elektron volt                                                |
| $g_{m(OD)}$    | Ozmotik kurutmadan sonra çözeltideki toplam katı miktarı     |
| h/h            | Hacim/hacim                                                  |
| km             | Kurumadde                                                    |
| L              | Parlaklık değeri (hunter <i>Lab</i> )                        |
| $L_g$          | Çileklerin donma gizli ısısı                                 |
| m              | Dondurulan çilek miktarı                                     |
| MA             | Molekül Ağırlığı                                             |
| MS             | Molar absorpsiyon katsayısı                                  |
| $M_s$          | Örneğin çözelti içindeki ağırlığı                            |
| $M_{hs}$       | Terazi kefesinin çözeltideki ağırlığı                        |
| $M_{ha}$       | Terazi kefesinin havadaki ağırlığı                           |
| $m_f$          | Meyvelerin donuk kurutma sonundaki ağırlığı                  |
| $m_i$          | Dilimlenmiş meyvelerin kütlesi                               |
| mmHg           | Milimetre cıva                                               |
| $m_{m(OD)}$    | Ozmotik kurutmadan sonra kalan ozmotik çözelti miktarı       |
| $m_{mo}$       | Ozmotik çözelti miktarı                                      |
| $m_{ps}$       | Meyvelerin birinci kurutma aşamasının sonundaki ağırlığı     |
| $m_{hi}$       | Donuk kurutma ile her 1 saat sürede kaybedilen kütle toplamı |
| m/z            | Kütle/yük oranı                                              |
| $P_{fc}$       | Donuk kurutucu çalışma basıncı                               |
| P              | Atmosfer basıncı                                             |
| $T_i$          | Meyvelerin başlangıç sıcaklığı                               |
| $T_f$          | Meyvelerin donuk kurutma sonundaki sıcaklığı                 |
| $T_p$          | Meyvelerin birinci kurutma aşaması sonundaki sıcaklığı       |
| $T_s$          | Meyvelerin ikinci kurutma aşaması başındaki sıcaklığı        |
| $t_{fv}$       | Çalışma basıncına inmek için geçen süre                      |

|                 |                                                        |
|-----------------|--------------------------------------------------------|
| $t_s+t_p$       | Toplam kuruma süresi (tek bir çalışmada)               |
| $V_t$           | Donuk kurutucu toplam hacmi                            |
| $V_{fc}$        | Donuk kurutucu kurutma haznesi hacmi                   |
| $V_{fp}$        | Kurutucunun yoğunlaştırma ünitesi ve borularının hacmi |
| $w_f$           | Örneklerin son nemi                                    |
| $w_i$           | Örneklerin başlangıç nemi                              |
| $x_f$           | Örneklerin son ağırlığı                                |
| $x_i$           | Örneklerin ilk ağırlığı                                |
| $\mu g$         | Mikro gram                                             |
| $\lambda_{max}$ | Maksimum dalga boyu                                    |
| $\rho$          | Havanın yoğunluğu                                      |
| $\rho_s$        | n-heptanın yoğunluğu                                   |
| $\Delta E$      | Renk değişimi                                          |
| $\Delta H_p$    | 0.01°C sıcaklığındaki süblimasyon enerjisi             |
| $\Delta H_i$    | -21°C için süblimasyon ısısı                           |
| $\Delta H_s$    | 1°C için desorpsiyon ısısı                             |
| $\Delta H_c$    | -42°C için yoğunlaşma enerjisi                         |
| $\Delta T$      | Sıcaklık farkı                                         |

### **Birimler**

|    |            |
|----|------------|
| cm | Santimetre |
| dk | Dakika     |
| g  | Gram       |
| kg | Kilogram   |
| L  | Litre      |
| mL | Mililitre  |
| mg | Miligram   |
| mM | Milimolar  |
| M  | Molar      |
| N  | Newton     |

### **Kısaltmalar**

|        |                                                          |
|--------|----------------------------------------------------------|
| ABD    | Amerika Birleşik Devletleri                              |
| ATM    | Atmosferik Sıcak Hava ile Kurutma                        |
| Eİ     | Esmerleşme İndeksi                                       |
| FAO    | Gıda ve Tarım Örgütü (Food and Agriculture Organization) |
| FDA    | Gıda ve İlaç Dairesi (Food and Drug Administration)      |
| KADMAK | Kapalı Döngü Modifiye Atmosfer Kurutma                   |
| M.Ö.   | Milattan önce                                            |
| OZM    | Ozmotik kurutma                                          |
| Sf     | Seyreltme faktörü                                        |
| TMA    | Toplam Monomerik Antosiyanin                             |

## ŞEKİLLER DİZİNİ

|                                                                                               |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 2.1. Sıcak hava ve ozmotik kurutmada uzaklaşan su miktarının zamana bağlı değişimi..... | 5  |
| Şekil 3.1. KADMAK sistemi proses tasarımı .....                                               | 12 |
| Şekil 3.2. KADMAK sisteminin imalatı .....                                                    | 13 |
| Şekil 3.3. KADMAK sistemi .....                                                               | 14 |
| Şekil 3.4. Adsorpsiyon deney düzeneği .....                                                   | 15 |
| Şekil 3.5. Desorpsiyon deney düzeneği .....                                                   | 15 |
| Şekil 3.6. Meyvelerin kurutulması için seçilen uygulama planı .....                           | 16 |
| Şekil 3.7. Çileklerin kurutulması işlemi.....                                                 | 17 |
| Şekil 3.8. Ozmotik kurutma işlemi için yaptırılan ceketli sistem .....                        | 18 |
| Şekil 3.9. Ürünlerin renk analizi için görüntülendiği sistem .....                            | 21 |
| Şekil 3.10. Hacim analizi düzeneği.....                                                       | 21 |
| Şekil 3.11. Trolox standart eğrisi .....                                                      | 23 |
| Şekil 3.12. Askorbik asit standart eğrisi ve pik görüntüsü.....                               | 24 |
| Şekil 4.1. Adsorbentlerin adsorpsiyon davranışları (%90 nemli hava, 70°C, 3 m/s).....         | 28 |
| Şekil 4.2. Adsorbentlerin adsorpsiyon davranışları (%90 nemli hava, 70°C, 2 m/s).....         | 28 |
| Şekil 4.3. Adsorbentlerin adsorpsiyon davranışları (%90 nemli hava, 60°C, 3 m/s).....         | 29 |
| Şekil 4.4. Adsorbentlerin adsorpsiyon davranışları (%90 nemli hava, 60°C, 2 m/s).....         | 29 |
| Şekil 4.5. Adsorbentlerin desorpsiyon davranışları (%10 nemli hava, 120°C, 3 m/s)....         | 29 |
| Şekil 4.6. Silika jelin adsorpsiyon (70°C) ve desorpsiyon (120°C) kapasitesi .....            | 30 |
| Şekil 4.7. AA Kaybı üzerine sıcaklık, hava hızı ve oksijen seviyelerinin etkisi .....         | 32 |
| Şekil 4.8. TMA Kaybı üzerine sıcaklık, hava hızı ve oksijen seviyelerinin etkisi .....        | 33 |
| Şekil 4.9. Kurutma süresi üzerine sıcaklık, hava hızı ve oksijen seviyelerinin etkisi ....    | 33 |
| Şekil 4.10. Çileklerin kurutma işlemlerine ait kuruma eğrileri.....                           | 37 |
| Şekil 4.11. Kivilerin kurutma işlemlerine ait kuruma eğrileri .....                           | 38 |
| Şekil 4.12. Muzların kurutma işlemine ait kuruma eğrileri .....                               | 39 |
| Şekil 4.13. Kurutulmuş çileklerin büzüşme özellikleri.....                                    | 43 |

|                                                                                                       |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 4.14. Kurutulmuş çileklerin rehidrasyon özellikleri .....                                       | 44 |
| Şekil 4.15. Kurutulmuş çileklerin askorbik asit kaybı .....                                           | 45 |
| Şekil 4.16. Kurutulmuş çileklerin toplam monomerik antosiyanin kaybı .....                            | 46 |
| Şekil 4.17. Kurutma yöntemleriyle kurutulan çileklerde meydana gelen antioksidan aktivite kaybı ..... | 47 |
| Şekil 4.18. Kivilerin kurutma uygulamaları sonrası görüntüleri.....                                   | 49 |
| Şekil 4.19. Kurutulmuş kivilerin rehidrasyon özellikleri.....                                         | 50 |
| Şekil 4.20. Kurutulmuş kivilerin askorbik asit kaybı.....                                             | 51 |
| Şekil 4.21. Kurutulmuş kivilerin antioksidan aktivite kaybı.....                                      | 52 |
| Şekil 4.22. Muzların kurutma uygulamaları sonrası görüntüleri .....                                   | 55 |
| Şekil 4.23. Kurutulmuş muzların rehidrasyon özellikleri .....                                         | 56 |
| Şekil 4.24. Kurutulmuş muzların askorbik asit kaybı .....                                             | 57 |
| Şekil 4.25. Kurutulmuş muzların antioksidan aktivite kaybı .....                                      | 57 |
| Şekil 4.26. Kurutulmuş çileklerin depolama sırasındaki ambalajlı görüntüsü.....                       | 58 |

## ÇİZELGELER DİZİNİ

|                                                                                                                   |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Çizelge 3.1. KADMAK optimizasyonunda uygulanan Box-Behnken deneme deseni...                                       | 19 |
| Çizelge 3.2. Askorbik asit analizi LC-MS/MS Parametreleri.....                                                    | 24 |
| Çizelge 3.3. Örneklerin HMF analizinde kullanılan parametreler.....                                               | 25 |
| Çizelge 3.4. Aroma analizi için kromatografi parametreleri .....                                                  | 25 |
| Çizelge 4.1. Kurutma optimizasyonu deneme deseni ve analiz verileri .....                                         | 31 |
| Çizelge 4.2. Cevap yüzey metodunda kullanılan modele ait eşitlik katsayıları.....                                 | 32 |
| Çizelge 4.3. Belirlenen optimum kurutma şartları.....                                                             | 34 |
| Çizelge 4.4. Donuk kurutma enerji tüketimi hesaplanmasında kullanılan sabitler ve katsayılar (Huang vd 2009)..... | 35 |
| Çizelge 4.5. Donuk kurutma işlem aşamalarında harcanan enerji miktarı .....                                       | 35 |
| Çizelge 4.6. KADMAK sisteminin enerji tüketimi hesaplaması için kullanılan sabitler ve katsayılar.....            | 36 |
| Çizelge 4.7. KADMAK işlem aşamalarında harcanan enerji miktarı.....                                               | 36 |
| Çizelge 4.8. Dilimlenmiş taze çileklerin bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri .....                              | 40 |
| Çizelge 4.9. Kurutulmuş çileklerin nem içeriği ve su aktivite değerleri.....                                      | 41 |
| Çizelge 4.10. Kurutulmuş çileklerin $L,a,b$ renk değerleri ile esmerleşme indeksi ve renk değişimi değerleri..... | 42 |
| Çizelge 4.11. Dilimlenmiş taze kivilerin bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri.....                               | 47 |
| Çizelge 4.12. Kurutulmuş kivilerin nem içeriği ve su aktivite değerleri .....                                     | 48 |
| Çizelge 4.13. Kurutulmuş kivilerin $L,a,b$ renk değerleri ile esmerleşme indeksi ve renk değişimi değerleri.....  | 49 |
| Çizelge 4.14. Dilimlenmiş taze muzların hammadde özellikleri .....                                                | 52 |
| Çizelge 4.15. Kurutulmuş muzların nem içeriği ve su aktivitesi özellikleri.....                                   | 53 |
| Çizelge 4.16. Kurutulmuş muzların $L,a,b$ renk değerleri ile esmerleşme indeksi ve renk değişimi değerleri.....   | 54 |
| Çizelge 4.17. Depolama koşullarında çileklerin nem içeriği ve su aktivitesi değişimleri.....                      | 59 |
| Çizelge 4.18. Depolama süresi ve ambalaj atmosfer bileşiminin çileklerin esmerleşme indeksi üzerine etkisi.....   | 60 |

|                                                                                                                                    |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Çizelge 4.19. Depolama süresi ve ambalaj atmosfer bileşiminin çileklerin renk değişimi üzerine etkisi.....                         | 61 |
| Çizelge 4.20. Depolama süresi ve ambalaj atmosfer bileşiminin çileklerin askorbik asit kaybı üzerine etkisi.....                   | 62 |
| Çizelge 4.21. Depolama süresi ve ambalaj atmosfer bileşiminin çileklerin toplam monomerik antosiyanin kaybı üzerine etkisi.....    | 63 |
| Çizelge 4.22. Depolama süresi ve ambalaj atmosfer bileşiminin antioksidan aktivite kaybı üzerine etkisi .....                      | 64 |
| Çizelge 4.23. Depolama süresi ve ambalaj atmosfer bileşiminin çileklerin aroma profili üzerine etkisi .....                        | 66 |
| Çizelge 4.24. Depolama koşullarında kivilerin nem içeriği ve su aktivitesi değişimleri .....                                       | 67 |
| Çizelge 4.25. Depolama süresi ve ambalaj atmosfer bileşiminin kurutulmuş kivilerin esmerleşme indeksi üzerine etkisi .....         | 68 |
| Çizelge 4.26. Depolama süresi ve ambalaj atmosfer bileşiminin kurutulmuş kivilerin renk değişimi üzerine etkisi .....              | 68 |
| Çizelge 4.27. Depolama süresi ve ambalaj atmosfer bileşiminin kurutulmuş kivilerin askorbik asit kaybı üzerine etkisi .....        | 70 |
| Çizelge 4.28. Depolama süresi ve ambalaj atmosfer bileşiminin kurutulmuş kivilerin antioksidan aktivite kaybı üzerine etkisi ..... | 71 |
| Çizelge 4.29. Depolama süresi ve ambalaj atmosfer bileşiminin kivilerin aroma profili üzerine etkisi .....                         | 72 |
| Çizelge 4.30. Depolama koşullarında kurutulmuş muzların nem içeriği ve su aktivitesi değişimleri .....                             | 73 |
| Çizelge 4.31. Depolama süresi ve ambalaj atmosfer bileşiminin kurutulmuş muzların esmerleşme indeksi üzerine etkisi.....           | 73 |
| Çizelge 4.32. Depolama süresi ve ambalaj atmosfer bileşiminin kurutulmuş muzların renk değişimi üzerine etkisi .....               | 74 |
| Çizelge 4.33. Depolama süresi ve ambalaj atmosfer bileşiminin kurutulmuş muzların askorbik asit kaybı üzerine etkisi .....         | 75 |
| Çizelge 4.34. Depolama süresi ve ambalaj atmosfer bileşiminin kurutulmuş muzların antioksidan aktivite kaybı üzerine etkisi .....  | 76 |
| Çizelge 4.35. Depolama süresi ve ambalaj atmosfer bileşiminin kurutulmuş muzların aroma profili üzerine etkisi .....               | 77 |

## 1. GİRİŞ

Kurutma işlemi, gıdaların korunması amacıyla uygulanan en eski yöntem olup, bu yöntemin uygulanmasında gelişen yeni teknolojilerin desteği ile gerek ürün kalitesi, gerekse işlemin enerji ekonomisi açısından araştırmalar halen devam etmektedir. Oksijen içerikli sıcak hava akımı kullanılan mevcut kurutma yöntemlerinde ürünlerin oksidasyona uğrayarak besin değerinin, renginin ve aromasının büyük ölçüde kaybolduğu bilinmektedir. Nitekim kaliteli ürün elde etmek amacıyla araştırmalar, vakum altında sıvı veya donuk fazda kurutma üzerine yoğunlaşmıştır. Bu kurutma işlemlerinde su, sıvı veya katı fazdan yüksek vakum altında uzun sürede buharlaştırılmakta ve bu işlem yüksek enerji tüketimine neden olmaktadır. Ayrıca bu tür sistemler yüksek vakum altında çalışmakta ve bu koşullarda sistemin sızdırmazlık ve mukavemet sorunları oluşmakta, bu nedenle sistem yüksek yatırım maliyeti gerektirmektedir. Sayılan bu nedenler oksijensiz koşullarda alternatif kurutma yöntemleri geliştirmeyi gerekli kılmıştır.

Bu çalışmada vakum altında kurutma işlemlerine alternatif olarak kapalı döngü modifiye atmosfer kurutma (KADMAK) yönteminin geliştirilmesi ve bu işlemin meyvelerde ön işlemlerle kombine olarak uygulanabilirliğinin araştırılması amaçlanmıştır. Bu amaçla oksidasyona hassas bileşikler içeren çileklerin belirli su içeriğine kadar konvansiyonel veya ozmotik ön kurutulması ve gıdanın kalite kaybına en çok uğradığı son kurutma aşamasında kapalı döngü azot/hava akımıyla tamamlayıcı kurutma uygulanması planlanmıştır. Özetle, oksidasyona hassas meyvelerin sabit kuruma periyodunun sıcak hava veya ozmotik kurutma yöntemi ile geçilmesi ve devam eden difüzyon kontrollü azalan kuruma periyodunun kapalı döngü modifiye atmosfer kurutma ile tamamlanması bu araştırmanın temel ilkesi ve özgün yönüdür.

Bu kurutma işleminde meyvelerin besin, renk gibi kalite özelliklerinin daha iyi korunabileceği ve vakum altında uygulanan kurutma yöntemlerine nazaran maliyetin daha düşük olacağı öngörülmüştür. Literatürde kapalı döngü modifiye atmosferde kurutma yaklaşımı ile meyvelerin kurutulmasına yönelik sınırlı sayıda araştırmaya rastlanmıştır; ancak bu araştırmalar gıdanın baştan sona bu yaklaşımla kurutulmasını ve kurutma sisteminde nem uzaklaştırılması için soğutma döngüsü uygulamasını içermektedir. Çalışmada hedeflenen sistemde bu yaklaşımdan farklı olarak; modifiye gaz karışımından nemin adsorbent sistemi ile uzaklaştırılması ve desorpsiyon işleminde (rejenerasyonda) güneş paneli ile ısıtılan sıcak havanın kullanılması düşünülmüştür. Bu yaklaşımla birlikte uygulanacak ön kurutma işleminin enerji ekonomisini arttıracakları öngörülmüştür.

## 2. KURAMSAL BİLGİLER VE KAYNAK TARAMALARI

Günümüze kadar yürütülen yoğun araştırmalarla meyve ve sebzelerin kurutulmasında enerji girdilerinin düşürülmesi ve kurutma hızının artırılmasını amaçlayan bireysel veya kombine çalışan pek çok sistem geliştirilmiştir. Konu ile ilgili çalışmalar incelendiğinde fırın, tünel, püskürtmeli kurutucuların mikrodalga (MW) ve radyo frekansı (RF) ile desteklendiği; mikrodalga ile kızılötesi yöntemlerinin bir arada kullanıldığı araştırmaların sayısında artış gözlenmektedir (Kayisoglu ve Ertekin 2011). Bu yöntemlerin hemen tamamının prensibi, ürünün veya kurutma havasının ısıtılmasıyla üründen suyun uzaklaştırılmasıdır. Ancak kurutma hızının artırılmasının hedeflendiği bu yöntemlerde hala ürünlerde renk, yapı, besinsel ve fonksiyonel özellikler açısından önemli düzeyde kayıplar olduğu bilinmektedir. Bu kayıplar daha çok suyun, ürün içerisinden yüzeye difüzyonla taşındığı azalan kuruma periyodunda gerçekleşmektedir. Bu aşamada yeterince su uzaklaştırılamadığından ürün sıcaklığı kurutma havası sıcaklığına yakın seyretmekte ve bu yüksek sıcaklıklarda ürün yapısı ve kalitesinde kayıplar meydana gelmektedir (Jangam vd 2010). Kurutma işleminin asıl amacının daha hızlı kurutmak değil, daha kaliteli bir ürün elde etmek olduğu mutlaka dikkate alınmalıdır (Esper ve Mühlbauer 1998).

### 2.1. Kurutma Olgusu ve Teknolojisi

Kurutma bilinen en eski gıda muhafaza yöntemlerinden biri olup, 18. yüzyıldan itibaren endüstriyel olarak uygulanmaya başlayan bir yöntemdir. Kurutma, tarımsal ürünlerin güvenli bir şekilde uzun süre muhafazası için nem içeriğinin azaltılması olarak tanımlanabilir. Bu yöntem sayesinde, meyve ve sebzeler uzun süre bozulmadan muhafaza edilebilmekte ve üretildikleri sezon dışında da tüketilebilmektedir. Kurutulmuş meyve ve sebzeler doğrudan tüketilebildiği gibi endüstriyel olarak üretilen pek çok gıda ürününün hammaddesi olarak da yüksek miktarlarda kullanılmaktadır.

Kurutma, gıdalardaki suyun uzaklaştırılarak, bozulmaya neden olan mikroorganizmaların gelişimini ve biyokimyasal reaksiyonları teşvik eden enzim faaliyetlerinin sınırlandırılması işlemidir. Bu işlem, genel olarak suyun buharlaşma gizli ısısının gıdaya yüklenmesini ve buharlaşan suyun gıdadan uzaklaştırılmasını içerir. Bu suyun uzaklaşması için gerekli buharlaşma gizli ısı, konveksiyon, kontakt ve radyasyon olarak üç farklı yolla gıdaya yüklenebilmektedir. Günümüzde bu temel prensiplerle çalışan farklı tip kurutma düzenekleri geliştirilmiş olup bu düzenekler endüstride meyve ve sebzelerin kurutulmasında yaygın olarak kullanılmaktadır (Geankoplis 1993, Menges ve Ertekin 2006, Cemeroğlu 2009).

Kurutma işleminin hızı ve etkinliği; gıdanın kapiler yapısı, nem difüzyon durumu, ısı iletim özelliği, yoğunluğu, özgül ısı ile kurutma ortamının kütle ve ısı iletim özelliklerine bağlıdır. Kurutma işleminde uzaklaştırılması gereken su miktarı gıdadan gıdaya farklılık göstermektedir. Ancak sabit kuruma koşullarında çoğu meyve ve sebzelerden suyun uzaklaşması olayı üç aşamada değerlendirilmektedir. Bunlar; gıdanın sabit kuruma koşullarına kadar ısınması (ısınma periyodu), sabit hızda gıdadaki yüzey suyunun uzaklaşması ve son olarak difüzyon ile gıda iç bölgelerindeki suyun difüzyonla yüzeye taşınarak uzaklaştırılmasıdır. Genel olarak, gıdadan birim zamanda uzaklaştırılan su miktarının sabit kaldığı aşama “sabit kuruma periyodu”; uzaklaştırılan su miktarının

giderek azaldığı aşama ise “azalan kuruma periyodu” olarak bilinir. Kuruma hızındaki değişimin meydana geldiği andaki gıdanın nem düzeyi ise “kritik nem” olarak adlandırılmaktadır (Geankoplis 1993).

## **2.2. Kurutma Yöntemleri**

Zaman içerisinde ön işlem ve kurutma koşulları ile ilgili sorunlar 19. yüzyıla kadar yüksek kalitede kurutulmuş gıda üretimini geciktirmiştir. Bu zamanlarda gıdaların kurutulması için rüzgâr ve güneş ışığı gibi doğal enerji kaynakları kullanılmıştır. Ancak bu yöntemler işlem süresinin uzun olması, yeterince hijyenin sağlanamaması, homojen ve arzu edilen kalitede ürün elde edilememesi gibi dezavantajlara sahiptir. Bu nedenle devam eden yıllarda, gıdaların kurutulmasında sıcak hava ile kurutma, ozmotik kurutma, vakum kurutma, donuk kurutma vb. yöntemler geliştirilmiştir (Hayashi 1989).

### **2.2.1. Sıcak hava ile kurutma**

Kurutma işlemi önceleri geleneksel olarak açık alana serilen ürünlerin doğal konveksiyonla kurutulması ile gerçekleştirilirken, zaman içerisinde teknolojik gelişmeler ile birlikte bu yöntemin yerini; daha hızlı, hijyenik ve homojen kurutma sağlayabilen sıcak hava ile kurutma uygulaması almıştır (Tunde ve Afolabib 2005). Geleneksel sererek kurutma, işçiliğin yoğun, yatırımın az, üretim maliyetinin düşük ve ürün kalitesinin zayıf olduğu bir uygulamadır. Sıcak hava ile kurutma ise, ürünleri dış etkilere koruyan, daha hızlı ve hijyenik bir kurutma yöntemidir. Buna karşın, gıda sanayinde yaygın olarak kullanılan bu yöntemin hala üründe büzüşme, esmerleşme, renk, besin ve aroma kaybı gibi dezavantajları olduğu da bilinmektedir (Voda vd 2012).

Tüketiciler açısından kurutulmuş meyve ve sebzelerin ekonomik olmasının yanında, kaliteli, lezzetli ve besleyici olması da önem taşımaktadır. Bu ürünlerin vitaminler, antioksidan maddeler, lezzet ve aroma maddeleri ile renk bileşenleri açısından zengin olması arzu edilmektedir. Endüstride kurutma işlemi, hammaddeye ve üretim kapasitesine göre yaygın olarak; kabin, tünel, bantlı, akışkan yatak ve sandık tipi kurutucularda gerçekleştirilmektedir. Son yıllarda kurutma hızını arttırmak ve enerji verimliliğini yükseltmek amacıyla bu sistemler mikrodalga ve kızılötesi (infrared) ışınlarla desteklenmeye başlanmıştır (Ratti 2001). Konu ile ilgili çalışmalar incelendiğinde fırın, tünel, püskürtmeli kurutucuların mikrodalga (MW) ve radyo frekansı (RF) ile desteklendiği; mikrodalga ile kızılötesi yöntemlerinin bir arada kullanıldığı araştırmaların sayısında da artış gözlenmektedir (Chandrasekaran vd 2013, Kayisoglu ve Ertekin 2011). Ancak kurutma işleminin asıl amacının daha hızlı kurutmaktan çok, daha kaliteli bir ürün elde etmek olduğu dikkate alınmalıdır (Esper ve Mühlbauer 1998). Bu nedenle, kurutma araştırmalarında; besin, renk, aroma gibi tüketici beklentisini oluşturan kalite özelliklerinin yüksek düzeyde korunduğu kurutma yöntemleri üzerine araştırmalar devam etmektedir.

### **2.2.2. Donuk kurutma**

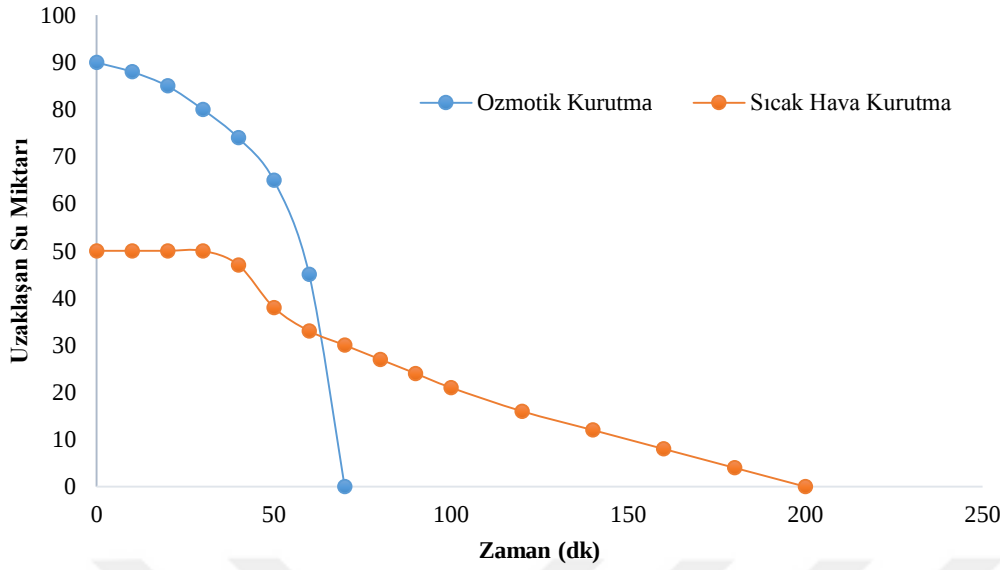
Son ürün kalitesini konu alan çalışmalar daha çok vakum altında uygulanan kurutma yöntemlerine odaklanmıştır. Liyofilizasyon olarak da bilinen donuk kurutma yöntemi bunlardan biridir. Sıcak hava ile kurutulmaya uygun birçok üründe başarılı

olarak uygulanabilmektedir. Bu yöntemde, sıcak hava ile kurutma yöntemine nazaran, katı madde hareketi minimum seviyede olup yüzey sertleşmesi gerçekleşmez. Üründe büzüşme ve yapısal değişimler minimum seviyededir. Ürün rengi, kokusu ve aroması muhafaza edilir, bununla birlikte rehidrasyon yeteneği yüksek ürünler elde edilir. Ancak, kurutma maliyeti sıcak hava kurutmaya oranla yaklaşık beş kat fazla olduğundan ekonomik değeri yüksek ürünlere uygulanır. Donuk kurutma genel olarak iki aşamada gerçekleştirilir. 1. aşamada ürün dondurulur, 2. aşamada ise ürünün indirgenmiş basınç altında süblimasyon ile içindeki donmuş su uzaklaştırılarak ürün kurutulur (Mercado vd 2001). Donuk kurutma işlemi ile çileklerin kurutulmasını konu alan çalışmalarda, işlem süresinin en yüksek ürün kalitesi için 24-60 saat aralığında değiştiği belirtilmiştir. Bu çalışmalarda -20°C ile -80°C aralığındaki sıcaklıklarda denemeler yapılmış ve sıcak hava ile kurutmaya göre ürün kalitesinin daha yüksek olduğu rapor edilmiştir (Hammami ve Rene 1996, Maritza vd 2012). Bu yöntemin uygulamadaki olumsuz yönlerinden birisi olan uzun işlem süresini iyileştirmek için, kızılötesi ve mikrodalga ile kombine edilerek uygulandığına ve bu sayede kurutma hızının arttırıldığına yönelik bulgular da mevcuttur (Mongpraneet vd 2002).

### 2.2.3. Ozmotik kurutma

Meyve ve sebzelerin kurutulmasında uygulanan diğer bir yöntem ise ozmotik kurutmadır. Bu yöntemde ozmoaktif maddelerin konsantre çözeltileri içerisinde tutulan ürünlerdeki suyun, ozmotik basıncı dengelemek üzere bu çözeltiye difüzyonu sağlanır. Ozmotik kurutma işleminin etkinliği kullanılan ozmoaktif maddenin cinsine, konsantrasyonuna, ortam sıcaklığına, çözeltinin statik ya da dinamik oluşuna bağlı olarak değişmektedir (Noshad vd 2012). Yapılan çalışmalarda meyvelerin ozmotik ön kurutulmasında hipertonic çözelti olarak sakaroz, gliserol, tuz (birlikte veya ayrı ayrı) çözeltilerinin sırasıyla, %50-75, %35-50 ve %5-20 arasında değişen konsantrasyonlarda kullanıldığı görülmektedir (Osorio vd 2007, Alves vd 2005, Talens vd 2003).

Genel olarak bu işlemin kurutma öncesi ön işlem veya ön-kurutma olarak kullanımının daha ekonomik ve yaygın olduğu belirtilmektedir (Noshad vd 2012). Souza vd (2007) domates kurutması üzerine yaptıkları bir çalışmada, ürünleri ayrı ayrı ozmotik ve sıcak hava ile kurutmuşlar; bunun sonucunda da Şekil 2.1'deki kuruma eğrilerini elde etmişlerdir. Bu grafiğe göre, ozmotik kurutma ile ön kurutma yapıldıktan sonra, hedef nem düzeyine sıcak hava ile kurutma uygulamasıyla ulaşılması, ürün kalitesi ve kurutmanın etkinliği açısından daha iyi bulunmuştur. Araştırmacılar ayrıca sıcak hava ile kurutmaya hangi nem düzeyinden sonra geçileceğini de çalışmışlar ve ozmotik çözeltinin ürün kuru maddesi ile dengeye ulaştığı noktadan sonra ozmotik çözeltiden ürüne şeker geçişi olduğu için; bu denge noktasından önce ürünlerin sıcak hava ile kurutmaya alınması gerektiğini raporlamışlardır. Ancak, Fernandes vd (2006) muzun belli bir nem düzeyine kadar sıcak hava ile kurutmuşlar; kalan nem miktarını ise ozmotik kurutma ile uzaklaştırmaya çalışmışlardır. Araştırmacılar 50°C sıcaklık ve 70°Brix şeker çözeltisi olarak optimize ettikleri ozmotik kurutma işlemi ile 97 dakikalık sürede son üründe ancak 64.6°Brix çözünür kuru madde miktarına ulaşabildiğini bildirmişlerdir.



Şekil 2.1. Sıcak hava ve ozmotik kurutmada uzaklaşan su miktarının zamana bağlı değişimi

Ozmotik kurutmanın optimizasyonu üzerine yapılan başka bir araştırmada, ozmotik kurutmadaki en önemli işlem parametrelerinin sıcaklık ve ozmotik çözelti konsantrasyonu olduğu; buna karşın çözeltinin işlem süresince karıştırılmasının ve çözelti:ürün oranının istatistiksel olarak önemli sayılabilecek değişikliğe yol açmadığı bildirilmiştir (Ozen vd 2002).

### 2.3. Kurutulmuş Ürünlerin Kalite Özellikleri

Kurutma yöntemine ve kurutma işleminin parametrelerine bağlı olarak kurutulan ürünlerde büzüşme, su alma kapasitesinde düşme, yüzey sertleşmesi (kabuk bağlama), kırılabilirlik, yüzeyde çatlak ve yarıklar oluşumu, çözünür madde taşınımı, kristalizasyon gibi fiziksel değişimlerle yağ oksidasyonu, esmerleşme gibi kimyasal değişimler sonucu besin, renk, lezzet ve aroma kayıpları olduğu rapor edilmektedir (Lewicki ve Jakubczyk, 2004, Koç vd 2008).

Kurutma sırasında, suyun uzaklaşmasına bağlı olarak gıdaların hacmi azalmaktadır. Bu değişimin etkisiyle, üründe büzüşme veya içe çökme görülebilir. Bazen aşırı büzüşme sonucu çatlaklar ve yarıklar oluşabilmektedir. Bu olumsuzluklar, kurutma sırasında ısı ve kütle transfer hızının kontrol edilmesiyle azaltılabilmektedir (Ratti 1994, Achanta ve Okos 1995). Örneğin kivi'nin mikrodalga destekli ısıtılmış hava ile kurutulması üzerine yapılan bir çalışmada kuruma süresinin %89'e kadar azaldığı, üründe daha az büzüşme olduğu ve yeniden su alma kapasitesinin arttığı belirlenmiştir (Maskan 2001).

Kurutma işleminden sonra ürünün yeniden su alma kapasitesi, ürünün kullanımı sırasında taze ürünü ikame etme derecesini gösteren bir parametredir (Akyıldız 1999). Kurutma koşullarına bağlı olarak büzüşme ve parçalanma sonucu ürünün kapiler yapısının bozulması yeniden su almayı olumsuz etkilemektedir. Kurutma sırasında uygulanan sıcaklığa ve hücre öz suyunun konsantrasyonuna bağlı olarak proteinlerde

yapısal değişimler meydana gelir. Bu değişimler, proteinlerin suyu tekrar absorbe etme ve bağlama yeteneğini büyük ölçüde etkilediğinden ürünün yeniden su alma kapasitesi azalmaktadır (Lewicki ve Jakubczyk 2004).

Üründe kabuk bağlama olgusu kurutmanın başlangıcında yüksek sıcaklık uygulanması sonucunda meydana gelmektedir. Yüzeyde oluşan kuru tabaka kuruma hızının yavaşlamasına neden olmakta, alt tabakadaki su kuruyup sertleşen tabakayı aşamadığı için ürünün iç kısmı çoğu kez nemli kalmaktadır. Bu da ürünün depolanma, paketlenme veya tüketimi sırasında sorunlara yol açmaktadır (Akyıldız 1999).

Kurutma sırasında birçok meyvede oksidasyon enzimlerinin etkisi sonucu renk esmerleşmesi gerçekleşir. Özellikle kurutmada uygulanan sıcaklığın enzim inaktivasyonuna yeterli olmadığı düşünülürse, haşlama gibi bir ön işlem ile enzimatik esmerleşme engellenebilir. Ancak renk değişiminin tek nedeni enzimatik esmerleşme olmadığından yüksek sıcaklık ve Maillard reaksiyonlarının etkisiyle de üründe renk değişimleri meydana gelir (Cemeroğlu 2009).

Mikrodalga destekli vakum kurutma yönteminin; vakum kurutma, donuk kurutma ve sıcak hava ile kurutma yöntemleriyle kıyaslandığı bir çalışmada, çilek örneklerinin ürün kalitesi ve besin özellikleri açısından donuk kurutmadan sonra en iyi sonucu verdiği rapor edilmiştir (Wojdylo vd 2009).

Kurutulmuş ürünlerin önemli kalite parametrelerinden birisi de duyuşal özellikleridir. Ürünün görünüşü, kokusu, yapısal (tekstürel) özellikleri ve aroması duyuşal özellikleri oluşturur. İyi olarak tanımlanan bir ürün, aletsel olarak ölçülebilen fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik özelliklerinin iyi olmasının yanında, tüketici tarafından tercih edilmek için duyuşal yönden de iyi olmalıdır. Duyuşal özelliklerin tamamı ürünün kimyasal, fiziksel ve mikrobiyolojik özelliklerinin dışı vurumu olarak tanımlanabilir. Ürünlerin kurutma sırasında maruz kaldıkları sıcaklık, oksijen varlığı gibi etmenler, üründe istenmeyen renk ve aroma değişimlerine sebep olurlar. Bununla birlikte ürünlerin sertliği, yumuşaklığı, elastikliği, viskozitesi kurutma şartlarına bağlı olarak farklılık gösterir (Szczesniak 2002).

Kuru bir üründe tüketicilerin öncelikli olarak önemsedikleri faktör, yapısı, şekli ve renginden önce aromasıdır. Gıdanın aroması, tat ve kokuyu oluşturan çeşitli gıda aroma bileşenlerini içerir. Bazı aroma bileşenleri değişkendir ve nem uzaklaştırma sürecinde uçarlar. Şekil ve yapıdaki değişiklikler gıda ürününün mikro yapısını da etkiler, işleme ve tüketim esnasındaki aroma salınımını kontrol eder. Bir gıda ürününün aroma özellikleri kimyasal analizlerle veya duyuşal değerlendirme ile analiz edilebilir. Kimyasal değerlendirme aroma bileşenlerinin sayısal detaylarını gösterebilir fakat insanların tat algılaması hakkında bir gösterge sunamaz. Kuru gıdanın bozulmasını, bayatlamasını ve ekşimesini önlemede %1'in altında oksijen düzeyi etkili olmaktadır (Jangam vd 2010).

Gıda besin değerleri kurutma esnasında azalır ve bu değişimin büyüklüğü gıdanın türüne ve kurutma şartlarına bağlıdır. Besin değeri kayıpları uygun ön işlemlerin uygulanması, doğru kurutma metodunun seçilmesi ve kurutma şartlarının optimize edilmesi ile minimize edilebilir. Genel olarak besin değerlerindeki kayıplar, işleme esnasındaki işlem şartlarının uygunsuzluğu ile artmaktadır (Jangam vd 2010).

## 2.4. Havadan Nem Uzaklaştırma Yöntemleri

Kurutmada kullanılan havanın ürün nemini aldıktan sonra sistemden atılması ve her defasında ortamdan taze hava emilerek ürün yüzeyine gönderilmesi işlemi enerji sarfiyatının çok yüksek olduğu bir uygulamadır. Kurutmada kullanılan havanın üründen nem alması sonrasında yeniden kullanılabilmesi için kurutulması ve sisteme geri beslenmesi, öncelikle ısı kaybını önlemekte ve kuruma süresinin azalmasını sağlamaktadır (Iguaz vd 2002). Kurutucudan çıkan havanın neminin tutulması ve hala sıcak olan bu havanın tekrar sisteme beslenmesi için birden fazla yöntem mevcuttur. Kurutmadan çıkan havanın soğutulması ve taşıdığı nemin yoğunlaştırılarak havadan uzaklaştırılması uygulanan en yaygın yöntemdir. Bu yöntemin en büyük avantajı, pratikte kolayca uygulanabilmesi ve yüksek performans katsayısı (COP) değerlerine sahip olmasıdır. Ancak kurutma havasının önce yoğunlaştırma ünitesinde soğutulması ve ardından sisteme beslenmeden önce tekrar ısıtılması gerektiğinden bu işlem yüksek miktarda enerji girdisi gerektirir (Li vd 2007).

Diğer bir yöntem ise su tutucu (absorbe edici) maddeler ile doldurulmuş uzun kolonlardan nemli ve sıcak havanın geçirilerek hava neminin bu maddeler üzerinde kalmasıdır. Bu tür sistemlerde paralel bağlı birden fazla nem tutucu kolon bulunmakta ve kolonlardan biri neme doyduğunda desorpsiyon işlemine tabi tutularak; üzerinden daha yüksek sıcaklıkta hava veya yağ geçirilmesi ile tekrar aktif edilmektedir (rejenerasyon). Bu rejenerasyon işlemi için ısıtıcı olarak yenilenebilir bir kaynak olan güneş enerjisi de kullanılabilir. Ancak halen yoğun bir şekilde araştırmalara konu olan bu yöntemde, işlemin başarısında rejenerasyon yeteneği ve hızı, geniş sıcaklık aralığında fazla miktarda nem tutabilme yeteneği çok önemli bir rol oynamaktadır. Hava neminin uzaklaştırılması amacıyla kullanılan pek çok nem tutucu madde olmasına karşın silika-jel ve zeolit türevleri sağladıkları avantajlar nedeniyle bugün bilinen en iyi nem tutucu maddelerdendir (Kabeel 2009). Yapılan çalışmalarda silika-jel ve zeolit için su adsorplama özelliklerinin 25 – 45°C aralığında en yüksek düzeyde olduğu; bu maddelerin rejenerasyonun ise 80-170°C aralığında yapılabileceği vurgulanmaktadır (Golubovic vd 2006, Tso ve Chao 2012, Jia vd 2006, Chang vd 2004).

## 2.5. İnert (Asal) Gazlar Altında Kurutma Yaklaşımları

Ülkemizde meyve ve sebzelerin inert gazlar altında veya modifiye bir gaz karışımında kurutulması ile ilgili bir çalışmaya rastlanmamıştır. Ancak, literatürde benzer prensiple kurutma denemeleri yapılan sınırlı sayıda araştırma mevcuttur. Bu araştırmalarda biber, elma, patates ve zencefil ürünlerinin farklı konsantrasyonlardaki karbondioksit ve azot gazı altında kurutma çalışmalarının denendiği rapor edilmiştir (Dounporn vd 2012). Çalışma sonuçlarına göre, söz konusu yöntemin, bu ürünlerde renk ve aroma kayıpları açısından sıcak hava ile kurutmaya kıyasla belirgin avantajlar sağladığı; ürün kalitelerinin donuk ve vakum kurutmaya benzer bulunduğu belirtilmiştir (Ramesh vd 1999). Ayrıca, modifiye gaz altında kurutma işleminin, tüm kurutma sürecinde tek başına kullanılması ve bu sistemdeki nem uzaklaştırma işleminin soğutma döngüsü ile gerçekleştirilmiş olmasına rağmen, vakum kurutma ve donuk kurutmadan daha ekonomik olduğu vurgulanmıştır (Hawlader vd 2006a, Hawlader vd 2006b).

## 2.6. Çilek Kurutma Konusunda Yapılan Çalışmalar

El-Beltagy vd (2007) *Fragaria Xananassa* çeşidi çilekleri güneş enerjisi ile kurutmak için güneş panelinde ısıtıldıktan sonra ürünün serili olduğu tepsilerden geçen havanın kurutmayı sağladığı bir solar kurutucu ile çalışmışlardır. Bu kurutucunun etkinliğini ve ürünlerin kuruma kinetiklerini araştırmışlar; bu amaçla çilekleri tüm, yarım, çeyrek ve ince dilim olarak kurutmayı ve kurutma öncesinde çeşitli çözeltiler ile muamele etmeyi denemişlerdir. Farklı boyutlardaki bu çilekler için Newton modeli, kuruma kinetiğine en uyumlu model olarak rapor edilmiştir. İnce dilimlenmiş çileklerin, tüm çileklere göre %16 daha hızlı kuruduğu belirlenmiştir. Ayrıca %2 sodyum metabisülfite çözeltisi ile kurutma öncesi yıkanan çileklerin en yüksek rehidrasyon yeteneğine sahip olduğu rapor edilmiştir.

Doymaz (2008) tarafından *Fragaria* türü çileklerle yapılan bir çalışmada, sıcak hava ile farklı sıcaklıklarda (50, 55, 65°C) gerçekleştirilen kurutmalar sonucunda çileklerin kuruma karakteristikleri ve rehidrasyon yetenekleri karşılaştırılmıştır. 50 ve 55°C’de gerçekleştirilen kurutmalarda logaritmik kuruma modeli, 65°C için ise Wang ve Singh modelinin en iyi model olduğu rapor edilmiştir. Kuruma sırasında su taşınım hızının  $4,95 \times 10^{-10}$  ile  $1,42 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$  aralığında değiştiği bildirilmiştir.

Agudelo-Laverde vd (2013) tarafından donuk kurutulan ve nem içerikleri farklı düzeylerde (%11-75 yaş baz) dengelenen çileklerin, depolama süresince renk ve kimyasal bileşimlerdeki değişimler takip edilmiş ve bu değişimlerin ürün rengi ile ilişkisi incelenmiştir. Araştırma sonucunda antosiyanin parçalanması yüksek olan çileklerin kırmızı rengini kaybettiği, bu durumun depolama süresince nisbi nem düzeyi %43 üzerindeyken en hızlı olduğu rapor edilmiştir.

De-Bruijn ve Borquez (2014) sıcak hava ile, mikrodalga destekli vakum altında, sıcak hava ön kurutma mikrodalga destekli vakum tamamlayıcı kurutma ve ozmotik ön kurutma mikrodalga destekli vakum tamamlayıcı kurutma uygulamalarının kuruma performanslarını ve çileklerin (*Fragaria ananassa*, cv. San Andreas) fizikokimyasal özelliklerine etkilerini karşılaştırdığı çalışmada, mikrodalga destekli kurutma uygulamalarının en yüksek performansı sağladığını bildirmiştir. Sıcak hava ile ön kurutma sonrası mikrodalga destekli vakum kurutma yöntemiyle kurutulmuş çileklerin rehidrasyon kapasitesi %22 ile en yüksek bulunmuş, en yüksek büzüşmenin ise %72 ile sıcak hava ile kurutmada gözlemlendiği bildirilmiştir.

Gamboa-Santos vd (2014) çilekleri (*Fragaria x ananassa Duch*) ultra ses destekli sıcak hava ile kurutmuşlar ve çileklerin kuruma karakteristiklerini incelemişlerdir. Bu amaçla tepsili bir kurutucu içerisine ultra ses dalgaları yayılımı gerçekleştiren silindirik bir titreşim motoru yerleştirmişler ve 21,8 kHz frekansında ultra ses altında farklı güç ve sıcaklıkların kuruma karakteristiklerine etkilerini araştırmışlardır. Akustik güç olarak 0, 30, 60 W ve kurutma sıcaklığı olarak 40, 50, 60 ve 70°C test etmişlerdir. Denenen tüm ultra ses seviyelerinde yüksek sıcaklıklarda kurutulan çileklerde istenmeyen fiziksel ve kimyasal değişimler rapor edilmiştir. Düşük sıcaklıklarda yapılan kurutma işleminin ise ultra ses varlığında kuruma hızını %44 oranında arttırdığı sonucuna ulaşmışlardır.

Agnieszka ve Andrzej (2010) tarafından yapılan bir çalışmada ise çileklerin ozmotik kurutma ve ozmotik + donuk kurutma uygulamaları sonucunda fiziksel özelliklerindeki değişimler incelenmiştir. Özellikle ozmotik kurutmanın ön işlem olarak donuk kurutma öncesinde uygulanmasının ürünün rehidrasyon yeteneğini arttırdığı bildirilmiştir.

## 2.7. Kivi Kurutma Konusunda Yapılan Çalışmalar

Talens vd (2003) tarafından kivilerin (var. *Hayward*) 45 ve 65° Briks sakaroz çözeltisi ile ozmotik kurutulması ve dondurulması sonrasında Gaz Kromatografisi Kütle Spektrometresi ile uçucu bileşenlerinin değişimi araştırılmıştır. Ozmotik kurutma uygulamasının ester formülasyonlarını tetiklediği, aldehit ve alkollerin ise parçalanmasına sebep olduğu tespit edilmiştir. Bir ay süresince dondurucuda bekletilen kurutulmuş örneklerde ise tüm uçucu bileşenlerin önemli ölçüde azaldığı rapor edilmiştir.

Ceylan vd (2007) kivi, avokado ve muz kurutmak amacıyla ısı pompalı bir kurutucu tasarlamışlar ve kuruttukları meyvelerin kuruma karakteristiklerini matematiksel modellerle göstermişlerdir. Kurutma denemelerini 40°C’de sabit sıcaklık altında 0,03 – 0,39 m/s aralığındaki hava hızında gerçekleştirmişlerdir. Ürünlerin başlangıç nem içeriklerini kivi, avokado ve muz için sırasıyla 4,31, 1,51 ve 4,71 g su / g kuru madde olarak ölçmüşlerdir. Kurutma işlemini bu değerler sırasıyla 0,75, 0,35 ve 0,5 g su / g kuru maddeye düşene kadar devam ettirmişlerdir. Matematiksel olarak kurutma karakteristiklerine en uygun modellerin; kivi için Newton modeli, avokado ve muz içinde Page modeli olduğunu rapor etmişlerdir.

Kaya vd (2008) tarafından yapılan bir çalışmada, kivi (*Actinidia deliciosa Planch*) meyvesinin kurutma sırasındaki ısı ve kütle transfer karakteristiği incelenmiştir. Kivilerin başlangıç nem içeriği %81 (yaş baz) olarak ölçülmüştür. Kurutma sıcaklığı olarak 25, 30, 40, 50 ve 60°C; hava hızı olarak 0,3, 0,6 ve 0,9 m/s test edilmiştir. En yüksek hava hızı ve en yüksek sıcaklıkta gerçekleştirilen kurutma denemesinde kuruma hızı en yüksek bulunmuş ve en kısa kuruma süresi elde edilmiştir.

Darıcı ve Şen (2011) kurutma havası hızının etkisi üzerine yaptıkları bir araştırmada 4 – 6 mm kalınlığında dilimlenen kivileri 60°C sıcaklıkta dört farklı hava hızında (0,5, 1, 1,5, 2 m/s) kurutmuşlar, kurutma hızının 1 m/s’ye kadar kuruma süresinin artan hız ile azaldığını; 1 m/s’nin üzerindeki kurutma hızlarının ise istatistiksel olarak fark oluşturmadığını bildirmişlerdir.

## 2.8. Muz Kurutma Konusunda Yapılan Çalışmalar

Demirel ve Turhan (2003) *Dwarf Cavendish* çeşidi muzların 2 mm kalınlığında dilimlenip; ön işlemsiz, sodyum bisülfite ve askorbik/sitrik asit çözeltisiyle yıkandıktan sonraki sıcak hava ile kuruma karakteristiklerinin belirlenmesi amacıyla yaptıkları çalışmada, muz dilimlerini kabin kurutucuda 40-70°C aralığında sabit hava hızında (3.3 m/s) kurutmuşlardır. Kurutma sıcaklığı yükseldikçe, kurutulmuş ürünlerin renginin kahverengiye doğru döndüğünü gözlemlemişler ve esmerleşme reaksiyonlarının artışı ile bu durumu ilişkilendirmişlerdir. Bu renk değişiminin ön işlemlerle de sabit olduğunu ve bu açıdan ön işlemlerin gerekliliğinin olmadığını bildirmişlerdir. Kurutma sonucunda

yapılan fiziksel analizlerine göre, dilim kalınlığının %47 düştüğü, dilim çapının %20 küçüldüğü ve toplam hacim değişiminin %66 olduğunu rapor etmişlerdir. Ayrıca, kurutma için nem difüzyonu başlangıç enerjisinin ön işlem görmemiş muz dilimlerinde 27 kJ/mol olarak; ön işlem görmüş dilimlerde ise 22 kJ/mol olarak belirtmişlerdir. Muzların 70°C’de gerçekleştirilen kurutma denemesinde tüketilemeyecek durumda olduklarını bu nedenle 60°C üzerindeki sıcaklıklarda muzların kurutulmasının uygun olmadığını da ayrıca bildirmişlerdir.

Oliveria vd (2006) muzların dondurma işlemine hassas bir meyve olduğundan muhafazasının ancak kurutma ile sağlanabileceğini bildirmiş ve ozmotik ön kurutma, sıcak hava ile tamamlayıcı kurutma uygulamasının muz kurutmada kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Beş farklı yöntemin birbiriyle karşılaştırıldığı çalışmada; sıcak hava ile kurutma (60°C, 2m/s hava hızı) kontrol denemesi ile birlikte 50°C için 50-70°Briks ve 70°C için 50-70°Briks ozmotik ön kurutma uygulamaları denenmiştir. Muzların toplam kuruma süreleri 404-730 dk arasında değişmiştir.

Nguyen ve Price (2007) tarafından *Cavendish* çeşidi muzlar üzerinde yapılan bir çalışmada muzların dilim kalınlığı ve kurutma şartlarının muz dilimlerinin sıcak hava ile kurutulmasındaki etkisi araştırılmıştır. Kabukları soyulan muzlar kurutma denemeleri için 1 ve 2 cm kalınlığında dilimlenmiş ve 1m/s sabit hava hızında çalışan kurutucuda 30, 40, 50, 60 ve 70°C olmak üzere 5 farklı kurutma havası sıcaklığında kütle değişimi %0.5 altına düşene kadar kurutulmuşlardır. Başlangıç nem içeriği %74,7 (yaş baz) olarak ölçülmüş olan örneklerin kurutma sonrası nemi %14 (yaş baz) olarak kaydedilmiştir. Araştırmacılar, muz örneklerinin başlangıç nem miktarlarının %5’in üzerinde değişkenlik göstermesinin kurutma denemelerinin tekrarlanabilirliğini düşürdüğünü rapor etmişler ve hem muzların dilim kalınlığının hem de kurutma havası sıcaklığının muzların kuruma hızına istatistiksel olarak önemli düzeyde etki ettiğini bildirmişlerdir.

Kara ve Demir (2012) tarafından yürütülen bir çalışmada muzun farklı kurutma havası sıcaklığı ve ön işlem şartlarında kuruma karakteristiği belirlenmiştir. Bu amaçla 60, 70 ve 80°C kurutma havası sıcaklıklarında, 2m/s sabit hava hızında, iki farklı dilimleme kalınlığındaki (6mm ve 9mm) muzlar tepsili kurutucuda kurutulmuştur. Araştırma sonucunda muz örneklerinin kalınlığı arttıkça ve kurutma havasının sıcaklığı azaldıkça kuruma süresinin uzadığı; ince dilimler ve yüksek sıcaklıklarda ise kuruma hızının arttığı rapor edilmiştir.

Zabalaga vd (2016) *Musa cavendishii*, var. Nanicao çeşidi muzlar üzerine yaptığı bir araştırmada muz dilimlerinin 25, 40, 50, 60°C sıcaklıklarda sorpsiyon izotermelerini belirlemiş ve modellemişlerdir. Laboratuvar tipi kurutma fırınında gerçekleştirilen kurutma denemelerinde her 15 dk sürede beş dilim örnek alınarak paketlenmiş ve 24 saat süresince desikatörde soğumaya bırakılmıştır. Bu örnekler üzerinden nem kaybı hesaplanarak sorpsiyon izotermi belirlenmiştir. İzotermilerin farklı eşitliklere uyumu test edilerek en uygun modelin GAB eşitliği olduğu bulunmuş ve her bir uygulama için izotermi üzerinden denge nem içeriği değerleri ( $X_e$ ) hesaplanmıştır.

### 3. MATERYAL VE METOT

#### 3.1. Materyal

Çalışmada, taze meyve olarak uzun süre depolanamayan ve kurutma sırasında oksidasyona hassas bir meyve olan çileğin (*Fragaria x ananassa* Duch., cv Camarosa) festival çeşidi, ülkemizde son yıllarda Karadeniz Bölgesi'nde yetiştiriciliği giderek yaygınlaşan kivi (*Actinidia deliciosa*, A. Chev) ve Alanya-Gazipaşa yöresinde yetiştirilen *Musa Cavendish* çeşidi muz kullanılmıştır. Meyveler, tüketim olgunluğuna ulaşmış olarak hasadı takiben satın alınmış ve Akdeniz Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümü laboratuvarına getirilerek çalışma kapsamında belirtilen işlemlere tabi tutulmuştur. Bu amaçla farklı zamanlarda 5 kez yaklaşık 30'ar kg çilek ve tek seferde 40'ar kg kivi ve muz temin edilmiştir. Hem KADMAK optimizasyonunda kullanılan çilekler, hem de farklı kurutma uygulamalarında kullanılan meyveler KADMAK ve farklı kurutma denemelerinde kullanılıncaya kadar (1-2 gün) buzdolabında +4°C'de muhafaza edilmiştir.

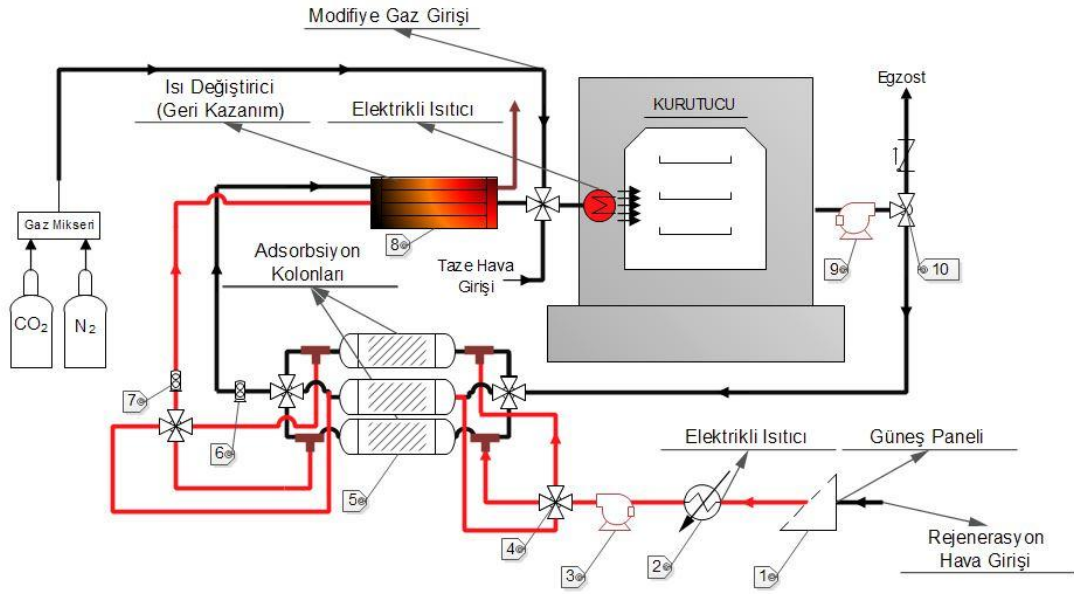
Analizlerde kullanılan etanol (%99,8), metanol (%99,8), metafosforik asit, 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH), n-heptan (%98), hidroklorik asit (%37), troloks, 2,2'-Azobis(2-amidinopropane) dihydrochloride, aseton (%99,5), sodyum fosfat, sodyum asetat (%99), potasyum klorür (%99), hidrojenperoksit (%50), 2,6-diklorofenolindofenol Sigma-Aldrich (Almanya) firmasından temin edilmiştir.

#### 3.2. Yöntem

##### 3.2.1. KADMAK sisteminin tasarımı

Bu sistem mevcut koşullarda sıcak hava ile çalışan laboratuvar tipi (yaklaşık 10 kg meyve kapasiteli) tepsili bir kurutucunun modifikasyonu sonucu oluşturulmuştur. Önceden kapalı döngü çalışacak şekilde dizayn edilen ve gerektiğinde kuruma koşullarında oluşan nemli havayı egzoz ile dışarıya atan bu sistem; taze hava alma girişinden istenilen oranda azot / hava karışımı beslenerek kapalı döngü modifiye gaz karışımı ile çalıştırılmıştır (Şekil 3.1). İstenilen modifiye gaz karışımı, iki farklı gaz istenilen oranda karıştırılabilen bir gaz mikseri yardımıyla oluşturulmuş ve mevcut sisteme taze hava girişinden beslenmiştir. Kurutulacak materyal tepsilere yerleştirildikten sonra sisteme hava giriş yerinden modifiye gaz karışımı verilmiş ve sistem içerisindeki hava bu modifiye gazla yer değiştirene kadar egzozdan atılmıştır. Bu işlem sistem içerisine monte edilen bir oksijen sensörü (Delta Otomasyon Elektronik, İstanbul) ile kontrol edilmiştir. Ön görülen kurutma koşulları oluştuktan ve modifiye gaz karışımı dengelendikten sonra kurutma işlemi başlamıştır. Kuruma süresince üründen modifiye gaz karışımına aktarılan nem, belli bir düzeye ulaştıktan sonra (sistemde hali hazırda mevcut olan nem sensörü ile izlenerek) egzoz çıkışından bir nem alma ünitesine gönderilmiş ve nemi alınan bu gaz karışımı tekrar kurutucuya beslenmiştir. Modifiye gaz karışımının nemini uzaklaştırmak amacıyla sıralı kolonların paralel bağlı olduğu adsorpsiyon sistemi uygulanmıştır. Adsorpsiyon işlemi için piyasada mevcut adsorbentlerden kurutma şartlarında etkinliği en yüksek olanlar tercih edilmiş, bu amaçla yapılan denemeler raporun ilgili bölümünde verilmiştir. Bu adsorbentlerin seçiminde; kurutma işleminin nemli hava çıkış sıcaklığında nem tutma kapasitesi ve hızı yüksek; desorpsiyon işleminde ise az bir sıcaklık artışı ile

nemin adsorbentten kolay uzaklaştırılabilir olma özellikleri tercih nedeni olmuştur. Adsorbent kolonuna nemi tutulması için gönderilen gaz karışımının, kolon çıkışında nem düzeyi takip edilmiş, nem düzeyinde istenilen seviyeye düşüş olmadığı durumda bu kolon desorpsiyon işlemine alınmış ve desorbe olmuş kolonun devreye girmesi sağlanmıştır. Neme doyan adsorbent kolonu ise harici sıcak hava geçirilerek rejenere edilmiştir. Rejenerasyon işlemi ortam havasının güneş panelinden geçirilerek 120°C'ye kadar ısıtılması ve bir fan yardımıyla adsorbent kolonuna beslenmesiyle gerçekleştirilmiştir. Rejenerasyon amacıyla harici havanın ısıtılma işlemi bir resistans ile desteklenmiştir. Sıralı kolonlar sayesinde bu sistem sürekli olarak çalışmakta ve her defasında en az bir kolon kapalı döngü sistemde nem tutmaya devam etmiş, diğer kolon bu sırada rejenere edilmiştir.



(1): Güneş paneli, (2): Elektrikli Isıtıcı, (3,9): Salyangoz fan, (4): Dört yollu vana, (5): Adsorbsiyon kolonları, (6,7): Nem-Sıcaklık sensörü, (8): Isı değiştirici, (10): Üç yollu vana

Şekil 3.1. KADMAK sistemi proses tasarımı

### 3.2.2. Gerekli Malzemelerin Temini ve KADMAK Tasarımının Uygulanması

Çalışma kapsamında, mevcut bilgi ve tecrübe üstüne yapılan detaylı literatür taramaları ile elde edilen bilgiler ışığında tasarlanan kurutma sistemi, bölümümüzdeki mevcut olan kurutucu modifiye edilerek üretilmiştir (Şekil 3.2).



Şekil 3.2. KADMAK sisteminin imalatı

Önceden kapalı döngü çalışacak şekilde dizayn edilen ve gerektiğinde kuruma koşullarında oluşan nemli havayı egzoz ile dışarıya atan bu sistem; taze hava alma girişinden istenilen oranda azot/hava beslenerek kapalı döngü modifiye gaz karışımı ile çalışabilir hale getirilmiştir. Kuruma süresince üründen modifiye gaz karışımına transfer olan nem, sistem üzerindeki nem kontrol sensörü (Delta Otomasyon Elektronik, İstanbul) ile belli bir düzeye ulaştığı tespit edildikten sonra, egzoz çıkışından nem alma ünitesine gönderilmekte ve nemi alınan bu gaz karışımı tekrar kurutucuya beslenmektedir. Sistemde iki eş adsorpsiyon kolonu bulunmakta; bunlardan birisi nem alırken, diğeri rejenere edilmektedir (nemi uzaklaştırılmaktadır). Rejenerasyon işlemi için dış ortamdan çekilen hava güneş panelinden geçirilerek 120°C'ye ısıtılarak adsorbent kolonuna beslenmektedir. Kolonlarda adsorbe olan nemin uzaklaştırılması için gerekli sıcaklığa sadece güneş enerjisiyle ulaşamadığı durumlar için sistem rezistans (kademeli ısınan 4kW) ile desteklenmiştir. Nem alma kolonlarındaki adsorbent, laboratuvar koşullarında yürütülen denemelere göre seçilmiş; kolonlar bu adsorbentle belirlenen hacimlerde doldurularak kurutma denemeleri gerçekleştirilebilir bir sistem haline getirilmiştir.

Buna ilaveten rejenerasyon işleminden çıkan havanın ısısının kurutma sistemine aktarılması amacıyla sisteme bir ısı değiştirici de monte edilmiştir. Sistemde modifiye gazın kompozisyonu, hızı, sıcaklığı ve nemi ile desorpsiyon süre ve sıcaklığı PLC kontrol ünitesi ile kontrol edilebilir hale getirilmiştir. Ayrıca, ürünlerin bulunduğu tepsilerin ağırlığı ve dönüş hızı da ayarlanabilir şekilde programlanmıştır. Sistem ekranında cihazın aktif çalışan üniteleri ile her bir ünitenin anlık ölçüm verileri (nem, sıcaklık, ağırlık, hava hızı, oksijen seviyesi) izlenebilir olarak konumlandırılmıştır. Tasarlanan sistemdeki sensörler kalibre edildikten sonra farklı materyallerle tekrar tekrar test edilip doğrulanarak sistem bu çalışmanın amaçlarına uygun hale getirilmiştir. Tasarımı ve imalatı tamamlanarak çalışır duruma getirilen KADMAK sistemi Şekil 3.3'te gösterilmiştir.



Şekil 3.3. KADMAK sistemi

### 3.2.3. Uygun adsorbent seçimi

Geliştirilen KADMAK sisteminde, piyasada endüstriyel kullanıma yönelik mevcut olan silika jel, zeolit, aktif karbon partiküllü filtreler adsorbent olarak test edilmiştir. En uygun adsorbent seçiminde; adsorbentin absorplama sıcaklığı olan 50-70°C’de nemli modifiye gazdan maksimum suyu adsorbe etmesi ve neme doyduğunda güneş paneli ile ısıtılan ortam havasıyla (90-100°C) tuttuğu nemi havaya vererek rejenere olması dikkate alınmıştır. Ayrıca nem tutma ve uzaklaştırma hızı yüksek olan adsorbent tercih sebebi olmuştur. Bu testler laboratuvar ölçeğinde farklı sıcaklıklarda sirküle ettirilebilen nemli havanın bulunduğu ortama konulan belirli ağırlıktaki adsorbentin zamana bağlı ağırlık değişimleri takip edilerek gerçekleştirilmiştir. Adsorpsiyon testleri 60-70°C sıcaklıklarda, desorpsiyon testleri ise 110-120°C sıcaklıklarda yürütülmüştür.

Adsorpsiyon ve desorpsiyon testlerini yürütmek için dinamik bir deney seti oluşturulmuştur. Bu deney seti adsorpsiyon için sırasıyla hava pompası (hava hızı ayarlanabilir), debimetre, su banyosu içerisine konumlandırılmış hava nemlendirme (%85) ünitesi (doygun kalsiyum klorür çözeltisi ile dolu gaz yıkama şişesi), datalogger 1 (sıcaklık ve nem kaydedici), mini adsorbent kolonu (50 g adsorbent içerikli) ve datalogger 2 kullanılarak oluşturulmuştur (Şekil 3.4). Desorpsiyon denemeleri için ise sırasıyla; ısı tabancası (120°C, 1-3 m/s ayarlı hava hızı beslemeli), datalogger 1, nem alma ünitesi (neme doymuş adsorbent içeren gaz yıkama şişesi) ve datalogger 2 kullanılarak oluşturulmuştur (Şekil 3.5). Çalışma önerisinde tam olarak öngörülemeyen her iki deney setinin elemanları ve çalışma koşulları ardışık yapılan çok sayıda ön denemeler ve düzenlemeler ile ideal hale getirilmiştir.

Piyasada endüstriyel kullanıma yönelik mevcut olan Silika Jel (Orange Gel moisture indicator), Zeolit 4A (2,5-5 mm), Zeolit 5A (2,5-5 mm), Zeolit 13X (1,6-2,6 mm) ve Aktif Karbon (CPure) adsorbent olarak test edilmiştir. Her bir adsorbentin adsorpsiyon testleri 60-70°C sıcaklıklarda (kurutma sıcaklıkları) ve 2-3 m/s hava hızlarında; desorpsiyon testleri ise yine aynı hava hızlarında 110-120°C sıcaklıklarda gerçekleştirilmiştir. Ayrıca adsorpsiyon deneylerinin gerçekleştirildiği düzenek üzerinde

adsorbentlerin adsorpsiyon ve desorpsiyon kapasiteleri de belirlenmiştir. Bu amaçla, 50g adsorbentin tutabildiği ve bıraktığı maksimum su miktarları gravimetrik olarak ölçülmüştür. Bu testler neticesinde KADMAK sisteminde kullanılacak olan adsorbent ve bu adsorbentin miktarı belirlenmiştir.



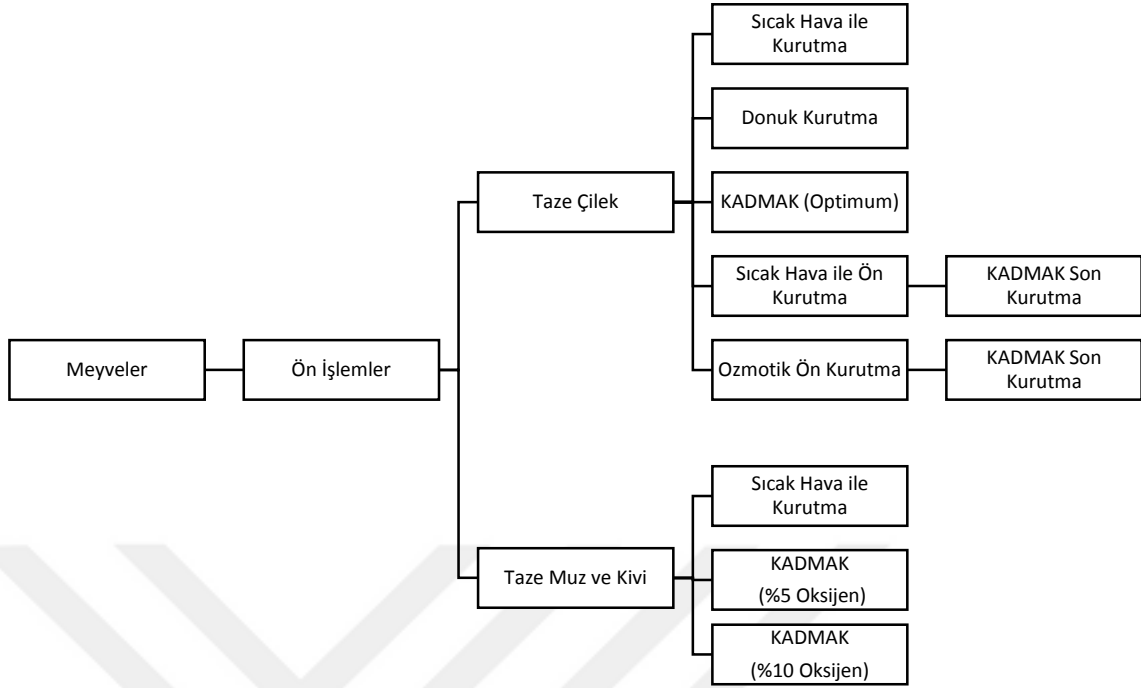
Şekil 3.4. Adsorpsiyon deney düzeneği



Şekil 3.5. Desorpsiyon deney düzeneği

#### 3.2.4. Meyvelerin kurutulması

Meyvelerin doğal olgunlaşma mevsimlerinde temin edilebilmesi amacıyla çilek için Haziran 2015, kivi için Aralık 2015 ve muz için Ocak 2016 dönemleri tercih edilmiştir. Çilek meyvesi, ilk temin edilen meyve olduğu için KADMAK optimizasyon çalışmaları ve KADMAK sisteminin beş farklı kurutma yöntemiyle karşılaştırılarak uygulanmasında öncelikli olarak kullanılmıştır. Buna göre elde edilen bulgular değerlendirilmiş ve çalışmanın devam eden süreçlerinde kurutma denemelerinin Şekil 3.6'daki gibi uygulanması kararlaştırılmıştır.



Şekil 3.6. Meyvelerin kurutulması için seçilen uygulama planı

### 3.2.5.Ön İşlemler

Hasat edildikten hemen sonra temin edilen çilek, muz ve kivi örneklerinin her birisinden az bir miktar (yaklaşık 5 kg) taze meyve özelliklerini analiz etmek üzere ayrılmış; geri kalan kısımları (4'er kg) yıkandıktan sonra çileklerin sap kısmı kesilerek; kivi ve muzların kabukları soyularak 5 mm kalınlığında dilimlenmiştir (Rizzolo vd 2007). Dilimleme işlemleri endüstriyel olarak da uygulanmakta olan lazer bıçaklı bir dilimleyici ile enine dilimlenmek suretiyle gerçekleştirilmiştir.

#### 3.2.5.1. Kurutma

Bu çalışmada, çilekler için ürünlere karşılaştırmalı olarak sıcak hava ile kurutma, donuk kurutma, KADMAK, sıcak hava ön kurutma + KADMAK, ozmotik ön kurutma + KADMAK olmak üzere toplam beş farklı; dilimlenmiş kivi ve muz meyveleri ise sıcak hava ile kurutma, %5 oksijen ortamında KADMAK ve %12 oksijen ortamında KADMAK olmak üzere 3 farklı kurutma işlemine tabi tutulmuştur. Her bir kurutma işleminde 5'er kg dilimlenmiş taze meyve kullanılmıştır. Dilimlenen bu meyveler tek tabaka halinde tepsilere serilerek kurutma işlemine alınmıştır. Çalışma kapsamındaki tüm kurutma işlemlerinde çilek, kivi ve muz dilimleri kurutulmuş meyveler için mikrobiyolojik olarak güvenli ve kimyasal değişimler açısından daha stabil olduğu nem içeriği ve su aktivitesi düzeylerine ( $a_w < 0,6$ ) kadar kurutulmuştur (Laroche vd 2005, Quek vd 2007). Bu amaçla kuru meyvelerin mikrobiyolojik ve kimyasal değişimleriyle doğrudan ilişkili olan su aktivitesi değerinin  $0,5 \pm 0,1$  düzeyinde olmasına özen gösterilmiştir. Bu su aktivitesi değerini sağlamak için özen gösterilen kurutma işlemleri sonrası çilek, kivi ve muz dilimlerinin nem içeriğinin sırasıyla  $11 \pm 3$ ,  $9 \pm 3$  ve  $14 \pm 3$  (yaş baz) düzeylerinde olduğu belirlenmiştir. Tekerrürlü olarak gerçekleştirilen kurutma

işlemlerinde, optimizasyon çalışmaları dahil, çalışma boyunca yaklaşık 300 kg taze çilek, 70 kg taze muz ve 70 kg taze kivi meyvesi kullanılmıştır. Geliştirilen KADMAK sisteminde çileklerin tepsilere dizilip kurutulması ile ilgili görsel Şekil 3.7’de verilmiştir.



Şekil 3.7. Çileklerin kurutulması işlemi

#### 3.2.5.2. Sıcak hava ile kurutma

Dilimlenmiş meyveler, çalışma kapsamında tasarlanan kurutucuda 60°C sıcaklık ve 3 m/s hava hızında son nem düzeyine kadar kurutulmuştur.

#### 3.2.5.3. Donuk kurutma

Sadece çileklerde uygulanan donuk kurutma işlemi için her seferde yaklaşık 500 g dilimlenmiş çilek, laboratuvar tipi donuk kurutucunun (Operon FDU-7003, Güney Kore) tepsilerine serilerek -80°C’de 2 saat süre ile dondurulmuş, daha sonra bu meyveler 0,08-0,12 mmHg vakum aralığında kurutulmuştur. Bu işlemde ürünündeki donmuş su ortamdan doğal konveksiyonla ürüne aktarılan enerji sayesinde süblimleşerek uzaklaşmış ve hedef nem düzeyine yaklaşık 17 saatte ulaşılmıştır. Donuk kurutulmuş meyveler polietilen torbalarla ambalajlanarak analiz edilinceye kadar -18°C’de muhafaza edilmiştir.

#### 3.2.5.4. Kapalı döngü modifiye atmosfer kurutma (KADMAK)

Dilimlenmiş taze meyveler KADMAK ile hedeflenen son nem içeriğine kadar kurutulmuştur. Bu kurutma işleminde uygulanacak modifiye gaz karışımı (oksijen oranı), işlem sıcaklığı ve modifiye gaz hızı değerleri çilek meyvesi ile yapılan denemelerle optimize edilmiştir. Kullanılan modifiye gaz (azot-hava karışımı) oksijen içeriği 5 - 21%, işlem sıcaklığı 50-70°C ve modifiye gaz hızı (1-3 m/s) parametreleri cevap-yüzey metodu ile optimize edilmiştir. Optimizasyonda hedef, minimum askorbik asit kaybı, minimum antosiyanin kaybı ile minimum esmerleşme indeksi ve kuruma süresi değerlerine ulaşılması olmuştur. Uygulanan optimizasyona ait Box-Behnken deneme deseni Çizelge 3.1.’de verilmiştir.

### 3.2.5.5. Sıcak hava ile ön kurutma + KADMAK son kurutma

Sıcak hava ile kurutma ile kritik nem düzeyine kadar kurutulan çilekler, bu işlemi takiben KADMAK ile belirlenen optimum koşullarda hedeflenen son nem içeriğine kadar kurutulmuştur. Ön kurutma sırasında zamana bağlı olarak nem içerikleri belirlenmiş olan çileklerin kuruma hızı – zaman grafiğinden kuruma eğrisi dönüm noktası tespit edilmiş ve bu nokta kritik nem içeriği olarak değerlendirilmiştir.

### 3.2.5.6. Ozmotik ön kurutma + KADMAK son kurutma

Ön kurutma işlemlerinden birisi olan ozmotik kurutma için gerekli olan ceketli, karıştırılmalı ve devir-daim (25 L/dk debide) yapabilen 20 L kapasiteli ozmotik kurutma düzeneği tasarlanarak özel olarak imal ettirilmiştir (Şekil 3.8).



Şekil 3.8. Ozmotik kurutma işlemi için yaptırılan ceketli sistem

Dilimlenmiş çilekler kritik nem içeriğine kadar ozmotik olarak kurutulmuştur. Bu amaçla çilekler sakaroz çözeltisi içerisine daldırılmış ve bu çözelti peristaltik pompa ile sirküle ettirilerek homojen konsantrasyon gradienti sağlanmıştır. Bu işlem, 1:4 meyve:çözelti oranında, 60°Bx sakaroz çözeltisi kullanılarak, 30°C sıcaklıkta gerçekleştirilmiştir (Rizzolo vd 2007). Bu ön kurutma işleminden sonra çileklerin yüzeyinde kalan şeker hızlı bir yıkama ile uzaklaştırılmış ve ürünler KADMAK ile son nem düzeyine kadar kurutulmuştur.

Çizelge 3.1. KADMAK optimizasyonunda uygulanan Box-Behnken deneme deseni

| Desen | Sıcaklık (°C) | Hava Hızı (m/s) | Oksijen (%) |
|-------|---------------|-----------------|-------------|
| 1     | 60            | 1               | 13          |
| 2     | 80            | 1               | 13          |
| 3     | 60            | 3               | 13          |
| 4     | 80            | 3               | 13          |
| 5     | 60            | 2               | 5           |
| 6     | 80            | 2               | 5           |
| 7     | 60            | 2               | 21          |
| 8     | 80            | 2               | 21          |
| 9     | 70            | 1               | 5           |
| 10    | 70            | 3               | 5           |
| 11    | 70            | 1               | 21          |
| 12    | 70            | 3               | 21          |
| 13    | 70            | 2               | 13          |
| 14    | 70            | 2               | 13          |
| 15    | 70            | 2               | 13          |

### 3.2.6. Ambalajlama ve depolama

Uygulanan kurutma yöntemleriyle elde edilen kurutulmuş meyveler, ayrı ayrı 10 eşit kısma (her biri 150 g) ayrılmış ve bu kısımların beşi modifiye atmosferde paketlenmiş (MAP ambalaj), beşi normal ambalaj içerisine paketlenmiştir. Modifiye atmosfer paketlenme (MAP) işlemi Lipovak KV-600 model MAP ünitesinde (Lipovak Makine İmalat ve Ticareti, Adapazarı, Türkiye) gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla 13,5 x 9 x 4 cm boyutlarındaki PVC/EVOH/PE lamine tabaklar içerisine yaklaşık 150 g ürün koyularak ambalajlar (%5 CO<sub>2</sub>+%1 O<sub>2</sub>+%94 N<sub>2</sub>) hava karışımı ile ambalajlanmıştır. Bu şekilde tüm kurutmalar için tekerrürler dahil toplam 154 paket kurutulmuş meyve (77 MAP, 77 Normal) oda sıcaklığında (25°C) 4 ay süre ile depolanmıştır. Paketlenmiş kuru meyveler, depolamanın farklı aşamalarında (0., 1., 2. ve 4. ay) açılarak, aşağıdaki analizlere tabi tutulmuştur.

### 3.2.7. Analizler

Örneklerin nem, su aktivitesi, renk, toplam monomerik antosiyanin ve askorbik asit analizleri taze meyveden başlayarak her bir kurutma işleminin sonunda ve elde edilen ürünlerin depolanma sürecinde; büzüşme (sadece çileklerde) ve rehidrasyon yeteneği analizleri sadece kurutma işlemleri sonrası elde edilen ürünlerde; aroma, esmerleşme indeksi ve antioksidan aktivite analizleri ise sadece kurutulmuş ürünlerin depolama seyrinde gerçekleştirilmiştir.

#### 3.2.7.1. Nem içeriği ve su aktivitesi

Kurutulmuş örneklerin nem miktarları AOAC (1984) metoduna göre gravimetrik olarak, petriye tartılan belirli ağırlıkta örneğin (1 g±0,001 g) 70±2°C etüvde (Memmert, Almanya) sabit tartıma gelinceye kadar kurutulup, desikatörde oda sıcaklığına

getirildikten sonra, hassas terazide tartılması ve kalan ağırlığın yüzde kuru madde olarak hesaplanması ile belirlenmiştir. Bu analizler üç tekerrürlü yapılmıştır.

Kuruma sırasında örneklerdeki nem miktarı değişimi infrared nem tayin cihazı (Kern DBS 60-3, Balingen, Almanya) ile takip edilmiştir. Bu amaçla yaklaşık 1 g örnek kurutucudan alınıp infrared nem tayin cihazına yerleştirildikten sonra kuru madde miktarı takip edilmiştir.

Su aktivitesi ( $a_w$ ) ise su aktivitesi ölçme cihazı (Aqualab 4TE, ABD) kullanılarak, yaklaşık 1g örneğin cihaz haznesinde yerleştirilip analize tabi tutulması ile üç tekerrürlü olarak 25°C’de belirlenmiştir.

### 3.2.7.2. Renk analizi ve esmerleşme indeksi (Browning Index)

Ürünlerin renk özellikleri ve esmerleşme indeksi Husseinpour vd (2013)’e göre belirlenmiştir. Ürünler kurutucudan alınıp homojen aydınlatmalı bir fotoğraf kabini (Mondo Photobox 60, Çin) içerisine yerleştirilmiştir. Fotoğraf kabini; ürün gölgesinin oluşumunu engelleyecek şekilde 6500 K renk sıcaklığındaki 2 adet 45 cm’lik beyaz led ışık (Hi-Power 25W, Çin) kaynakları ile aydınlatılmış olup, 60cm x 60cm x 60cm ölçülerinde ışık geçirmez bir küp şeklindedir. Ürünlerin görüntüleri dijital fotoğraf makinesi (Nikon D3100, Almanya) ile kaydedilmiş ve bu görüntüler bilgisayar yazılımında (Matlab, ABD) analiz edilmiştir (Şekil 3.9). Yazılım yardımı ile ürün görüntülerinin renk değerleri R, G, B değerlerden; Hunter  $L$ ,  $a$ ,  $b$  renk değerlerine dönüştürülmüştür. Bu dönüştürme işleminde Hunter  $L$ ,  $a$ ,  $b$  cihazının beyaz renk kalibrasyon plakasının aynı koşullarda görüntüsü alınarak, fotoğraf makinası kalibrasyon plakasının  $L$ ,  $a$ ,  $b$  değerlerini sağlayacak şekilde kalibre edilmiştir. Elde edilen değerler üzerinden esmerleşme indeksi ( $EI$ ) ve toplam renk değişimi ( $\Delta E$ ) değerleri hesaplanmıştır. Hesaplamalarda aşağıda verilen eşitliklerden (3.1 ve 3.2) yararlanılmıştır (Palou vd 1999).

$$EI = [100 (x-0,31)] / 0,172 \quad \text{ve} \quad x = (a + 1,75L)/(5,645L + a - 3,012b) \quad (3.1)$$

$$\Delta E = \sqrt{(L_0 - L_i)^2 + (a_0 - a_i)^2 + (b_0 - b_i)^2} \quad (3.2)$$

$EI$ : esmerleşme indeksi,  $\Delta E$ :Renk değişimi,  $L$ :parlaklık değeri,  $a$ :Yeşillik -Kırmızılık değeri,  $b$ :Sarılık-Mavilik değerini ifade etmektedir.



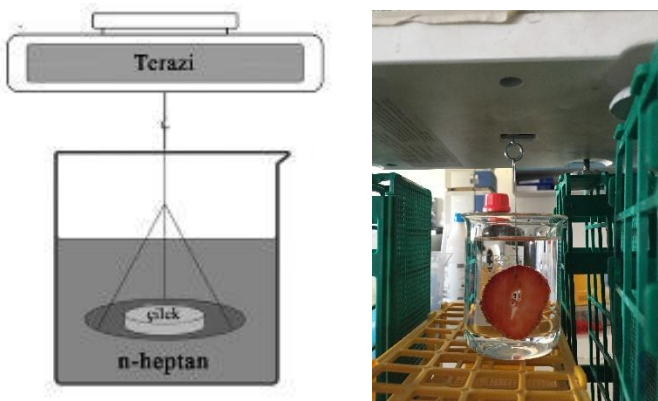
Şekil 3.9. Ürünlerin renk analizi için görüntülendiği sistem

### 3.2.7.3. Büzüşme (hacim değişimi)

Çileklerin büzüşme sonucu hacim değişiklikleri, Arşimet prensibine dayalı olarak Yan'ın vd (2008) bildirdiği şekilde analiz edilmiştir. Bu amaçla, altına kefe takılabilen analitik hassasiyetteki bir terazi ve n-heptan ile belirli hacme kadar doldurulmuş beher kullanılmıştır. Terazinin kefesini çözelti içerisinde ve dışarısında ölçülmüş; daha sonra kefeye örnek koyulmuş ve aynı şekilde çözelti içerisinde ve dışarısında ölçüm yapılmıştır (Şekil 3.10). Örneklerin hacmi aşağıdaki eşitliğe göre hesaplanmış, kurutma öncesi ve sonrası hesaplanan hacimler üzerinden hacim değişimi belirlenmiştir.

$$V = (M - M_s + M_{hs} - M_{ha}) / \rho_s \quad (3.3)$$

*M*: örneğin ağırlığı (kg), *M<sub>s</sub>*: örneğin çözeltideki ağırlığı, *M<sub>hs</sub>*: terazi kefesinin çözeltideki ağırlığı, *M<sub>ha</sub>*: terazi kefesinin dışarıdaki ağırlığı, *ρ<sub>s</sub>*: n-heptan'ın yoğunluğunu (kg/m<sup>3</sup>) ifade etmektedir.



Şekil 3.10. Hacim analizi düzeneği

### 3.2.7.4. Yeniden su alma kapasitesi

Elde edilen ürünlerin yeniden su alma kapasitesi Nimmanpipug vd (2013)'a göre belirlenmiştir. Bu amaçla kurutulmuş meyvelerden her seferde 1 dilim (yaklaşık 4 g)

örnek oda sıcaklığındaki 100 mL saf suya daldırılmış halde 30 dk süresince bekletildikten sonra tartımlar alınmış, bu işlem en az 4 farklı dilimde tekrarlanmış ve bu tartımlar üzerinden birim örneğin absorbe ettiği su miktarı ortalama değer olarak hesaplanmıştır.

### 3.2.7.5. Toplam monomerik antosiyanin

Taze ve kurutulmuş çilek örneklerinin toplam monomerik antosiyanin içeriği pH diferansiyel metodu kullanılarak Cemeroğlu'na (2007) göre belirlenmiştir. Bu analizde taze örnekler bir blender yardımı ile homojenize edilmiş, elde edilen pulptan yaklaşık 4 g alınarak üzerine 6 mL HCl çözeltisi (0.1 M) ve 34 mL etanol eklenmiştir. Kurutulmuş örneklerin homojenizasyon işlemi diğer örneklerden farklı olarak örnekler üzerine taze çileğin su içeriğini temsil edecek şekilde saf su ilave edilmiştir. Karışımlar ultrasonik banyoda 10 dakika süreyle bekletilerek ekstraksiyon gerçekleştirilmiştir. Elde edilen ekstraktlar santrifüj edildikten sonra berrak kısımları potasyum klorür (pH 1) ve sodyum asetat (pH 4.5) tampon çözeltileri kullanılarak uygun absorbans değerine (0.4-0.6) kadar seyreltilmiştir. Daha sonra 700 nm ( $A_{700}$ ) ve 510 nm ( $A_{510}$ ) dalga boylarında örneklerin absorbans değerleri kaydedilmiştir. Örneklerin toplam monomerik antosiyanin miktarları aşağıdaki eşitlikler (3.4 ve 3.5) ile hesaplanmıştır.

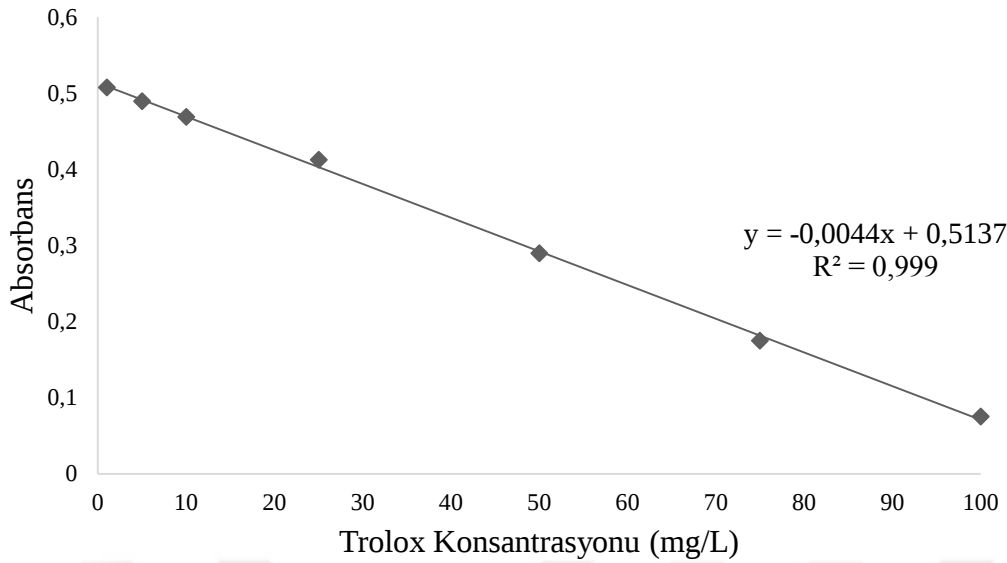
$$A = (A_{max}-A_{700})_{ph1}-(A_{max}-A_{700})_{ph4,5} \quad (3.4)$$

$$TMA \text{ (mg/L)} = (A \times MA \times Sf \times 1000) / MS \quad (3.5)$$

*A: Düzeltilerek hesaplanan absorbans farkını, TMA: Toplam antosiyanin miktarını (mg/L), MA: Standart antosiyaninin molekül ağırlığını, Sf: Seyreltme faktörünü, MS: Standart antosiyaninin molar absorpsiyon katsayısını ifade etmektedir.*

### 3.2.7.6. Antioksidan aktivite

Antioksidan aktivite tayini Gonzalez-Montelongo vd (2010) tarafından kullanılan DPPH radikalinin inhibisyonuna dayanan yöntemle göre yapılmıştır. Yöntemin uygulanmasında Molyneux'un (2004) değerlendirmeleri dikkate alınmıştır. Antioksidan bileşiklerin ekstraksiyon işlemi, 1 g kurutulmuş meyvenin parçalanarak 25 mL %80'lik sulu metanol çözeltisi içerisinde 25°C'de 120 dk boyunca gerçekleştirilmiştir (Velioglu vd 1998). 120 dk sonunda örnek çözeltileri santrifüj tüpü içerisinde 10 kat metanol ile seyreltilmiştir. Ependorf tüplerine, örneklerden 50 µL alınmış, üzerine 950 µL DPPH çözeltisi eklenmiştir. Ependorf tüpleri oda sıcaklığındaki karanlık ortamda 30 dk süresince inhibisyona bırakılmış ve ardından örneklerin spektrofotometrede okuması yapılmıştır. Bu yöntemle göre hazırlanmış çözeltilerin absorbansı metanole karşı spektrofotometrede 516 nm dalga boyunda okunmuştur. Kontrol ve standart çözeltisi olarak örneklerle aynı işlemlere tabi tutulmuş, farklı konsantrasyonlarda hazırlanan Trolox çözeltisi kullanılmıştır. Bu standart çözelti ile kalibrasyon eğrisi hazırlanmış (Şekil 3.11) ve sonuçlar g Trolox Eşdeğeri / 100 g kuru örnek miktarı olarak hesaplanmıştır.



Şekil 3.11. Trolox standart eğrisi

### 3.2.7.7. Askorbik asit

Çilek örneklerinin L-askorbik asit miktarları benzer çalışmalarda (Hodges vd 2001, Klopotek vd 2005, Lester vd 2012) kullanılan spektrofotometrik yöntemle belirlenmiştir. Bu amaçla örnekler, %6'lık metafosforik asit çözeltisi içerisinde parçalanarak ekstrakte edilmiştir. Elde edilen ekstraktlar Whatman No:1 filtre kâğıdından süzölmüş ve bu filtrat uygun oranda seyreltilerek analizde kullanılmıştır. Elde edilen 2,5 mL örnek filtrat üzerine 2,5 mL asetat tampon (pH 4,0) ve 0,5 mL 2,6-diklorofenolindofenol çözeltisi (12,5 mg/100 mL boya çözeltisi) eklenmiş, hafifçe sallanarak karıştırılmış ve bu şekilde askorbik asidin boya çözeltisini indirgemesi sağlanmıştır. Bu aşamadan sonra tüpün içerisine 5 mL ksilen eklenip ağzı kapatılmış ve kuvvetli bir şekilde çalkalanmıştır. Hazırlanan tüpler 6000 g, 25°C±1'de 2 dakika süreyle santrifüj edilmiştir. Daha sonra numune yerine %6'lık metafosforik asit çözeltisi kullanılarak aynı işlemlerin tekrarlanması ile şahit numune hazırlanmıştır. Tüpler santrifüj edildikten sonra üst fazı (ksilen fazı) alınarak ksilene karşı 500 nm'de absorbans ölçümü yapılmış ve askorbik asit miktarı aşağıda verilen eşitliğe (3.6) göre belirlenmiştir.

$$\text{Askorbik asit, mg/kg} = [ (A_s - A_n) / \alpha ] \cdot S_f \quad (3.6)$$

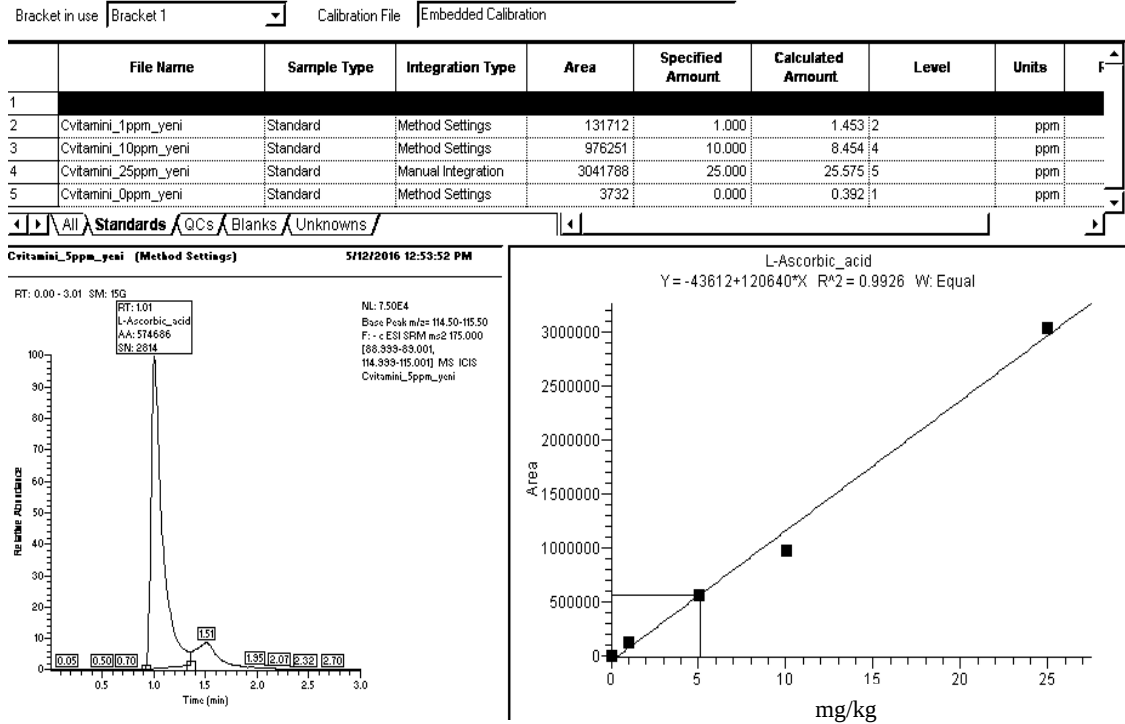
$A_s$ : Şahit numunede saptanan absorbans değeri,  $A_n$ : Örnekte saptanan absorbans değeri,  $S_f$ : Seyreltme faktörü,  $\alpha$  : Askorbik asit standart eğrisinin eğimidir.

Muz ve kivi örneklerinin askorbik asit analizi ise Szultka (2014)'ün bildirdiği yöntemle yapılmıştır. Bu amaçla Thermo marka Sıvı Kromatografisi Üçlü Kuadropol Kütle Spektrometresi (UPLC-DAD-MS/MS) ile elektronik spreysel iyonlaştırma (ESI) ünitesi kullanılmıştır. Örneklerin ekstraksiyonu için 1g numune tartılmış, üzerine 10 mL su ve 10 mL metanol eklenerek 50 mL santrifüj tüpünde 1 dk süre ile homojenize edilmiştir. Homojenizasyon sonrası 10 dk ultrasonik banyoda bekletilen ekstraktlar, 10 dk 3000g kuvvetinde santrifüj edilmiştir. Berrak kısımlarından 2 mL alınarak 0,45 µm

şırınga ucu filtreden süzülerek enjeksiyon yapılmıştır. L-askorbik asit bileşeni çoklu iyon izleme (MRM) modunda parçalanma ürünleri ile birlikte tespit edilmiştir. Askorbik asit için tanımlayıcı iyon izleme parametresi olarak negatif iyon modunda ESI / MS-MRM geçişi olarak kütle/yük (m/z) oranı 175 → 89 kütle geçişi ve miktar tespiti için aynı modda 175 → 115 kütle geçişi izlenmiştir. Cihazın çalışma koşulları Çizelge 3.2’de, askorbik asit standart eğrisi ve pik görüntüsü Şekil 3.12’de verilmiştir. FDA tarafından belirtilen yöntem ve parametrelere göre metot validasyonu yapılmıştır.

Çizelge 3.2. Askorbik asit analizi LC-MS/MS Parametreleri

|                          |                                                             |
|--------------------------|-------------------------------------------------------------|
| Kolon                    | Hypersil Gold 5 µm, 100 x 2,1 mm C 18                       |
| Kolon sıcaklığı          | 35°C                                                        |
| Hareketli faz            | A: 90:10 Su:Metanol 4 mM Formik Asit<br>B: Metanol          |
| Akış hızı                | 0,4 mL/dk                                                   |
| Akış türü                | Sabit akış, oranı %50 A ve %50 B                            |
| Dedektör                 | 1. Diode Array, 245 nm.<br>2. 3Q – Kütle/Kütle Spektrometre |
| Isı Blok Sıcaklığı       | 270°C                                                       |
| Buharlaştırıcı Sıcaklığı | 50°C                                                        |
| İyonlaşma Modu           | Negatif                                                     |
| ESI Voltajı              | 3,5 KV                                                      |
| Enjeksiyon miktarı       | 10 µL                                                       |
| Analiz süresi            | 3 dk                                                        |



Şekil 3.12. Askorbik asit standart eğrisi ve pik görüntüsü

### 3.2.7.8. Hidroksi Metil Furfural (HMF)

Örneklerin HMF analizleri için Rada-Mendoza'nın vd (2002) bildirdiği yöntem kullanılmıştır. Bu amaçla, 1g örnek 25 mL hacimli balonjojeye hassas olarak tartılmış, içerisine 2 mL Carrez 1 ve 2 mL Carrez 2 çözeltileri eklenerek ultra saf su ile hacim çizgisine tamamlanmıştır. 30 dk süresince durulmaya bırakılan örneklerin berrak kısımlarından 5 mL alınmış, 0,45 µm şırınga ucu filtreden süzülerek Ultra Yüksek Performanslı Sıvı Kromatografisi (UPLC) cihazına enjeksiyon yapılmıştır. HMF tespiti için dedektör 283 nm'ye ayarlanmış 7 farklı konsantrasyonda belirlenen kalibrasyon eğrisi üzerinden hesaplamalar yapılmıştır. Örneklerin HMF analizinde kullanılan parametreler Çizelge 3.3'te verilmiştir.

Çizelge 3.3. Örneklerin HMF analizinde kullanılan parametreler

|                    |                                                                         |
|--------------------|-------------------------------------------------------------------------|
| Kolon              | Hypersil Gold 5 µm, 100 x 2,1 mm C 18                                   |
| Kolon sıcaklığı    | 35°C                                                                    |
| Hareketli faz      | A: Metanol B: Su                                                        |
| Akış hızı          | 1 mL/dk                                                                 |
| Akış türü          | 0. dk, %5 A ve %95 B<br>6. dk, %80 A ve %20 B<br>12. dk, %80 A ve %20 B |
| Dedektör           | Diode Array, 283 nm.                                                    |
| Enjeksiyon miktarı | 25 µL                                                                   |
| Analiz süresi      | 15 dk                                                                   |

### 3.2.7.9. Aroma analizleri

Örneklerin aroma analizleri için Thermo marka Tek Kuadropollu Gaz Kromatografisi Kütle Spektrometresi (GC-MS) sistemi kullanılmıştır. Analiz Pizzoni vd (2015)'in belirttiği yöntem temel alınarak bazı modifikasyonlarla gerçekleştirilmiştir. Depolama süresince, oda sıcaklığında iki farklı gaz konsantrasyonlarında ambalajlanmış örneklerin analiz günlerinde paketleri açılmadan önce gaz tutucu GC-MS şırıngası (Hamilton, Switzerland) ile örneklerin tepe boşluğundan 5 mL gaz çekilmiş, manuel enjeksiyon ile şırıngadaki gazın 1 mL'si cihaza verilmiştir. 30 dk süresince devam eden analizde elde edilen kromatogramdaki pikler, cihaz kütüphanesinde taratılmış ve tanımlanmıştır. Sonuçlar Elmacı ve Altuğ (2002) tarafından verildiği gibi % pik alanı cinsinden verilmiştir. Cihaz parametreleri Çizelge 3.4'te detaylı olarak verilmiştir.

Çizelge 3.4. Aroma analizi için kromatografi parametreleri

|                         |                                                                                         |
|-------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| Kolon                   | Thermo Sci. Trace TR-5MS 0,25 µm, 0,25mm x 30m                                          |
| Kolon sıcaklık programı | 40°C – 3 dk bekleme<br>150°C (10°C/dk) – 1 dk bekleme<br>250°C (10°C/dk) – 1 dk bekleme |
| Kütle tarama modu       | Tam Tarama 33,00 – 350,00 m/z                                                           |
| Akış hızı (He)          | 1 mL/dk                                                                                 |
| İyonlaşma gücü          | 70 eV çarpıştırma                                                                       |
| Enjeksiyon miktarı      | 1000 µL (Head Space)                                                                    |
| Analiz süresi           | 35 dk                                                                                   |

### 3.2.7.10. Enerji verimliliği

1. Geliştirilmiş olan KADMAK sisteminin çileklerin kurutulması sırasındaki enerji tüketimi Motevali vd (2011) tarafından kullanılan eşitlik (Eşitlik 3.7) yardımıyla hesaplanmıştır.

$$E = A \times v \times \rho \times c_p \times \Delta T \times t \quad (3.7)$$

*E: toplam enerji (kJ), A: kurutma haznesi kesit alanı (m<sup>2</sup>), v: hava hızı (m/s), ρ: havanın yoğunluğu (kg/m<sup>3</sup>), t: kurutma zamanı (sn), ΔT: sıcaklık farkı (°C), c<sub>p</sub>: havanın özgül ısı (kJ/kg×°C) ifade etmektedir.*

Bu eşitlikle hesaplanan enerji değerleri hammadde miktarına oranlanarak birim hammadde başına harcanan enerji kJ/kg olarak hesaplanmıştır.

KADMAK uygulamasının toplam enerji tüketimi eşitlik (3.7) kullanılarak üç aşamada ayrı ayrı hesaplanmıştır. KADMAK sisteminde modifiye gaz karışımına verilen enerji, desorpsiyon için gerekli enerji ve sistemdeki fanlara verilen enerji toplamaları sistemin toplam enerji tüketimi olarak belirlenmiştir.

2. Donuk kurutma sistemi için enerji tüketimi kurutucunun farklı bölümleri için tek tek beş ayrı denklem yardımı ile hesaplanarak birim ürün için toplam enerji tüketimi belirlenmiştir (Huang vd 2009). Bu hesaplamalar aşağıdaki eşitliklere göre yapılmıştır.

Çileklerin özgül ısıları ve kuruma sırasındaki değişimi için;

$$C_p = 0,837 + 1,256 w \quad w: \text{örneğin su miktarı} \quad (3.8)$$

Buzun süblimasyonu için gerekli enerji ( $E_{fp}$ ):

$$E_{fp} = \int_{\Delta H_i}^{\Delta H_p} (m_i - m_{ps}) d\Delta H \quad (3.9)$$

Bağlı suyun desorpsiyonu için gerekli enerji ( $E_{fs}$ ):

$$E_{fs} = \int_{\Delta H_s}^{\Delta H_p} (m_{ps} - m_f) d\Delta H \quad (3.10)$$

Süblimasyonda açığa çıkan buharın yoğunlaşması için gerekli enerji ( $E_{fc}$ ):

$$E_{fc} = \Delta H_c * m_{hi} * 1, \quad i = 1, 2, \dots, 14 \quad (3.11)$$

Sıcaklığını yükseltmek için gerekli enerji ( $E_{fm}$ ):

$$E_{fm} = \int_{m_i}^{m_{ps}} \int_{c_{pi}}^{c_{pp}} (T_p - T_i) dc_p dm + \int_{m_{ps}}^{m_f} \int_{c_{ps}}^{c_{pf}} (T_f - T_s) dc_p dm \quad (3.12)$$

Vakum için gerekli enerji ( $W_{ft}$ ):

$$V_t = V_{fc} + V_{fp}, \quad W_f = FL = (P - P_{fc}) \cdot SL = (P - P_{fc}) \cdot V_t, \quad W_{ft} = W_f \cdot (t_p + t_s) / t_{fv} \quad (3.13)$$

Donuk kurutmanın toplam enerjisi:

$$E_t = E_{fp} + E_{fs} + E_{fc} + E_{fm} + W_{ft} \quad (3.14)$$

*ΔH<sub>p</sub>: 0.01°C için süblimasyon ısı (kJ/kg), ΔH<sub>i</sub>: -21°C için süblimasyon ısı (kJ/kg), m<sub>i</sub>: taze çilek dilimlerinin kütlesi (kg), m<sub>ps</sub>: çilek dilimlerinin birinci kurutma aşamasından (dondurma) ikinci*

kurutma aşamasına (süblimasyon) geçiş anındaki kütlesi (kg),  $\Delta H_s$ :  $1^\circ\text{C}$  için bağlı suyun desorpsiyon ısısı (kJ/kg),  $m_f$ : çilek dilimlerinin donuk kurutma sonrasında kütlesi(kg),  $\Delta H_c$ :  $-42^\circ\text{C}$  için yoğunlaşma ısısı (kJ/kg),  $m_{hi}$ : donuk kurutma ile her 1 saat sürede kaybedilen kütle (kg),  $c_{pp}$ : çilek dilimlerinin birinci kurutma aşaması sonundaki özgül ısısı (kJ/(kg.K)),  $c_{pi}$ : dondurulmuş çilek dilimlerinin özgül ısısı (kJ/(kg.K)),  $T_p$ : çilek dilimlerinin birinci kurutma aşaması sonundaki sıcaklığı (K),  $T_i$ : Çilek dilimlerinin başlangıç sıcaklığı (K),  $c_{pf}$ : çilek dilimlerinin donuk kurutma sonrası özgül ısısı (kJ/(kg.K)),  $c_{ps}$ : çilek dilimlerinin ikinci kurutma aşaması başındaki özgül ısısı (kJ/(kg.K)),  $T_f$ : Çilek dilimlerinin dondurularak kurutma sonundaki sıcaklığı (K),  $T_s$ : çilek dilimlerinin ikinci kurutma aşaması başındaki sıcaklığı (K),  $V_t$ : donuk kurutucunun hacmi ( $\text{m}^3$ ),  $V_{fc}$ : donuk kurutucuda kurutma haznesi hacmi ( $\text{m}^3$ ),  $V_{fp}$ : donuk kurutucuda yoğunlaştırıcı ve boruların hacmi ( $\text{m}^3$ ),  $W_f$ : vakum pompasının 0 atm basınçtan dondurularak kurutma son basıncına kadar enerji tüketimi (kJ),  $P$ : atmosfer basıncı (Pa),  $P_{fc}$ : donuk kurutma çalışma basıncı,  $W_{ft}$ : vakum pompasının donuk kurutma süresince toplam enerji tüketimi (kJ),  $t_{fv}$ : vakum pompasının 0 atm basınçtan çalışma basınca inmesi için geçen süre (sa).

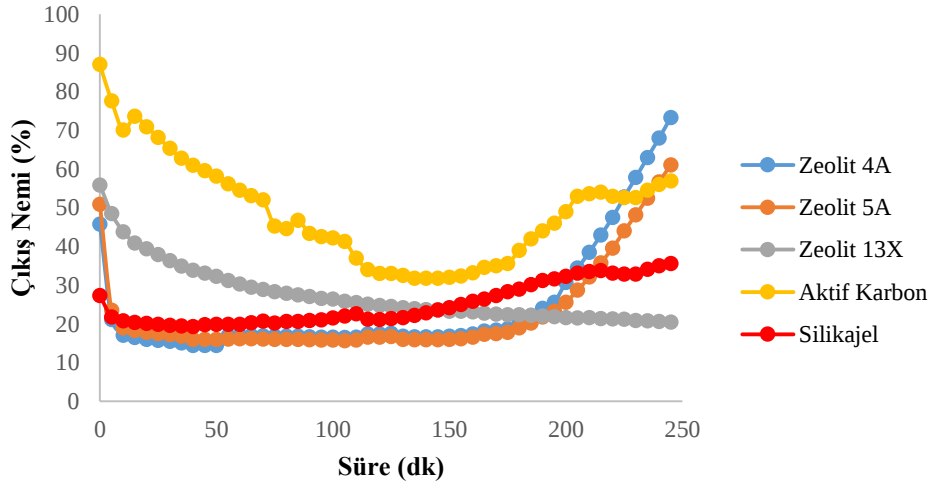
### 3.2.7.11. İstatiksel analiz

KADMAK için optimum koşullar Design Expert 7.0 (Stat-Ease Co., Mineapolis, ABD) paket programı ile cevap yüzey metodu kullanılarak Box-Behnken deneme desenine göre belirlenmiştir. Kurutma denemeleri iki tekerrürlü, analizler paralelli olarak gerçekleştirilmiştir. Farklı kurutma yöntemlerinden optimum işlem koşullarında elde edilen ürünlerde gerçekleştirilen analizlerin sonuçları SAS 9.0 (Statistical Analysis System, University Edition, ABD) paket programı kullanılarak varyans analizine tabi tutulmuş ve önemli bulunan farklılıklar Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi ile ortaya koyulmuştur.

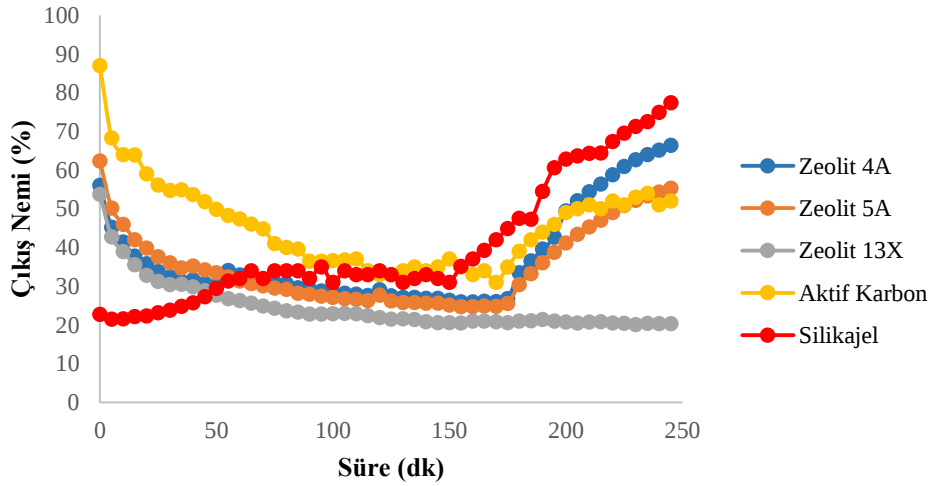
#### 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

##### 4.1. Uygun Adsorbent Belirleme Çalışmalarına Ait Bulgular

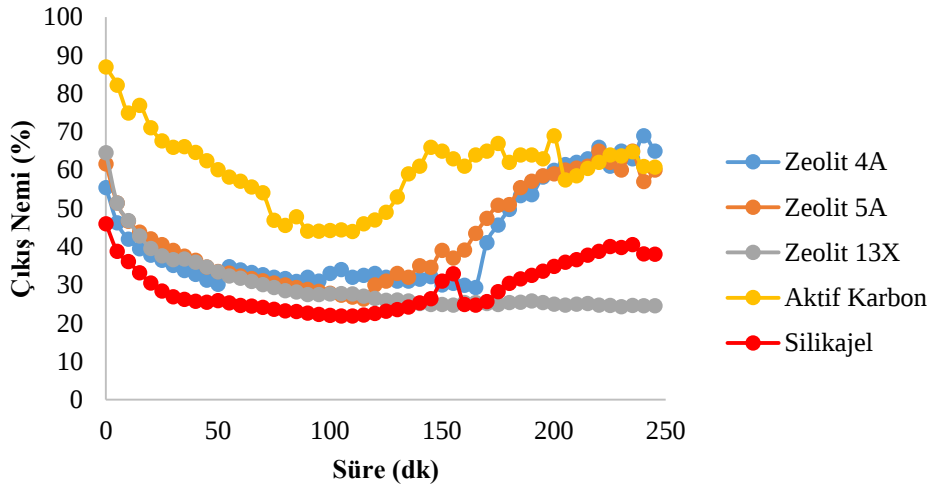
Adsorbent olarak denenen, Silika Jel (Orange Gel moisture indicator), Zeolit 4A (2,5-5 mm), Zeolit 5A (2,5-5 mm), Zeolit 13X (1,6-2,6 mm) ve Aktif Karbon (CPure) üzerinde yürütülen deneyler sonucunda her bir sıcaklık ve hava hızında adsorbentlerin adsorpsiyon davranışları sırasıyla Şekil 4.1-4.4’de, desorpsiyon davranışları ise Şekil 4.10’da gösterilmiştir.



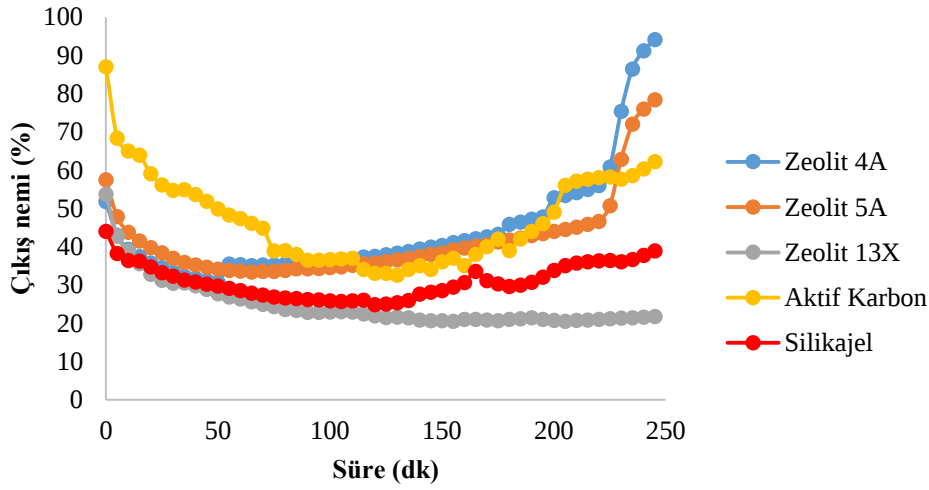
Şekil 4.1. Adsorbentlerin adsorpsiyon davranışları (%90 nemli hava, 70°C, 3 m/s)



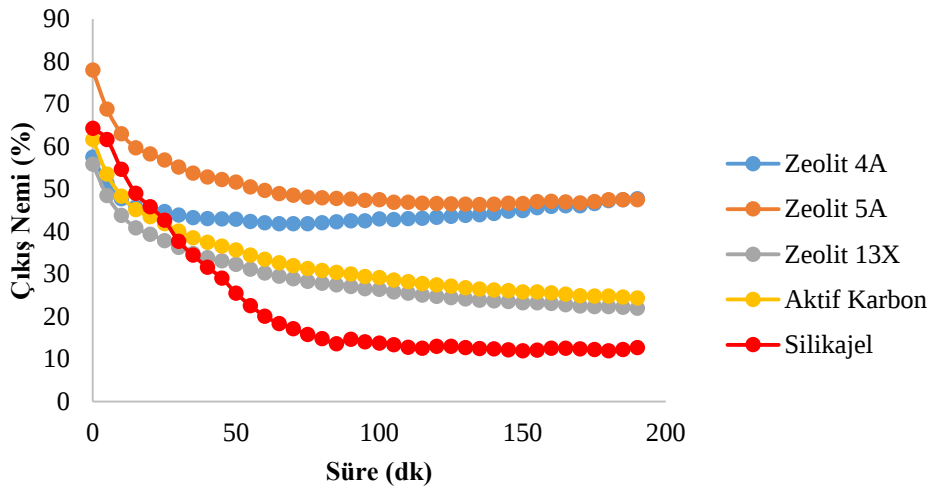
Şekil 4.2. Adsorbentlerin adsorpsiyon davranışları (%90 nemli hava, 70°C, 2 m/s)



Şekil 4.3. Adsorbentlerin adsorpsiyon davranışları (%90 nemli hava, 60°C, 3 m/s)



Şekil 4.4. Adsorbentlerin adsorpsiyon davranışları (%90 nemli hava, 60°C, 2 m/s)

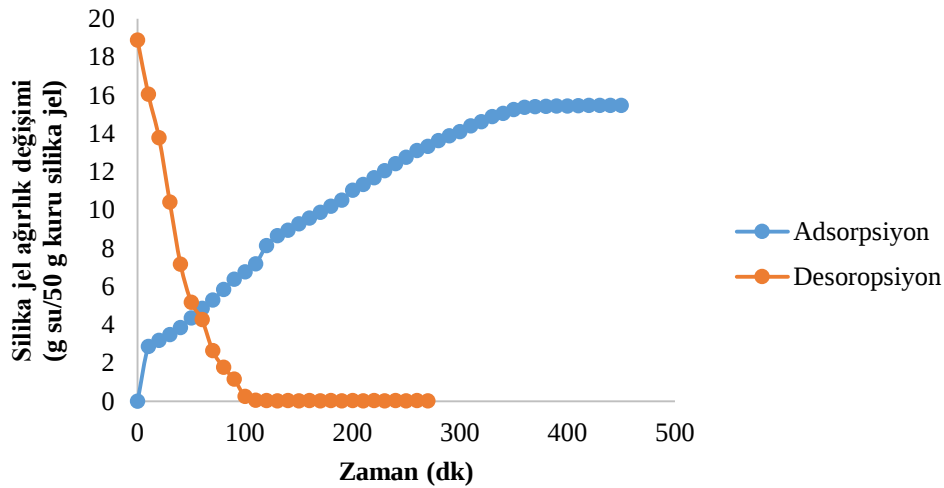


Şekil 4.5. Adsorbentlerin desorpsiyon davranışları (%10 nemli hava, 120°C, 3 m/s)

Yürütülen adsorpsiyon ve desorpsiyon kapasitelerine ait deney sonucu Şekil 4.6'da görülmektedir. Adsorbentlerin desorpsiyon davranışları incelendiğinde desorpsiyon etkinliği ve hızı açısından en başarılı materyallerin silika jel olduğu tespit edilmiştir. Bu adsorbent dışında Zeolit 13X ve aktif kömüründe kısmen desorbe olduğu görülmüştür. Sonuçlar birlikte değerlendirildiğinde en az enerji ile en etkin desorpsiyon işleminin silika jelle sağlanabildiği saptanmıştır.

Elde edilen adsorpsiyon ve özellikle de desorpsiyon deney sonuçlarına göre en uygun adsorbentin silika jel olduğu değerlendirilmiş ve bu adsorbentin adsorpsiyon kapasitesi de test edilerek, geliştirilen kurutma sisteminin adsorpsiyon/desorpsiyon kolonlarında kullanılması gereken silika jel miktarı hesaplanmıştır. Buna ilaveten silika jelin desorpsiyon süresi (100 dk) adsorpsiyon süresinden (360 dk) çok daha kısa olduğu için adsorpsiyon kolonundaki silika jel neme doyana kadar, diğer kolondaki silika jel çoktan rejenere olacağı tespit edilmiştir.

Bu veriler birlikte değerlendirilerek KADMAK sisteminde nem uzaklaştırıcı olarak silika jelin kullanılmasına karar verilmiştir.



Şekil 4.6. Silika jelin adsorpsiyon (70°C) ve desorpsiyon (120°C) kapasitesi

#### 4.2. KADMAK Optimizasyon Çalışmaları

Geliştirilen sistemde optimizasyon çalışmalarının tamamı çilek meyvesi ile gerçekleştirilmiştir. Ürün kalitesi ve kurutma performansını etkileyeceği öngörülen sıcaklık, hava hızı ve oksijen seviyesi bağımlı değişkenler olarak yapılan ön çalışmalara göre belirlenen sınır değerler göz önüne alınarak seçilmiştir. Bu değişkenleri optimize etmek için tekerrürleri ile beraber yapılan çok sayıda kurutma denemelerinin her bir gününde hammadde özelliklerinin hızlı bozulmasından kaynaklanan farkı bertaraf etmek için her gün aynı üreticiden aynı çeşit çilek temin edilmiştir. Buna rağmen, askorbik asit ve toplam monomerik antosiyanin miktarlarında varyasyonlara rastlanmıştır (askorbik asit: 488-727 mg/100 g KM, toplam monomerik antosiyanin: 540-725 mg/100 g KM). Bu nedenle cevap parametrelerinden askorbik asit ve toplam monomerik antosiyanin miktarı yerine bu bileşenlerin yüzde değişimleri üzerinden optimizasyon yapılmıştır.

Box-Behnken deneme desenine göre sıcaklık, hava hızı ve oksijen miktarı değişkenleri minimum askorbik asit kaybı, antosiyanin kaybı ile esmerleşme indeksi ve kuruma süresi değerleri (Çizelge 4.1) kullanılarak cevap yüzey metoduna göre optimum sıcaklık, hava hızı ve oksijen miktarı hesaplanmıştır. Deneme deseninin minimum ve maksimum noktaları hem laboratuvar hem de endüstriyel boyutta uygulanabilir sınırlar içerisinde belirlenmiştir.

Çizelge 4.1. Kurutma optimizasyonu deneme deseni ve analiz verileri

| Desen | Sıcaklık<br>(°C) | Hava Hızı<br>(m/s) | Oksijen<br>(%) | AA Kaybı<br>(%) | TMA Kaybı<br>(%) | Eİ    | Kuruma<br>süresi (dk) |
|-------|------------------|--------------------|----------------|-----------------|------------------|-------|-----------------------|
| 1     | 80               | 3                  | 13             | 39,24           | 38,31            | 39,41 | 75                    |
| 2     | 70               | 3                  | 21             | 38,59           | 33,71            | 40,95 | 95                    |
| 3     | 70               | 2                  | 13             | 27,23           | 29,44            | 42,05 | 120                   |
| 4     | 60               | 2                  | 21             | 22,15           | 22,92            | 41,92 | 125                   |
| 5     | 60               | 1                  | 13             | 5,28            | 4,02             | 38,59 | 215                   |
| 6     | 80               | 1                  | 13             | 29,83           | 18,6             | 42,92 | 110                   |
| 7     | 70               | 3                  | 5              | 9,52            | 21,11            | 43,01 | 80                    |
| 8     | 60               | 3                  | 13             | 12,54           | 13,17            | 44,09 | 120                   |
| 9     | 70               | 2                  | 13             | 34,85           | 6,66             | 41,44 | 125                   |
| 10    | 60               | 2                  | 5              | 11,51           | 40,14            | 44,39 | 150                   |
| 11    | 80               | 2                  | 21             | 14,62           | 34,88            | 39,64 | 100                   |
| 12    | 70               | 2                  | 13             | 22,62           | 30,36            | 42,22 | 120                   |
| 13    | 80               | 2                  | 5              | 39,16           | 21,48            | 64,70 | 80                    |
| 14    | 70               | 1                  | 21             | 15,57           | 30,94            | 42,67 | 135                   |
| 15    | 70               | 1                  | 5              | 30,91           | 17,78            | 38,98 | 140                   |

Design Expert 7 paket programı ile gerçekleştirilen optimizasyonda modele ait eşitlik katsayıları Çizelge 4.2’de verilmiştir.

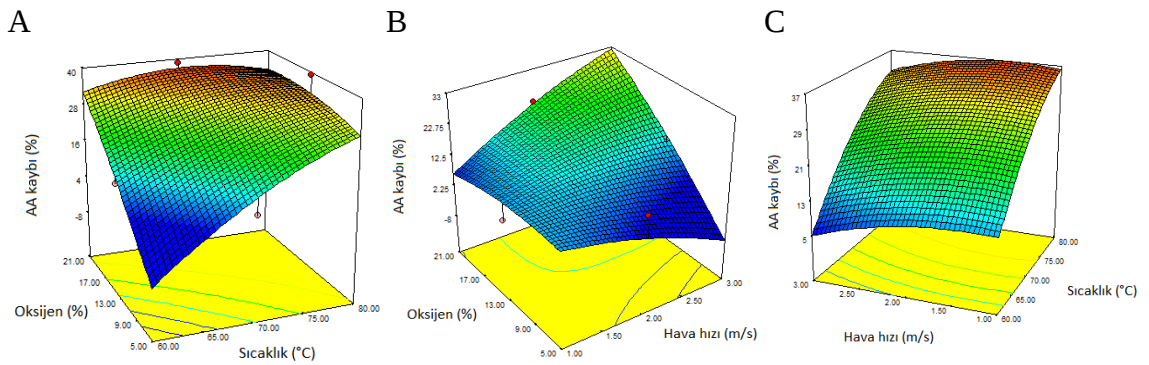
Çizelge 4.2. Cevap yüzey metodunda kullanılan modele ait eşitlik katsayıları

|                 |       | AA kaybı   |          | TMA kaybı  |          | Kuruma süresi |          | Esmerleşme İndeksi |          |
|-----------------|-------|------------|----------|------------|----------|---------------|----------|--------------------|----------|
| Semboller       |       | Katsayılar | P değeri | Katsayılar | P değeri | Katsayılar    | P değeri | Katsayılar         | P değeri |
| B <sub>0</sub>  | Sabit | 28,23      | 0,1414   | 22,15      | 0,7515   | 121,67        | 0,0031   | 41,90              | 0,3505   |
| B <sub>1</sub>  | T     | 8,92       | 0,0254   | 4,13       | 0,3995   | -30,63        | 0,0004   | 2,21               | 0,3041   |
| B <sub>2</sub>  | H     | 2,29       | 0,4562   | 4,37       | 0,3745   | -28,75        | 0,0005   | 0,54               | 0,7918   |
| B <sub>3</sub>  | O     | -0,021     | 0,9943   | 2,74       | 0,5675   | 0,63          | 0,8711   | -3,24              | 0,1544   |
| B <sub>11</sub> | T*T   | 0,54       | 0,3655   | 0,17       | 0,9803   | 4,79          | 0,4143   | -2,25              | 0,4471   |
| B <sub>22</sub> | H*H   | -8,79      | 0,5957   | -3,80      | 0,5898   | 3,54          | 0,5398   | -5,65              | 0,0934   |
| B <sub>33</sub> | O*O   | 11,10      | 0,6167   | 7,53       | 0,3055   | -12,71        | 0,0648   | -1,44              | 0,6207   |
| B <sub>12</sub> | T*H   | -4,15      | 0,8985   | 2,64       | 0,6944   | 15,0          | 0,0338   | 2,81               | 0,3687   |
| B <sub>13</sub> | T*O   | -2,36      | 0,0796   | 7,66       | 0,2813   | 11,25         | 0,0817   | -3,45              | 0,2784   |
| B <sub>23</sub> | H*O   | -2,22      | 0,0393   | -0,14      | 0,9832   | 5,0           | 0,3782   | 2,95               | 0,3461   |

$P < 0,05$  olan değerler istatistiksel açıdan önemlidir

T: kurutma sıcaklığı (°C), H: hava hızı (m/s), O: oksijen oranı (%)

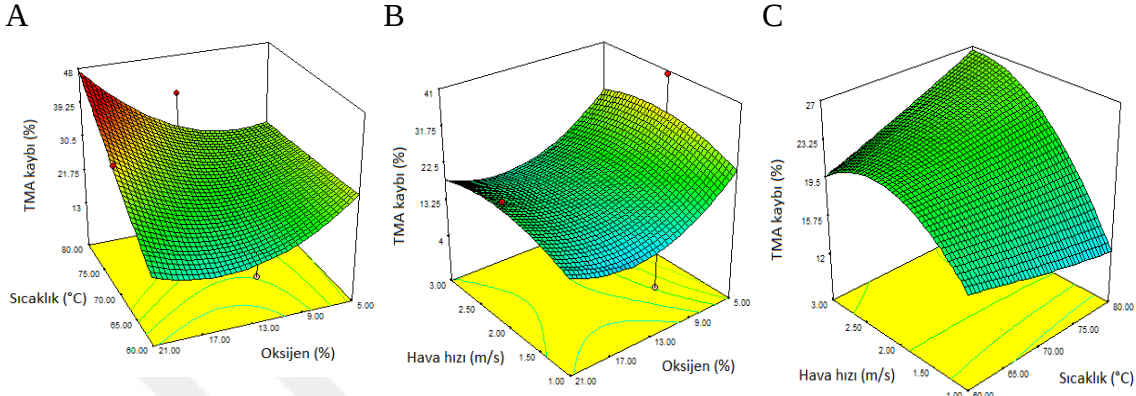
Sonuçlar, çalışma hipotezlerine uygun olarak askorbik asit kaybı üzerinde en etkili faktörlerin sıcaklık ve oksijen oranı olduğunu göstermiştir. Nitekim sabit hava hızında oksijen oranı ve sıcaklığın düşmesiyle askorbik asit kaybı önemli düzeyde azalmıştır (Şekil 4.7-A). Dikkati çeken diğer bir bulgu olarak ise sabit sıcaklıkta hava hızının artışına bağlı olarak oksijen seviyesinin askorbik asit kaybı üzerinde çok etkili olduğu, oksijen oranının azalmasıyla askorbik asit kaybının da belirli bir şekilde azaldığı belirlenmiştir (Şekil 4.7-B). Oksijen oranının sabit tutulduğu durumda ise hava hızının değişiminden bağımsız olarak sıcaklık değişimi ile askorbik asit kaybının da değiştiği tespit edilmiştir (Şekil 4.7-C).



Şekil 4.7. AA Kaybı üzerine sıcaklık, hava hızı ve oksijen seviyelerinin etkisi

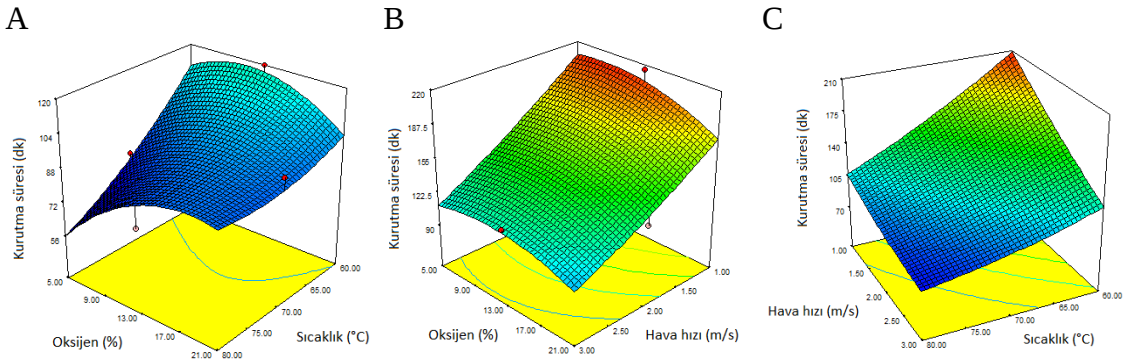
Toplam monomerik antosiyanin kaybı incelendiğinde sabit hava hızında sıcaklık azaldıkça toplam monomerik antosiyanin kaybının azaldığı, düşük sıcaklıklarda polinomial yüksek sıcaklıklarda ise oksijen oranına bağlı olarak logaritmik olarak değiştiği görülmektedir (Şekil 4.8-A). Sabit oksijen oranında yürütülen denemelerde

toplam monomerik antosiyanin kaybında en etkili bireysel değişkenin hava hızı olduğu, ancak bu değişkenlerin istatistiksel açıdan önemli olmadığı ( $P>0.05$ ) tespit edilmiştir (Şekil 4.8-C). Sabit sıcaklıkta hava hızı ve oksijen oranına bağlı olan antosiyanin değişimleri de sınırlı düzeyde kalmış ve istatistiksel olarak önemli olmadığı ( $P>0.05$ ) bulunmuştur (Şekil 4.8-B).



Şekil 4.8. TMA Kaybı üzerine sıcaklık, hava hızı ve oksijen seviyelerinin etkisi

Çileklerin kuruma süresi üzerine test edilen parametrelerin etkisi değerlendirildiğinde, oksijen dışındaki tüm değişkenlerin istatistiksel olarak önemli düzeyde ( $P<0,05$ ) etkili olduğu tespit edilmiştir. Oksijen oranındaki değişim, kuruma süresini değiştirmemiştir. Beklendiği gibi yüksek hava hızı ve yüksek sıcaklıklarda kuruma süresi en düşük olarak bulunmuştur (Şekil 4.9-A,B,C). Denemelerde kuruma süresi en yüksek sıcaklık ve hava hızında 75 dk, en düşük sıcaklık ve en düşük hava hızında ise 215 dk olarak bulunmuştur.



Şekil 4.9. Kurutma süresi üzerine sıcaklık, hava hızı ve oksijen seviyelerinin etkisi

Kurutulan çileklerde önemli kalite parametrelerinden birisi esmerleşme indeksi olup bu parametre enzimatik ve enzimatik olmayan reaksiyonlarla tetiklenmektedir. Kurutma sırasında belirgin değişimlerden biri olan ve meyvede meydana gelen bu değişimler yürütülen denemelerden elde edilen çileklerde optimizasyon cevaplarından birisi olarak değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre sabit sıcaklıkta oksijen oranı ve hava hızının azalmasıyla örneklerin esmerleşme indeksi değerleri de düşmüştür. Benzer şekilde sabit oksijen oranında düşük hava hızı ve düşük sıcaklık değerlerinde daha düşük esmerleşme indeksi belirlenmiştir. Ancak bu değişimler istatistiksel açıdan önemli bulunmamıştır.

Deneysel verilerin yüzey fonksiyonuna (kuadratik model) uyumluluğu istatistiksel olarak test edilmiştir. Uygulanan tam kuadratik model istatistiksel olarak deneysel verilere uyumlu ( $P_{lack\ of\ fit} > 0.05$ ) bulunmuştur. Elde edilen sonuçlara göre test edilen değişkenlerden istatistiksel olarak en etkili faktörün sıcaklık olduğu, diğer faktörlerin etkisinin ise önemsiz bulunduğu görülmüştür.

Design Expert yazılımı ile analiz edilen verilere göre, cevapların minimum olmasında istatistiksel açıdan önemli bulunan faktörler birlikte değerlendirilerek istenebilirlik fonksiyonunun en yüksek olduğu optimum kurutma parametreleri belirlenmiştir. Buna göre optimum kurutma koşulları Çizelge 4.3'te verilmiştir.

Çizelge 4.3. Belirlenen optimum kurutma şartları

|                | Sıcaklık<br>(°C) | Hava Hızı<br>(m/s) | Oksijen<br>(%) | AA<br>Kaybı<br>(%) | TMA<br>Kaybı<br>(%) | Süre<br>(dk) | Eİ          | İstenebilirlik<br>(%) |
|----------------|------------------|--------------------|----------------|--------------------|---------------------|--------------|-------------|-----------------------|
| Minimum        | 60               | 1                  | 5              | 5,28               | 4,02                | 75           | 38,6        | -                     |
| <b>Optimum</b> | <b>60</b>        | <b>3</b>           | <b>9,47</b>    | <b>5,28</b>        | <b>19,74</b>        | <b>116</b>   | <b>43,3</b> | <b>75,4</b>           |
| Maksimum       | 80               | 3                  | 21             | 39,24              | 40,14               | 215          | 64,7        | -                     |

KADMAK için belirlenen bu optimum parametreler aynı zamanda sıcak hava ile kurutma işlemlerinde de kullanılmıştır.

#### 4.3. Kurutma Yöntemlerinin Enerji Girdilerinin Belirlenmesi

##### 4.3.1. Donuk kurutma işleminin enerji tüketimi

Donuk kurutma uygulamasının toplam enerji tüketim değeri tez önerisinde belirtilen yöntem ve eşitliklere göre, tek seferde 500 g örnek (maksimum kapasite) kurutularak 1 kg ürün için Çizelge 4.4'te verilen katsayılar hesaplanarak/kullanılarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.4. Donuk kurutma enerji tüketimi hesaplanmasında kullanılan sabitler ve katsayılar (Huang vd 2009)

| Eşitlik sabiti | Değeri                 | Açıklama                                                     |
|----------------|------------------------|--------------------------------------------------------------|
| $\Delta H_p$   | 2883,9 kJ/kg           | 0,01°C sıcaklığındaki süblimasyon enerjisi                   |
| $\Delta H_i$   | 2837,8 kJ/kg           | -21°C için süblimasyon ısısı                                 |
| $m_i$          | 1,03 kg                | Dilimlenmiş meyvelerin kütlesi                               |
| $m_{ps}$       | 0,85 kg                | Meyvelerin birinci kurutma aşamasının sonundaki ağırlığı     |
| $\Delta H_s$   | 2497,6 kJ/kg           | 1°C için desorpsiyon ısısı                                   |
| $m_f$          | 0,11 kg                | Meyvelerin donuk kurutma sonundaki ağırlığı                  |
| $\Delta H_c$   | 2838,3 kJ/kg           | -42°C için yoğunlaşma enerjisi                               |
| $m_{hi}$       | 0,94 kg                | Donuk kurutma ile her 1 saat sürede kaybedilen kütle toplamı |
| $c_{pp}$       | 1,8199 kJ/kg           | Meyvelerin birinci kurutma aşaması sonundaki özgül ısısı     |
| $c_{pi}$       | 0,8464 kJ/kg/K         | Dondurulmuş meyvelerin özgül ısısı                           |
| $c_{pf}$       | 1,7604 kJ/kg/K         | Meyvelerin donuk kurutma sonundaki özgül ısısı               |
| $c_{ps}$       | 1,8199 kJ/kg/K         | Meyvelerin ikinci kurutma aşaması başındaki özgül ısısı      |
| $T_p$          | 251°K                  | Meyvelerin birinci kurutma aşaması sonundaki sıcaklığı       |
| $T_i$          | 259°K                  | Meyvelerin başlangıç sıcaklığı                               |
| $T_f$          | 287,2°K                | Meyvelerin donuk kurutma sonundaki sıcaklığı                 |
| $T_s$          | 251°K                  | Meyvelerin ikinci kurutma aşaması başındaki sıcaklığı        |
| $V_t$          | 0,02821 m <sup>3</sup> | Donuk kurutucu toplam hacmi                                  |
| $V_{fc}$       | 0,02121 m <sup>3</sup> | Donuk kurutucu kurutma haznesi hacmi                         |
| $V_{fp}$       | 0,007 m <sup>3</sup>   | Kurutucunun yoğunlaştırma ünitesi ve borularının hacmi       |
| $P_{fc}$       | 13,33 Pa               | Donuk kurutucu çalışma basıncı                               |
| $P$            | 101325 Pa              | Atmosfer basıncı                                             |
| $t_{fv}$       | 0,119 h                | Çalışma basıncına inmek için geçen süre                      |
| $t_s+t_p$      | 17 h                   | Toplam kuruma süresi (tek bir çalışmada)                     |

Donuk kurutma işleminin her bir basamağında 1 kg ürün kurutmak için harcanan toplam enerji miktarları Çizelge 4.5'te verilmiştir. Buna göre işlemin en çok enerji harcaması kurutulacak örneklerin soğutulması, dondurulması ve donuk haldeki suyun örnekten uzaklaştırılması sırasında olmaktadır. Çileklerin bu işlemler için kg başına 16223 kJ enerji ihtiyacı olduğu hesaplanmıştır. Ayrıca donuk kurutma işleminin çok düşük basınçta (yüksek vakumda) gerçekleşmesi nedeniyle, kurutucunun vakum pompası da oldukça yüksek düzeyde enerjiye ihtiyaç duymaktadır (8117 kJ/kg).

Çizelge 4.5. Donuk kurutma işlem aşamalarında harcanan enerji miktarı

| Kuruma evresi                                             | Enerji (kJ/kg yaş ürün) |
|-----------------------------------------------------------|-------------------------|
| Donma                                                     | 169                     |
| Desorpsiyon                                               | 570                     |
| Meyvelerin soğutulması, dondurulması, buzun süblimleşmesi | 16223                   |
| Kondensasyon                                              | 5414                    |
| Vakum sistemi                                             | 8117                    |
| <b>Toplam enerji</b>                                      | <b>30493</b>            |

#### 4.3.2. KADMAK işleminin enerji tüketimi

KADMAK işleminin 1 kg ürün başına enerji tüketim değeri Çizelge 4.6'daki veriler ile üç aşamada ayrı ayrı hesaplanmıştır. KADMAK sisteminde modifiye gaz karışımına verilen enerji ( $E_1$ ), desorpsiyon için gerekli enerji ( $E_2$ ) ve sistemdeki fanlara verilen enerji toplamı sistemin toplam enerji tüketimi olarak belirlenmiştir. Sonuçlar Çizelge 4.7'de verilmiştir.

Çizelge 4.6. KADMAK sisteminin enerji tüketimi hesaplaması için kullanılan sabitler ve katsayılar

|                                            | Sabit / Değişken | Değeri                    | Açıklama                                        |
|--------------------------------------------|------------------|---------------------------|-------------------------------------------------|
| Kurutma gazına verilen enerji ( $E_1$ )    | $A_1$            | 1 m <sup>2</sup>          | Kurutma haznesi kesit alanı                     |
|                                            | $v_1$            | 3 m/s                     | Modifiye gazın hızı                             |
|                                            | $\rho_{a1}$      | 0,09912 kg/m <sup>3</sup> | Modifiye gazın yoğunluğu (T=343 K)              |
|                                            | $C_{a1}$         | 1,04 kJ/kg/K              | Modifiye gazın özgül ısısı                      |
|                                            | $\Delta T_1$     | 15 K                      | Modifiye gazın giriş ve çalışma sıcaklığı farkı |
|                                            | t                | 2,25 h                    | Kurutma süresi                                  |
| Desorpsiyon için harcanan enerji ( $E_2$ ) | $A_2$            | 0,00994 m <sup>2</sup>    | Hava hızının ölçüldüğü boru kesit alanı         |
|                                            | $v_2$            | 1 m/s                     | Hava hızı                                       |
|                                            | $\rho_{a2}$      | 0,950 kg/m <sup>3</sup>   | Havanın yoğunluğu (T=313 K)                     |
|                                            | $C_{a2}$         | 1,01 kJ/kg/K              | Havanın özgül ısısı                             |
|                                            | $\Delta T_2$     | 30 K                      | Havanın giriş ve çıkış sıcaklığı farkı          |
|                                            | t                | 2,25 h                    | Desorpsiyon süresi                              |

Çizelge 4.7. KADMAK işlem aşamalarında harcanan enerji miktarı

| Kuruma evresi                         | Enerji (kJ/kg yaş ürün) |
|---------------------------------------|-------------------------|
| Kurutma gazına verilen enerji         | 8738                    |
| Desorpsiyon işleminde harcanan enerji | 2314                    |
| Dolaşım fanlarında harcanan enerji    | 1394                    |
| <b>Toplam enerji</b>                  | <b>12446</b>            |

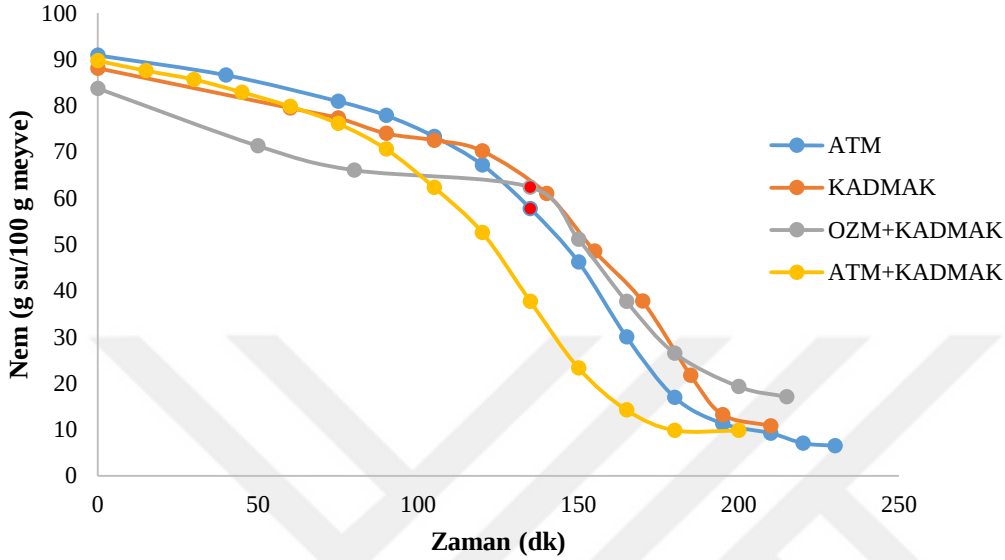
Her iki yöntemin birim ürün başına hesaplanan enerji tüketimleri kıyaslandığında KADMAK yönteminde harcanan enerjinin donuk kurutma yönteminde harcananın %40'ı kadar olduğu görülmektedir. Bu enerji avantajının yanında yöntemlerin kurutma hızlarına bağlı kapasite farklılığı da olduğu ve bu açıdan KADMAK sisteminin donuk kurutma sistemine göre 10 kat avantajlı olduğu değerlendirilmiştir.

#### 4.4. Kuruma Eğrileri

Kurutma yöntemlerinin her birisi için çilek, kivi ve muz dilimlerinin kuruma eğrileri çıkarılmıştır. Bu amaçla her bir kurutma uygulamasının belirlenen/öngörülen optimum parametrelerinde iki tekerrürlü olarak yürütülen kurutma denemeleri sırasında rastgele seçilen 10 meyve diliminin ağırlık ve nem değişimleri belirli aralıklarla izlenmiştir. Bu işleme örneklerin nem içeriği yaklaşık %12'ye (yaş baz) ulaşana kadar devam edilmiştir.

#### 4.4.1. Çilek örneklerinin kuruma eğrileri

Çilek dilimlerinin sıcak hava ile kurutma, KADMAK, OZM+KADMAK ve ATM+KADMAK yöntemlerinden elde edilen kuruma eğrileri Şekil 4.10'da verilmiştir.



Şekil 4.10. Çileklerin kurutma işlemlerine ait kuruma eğrileri

Çileklerin sıcak hava ile kurutulması sırasında sabit sıcaklık, sabit kurutma havası nemi ve sabit hava hızı altında sabit hız periyodunun ilk 120 dakikalık kısımda görüldüğü; yaklaşık 125-130 dakika sürede kritik nem düzeyine ulaşıldığı ve devam eden sürelerde hava hızı yerine difüzyon kontrolünde gerçekleşen azalan hız periyodunun başladığı gözlemlenmiştir. 200 dakika sonunda üründen uzaklaşabilecek su miktarı giderek azalarak ürün hedeflenen son nem düzeyine (yaklaşık %12) 220 dakikada ulaşmıştır.

Çileklerin kurutma işlemleri baştan sona ayrı ayrı sıcak hava ve KADMAK ile gerçekleştirildiği durumda, çileklerin nem içeriği hemen hemen aynı şekilde değişmiştir. Elde edilen bu sonuçlar kurutma havasındaki oksijen oranının değiştirilmesinin kuruma hızını etkilemediğini göstermektedir. Nitekim materyalin yüzey neminin uzaklaştırıldığı sabit kuruma periyodu ve difüzyon kontrollü azalan kuruma periyodu aynı sürelerde aşılmış ve kurutma işlemleri aynı sürelerde tamamlanmıştır.

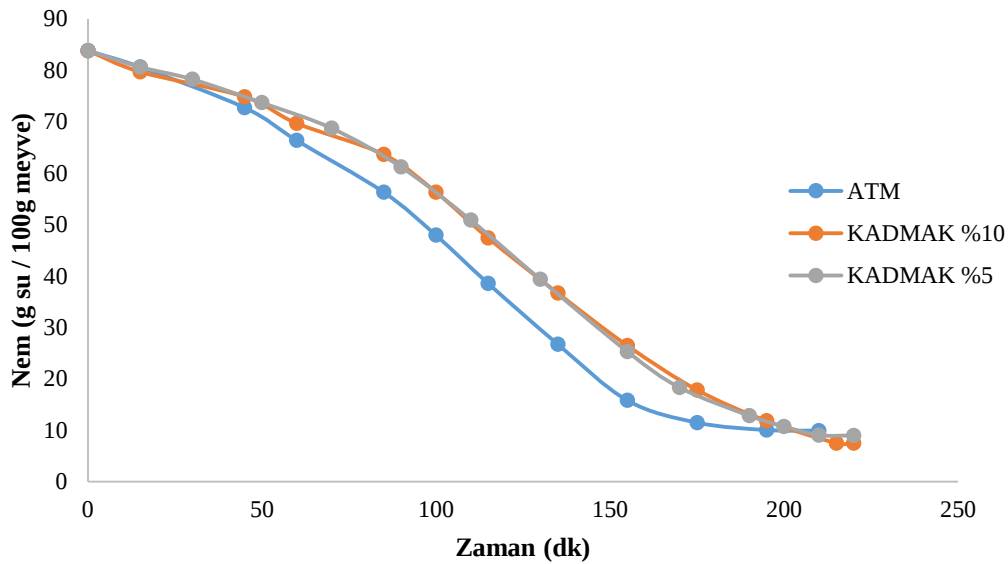
Araştırmanın ana hipotezini oluşturan, sıcak hava kurutmada azalan kuruma periyodunda görülen kalite kayıplarının azaltılmasına yönelik sabit kuruma periyodunun aşılmasından itibaren kapalı döngü modifiye atmosfer kurutma ile işlemin sonlandırılması denemelerinde, Şekil 4.10'da gösterilen kuruma davranışı elde edilmiştir. Bu kuruma davranışının da baştan sona sıcak hava ve baştan sonra KADMAK ile benzer olduğu, ancak kombine uygulanan yöntemin, tek tek uygulamalara göre kuruma süresinde çok az bir kısalma sağladığı görülmüştür.

Çalışmada öngörülen diğer bir kombine kurutma yöntemi ozmotik ön kurutma işlemini takiben KADMAK ile tamamlayıcı kurutma işleminin uygulanmasıdır.

Çileklerin ozmotik ön kurutma işleminde ozmotik kurutmanın sabit kuruma hızı ve azalan kuruma hızı periyodu izlenmiş, azalan kuruma hızı periyoduna geçişin belirlenebildiği anda KADMAK tamamlayıcı kurutmaya geçilmiştir. Ozmotik kurutma işleminin ilk 20 dakikalık kısmında kuruma, sabit kuruma evresinde ve yüzey nemi ozmotik çözeltiye en hızlı şekilde transfer halinde bulunmuştur. İşlemin 35. dakikasında gerçekleşen örneklemede azalan kuruma periyodunun başladığı tespit edilmiş ve örnekler KADMAK işlemine alınarak, 150 dakika süreyle son nem içeriğine kadar bu yöntemle kurutulmaya devam edilmiştir. Toplamda 190 dakikada tamamlanan bu kombine yöntemde örnek son nem içeriği %13,63 (yaş baz) olarak ölçülmüştür.

#### 4.4.2. Kivi örneklerinin kuruma eğrileri

Kivi dilimlerinin kuruma eğrilerinin çıkartılması amacıyla farklı kurutma yöntemleri süresince rastgele seçilen aynı dilimlerin zamana bağlı ağırlık değişimleri kaydedilmiştir. Sıcak hava ile kurutma, KADMAK %10 oksijen ortamında kurutma ve KADMAK %5 oksijen ortamında kurutma işlemlerine ait kuruma eğrileri Şekil 4.11'de verilmiştir.



Şekil 4.11. Kivilerin kurutma işlemlerine ait kuruma eğrileri

Kivilerin sıcak hava ile kurutulması işlemi de çileklerde olduğu gibi sabit hava hızı, sabit kurutma sıcaklığı ve sabit kurutma havası neminde gerçekleşmiştir. Kivi dilimlerinin sabit kuruma hızı periyodunu ilk 100 dakika sonunda aştığı ve azalan kuruma hızı periyoduna girdiği belirlenmiştir. 150. dakikadan itibaren örneklerin ikinci azalan kuruma hızı periyoduna girdikleri tespit edilmiştir. Bu aşamadan sonra suyun difüzyonla sıvı formda taşınımı değil, olduğu yerde buharlaşıp yüzeye buhar fazının ulaşımı ile kuruma devam ettiğinden nem içeriği değişimi oldukça az olmaktadır (Cemeroğlu, 2004).

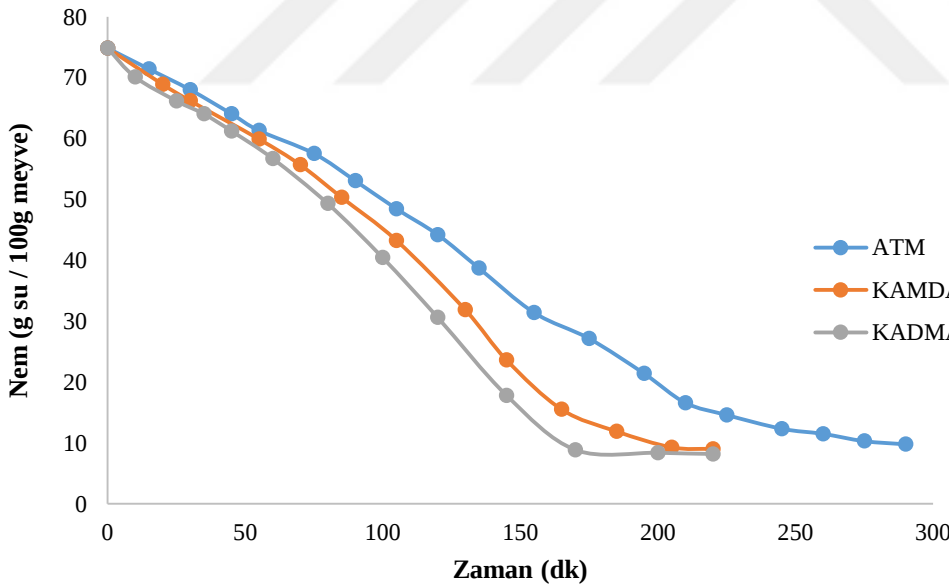
Kivi dilimlerinin %10 oksijen içeren kurutma ortamında sabit hava hızı ve sıcaklıkta elde edilen kuruma eğrisine göre, sabit kuruma hızı periyodu 70-75 dakika sonrasında aşılmış ve birinci azalan kuruma hızı periyodunun başladığı belirlenmiştir.

Kurumanın devam eden safhalarından ikinci azalan kuruma hızı periyoduna ise 195 dk sonunda gelinmiş ve üründe hedef nem düzeyine (%10-12) 235 dakikada ulaşılmıştır.

Kivilerin kurutma işlemleri ayrı ayrı sıcak hava ve iki farklı kurutma ortamında KADMAK ile gerçekleştirildiği durumda, örneklerin nem içeriğinin değişimi birbirlerine benzer olarak bulunmuştur. Bu sonuçlara göre, %5 ve %10 oksijen ortamında gerçekleştirilen kurutma denemelerinde ürün son nem düzeyine yaklaşık 20dk geç ulaşılmıştır. Materyalin yüzey neminin uzaklaştırıldığı sabit kuruma periyodu sıcak hava ile kurutma işleminde daha hızlı, ancak difüzyon kontrollü azalan kuruma periyodunda diğer yöntemlerle aynı sürelerde aşılmıştır. Elde edilen sonuçlar, benzer şekilde 60°C sıcaklıkta 4-6 mm doğranmış kivilerin kuruma eğrilerinin çıkartıldığı ve kuruma karakteristiklerinin incelendiği Darıcı ve Şen (2011) tarafından yapılan çalışma ile de uyumlu bulunmuştur. Ancak azot altında ya da sınırlandırılmış oksijen varlığında kivilerin kurutulması ile ilgili bir çalışmaya literatürde rastlanmamıştır.

#### 4.4.3. Muz örneklerinin kuruma eğrileri

Muz dilimlerinin kuruma eğrilerinin çıkartılması amacıyla, çilek ve kivide olduğu gibi farklı kurutma yöntemleri süresince, seçilen dilimlerin zamana bağlı ağırlık değişimleri kaydedilmiştir. Sıcak hava ile kurutma, KADMAK %10 oksijen ortamında kurutma ve KADMAK %5 oksijen ortamında kurutma işlemlerine ait kuruma eğrileri Şekil 4.12’de verilmiştir.



Şekil 4.12. Muzların kurutma işlemine ait kuruma eğrileri

Çalışma materyallerinden ürün başlangıç nemi en düşük olan muz dilimlerinin ilk 110 dk içerisinde sabit kuruma hızı periyodunu aştığı ve azalan kuruma hızı periyoduna girdiği tespit edilmiştir. Muz dilimlerinin 195. dakikadan sonra ikinci azalan kuruma hızı periyoduna girdiği ve hedef nem değeri olan %10,31 (yaş baz) nem içeriği değerine 275 dk sonunda ulaştığı belirlenmiştir.

Muz dilimlerinin %10 oksijenli kurutma ortamında KADMAK ile gerçekleştirilen kurutma uygulamalarındaki davranışı incelendiğinde, ikinci azalan kuruma hızı periyoduna geçişin sıcak hava ile kurutmadakinden daha erken olduğu gözlemlenmiştir. İkinci azalan kuruma periyoduna 165. dakikada ulaşılan bu uygulamada 205. dakikada %9,9 (yaş baz) ürün nemine ulaşılarak işlem sonlandırılmıştır.

Muzların kurutma işlemleri ayrı ayrı sıcak hava ve iki farklı kurutma ortamında KADMAK ile gerçekleştirilmiştir. Muz dilimlerinin nem içeriklerinin değişimi birbirlerine çok yakın olarak bulunmuştur. Sonuçlara göre, %5 ve %10 oksijen ortamında gerçekleştirilen kurutma denemelerinde, kivi örneklerinin aksine, ürün son nem düzeyine yaklaşık 20 dk erken ulaşılmıştır. Materyalin yüzey neminin uzaklaştırıldığı sabit kuruma periyodu ile difüzyon kontrollü azalan kuruma periyoduna geçiş karakteristiklerinin de %5 ve %10 oksijenli kurutma ortamlarında daha belirgin olduğu gözlemlenmiştir. Literatürdeki benzer çalışmalarda, 60°C sıcaklıkta, 6 mm kalınlığında dilimlenen muzların 2 m/s hava hızında kurutulması sonucunda ürün neminin %78'den (yaş baz) 6 saat sonunda %14'e (yaş baz) düştüğü rapor edilmiştir (Kara ve Demir 2012). Aynı çalışmada kurutma süresinin kısaltılabilmesi için 80°C sıcaklık denenmiş ve aynı son ürün nem seviyesine 210 dk sonunda ulaşıldığı; ancak son ürün kalitesinin yüksek sıcaklık nedeniyle arzu edilir düzeyde olmadığı bildirilmiştir. KADMAK sisteminde ise, 60°C sıcaklıkta ve aynı başlangıç nemindeki muz dilimlerinin %14 son nem içeriğine kadar kurutulması 190 dk sürmüştür. Kurutma gazındaki azot oranına bağlı olarak ısı transfer katsayısında sınırlı değişimlerin olduğu değerlendirilmiştir.

#### 4.5. Kurutma Yöntemlerinin Ürünlerin Fiziksel ve Kimyasal Özelliklerine Etkisi

##### 4.5.1. Çileklerin kurutma yöntemleri ile fiziksel ve kimyasal özelliklerinin değişimi

Hammadde olarak kullanılan dilimlenmiş çileklerin bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri belirlenmiş ve sonuçlar Çizelge 4.8'de verilmiştir.

Çizelge 4.8. Dilimlenmiş taze çileklerin bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri

| Özellikler                                          | Ortalama $\pm$ Std sapma |
|-----------------------------------------------------|--------------------------|
| Toplam kuru madde (g/100 g)                         | 8,5 $\pm$ 2,1            |
| Askorbik Asit (mg/100 g KM)                         | 517,9 $\pm$ 75,1         |
| TMA (mg/100 g KM)                                   | 574,8 $\pm$ 118,5        |
| Antioksidan Aktivite, IC <sub>50</sub> (mg/mg DPPH) | 12,82 $\pm$ 0,26         |
| Renk değerleri                                      |                          |
| <i>L</i>                                            | 29,27 $\pm$ 2,50         |
| <i>a</i>                                            | 29,02 $\pm$ 2,06         |
| <i>b</i>                                            | 16,29 $\pm$ 0,88         |

Dilimlenmiş taze çilekler çalışma kapsamındaki her bir kurutma yöntemi ile belirlenen işlem koşullarında yaklaşık %12 (yaş baz) nem içeriğine kadar kurutulmuştur. Elde edilen kuru meyveler kurutma işleminin hemen sonrasında kuru meyvelere özgü kalite analizlerine tabi tutulmuştur. Literatürde taze çilekler ile ilgili yapılan çalışmalarda taze çileklerin nem içeriği %88,3 (yaş baz), askorbik asit miktarı 53,6 mg/100 g km, antioksidan aktivitesi 30 mg taze çilek / mg DPPH ve toplam monomerik antosiyanin

miktarı 240 mg/100g olarak rapor edilmiştir (El-Beltagy vd 2007, Kevers vd 2007, Michalczyk vd 2008).

#### 4.5.1.1. Kurutulmuş çileklerin nem içeriği ve su aktivitesi değişimleri

Araştırma kapsamında karşılaştırmalı olarak uygulanan kurutma işlemleri sonunda başlangıç nem içeriği %90-94 arasında varyasyon gösteren çileklerin son nem içeriği ve su aktivitesi değerleri sırasıyla 7,47-13,56 ve 0,36-0,57 arasında değişmiştir. Örneklerle ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi Sonuçları Çizelge 4.9’da verilmiştir. Denemeler sırasında temsili örnekler üzerinden ağırlık değişimleri takip edilmiş (donuk kurutma hariç) olmasına rağmen tepsiler arası kuruma farklılıkları nedeniyle ürünlerin nem düzeyinde kaçınılmaz olarak varyasyon oluşmuştur. Bu nedenle elde edilen sonuçlar kurutma yöntemlerine göre önemli düzeyde farklı bulunmuştur. Ancak, genel olarak elde edilen ürünlerin su aktivitesi değerleri kuruma hedeflerini karşılar nitelikte olup, önemli bulunan farklılıklar kimyasal ve mikrobiyolojik değişimlerde farklılık meydana getirmeyecek düzeydedir.

Çizelge 4.9. Kurutulmuş çileklerin nem içeriği ve su aktivite değerleri

| Kurutma Yöntemi | Nem içeriği (g/ 100 g)      | Su aktivitesi değeri ( $a_w$ ) |
|-----------------|-----------------------------|--------------------------------|
| ATM             | 8,401 <sup>b</sup> ±1,662   | 0,442 <sup>bc</sup> ±0,053     |
| DNK             | 7,471 <sup>b</sup> ±0,740   | 0,361 <sup>c</sup> ±0,033      |
| KADMAK          | 13,554 <sup>ab</sup> ±3,360 | 0,565 <sup>ab</sup> ± 0,033    |
| ATM + KADMAK    | 11,608 <sup>b</sup> ±2,556  | 0,536 <sup>ab</sup> ±0,024     |
| OZM + KADMAK    | 12,866 <sup>a</sup> ± 0,768 | 0,504 <sup>a</sup> ±0,028      |

Sonuçlar ortalama±standart hata olarak verilmiştir.

Sütunlardaki farklı harfler ortalamanın  $P<0,05$  seviyesinde farklı olduğunu gösterir.

Literatürde çileklerin kurutulmasına yönelik yapılan benzer çalışmalarda rapor edilen son nem değerlerinin %8-20 (yaş baz) aralığında olduğu görülmüştür (Doymaz 2008, Magias-Perez vd 2014). Yine kurutulmuş çilekler için su aktivitesi değerleri ise 0,2-0,54 arasında bildirilmiştir (Xu vd 2006, El-Beltagy vd 2007). Bu çalışma kapsamında elde edilen nem içeriği ve su aktivitesi değerleri ile bu literatür değerleri uyumlu bulunmuştur.

#### 4.5.1.2. Çileklerde kurutma sırasında meydana gelen renk değişimleri

Araştırma kapsamında uygulanan kurutma işlemi sonunda çilek dilimlerinde meydana gelen renk değişimleri kontrollü koşullarda çekilen resimler üzerinden RGB değerlerinin  $L,a,b$  değerlerine dönüştürülmesi ile belirlenmiştir. Buna göre her bir kurutma yöntemi için hesaplanan  $L,a,b$  değerleri ile bu değerler üzerinden hesaplanan esmerleşme indeksi ve renk değişimi Çizelge 4.10’da verilmiştir. Sonuçlar, belirlenen renk parametrelerinin kurutma yöntemlerine göre önemli ( $P<0,01$ ) düzeyde farklılık gösterdiğini ortaya koymuştur. Sonuçlara göre en yüksek  $L,a,b$  değerleri donuk kurutulmuş örneklerde, en düşük  $L,a,b$  değerleri ise ozmotik ön kurutma + KADMAK tamamlayıcı kurutma ile kurutulan örneklerde belirlenmiştir. Benzer şekilde en yüksek renk değişimi ve en düşük esmerleşme indeksi değeri yine donuk kurutulmuş çileklerde tespit edilmiştir. Örneklerin esmerleşme indeksi değerleri arasındaki farklılıklar donuk kurutulmuş çileklere ait değerler hariç diğer tüm kurutma yöntemlerinde önemli

bulunmamıştır. Parlak kırmızı renkteki çilek dilimleri, donuk kurutma sonrasında parlak pembe renkte elde edilmiş, bunun sonucunda da bu örneklerin *L* ve *a* değerleri diğer tüm uygulamalardan yüksek bulunmuştur. Sıcak hava ile uygulanan kurutma yöntemlerinin tamamında örneklerin başlangıç renginden daha koyu renkte elde edildiği gözlemlenmiştir. Ozmotik kurutulan örneklerde ise örnek renginin ileri derecede koyulaştığı ve kahverengiye yakın bir renkte olduğu tespit edilmiştir. ATM, KADMAK ve ATM+KADMAK uygulamalarının sonucunda elde edilen örneklerde renk değişimleri arasında fark bulunmaması, ürün renginin çilekler için ortam atmosferinden çok, uygulanan kurutma sıcaklığının etkisinde değiştiğini göstermiştir.

Çizelge 4.10. Kurutulmuş çileklerin *L,a,b* renk değerleri ile esmerleşme indeksi ve renk değişimi değerleri

| Kurutma Yöntemi | <i>L</i>                 | <i>a</i>                  | <i>b</i>                 | Esmerleşme indeksi        | Renk Değişimi            |
|-----------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------|
| ATM             | 35,67 <sup>b</sup> ±1,28 | 38,25 <sup>bc</sup> ±1,05 | 24,35 <sup>b</sup> ±0,94 | 71,87 <sup>ab</sup> ±4,03 | 15,04 <sup>b</sup> ±0,76 |
| DNK             | 47,84 <sup>a</sup> ±0,23 | 49,80 <sup>a</sup> ±0,26  | 30,92 <sup>a</sup> ±0,44 | 67,76 <sup>b</sup> ±1,52  | 32,62 <sup>a</sup> ±1,39 |
| KADMAK          | 33,78 <sup>b</sup> ±0,18 | 38,03 <sup>bc</sup> ±0,80 | 24,24 <sup>b</sup> ±0,98 | 74,84 <sup>ab</sup> ±1,87 | 14,05 <sup>b</sup> ±1,13 |
| ATM + KADMAK    | 37,07 <sup>b</sup> ±1,87 | 38,67 <sup>b</sup> ±0,64  | 24,26 <sup>b</sup> ±0,21 | 70,11 <sup>ab</sup> ±4,02 | 15,92 <sup>b</sup> ±0,32 |
| OZM + KADMAK    | 22,30 <sup>c</sup> ±0,92 | 22,49 <sup>d</sup> ±0,10  | 10,54 <sup>c</sup> ±0,34 | 79,30 <sup>a</sup> ±1,65  | 8,99 <sup>c</sup> ±0,09  |

Sonuçlar ortalama±standart hata olarak verilmiştir.

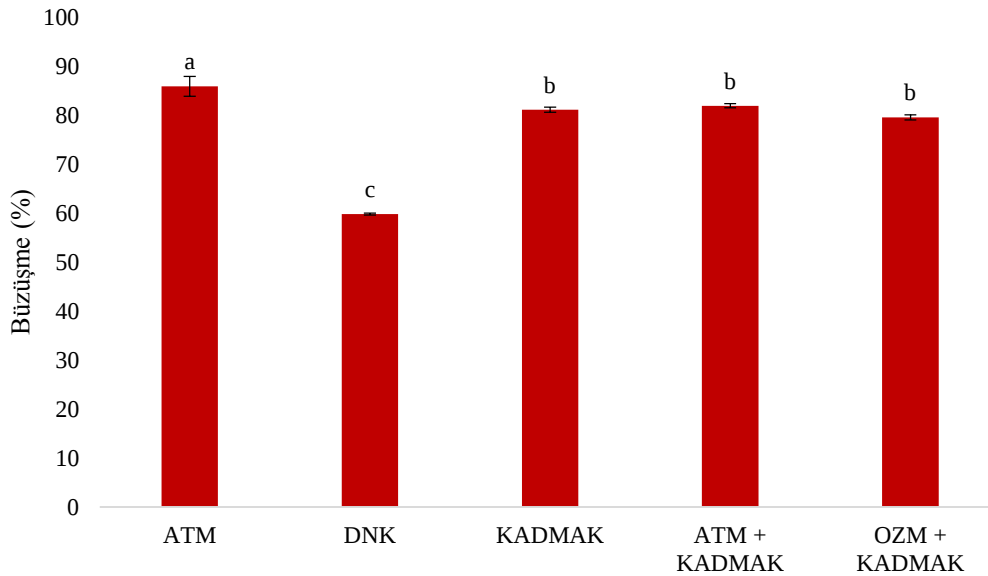
Sütunlardaki farklı harfler ortalamanın  $P<0,05$  seviyesinde farklı olduğunu gösterir.

Donuk kurutma yöntemi ile elde edilen çileklerdeki bu renk farklılığının uygulanan kurutma sıcaklığı ile ilgili olduğu değerlendirilmiştir. Diğer yöntemlerin tümünde, kurutma sırasında yüksek sıcaklık uygulamaları olduğu ve meydana gelen renk değişimlerinin pigment kaybına ek olarak enzimatik ve enzimatik olmayan esmerleşme reaksiyonları ile de meydana geldiği yorumlanmıştır (Cemeroğlu, 2009). Xu vd (2006) tarafından gerçekleştirilen benzer bir çalışmada donuk ve sıcak hava ile kurutulan (60°C’de %13,23 yaş baz son nem içeriğine kadar) çileklerin *L,a,b* ve renk değişim değerleri incelenmiştir. Çalışma sonuçlarına göre sıcak hava ile kurutulan çileklerin *L,a,b* değerleri sırasıyla 13,07, 22,84 ve 17,47 olarak tespit edilirken, donuk kurutulan örneklerde bu değerler sırasıyla 38,98, 31,29 ve 17,51 olarak belirlenmiştir. Literatür verileri çalışmada hesaplanan verilere göre daha düşük olmakla birlikte, sıcak hava ve donuk kurutma farklılıkları bakımından benzerlik göstermektedir. Elde edilen sonuçlar KADMAK ve kombinasyonları ile kurutulan çileklerin renk açısından donuk kurutulmuş çileklerininkine benzer olması yönündeki beklenti yeterince karşılanmamıştır. Renk açısından daha başarılı bir kurutma için kurutma sıcaklıklarının daha düşük olması gerektiği sonucuna varılmıştır. Nitekim, Tülek ve Demiray (2014) tarafından yapılan bir çalışmada, taze Trabzon hurması meyvelerinin sıcak hava ile kurutulması sırasında uygulanan kurutma sıcaklığının 55°C’den 75°C’ye çıkarılması ile ürünün renk değişimin daha fazla olduğu ve 75°C’de *a* renk değerindeki değişimin 55°C’ye göre 3,48 kat daha hızlı olduğu rapor edilmiştir.

#### 4.5.1.3. Kurutulmuş çileklerin büzüşme ve rehidrasyon özellikleri

Büzüşme oranı kurutulmuş meyvelerin önemli fiziksel kalite kriteri olarak bilinmekte ve değerlendirilmektedir. Bu çalışmada uygulanan kurutma yöntemlerinin çileklerin kurutulması sırasında meydana gelen büzüşme durumu ve rehidrasyon yeteneği üzerine etkisi analiz edilmiş ve sonuçlar Şekil 4.13 ve Şekil 4.14’te gösterilmiştir.

Uygulanan kurutma yöntemlerine bağlı olarak çileklerin büzüşme oranları önemli ( $P<0,05$ ) düzeyde değişmiştir. Elde edilen sonuçlara göre en yüksek büzüşme oranı %85,89 değeri ile sıcak hava kurutmada, en düşük büzüşme oranı ise %59,82 değeri ile donuk kurutmada gerçekleşmiştir. KADMAK ve kombine KADMAK uygulamalarında ise aralarında önemli bir farklılık olmaksızın %79,58-81,92 aralığında büzüşme oranları tespit edilmiştir. Literatürde sıcak hava ile kurutma, vakum altında kurutma ve ozmotik kurutma yöntemlerinin çileklerinin büzüşme özelliklerinin karşılaştırıldığı bir çalışmada benzer şekilde sıcak hava kurutma ile  $72,3\pm5,9$ , vakum altında kurutmada  $53,0\pm16,8$ , ozmotik kurutmada  $63,4\pm10,8$  oranında hacim değişimi olduğu rapor edilmiştir (De-Bruijn ve Borquez 2014). Literatürde, meyvelerin kurutma koşullarına göre farklı büzüşme özellikleri göstermesi, üründe kabuk oluşumu ve kuruma hızı ile ilişkilendirilerek açıklanmıştır. Buna göre, donuk kurutmada vakum altında gerçekleşen kurutma işlemi öncesinde, üründeki suyun hücrede bulunduğu noktada donması ve ardından süblimleşmesi sonucu süngerimsi yapı oluştuğundan üründe herhangi bir şekil ve boyut değişimi gerçekleşmez. Çünkü üründe kuruma sırasında sıvı hareketi yoktur. Elde edilen bulgularda en düşük büzüşmenin donuk kurutulmuş çileklerde görülmesi bu prensiple uyumlu olarak değerlendirilmiştir. Buna ilaveten; çalışma sonuçları ile uyumlu olarak, literatürde inert gazlar (azot ve karbondioksit) ile yapılan sınırlı sayıdaki kurutma çalışmasında, bu gazların ürünün kuruma hızını arttırdığı ve bu ortamlarda kurutulan ürünlerde daha düşük büzüşme değerleri tespit edildiği bildirilmiştir (O'Neill vd 1998).

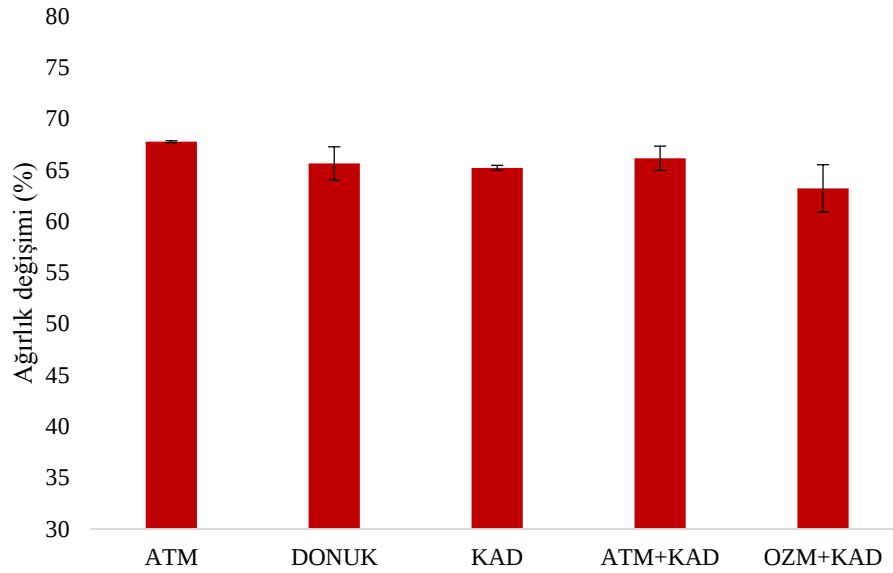


Şekil 4.13. Kurutulmuş çileklerin büzüşme özellikleri

Kurutulmuş meyvelerin yeniden su alma kapasitesinin bir ölçütü olan rehidrasyon yeteneği de önemli kalite kriterlerinden birisidir. Kurutma sonrası hücre yapısının bozulması rehidrasyon yeteneğinin düşük olmasına sebep olur (Al-Khuseibi vd 2005). Araştırmada belirtilen yöntemlerle kurutulan çileklerin rehidrasyon kapasiteleri %55-67 arasında değişim göstermiş, ancak bu değişimlerde istatistiksel açıdan önemli ( $P>0,05$ ) bir farklılık tespit edilmemiştir (Şekil 4.14).

Literatürde, birden fazla ön işlemlerle kombine olarak uygulanan konveksiyonel çilek kurutma çalışmasında, farklı kurutmalardan elde edilen örneklerin rehidrasyon

kapasitelerinin %61,8-71,6 arasında değiştiği bildirilmiştir (J. Gamboa-Santos vd 2014). Yapılan başka bir araştırmada ise Magias-Perez vd (2014) çileklerin donuk kurutulması sonrasında ölçülen rehidrasyon kapasitelerini %59,7-72,4 aralığında rapor etmişlerdir. Bu veriler araştırma bulgularımız ile uyumludur.



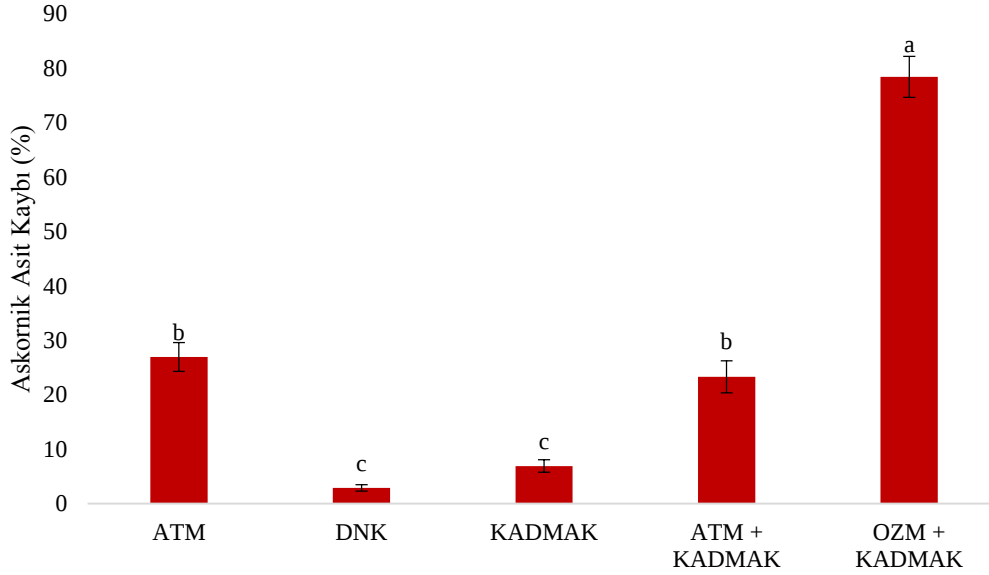
Şekil 4.14. Kurutulmuş çileklerin rehidrasyon özellikleri

Çalışmamızda istatistiksel olarak önemli bir farklılık olmasa da ozmotik olarak kurutulmuş örneklerin rehidrasyon yeteneklerinin diğerlerine göre daha düşük bulunmuştur. Agnieszka ve Andrzej (2010) bu farklılığı, elde edilen ürünlerin yumuşak yapılı olması ile yüksek konsantrasyonda şekere maruz kalmış ve hala bir miktar şeker içeriyor olmasına bağlamıştır.

#### 4.5.1.4. Çileklerde kurutma sırasında askorbik asit değişimleri

Gıdalarda doğal olarak bulunan L-askorbik asit insan beslenmesi açısından önemli olan bir bileşik olup, gıdaların işlenmesi sırasındaki stabilitesi ve kaybının önlenmesi önem arz etmektedir. Genel olarak bu bileşik oksijen varlığı, sıcaklık ve ışık gibi faktörlere bağlı olarak degradasyona uğramaktadır (Burdurlu vd 2006, Marfil vd 2008). Bu nedenle çalışmanın öncelikli hedefi, çevresel faktörlerin gıda bileşenleri üzerindeki etkilerinin azaltılması yönündedir. Bu hipotezi test etmek için uygulanan kurutma yöntemlerinden elde edilen ürünlerde ve dilimlenmiş taze çileklerde askorbik asit içeriği belirlenmiş, elde edilen sonuçlar üzerinden yüzde askorbik asit kaybı hesaplanarak, kurutma yöntemlerine göre istatistiksel olarak karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre başlangıçta kuru maddede ortalama 517,9 mg/100 g olan askorbik asit içeriği tüm kurutma yöntemlerinde önemli düzeyde kayba uğramış ve kurutma yöntemleri arasında birbirine göre önemli ( $P < 0,05$ ) farklılıklar olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.15). Kurutma yöntemleri nispi olarak karşılaştırıldığında en düşük kaybın donuk kurutmada olduğu (%2,9) ve buna en yakın askorbik asit kaybının %6,9 ile KADMAK'ta olduğu belirlenmiştir. Bu uygulamaları sırasıyla sıcak hava ile ön kurutma + KADMAK tamamlayıcı kurutma ve sıcak hava ile kurutma izlemiştir. Çalışmada en yüksek askorbik

asit kaybı (%78,45) ozmotik ön kurutma sonrası uygulanan KADMAK tamamlayıcı kurutma kombinasyonunda gerçekleşmiştir. Bu yüksek düzeydeki askorbik asit kaybının ozmotik kurutma işlemi sırasında çileklerin bileşiminde bulunan askorbik asitin ozmotik çözeltiye difüzyonuyla ilişkili olabileceği düşünülmektedir. Bunun dışında, ozmotik basınç etkisiyle hücrenin parçalanarak askorbik asit oksidaz enziminin substratla bir araya gelmiş olabileceği de değerlendirilmiştir.



Şekil 4.15. Kurutulmuş çileklerin askorbik asit kaybı

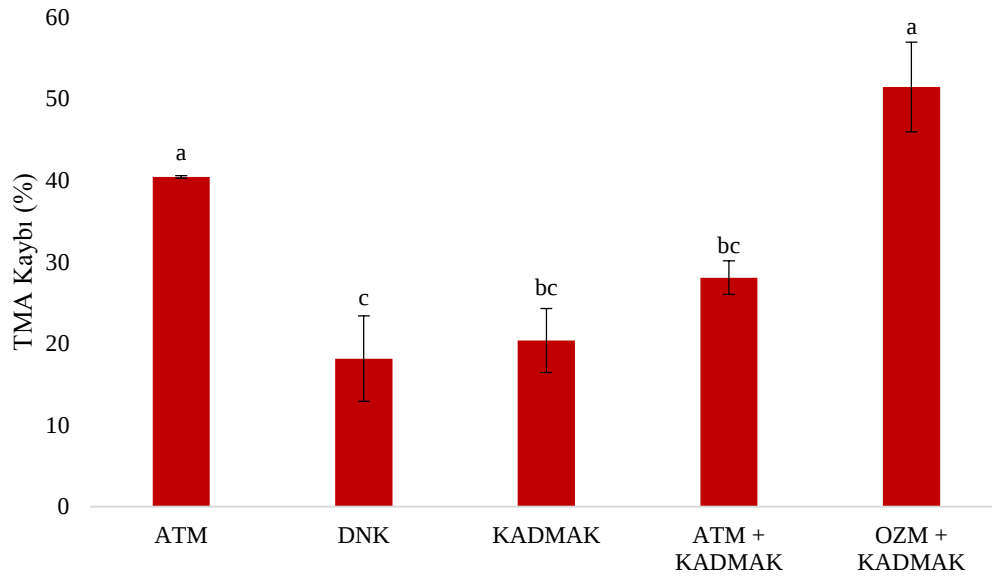
Donuk kurutma yöntemiyle elde edilen kurutulmuş çileklerde askorbik asit miktarı 502,8 mg/100 g KM; KADMAK ile üretilen kurutulmuş çileklerde ise 482,2 mg/100 g KM tespit edilmiş olup bu sonuçların literatür ile uyumlu olduğu saptanmıştır. Nitekim kurutulmuş çilekler üzerinde yapılan bir araştırmada sıcak hava ile ve donuk olarak kurutulmuş çileklerin askorbik asit içerikleri sırasıyla 0-432,9 mg/100 g KM ve 22,1-561,0 mg/100 g KM olarak rapor edilmiştir (Magias-Perez vd 2014).

Gerek optimizasyon çalışmalarında, gerekse farklı kurutma yöntemlerinde elde edilen bulgular askorbik asit kaybının kurutma ortamının oksijen seviyesi ile doğrudan ilişkili olduğunu göstermiştir. Bu bulgular çalışma hipotezini desteklemiş, çalışma bu açıdan hedeflenen başarıya ulaşmıştır. Kurutma sırasında ortamdaki oksijen varlığının askorbik asit degradasyonunu artırıcı etki gösterdiği, bu etkinin inert gaz karışımları kullanılarak azaltılabileceği bazı araştırmacılar tarafından da belirtilmiştir (Erentürk vd 2005, Goula ve Adamopoulos 2006, Marfil vd 2008).

#### 4.5.1.5. Çileklerde kurutma sırasında toplam monomerik antosiyanin değişimleri

Çileğin rengini oluşturan antosiyaninler de gıda işleme proseslerine karşı hassas olup, çalışma kapsamında uygulanan kurutma yöntemlerinin bu bileşenler üzerine etkileri irdelenmiştir. Taze çilek dilimlerinin kuru maddesinde 574,8 mg/100 g olarak belirlenen toplam monomerik antosiyanin düzeyi, uygulanan kurutma yöntemleri ile önemli düzeyde azalmıştır. Kurutma sırasında meydana gelen bu toplam monomerik antosiyanin kaybı uygulanan yöntemlere göre Şekil 4.16'daki gibi değişmiştir. Bu bileşende de en az

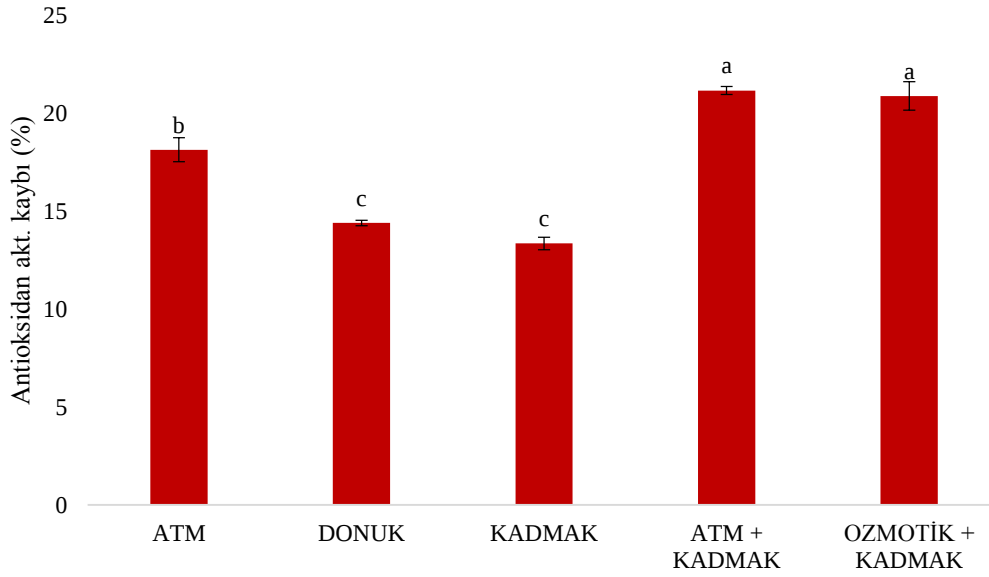
kayıp (%18,1) donuk kurutma yönteminde gerçekleşmiştir. Bu bileşenin kaybı açısından donuk kurutmayı sırasıyla KADMAK, ATM + KADMAK ve ATM kurutma yöntemleri izlemiştir. Ancak bu yöntemlerden DNK, KADMAK ve ATM + KADMAK arasındaki toplam monomerik antosiyanin kaybı değerleri arasında istatistiksel olarak önemli bir fark belirlenmemiştir ( $P>0,05$ ). Ozmotik kurutmayı takip eden KADMAK tamamlayıcı kurutmada ise bu kayıp %45 ile en yüksek seviyede bulunmuştur. TMA kaybının ortamdaki oksijen varlığı, pH değişikliği ile ilişkili olarak arttığı değerlendirilmiştir. Nitekim, antosiyaninlerin gıdaların işlenmesi sırasında kolaylıkla parçalandığını, bu parçalanmanın yüksek sıcaklık, şeker konsantrasyonu, pH değişimleri ve oksijen varlığı ile doğrudan ilişkili olduğunu raporlayan literatür çalışmaları mevcuttur (Daravingas ve Cain 1965).



Şekil 4.16. Kurutulmuş çileklerin toplam monomerik antosiyanin kaybı

#### 4.5.1.6. Çileklerde kurutma sırasında antioksidan aktivite değişimleri

Çilek antioksidan bileşiklerce zengin bir meyve olup, kurutma sırasında bu bileşenlerin korunması ürün kalitesi bakımından önem arz etmektedir. Dilimlenmiş taze çileklerin  $IC_{50}$  (DPPH radikalinin %50'sini inhibe eden ekstrakt konsantrasyonu) değeri (antioksidan aktiviteleri) kuru ağırlık üzerinden 12,82 mg/mg DPPH olarak hesaplanmıştır. Çileklerin kurutma işlemleri sonunda hesaplanan  $IC_{50}$  değerleri 13,67-21,59 mg/mg DPPH aralığında değişmiştir. Taze çilekler için hesaplanan  $IC_{50}$  değerine göre kurutulmuş çileklerin  $IC_{50}$  değerindeki artışlar, antioksidan aktivitedeki yüzde kayıp olarak değerlendirilmiştir. Hesaplanan istatistiksel sonuçlar Şekil 4.17'de verilmiştir. Kurutma yöntemlerine göre ürünlerin antioksidan aktivite kayıpları önemli düzeyde ( $P<0,05$ ) farklılık göstermiştir.



Şekil 4.17. Kurutma yöntemleriyle kurutulan çileklerde meydana gelen antioksidan aktivite kaybı

Kurutma işlemlerine bağlı en düşük antioksidan aktivite kaybı dolayısıyla en yüksek antioksidan aktivite, donuk kurutma (14,54 mg/mg DPPH) ve KADMAK (13,67 mg/mg DPPH) yöntemiyle elde edilen kurutulmuş çileklerde bulunmuştur. En yüksek antioksidan aktivite kaybı ise kombine kurutma uygulamalarında gerçekleşmiştir. Araştırma sonuçları, sıcak hava ile kurutma yönteminin, donuk kurutmaya kıyasla iki kattan fazla antioksidan aktivite kaybına sebep olduğunu bildiren literatür sonuçları ile uyumlu bulunmuştur (Bursac-Kovacevic vd 2009, Wojdylo vd 2009).

#### 4.5.2. Kivilerin kurutma yöntemleri ile fiziksel ve kimyasal özelliklerinin değişimi

Geliştirilen kurutma sistemi, besinsel ve fonksiyonel bileşenlerce zengin olan kivi dilimlerinin kurutulmasında da denenmiştir. Kurutmalarda kullanılan taze kivi dilimlerinin bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri belirlenmiş, elde edilen sonuçlar Çizelge 4.11’de verilmiştir.

Çizelge 4.11. Dilimlenmiş taze kivilerin bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri

| Özellikler                                          | Ortalama $\pm$ Std sapma |
|-----------------------------------------------------|--------------------------|
| Toplam kuru madde (g/100 g)                         | 16,2 $\pm$ 3,3           |
| Askorbik Asit (mg/100 g KM)                         | 595,45 $\pm$ 84,1        |
| Antioksidan Aktivite, IC <sub>50</sub> (mg/mg DPPH) | 16,22 $\pm$ 0,44         |
| Renk değerleri                                      |                          |
| <i>L</i>                                            | 42,85 $\pm$ 4,88         |
| <i>a</i>                                            | -11,54 $\pm$ 3,16        |
| <i>b</i>                                            | 20,63 $\pm$ 3,18         |

Dilimlenmiş taze kiviler çalışma kapsamındaki her bir kurutma yöntemi ile belirlenen işlem koşullarında yaklaşık %10 (yaş baz) nem içeriğine kadar kurutulmuştur.

Elde edilen kuru meyveler kurutma işleminin hemen sonrasında araştırmada öngörülen analizlere tabi tutulmuştur.

#### 4.5.2.1. Kivilerde kurutma sırasında meydana gelen nem içeriği ve su aktivitesi değişimleri

Taze kivi dilimlerinin kurutma başlangıç nem değeri %82-85 ölçülürken, farklı kurutma uygulamaları sonunda bu değerler %8,9 – 9,6 (yaş baz) aralığına düşmüştür. Su aktivitesi değerleri ise kurutma sonrasında 0,486-0,506 aralığında tespit edilmiştir. Duncan Çoklu Karşılaştırma testi ile kurutma yöntemlerinin son nem içeriği düzeyi ve su aktivitesi bakımından istatistiksel olarak farklılık gösterip göstermediği analiz edilmiş ve sonuçlar Çizelge 4.12’de verilmiştir. Kurutmada hedeflenen su aktivitesi düzeyine ulaşılmış ve ürünler homojen olarak kurutulmuşlardır. Kurutma yöntemlerine göre nem düzeyleri istatistiki açıdan önemli bir farklılık göstermezken, su aktivitesi değeri %5 oksijen varlığında gerçekleştirilen kurutma işleminden elde edilen kuru kivilerin su aktivitesi diğerlerinden biraz düşük bulunmuştur.

Çizelge 4.12. Kurutulmuş kivilerin nem içeriği ve su aktivite değerleri

| Kurutma Yöntemi              | Nem (g/ 100 g)            | Su aktivitesi değeri ( $a_w$ ) |
|------------------------------|---------------------------|--------------------------------|
| ATM                          | 9,570 <sup>a</sup> ±0,639 | 0,506 <sup>a</sup> ±0,051      |
| KADMAK (%10 O <sub>2</sub> ) | 8,907 <sup>a</sup> ±0,030 | 0,502 <sup>a</sup> ± 0,003     |
| KADMAK (%5 O <sub>2</sub> )  | 8,936 <sup>a</sup> ±0,020 | 0,486 <sup>b</sup> ±0,005      |

Sonuçlar ortalama±standart hata olarak verilmiştir.

Sütunlardaki farklı harfler ortalamanın  $P<0,05$  seviyesinde farklı olduğunu gösterir.

Kivilerin kurutulması konusunda literatürdeki benzer çalışmalarda rapor edilen son nem içeriği değerlerinin %5-15 (yaş baz) aralığında olduğu görülmüştür. Yine kurutulmuş kiviler için su aktivitesi değerlerinin 0,42-0,67 arasında olduğu bildirilmiştir (Simal vd 2005, Ceylan vd 2007, Moraga vd 2006). Çalışma kapsamında elde edilen nem içeriği ve su aktivitesi değerleri ile literatür değerlerinin uyumlu olduğu görülmektedir.

#### 4.5.2.2. Kivilerde kurutma sırasında meydana gelen renk değişimleri

Kivi örneklerinin çalışmada planlanan üç ayrı yöntemle kurutulması sonucu elde edilen kurutulmuş meyvelerin, renk değişimlerinin belirlenmesi amacıyla kurutma işleminin hemen sonrasında kontrollü kabin içerisinde görüntüleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Görüntülerden bilgisayar ortamında elde edilen RGB değerleri üzerinden Hunter  $L, a, b$  değerleri ve bu değerler kullanılarak da esmerleşme indeksi ve renk değişimi parametreleri hesaplanmış, bulgular Çizelge 4.13’te verilmiştir. Sonuçlara göre, kurutulmuş örneklerin yeşillik ( $-a$ ) – kırmızılık ( $+a$ ) değerini ifade eden  $a$  değeri hariç, diğer bulgular uygulanan kurutma yöntemlerine göre istatistiki açıdan önemli bir farklılık göstermemiştir. Taze kivilerde  $-11,54 \pm 3,16$  olarak tespit edilen  $a$  değeri istatistiksel olarak önemli olmamakla birlikte en çok %5 oksijen ortamında gerçekleştirilen KADMAK ile korunabilmiştir. Bu uygulamanın kivilerdeki yeşil rengi kurutma sonrasında önemli düzeyde koruması, araştırmada hedeflenen başarı ölçütlerinden birisidir. İstatistiki olarak önemli bulunmamış olsa da, en düşük esmerleşme indeksi yine bu uygulama ile kurutulan örneklerde tespit edilmiştir.

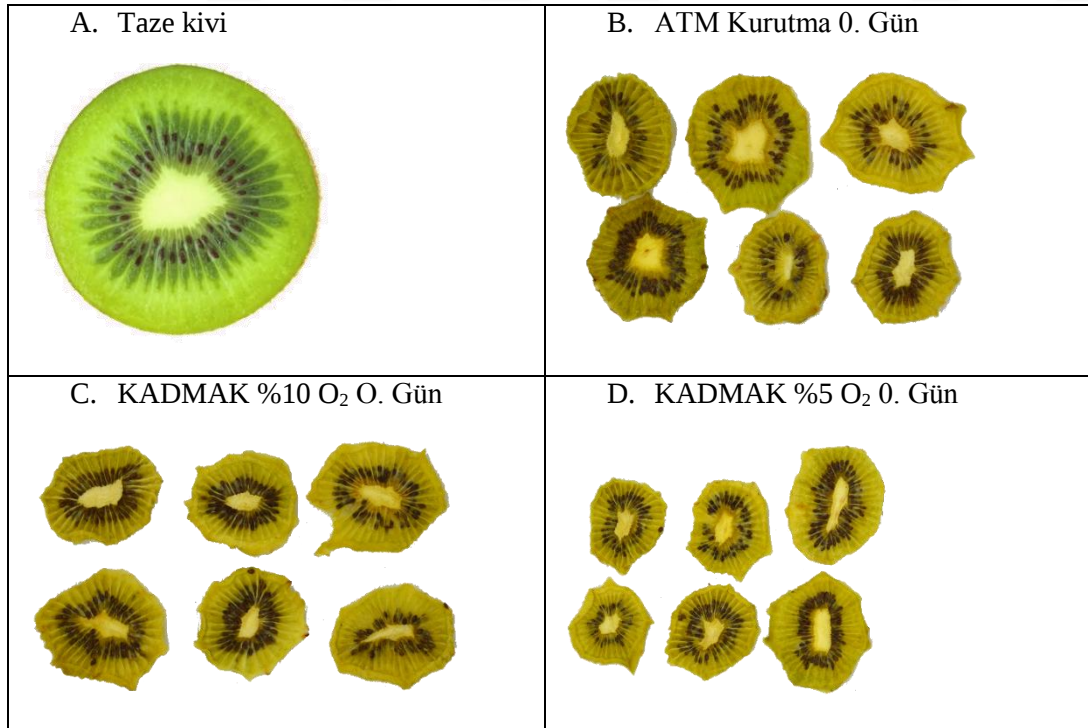
Elde edilen sonuçlar literatürdeki çalışmalar ile birlikte incelendiğinde her üç kurutma işleminin de son ürün kalitesi açısından başarılı olduğu değerlendirilmiştir. Nitekim, Mohammadi vd (2008) tarafından farklı sıcaklıklarda gerçekleştirilen sıcak hava ile kurutma işleminin dilimlenmiş kivilerin renk değişimleri üzerine etkilerinin araştırıldığı bir çalışmada, örnek başlangıç  $L, a, b$  değerleri sırasıyla 42,2, -2,21, 17,21 olarak ölçülmüştür. 60°C sıcaklıktaki kurutma işlemi sonrasında ise bu değerlerin sırasıyla 36,8, 2,54, 15,1 olarak değiştiği rapor edilmiştir. Araştırmacılar kivilerin sıcak hava kurutulması ile yeşil renginin ( $-a$ ) tamamen kaybolduğunu, kahverengiye ( $+a$ ) yakın bir renkle kurutmanın tamamlandığını bildirmişlerdir. Benzer şekilde Maskan (2001) tarafından sıcak hava ile kurutma ve mikrodalga kurutma ile kivilerin kurutulması sırasında renk değişimlerinin modellenmesi üzerine yapılan bir çalışmada, kivi dilimleri 60°C sıcak hava ile tepsili kurutucuda kurutulmuş ve ilk/son  $L, a, b$  değerlerinin sırasıyla 47/40, -2,5/2,5 ve 17,5/16 olduğu rapor edilmiştir. KADMAK sisteminde ise literatürdeki benzer çalışmalarla yakın şartlarda kurutulan tüm örneklerin kurutma sonrası  $L, a, b$  değerleri sırasıyla incelendiğinde örneklerin yeşil rengini koruduğu belirlenmiştir (Şekil 4.18).

Çizelge 4.13. Kurutulmuş kivilerin  $L, a, b$  renk değerleri ile esmerleşme indeksi ve renk değişimi değerleri

| Kurutma Yöntemi              | $L$                      | $a$                      | $b$                      | Esmerleşme indeksi       | Renk Değişimi            |
|------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| ATM                          | 49,07 <sup>a</sup> ±1,87 | -5,20 <sup>b</sup> ±0,12 | 29,43 <sup>a</sup> ±1,09 | 75,83 <sup>a</sup> ±0,02 | 12,59 <sup>a</sup> ±1,62 |
| KADMAK (%10 O <sub>2</sub> ) | 45,96 <sup>a</sup> ±0,17 | -4,63 <sup>a</sup> ±0,09 | 27,54 <sup>a</sup> ±0,09 | 76,18 <sup>a</sup> ±0,20 | 10,26 <sup>a</sup> ±0,05 |
| KADMAK (%5 O <sub>2</sub> )  | 50,56 <sup>a</sup> ±0,23 | -5,91 <sup>c</sup> ±0,04 | 30,34 <sup>a</sup> ±0,06 | 74,93 <sup>a</sup> ±0,21 | 13,62 <sup>a</sup> ±0,18 |

Sonuçlar ortalama±standart hata olarak verilmiştir.

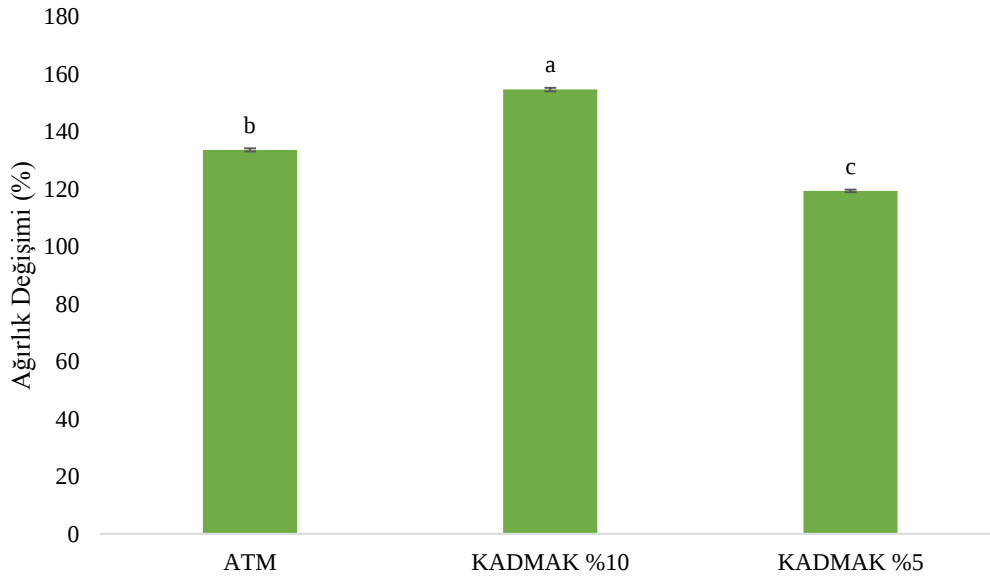
Sütunlardaki farklı harfler ortalamanın  $P<0,05$  seviyesinde farklı olduğunu gösterir.



Şekil 4.18. Kivilerin kurutma uygulamaları sonrası görüntüleri

#### 4.5.2.3. Kurutulmuş kivilerin rehidrasyon özellikleri

Kurutulmuş kivi dilimlerinin rehidrasyon kapasiteleri su kazanımları sonucundaki ağırlık değişimi üzerinden hesaplanmış ve Şekil 4.19’da gösterilmiştir. Farklı yöntemlerle kurutulan kivilerin rehidrasyon sonucu ağırlık değişimleri %119 – 155 aralığında bulunmuştur. Sonuçlar uygulamalar arasında istatistiki açıdan farklılıklar olduğunu göstermiş ve en yüksek su kazanım değeri %10 oksijen ortamında gerçekleştirilen KADMAK ile elde edilirken, en düşük değer %5 oksijen ortamındaki KADMAK ile bulunmuştur.

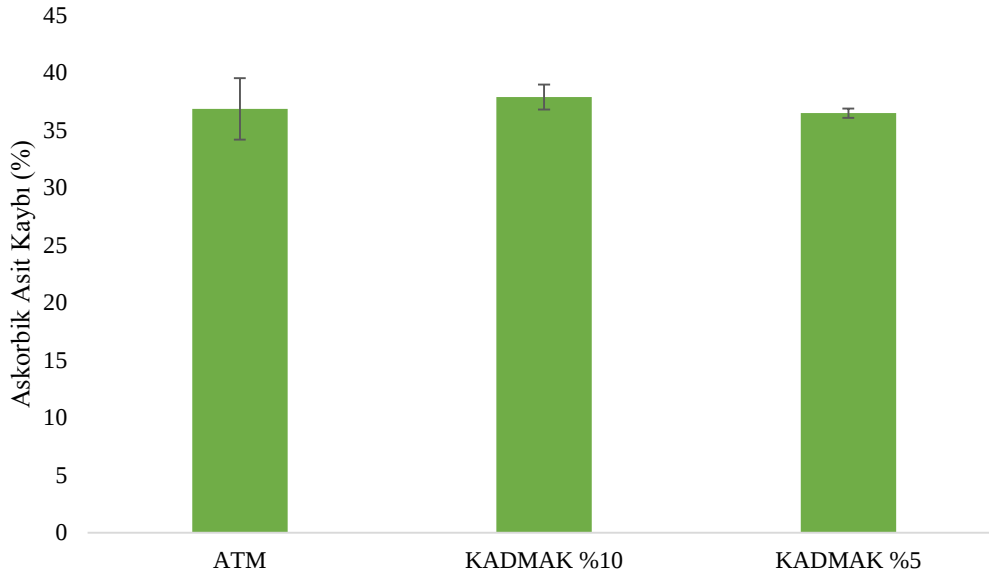


Şekil 4.19. Kurutulmuş kivilerin rehidrasyon özellikleri

Literatürde aynı tür kivilerin 60°C sıcak hava ile kurutulduktan sonra 50°C’de rehidrasyon kapasiteleri belirlenmiş ve 30 dk süre sonunda örneklerin su kazanımlarının %190 olduğu rapor edilmiştir (Maskan 2001). Rapor edilen bu yüksek değer, su geri kazanım testlerinin 50°C’de yapılmış olması ile ilişkili olabileceği değerlendirilmiştir.

#### 4.5.2.4. Kivilerde kurutma sırasında askorbik asit değişimleri

Gıdalarda doğal olarak bulunan ve C vitamini olarak bilinen askorbik asit, ortamdaki oksijen, ısı ve ışık gibi çevresel etkilerle degrade olmaktadır. Bu çalışmada geliştirilmesi hedeflenen kurutma yönteminin asıl hedeflerinden birisi, kurutulan materyalin besinsel ve fonksiyonel bileşenlerinde en az kayıpla kurutmayı sağlamasıdır. Bu amaçla, kurutulmuş kivilerin askorbik asit içeriği tespit edilmiş ve % kayıp cinsinden kıyaslamalı olarak Şekil 4.20’de verilmiştir. Kurutma öncesinde taze kivide  $595,45 \pm 84,1$  mg/100 g KM düzeyinde bulunan askorbik asit, kurutma işlemleri sonucunda en az %36 kayba uğramıştır. Kurutma yöntemleri arasında askorbik asit kaybı açısından istatistiksel olarak önemli bir fark bulunamamış olsa da en düşük değerler KADMAK (%5 oksijen) ile elde edilmiştir. Kivi örneklerinin kurutulması sırasında askorbik asit kaybının önlenmesinde KADMAK yöntemi, çilek örneklerindeki kadar etkili bulunmamıştır.

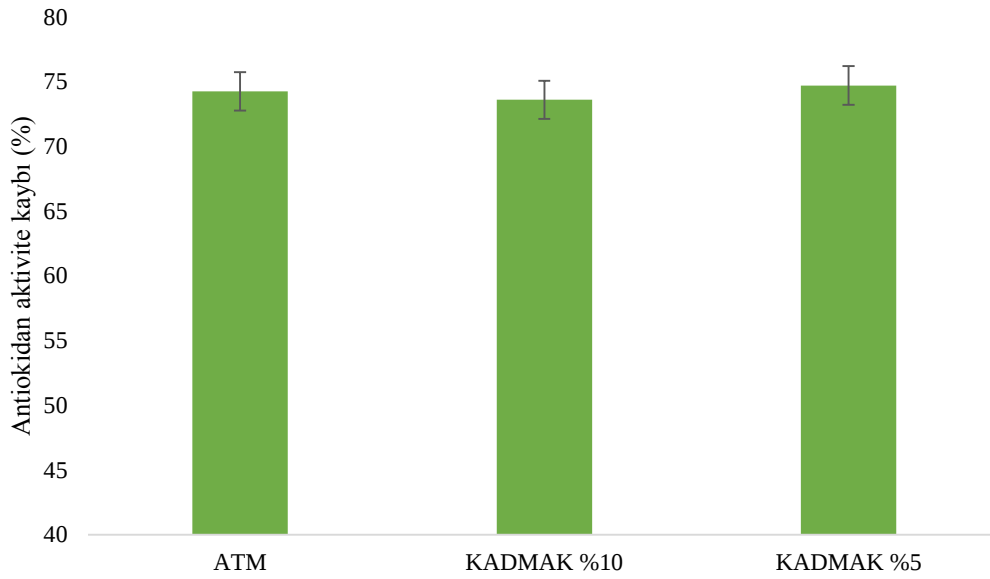


Şekil 4.20. Kurutulmuş kivilerin askorbik asit kaybı

Literatürde kivi örneklerinin inert atmosferde kurutulması ile ilgili bir çalışmaya rastlanmamıştır. Ancak bazı sebzelerin %100 azot ve %100 karbondioksit gazı altında kurutulması ile ilgili bir çalışmada (Ramesh vd 1999) kırmızı biberin inert gaz ortamında kurutulması sonucunda, sıcak hava ile kurutulmasına kıyasla %50 daha az askorbik asit kaybı olduğu bildirilirken; aynı çalışmada inert ortamda kurutulmuş patateslerin askorbik asit kayıplarının istatistiki olarak sıcak hava ile kurutulanlardan farklı olmadığı da belirtilmiştir. Askorbik asit degradasyonu sadece oksijen kontrolünde gerçekleşmediğinden, ürünün maruz kaldığı sıcaklık ve ışık şiddeti ile bu çevresel etkilere maruz kalma süresinin de elde edilen bulgulardaki kayıplara yol açmış olabileceği değerlendirilmiştir.

#### 4.5.2.5. Kivilerde kurutma sırasında antioksidan aktivite değişimleri

Kurutulmuş meyvelerin antioksidan aktivitesinin belirleme yöntemlerinden birisi, bilinen konsantrasyondaki ürün ekstraktının DPPH radikalının %50'sini inhibe etmesinin bir ölçüsü olan  $IC_{50}$  değeridir. Taze kivi örneklerinin  $IC_{50}$  değeri  $16,22 \pm 0,44$  mg/mg DPPH olarak tespit edilmiştir. Kurutma sonrası örneklerde de  $IC_{50}$  değer artışları hesaplanmış ve bulgular antioksidan aktivite kaybı (%) olarak Şekil 4.21'de verilmiştir.



Şekil 4.21. Kurutulmuş kivilerin antioksidan aktivite kaybı

Uygulanan kurutma yöntemleri arasında antioksidan aktivite kayıpları bakımından önemli bir fark bulunmamıştır. Tüm yöntemlerde antioksidan aktivite kaybının kiviler için %72'ten yüksek olduğu belirlenmiştir. Araştırma sonuçlarına uyumlu olarak literatürde, Orişasa vd (2014) tarafından gerçekleştirilen bir araştırmada kivilerin sıcak hava ile 50, 60 ve 70°C'de kurutulması sonucunda antioksidan aktivite kayıplarının sırasıyla %49-63, %40-55 ve %42-72 aralığında olduğu rapor edilmiştir. Bu sonuçlar çalışma bulgularına göre daha düşüktür. Antioksidan aktivite kayıplarındaki bu farklılığın analiz yöntemi, taze örneklerin olgunluk durumu, kurutma süresi ve işlem sıcaklığı kaynaklı olabileceği düşünülmüştür. Antioksidan aktivite kayıpları üzerine kurutma sıcaklığının etkisinin, kurutma havası gaz bileşiminin etkisinden daha fazla olduğu kanısına varılmıştır.

#### 4.5.3. Muzların kurutma yöntemleri ile fiziksel ve kimyasal özelliklerinin değişimi

Muz örneklerinin, kurutma ve depolama sırasındaki değişimlerini belirlemek için öncelikle hammadde özellikleri tespit edilmiş ve sonuçlar Çizelge 4.14'te verilmiştir.

Çizelge 4.14. Dilimlenmiş taze muzların hammadde özellikleri

| Özellikler                                          | Ortalama $\pm$ Std sapma |
|-----------------------------------------------------|--------------------------|
| Toplam kuru madde (g/100 g)                         | 25,1 $\pm$ 4,3           |
| Askorbik Asit (mg/100 g KM)                         | 28,19 $\pm$ 0,13         |
| Antioksidan Aktivite (g Troloks eşdeğeri / 100g KM) | 11,07 $\pm$ 0,01         |
| Renk değerleri                                      |                          |
| <i>L</i>                                            | 67,32 $\pm$ 5,14         |
| <i>a</i>                                            | -3,19 $\pm$ 0,36         |
| <i>b</i>                                            | 22,20 $\pm$ 3,66         |

Muz dilimleri, belirlenen işlem koşullarında, her bir kurutma yöntemi ile yaklaşık %10 (yaş baz) nem içeriğine kadar kurutulmuştur. Elde edilen kuru meyveler kurutma işleminin hemen sonrasında araştırmada öngörülen analizlere tabi tutulmuştur.

#### 4.5.3.1. Muzlarda kurutma sırasında meydana gelen nem içeriği ve su aktivitesi değişimleri

Taze muzların kurutma başlangıç nem değeri %72-76 aralığında ölçülmüş, farklı kurutma uygulamaları sonunda bu değerler %8,4 – 10,3 (yaş baz) aralığına düşmüştür. Su aktivitesi değerleri ise kurutma sonrasında 0,434-0,509 aralığında bulunmuştur. Duncan Çoklu Karşılaştırma testi ile kurutma yöntemlerinin son nem düzeyi ve su aktivitesi bakımından istatistiksel olarak farklılık gösterip göstermediği analiz edilmiş ve sonuçlar Çizelge 4.15'te verilmiştir. Kurutmada hedeflenen su aktivitesi düzeyine ulaşılmış ve ürünler homojen olarak kurutulmuşlardır. Kurutma yöntemlerine göre nem düzeyleri istatistiki açıdan önemli çıkmazken, su aktivitesi değeri arasındaki küçük farklar önemli çıkmıştır.

Çizelge 4.15. Kurutulmuş muzların nem içeriği ve su aktivitesi özellikleri

| Kurutma Yöntemi              | Nem içeriği (g/ 100 g)     | Su aktivitesi değeri ( $a_w$ ) |
|------------------------------|----------------------------|--------------------------------|
| ATM                          | 8,408 <sup>a</sup> ±0,607  | 0,434 <sup>c</sup> ±0,007      |
| KADMAK (%10 O <sub>2</sub> ) | 10,257 <sup>a</sup> ±1,243 | 0,509 <sup>a</sup> ± 0,002     |
| KADMAK (%5 O <sub>2</sub> )  | 9,584 <sup>a</sup> ±0,569  | 0,484 <sup>b</sup> ±0,002      |

Sonuçlar ortalama±standart hata olarak verilmiştir.

Sütunlardaki farklı harfler ortalamaların  $P<0,05$  seviyesinde farklı olduğunu gösterir.

Literatürdeki çalışmalarda Kara ve Demir (2012) tarafından kuruma kinetikleri incelenen muzlar; 6mm kalınlığında dilimlenmiş, 60°C sıcaklıkta ve 2 m/s hava hızında çalışan tepsili kurutucuda %10-14 (yaş baz) son nem düzeyine kadar kurutulmuştur. Farklı bir çalışmada ise, Mui vd (2002) tarafından muz cipsi üretmek amacıyla muzlar, 70°C sıcaklıkta, 1,1 m/s hava hızında kırılğan yapı kazanana kadar ( $a_w = 0,287$ ) kurutulmuşlardır. Bu çalışmada ulaşılan son nem düzeylerinin literatür ile uyumlu olduğu değerlendirilmiştir.

#### 4.5.3.2. Muzlarda kurutma sırasında meydana gelen renk değişimleri

Kurutulan muzların renk değişimlerinin belirlenmesi amacıyla kurutma işlemlerinin hemen sonrasında kontrollü kabin içerisinde görüntüleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Bilgisayar ortamında elde edilen RGB değerleri üzerinden Hunter  $L, a, b$  değerleri ve bu değerler kullanılarak da esmerleşme indeksi ve renk değişimi parametreleri hesaplanmış, bulgular Çizelge 4.16'da verilmiştir. Sonuçlara göre, kurutulmuş örneklerin parlaklık düzeyini ifade eden  $L$  değeri hariç, diğer bulgular kurutma yöntemlerine ve bu yöntemlerdeki kurutma atmosferine göre istatistiki açıdan farklılık göstermiştir. Taze muzlarda  $67,32 \pm 5,14$  olarak tespit edilen  $L$  değeri tüm uygulamalar sonucunda aynı düzeyde (%20) azalmıştır. Taze örneklerde -3,19 olarak belirlenen  $a$  değeri %10 düzeyindeki oksijen ortamında gerçekleşen KADMAK uygulaması ile en az değişime uğramıştır. Bunu %5 oksijen ortamında gerçekleştirilen KADMAK uygulaması izlemiştir. Ancak,  $L, a, b$  değerlerinde görülen bu değişimler kurutma yöntemleri arasında  $L, a, b$  değerleri üzerinden hesaplanan esmerleşme indeksi ve

renk değişimi açısından istatistiki olarak bir farklılığa sebep olacak düzeyde bulunmamıştır.

Çizelge 4.16. Kurutulmuş muzların  $L, a, b$  renk değerleri ile esmerleşme indeksi ve renk değişimi değerleri

| Kurutma Yöntemi              | $L$                      | $a$                      | $b$                      | Esmerleşme indeksi       | Renk Değişimi            |
|------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| ATM                          | 53,24 <sup>a</sup> ±0,71 | -1,00 <sup>a</sup> ±0,26 | 29,83 <sup>b</sup> ±0,23 | 75,33 <sup>a</sup> ±0,99 | 16,17 <sup>a</sup> ±0,54 |
| KADMAK (%10 O <sub>2</sub> ) | 53,89 <sup>a</sup> ±0,20 | -2,54 <sup>c</sup> ±0,08 | 31,20 <sup>a</sup> ±0,22 | 76,64 <sup>a</sup> ±0,46 | 16,18 <sup>a</sup> ±0,04 |
| KADMAK (%5 O <sub>2</sub> )  | 53,71 <sup>a</sup> ±0,21 | -1,75 <sup>b</sup> ±0,05 | 30,91 <sup>a</sup> ±0,26 | 77,17 <sup>a</sup> ±0,50 | 16,22 <sup>a</sup> ±0,03 |

Sonuçlar ortalama±standart hata olarak verilmiştir.

Sütunlardaki farklı harfler ortalamaların  $P < 0,05$  seviyesinde farklı olduğunu gösterir.

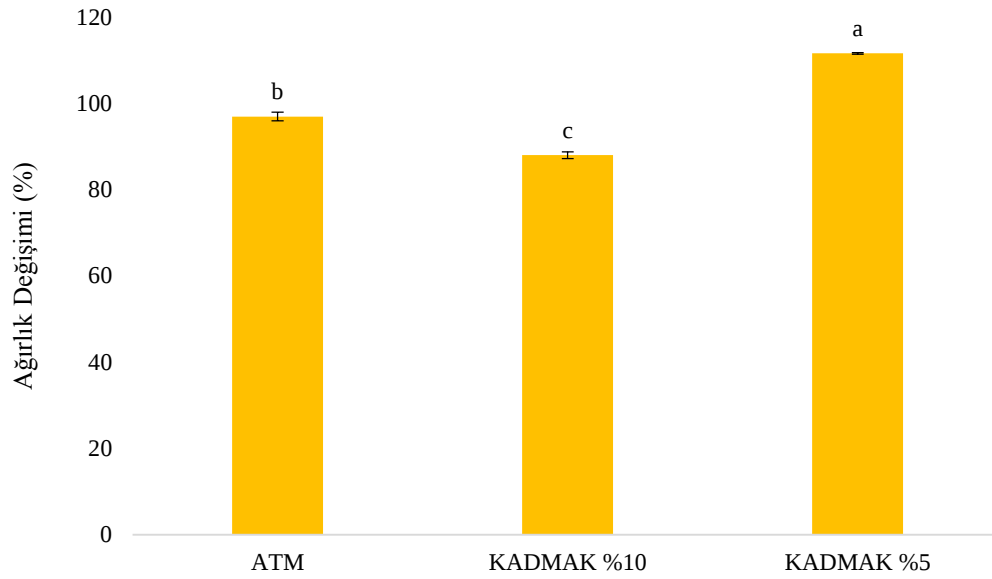
Elde edilen sonuçlar literatürdeki çalışmalar ile birlikte incelendiğinde her üç kurutma yönteminin de son ürün kalitesi açısından başarılı olduğu değerlendirilmiştir. Nitekim Mui vd (2002) tarafından 70°C sıcaklıkta gerçekleştirilen sıcak hava ile kurutma işleminde dilimlenmiş muzların renk değişimleri ölçülmüş, başlangıçta sırasıyla  $L:52$ ,  $a:-8,83$ ,  $b:22,6$  olarak tespit edilen  $L, a, b$  değerlerinin kurutma sonrasında  $L:41,3$ ,  $a:4,73$ ,  $b:14,9$  olarak değiştiği rapor edilmiştir. Araştırmacılar muz dilimlerinin sıcak hava ile kurutulması sonrasında sarıdan çok kahverengiye yakın bir renk aldığını da bildirmişlerdir. Bu çalışmada uygulanan KADMAK sisteminde ise benzer şartlarda kurutulan tüm örneklerin kurutma sonrası sarı/parlak rengi korunmuştur (Şekil 4.22). Bu sonuçlar çalışma hipotezini desteklemiş, kurutma ortamında oksijen miktarının düşürülmesiyle esmerleşme ve renk değişimi sınırlandırılmıştır. Sonuçlar, uygulanan kurutma işlemlerinin enzimatik ve enzimatik olmayan esmerleşme reaksiyonlarını yavaşlatmıştır. Nitekim, Martinez ve Labuza (1968), esmerleşme reaksiyonlarının su aktivitesi ve oksidasyon ile ilişkisini araştırdıkları bir çalışmada, oksidasyona sebep olan şartların (oksijen varlığı ve yüksek su aktivitesi), enzimatik esmerleşme reaksiyonlarını da hızlandırdığını ve enzimatik olmayan esmerleşmenin yüksek sıcaklık, düşük pH, yüksek nem ve oksijen varlığında daha hızlı gerçekleştiğini bildirmişlerdir.



Şekil 4.22. Muzların kurutma uygulamaları sonrası görüntüleri

#### 4.5.3.3. Kurutulmuş muzların rehidrasyon özellikleri

Kurutulmuş muz dilimlerinin rehidrasyon kapasiteleri su kazanımları sonucundaki ağırlık değişimi üzerinden hesaplanmış, sonuçlar Şekil 4.23’de gösterilmiştir. Farklı yöntemlerle kurutulan muzların rehidrasyon sonucu ağırlık değişimleri %88 ile %112 aralığında bulunmuştur. Uygulamalara ait ağırlık değişimleri arasında istatistiki açıdan önemli düzeyde fark bulunmuş olup, en yüksek su kazanım değeri %5 oksijen ortamında gerçekleştirilen KADMAK ile elde edilirken, en düşük değer %10 oksijen ortamındaki KADMAK ile hesaplanmıştır.

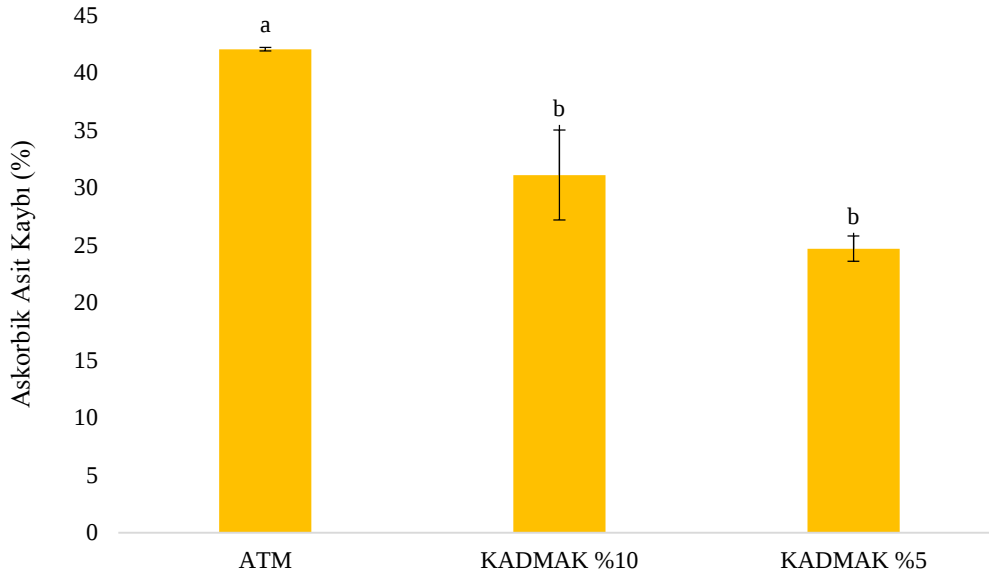


Şekil 4.23. Kurutulmuş muzların rehidrasyon özellikleri

Literatürde sıcak hava ile kurutulan muzların 40°C’de rehidrasyon kapasiteleri belirlenmiş ve 30dk süre sonunda örneklerin su kazanımlarının %40 olduğu rapor edilmiştir (Krokida ve Marinos-Kouris 2003). Farklı bir çalışmada ise Taiwo ve Adeyemi (2009) 10 mm kalınlığındaki muz dilimlerini 60°C’de sıcak hava ile kurutmuşlar ve kuruma sonrasında 30°C’de 30 dk tutulan kurutulmuş dilimlerin rehidrasyon kapasitelerini %50-55 aralığında belirlemişlerdir. Rehidrasyon kapasitesinin yüksek olması arzu edilen bir özellik olduğu için literatürdeki bu değere göre mevcut araştırma sonuçları daha başarılı bulunmuştur.

#### 4.5.3.4. Muzların kurutma sırasındaki askorbik asit değişimleri

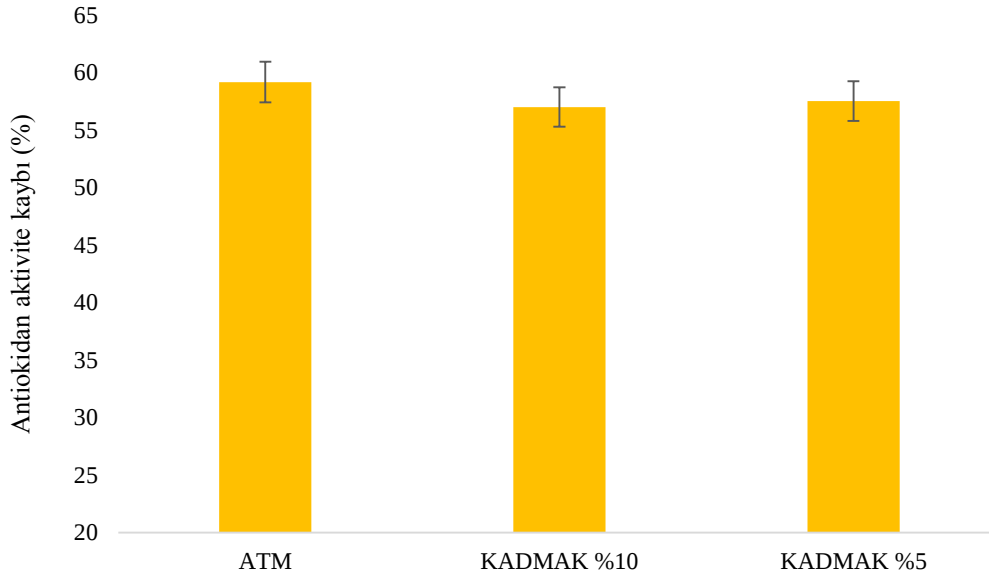
Askorbik asit kayıplarının minimum olması muzlar için de hedeflenen başarı kriterlerinden birisidir. Kurutulmuş muzlar için de bu değerler tespit edilmiş ve % kayıp olarak Şekil 4.24’te verilmiştir. Kurutma öncesinde taze muzlarda  $28,19 \pm 0,13$  mg/100 g KM düzeyinde bulunan askorbik asit, kurutma işlemleri sonucunda %25-42 aralığında kayba uğramıştır. Kurutma yöntemleri arasında askorbik asit kaybı açısından istatistiksel olarak önemli farklılıklar bulunmuş, en düşük kayıp %5 oksijen ortamındaki KADMAK ile elde edilmiştir. Muz örneklerinin kurutulması sırasında askorbik asit kaybının önlenmesinde KADMAK yöntemi kısmen başarılı bulunmuştur. Bu sonuç, askorbik asit degradasyonunun oksijen varlığından kaynaklandığını düşündürmektedir (Ramesh vd 1999).



Şekil 4.24. Kurutulmuş muzların askorbik asit kaybı

#### 4.5.3.5. Muzlarda kurutma sırasında antioksidan aktivite değişimleri

Kurutulmuş ürünlerdeki bir diğer besinsel kalite parametresi de antioksidan aktivite değerleridir. Taze muzların antioksidan aktivitesi  $11,07 \pm 0,011$  g Troloks eşdeğeri / 100g KM olarak tespit edilmiştir. Kurutma sonrası örneklerin antioksidan aktiviteleri aynı şekilde hesaplanmış ve bulgular antioksidan aktivite kaybı (%) olarak Şekil 4.25'te verilmiştir.



Şekil 4.25. Kurutulmuş muzların antioksidan aktivite kaybı

Kurutma yöntemleri arasında antioksidan aktivite kayıpları bakımından istatistiki açıdan önemli bir fark bulunmamıştır. Tüm yöntemlerde antioksidan aktivite kaybının örnekler için %57'den yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bu yüksek kayıplar doğrudan sıcak hava etkisiyle ilişkilendirilmiştir.

#### **4.6. Farklı Depolama Koşullarının Ürünün Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri Üzerine Etkisi**

Kurutulmuş meyveler genel olarak oda sıcaklığı koşullarında açıkta veya ambalaj içerisinde uzun süre muhafaza edilebilmekte ve pazarlanmaktadır. Bu ürünlerin uzun süreli ekonomik değeri depolama sırasındaki değişimleri ile de ilişkilidir. Genel olarak kurutulmuş meyveler depolama sırasında besin ve kalite kaybına uğramakta olup, bu kayıpları engellemek için gıda sanayisinde kükürtleme, vakum ambalajlama, MAP, soğukta depolama gibi yöntemler uygulanmaktadır.

Bu uygulamalar göz önünde bulundurularak, çalışma kapsamında elde edilen ürünler PVC/EVOH/PE lamine tabaklar içerisinde normal ve modifiye (%95 N<sub>2</sub>) atmosferde paketlenerek (Şekil 4.26) oda sıcaklığında (20-25°C) 90 gün süreyle depolanmış ve bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri depolama süresince takip edilmiştir.



Şekil 4.26. Kurutulmuş çileklerin depolama sırasındaki ambalajlı görüntüsü

##### **4.6.1. Çileklerin depolama ile fiziksel ve kimyasal özelliklerinin değişimi**

Depolama sırasında kurutulmuş çilek dilimlerinin nem içeriği ve su aktivitesi değişimi, renk değişimi, rehidrasyon kapasiteleri, askorbik asit kaybı, HMF oluşumu, antioksidan aktivite ve toplam monomerik antosiyanin kaybı ve aroma değişimi izlenmiştir.

#### 4.6.1.1. Çileklerin depolama sırasında nem içeriği ve su aktivitesi değişimleri

Kurutulmuş çilek örneklerinin nem içeriği ve su aktivitesi değerlerine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları Çizelge 4.17’de verilmiştir. Nem geçirgenliği düşük olan polietilen ambalajlar içerisinde depolanan ürünlerin 4 aylık depolama boyunca kurutma yöntemlerinin ortalama değerleri üzerinden nem düzeyleri %10,78-13,62 ve su aktivitesi değerleri 0,52-0,57 arasında değişim göstermiştir. Bu nem içeriği ve su aktivitesi değerleri kurutulmuş meyvelerin mikrobiyolojik ve kimyasal değişimler açısından kararlı olduğu seviyededir.

Kurutulmuş çilekler normal ve modifiye atmosfer ambalajlama yapılarak oda sıcaklığında depolanmış ve bu uygulamalara göre ürünlerin nem içeriği ve su aktivitesinde istatistiki olarak önemli bir farklılık bulunmamıştır (Çizelge 4.17).

Çizelge 4.17. Depolama koşullarında çileklerin nem içeriği ve su aktivitesi değişimleri

| Depolama Süresi (gün) | Nem içeriği (g/100 g)       | Su aktivitesi           |
|-----------------------|-----------------------------|-------------------------|
| 0                     | 10,780 <sup>b</sup> ±1,120  | 0,52 <sup>b</sup> ±0,03 |
| 30                    | 13,623 <sup>a</sup> ±0,978  | 0,55 <sup>a</sup> ±0,02 |
| 60                    | 11,353 <sup>ab</sup> ±0,990 | 0,57 <sup>a</sup> ±0,02 |
| 120                   | 11,323 <sup>ab</sup> ±0,648 | 0,56 <sup>a</sup> ±0,01 |
| Ambalaj Atmosferi     |                             |                         |
| Hava                  | 11,339 <sup>a</sup> ±0,710  | 0,55 <sup>a</sup> ±0,01 |
| Azot (%95)            | 12,650 <sup>a</sup> ±0,658  | 0,55 <sup>a</sup> ±0,01 |

Sonuçlar ortalama±standart hata olarak verilmiştir.

Sütünlardaki farklı harfler ortalamanın  $P<0,05$  seviyesinde farklı olduğunu gösterir.

#### 4.6.1.2. Çileklerin depolama ile renk değişimleri

Farklı yöntemlerle kurutularak modifiye ve normal atmosfer koşullarında depolamaya alınan çileklerin depolama süresindeki esmerleşme durumu  $L$ ,  $a$ ,  $b$  değerleri üzerinden hesaplanmış, sonuçlar Çizelge 4.18’de verilmiştir. Sonuçlara göre ürünlerin esmerleşme indeksi uygulanan kurutma yöntemine, depolama süresine ve depolama koşullarına göre önemli ( $P<0,05$ ) düzeyde farklılık göstermiştir. Ürünlerin esmerleşme indeksi depolamanın ilk iki ayında sınırlı düzeyde kalmış, OZM + KADMAK yöntemiyle kurutulanlar dışındaki kurutma yöntemlerinin hiçbirinde çileklerde belirgin bir esmerleşme gerçekleşmemiştir. Ancak depolamanın son iki ayında tüm örneklerde esmerleşme indeksi değerleri 34’ün üzerine çıkmıştır.

Ambalajlama tipine göre bir kıyaslama yapıldığında, genel olarak modifiye atmosferde paketlenmiş örnekler normal atmosferde paketlenmiş olanlara kıyasla daha az esmerleşmiştir. Örnekler arasında en az esmerleşenler donuk kurutma yöntemiyle kurutularak depolanan çilekler olmuştur. Tüm örnekler arasında en yüksek esmerleşme indeksine OZM + KADMAK yöntemiyle kurutulan çilekler sahip olmuştur. Bu yüksek esmerleşmenin daha çok şeker-amin tepkimesiyle gerçekleşen Maillard rekasiyonları ile ilişkili olabileceği düşünülmüştür. Ancak oksijen varlığında depolanan örneklerde daha yüksek düzeyde esmerleşme indeksi belirlenmesi, kısmen enzimatik esmerleşmenin de olduğunu göstermektedir. Bunlara ilaveten ürünün nem içeriğindeki farklılıkların da esmerleşme indeksindeki farklılıklara neden olabileceği göz ardı edilmemelidir (Martinez

ev Labuza 1968). Literatürde nem içeriği yüksek (%15-20 yaş baz) meyvelerdeki esmerleşmenin düşük nem içerikli meyvelere göre daha fazla olduğu bildirilmiştir (Cemeroğlu 2009).

Çizelge 4.18. Depolama süresi ve ambalaj atmosfer bileşiminin çileklerin esmerleşme indeksi üzerine etkisi

| Kurutma Yöntemi                       | Depolama Süresi (gün)    |                           |                             |                               |
|---------------------------------------|--------------------------|---------------------------|-----------------------------|-------------------------------|
|                                       | 0                        | 30                        | 60                          | 120                           |
| <b>Modifiye atmosferde paketlenme</b> |                          |                           |                             |                               |
| ATM                                   | 0,00 <sup>aC</sup> ±0,00 | 6,02 <sup>aC</sup> ±0,57  | 11,09 <sup>cdB</sup> ±1,74  | 34,20 <sup>eA</sup> ±5,35     |
| DONUK                                 | 0,00 <sup>aB</sup> ±0,00 | 4,04 <sup>aB</sup> ±2,09  | 3,52 <sup>dB</sup> ±5,86    | 42,29 <sup>bcdA</sup> ±5,29   |
| KADMAK                                | 0,00 <sup>aD</sup> ±0,00 | 5,02 <sup>aC</sup> ±0,76  | 15,15 <sup>bcdB</sup> ±1,79 | 44,07 <sup>abcdeA</sup> ±1,15 |
| ATM + KADMAK                          | 0,00 <sup>aC</sup> ±0,00 | 4,36 <sup>aC</sup> ±2,01  | 15,21 <sup>bcdB</sup> ±0,35 | 38,14 <sup>ecdA</sup> ±2,15   |
| OZM + KADMAK                          | 0,00 <sup>aC</sup> ±0,00 | 19,89 <sup>aB</sup> ±5,52 | 23,68 <sup>abcB</sup> ±0,43 | 52,05 <sup>abA</sup> ±1,85    |
| <b>Normal atmosferde paketlenme</b>   |                          |                           |                             |                               |
| ATM                                   | 0,00 <sup>aC</sup> ±0,00 | 5,02 <sup>aC</sup> ±3,28  | 18,26 <sup>bcB</sup> ±0,63  | 42,82 <sup>bcdA</sup> ±3,44   |
| DONUK                                 | 0,00 <sup>aB</sup> ±0,00 | -0,05 <sup>aB</sup> ±5,52 | 2,81 <sup>dB</sup> ±4,65    | 37,65 <sup>edA</sup> ±3,78    |
| KADMAK                                | 0,00 <sup>aC</sup> ±0,00 | 16,84 <sup>aB</sup> ±7,70 | 16,25 <sup>bcB</sup> ±2,43  | 49,17 <sup>abcA</sup> ±1,16   |
| ATM + KADMAK                          | 0,00 <sup>aC</sup> ±0,00 | 8,82 <sup>aC</sup> ±2,59  | 23,90 <sup>abB</sup> ±3,76  | 46,52 <sup>abcdA</sup> ±2,92  |
| OZM + KADMAK                          | 0,00 <sup>aC</sup> ±0,00 | 23,74 <sup>aB</sup> ±0,71 | 31,50 <sup>aB</sup> ±7,05   | 54,43 <sup>aA</sup> ±1,75     |

Sonuçlar ortalama±standart hata olarak verilmiştir

Aynı sütundaki farklı küçük harfler ve aynı satırdaki farklı büyük harfler ortalamanın farklı olduğunu gösterir ( $P<0,05$ )

Kurutulmuş çileklerin kontrollü koşullarda alınan görüntülerine ait  $L$ ,  $a$ ,  $b$  değerleri üzerinden hesaplanan toplam renk değişimi de uygulanan kurutma yöntemlerine, depolama süresine ve ambalajlama tipine göre önemli ( $P<0,05$ ) düzeyde farklılık göstermiştir (Çizelge 4.19). Depolamanın ilk 30 günlük süresi sonunda yapılan renk analizlerine göre bu süre sonundaki en yüksek renk değişimi donuk kurutulmuş ve normal atmosferde paketlenmiş ürünlerde belirlenmiştir. Donuk kurutulmuş örneklerdeki bu renk değişiminin diğer tüm kurutma yöntemlerinden farklı olarak pembe-sarı arası bir geçiş renginde olduğu tespit edilmiştir. Ancak depolamanın devam eden dönemlerinde örneğin pembe-sarı rengi, pembe-kahverengi renge dönüşmüş ve örneğin depolama başlangıç rengine yakın bir değer tespit edilmiştir. Bu dönüşüm modifiye atmosferde paketlenmiş ürünlerde daha hızlı gerçekleşmiştir. Atmosfer kurutma, KADMAK ve atmosfer + KADMAK uygulamaları ile elde edilen çileklerde depolamanın 60. gününden itibaren istatistiksel olarak önemli farklılıklar tespit edilmemiştir. Depolamanın 30 günlük süresi sonunda; depolama başlangıcına göre en az renk değişimi, taze örneğe göre ise en çok renk değişimi ozmotik ön kurutma + KADMAK yönteminden elde edilen ürünlerde belirlenmiştir. 120 günlük depolama sonundaki, her iki paketlenme yönteminde de en çok renk değişimi ozmotik ön kurutma + KADMAK yöntemiyle üretilen ürünlerde belirlenmiştir. Depolama süresine bağlı olarak farklılık gösteren bu renk değişimlerinin

ürünlerin başlangıç nem içeriği ve su aktivitesi değerlerindeki farklılıklar ile ilişkili olduğu düşünülmektedir (Topuz 2008).

Çizelge 4.19. Depolama süresi ve ambalaj atmosfer bileşiminin çileklerin renk değişimi üzerine etkisi

| Kurutma Yöntemi                       | Depolama Süresi (gün)    |                           |                            |                             |
|---------------------------------------|--------------------------|---------------------------|----------------------------|-----------------------------|
|                                       | 0                        | 30                        | 60                         | 120                         |
| <b>Modifiye atmosferde paketlenme</b> |                          |                           |                            |                             |
| ATM                                   | 0,00 <sup>aC</sup> ±0,00 | 9,97 <sup>bA</sup> ±1,29  | 4,61 <sup>bB</sup> ±1,07   | -10,12 <sup>bD</sup> ±1,00  |
| DONUK                                 | 0,00 <sup>aB</sup> ±0,00 | 24,25 <sup>aA</sup> ±0,50 | 6,62 <sup>bB</sup> ±2,40   | 3,85 <sup>aB</sup> ±2,45    |
| KADMAK                                | 0,00 <sup>aA</sup> ±0,00 | 6,35 <sup>bC</sup> ±0,89  | 4,88 <sup>bA</sup> ±3,07   | -9,76 <sup>bB</sup> ±1,36   |
| ATM + KADMAK                          | 0,00 <sup>aB</sup> ±0,00 | 9,95 <sup>bA</sup> ±0,10  | 4,03 <sup>bAB</sup> ±1,82  | -12,35 <sup>bcC</sup> ±3,45 |
| OZM + KADMAK                          | 0,00 <sup>aA</sup> ±0,00 | -0,19 <sup>dA</sup> ±0,00 | -35,62 <sup>cB</sup> ±2,87 | -41,19 <sup>dB</sup> ±0,27  |
| <b>Normal atmosferde paketlenme</b>   |                          |                           |                            |                             |
| ATM                                   | 0,00 <sup>aB</sup> ±0,00 | 9,20 <sup>bA</sup> ±1,19  | 3,33 <sup>bAB</sup> ±3,33  | -13,20 <sup>bcC</sup> ±0,78 |
| DONUK                                 | 0,00 <sup>aB</sup> ±0,00 | 21,01 <sup>aA</sup> ±2,14 | 28,01 <sup>aA</sup> ±2,49  | -0,75 <sup>aB</sup> ±2,62   |
| KADMAK                                | 0,00 <sup>aA</sup> ±0,00 | 3,09 <sup>cdA</sup> ±2,53 | -0,75 <sup>bA</sup> ±2,62  | -10,96 <sup>bA</sup> ±4,44  |
| ATM + KADMAK                          | 0,00 <sup>aA</sup> ±0,00 | 6,95 <sup>bcA</sup> ±3,10 | -0,87 <sup>bA</sup> ±1,39  | -20,70 <sup>cB</sup> ±4,69  |
| OZM + KADMAK                          | 0,00 <sup>aA</sup> ±0,00 | -1,75 <sup>dA</sup> ±0,00 | -30,75 <sup>cB</sup> ±1,61 | -43,96 <sup>dC</sup> ±2,34  |

Sonuçlar ortalama±standart hata olarak verilmiştir

Aynı sütundaki farklı küçük harfler ve aynı satırdaki farklı büyük harfler ortalamanın farklı olduğunu gösterir ( $P<0,05$ )

#### 4.6.1.3. Çileklerin depolama sırasında askorbit asit değişimleri

Araştırmada uygulanan herbir kurutma yönteminden elde edilen çilek dilimlerinin askorbik asit açısından depolama stabilitesi değerlendirilmiş ve uygulanan kurutma ve ambalajlama yöntemlerine göre zamana bağlı askorbik asit değişimine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi Sonuçları Çizelge 4.20’de verilmiştir. Bu sonuçlara göre her iki paketlenme yönteminde de depolama boyunca en yüksek askorbik asit kaybı donuk kurutulmuş çileklerde gerçekleşmiştir (%66,1-68,9). Benzer şekilde ikinci sıradaki en yüksek askorbik asit kaybı KADMAK uygulamasında belirlenmiştir. Depolama sırasında en az askorbik asit kaybı ise atmosferik koşullarda kurutulan ürünlerde bulunmuştur.

Paketlenme yöntemleri birbiriyle karşılaştırıldığında depolama periyodunun her aşamasında normal atmosfer (hava) ile paketlenen ürünlerde modifiye atmosfer (%95 N<sub>2</sub>) ile paketlenenlere kıyasla önemli düzeyde daha fazla askorbik asit kaybı olduğu, ancak belirlenen bu farkın öngörülen düzeyde olmadığı tespit edilmiştir. Depolamanın başlangıç aşamasındaki askorbik asit miktarları dikkate alındığında depolama ile meydana gelen askorbik asit kayıplarının başlangıç askorbik asit konsantrasyonu ile ilişkili olduğu yorumlanmıştır. Nitekim depolama başlangıcında en yüksek askorbik asit içeriğine sahip olan donuk kurutulmuş ürünlerde (496,8 mg/100 g) depolama boyunca her iki paketlenmede de en yüksek askorbik asit kayıpları tespit edilmiştir. Buna karşın başlangıç askorbik asit içeriği düşük olan ATM yöntemi ile kurutulmuş çileklerin depolama

boyunca askorbik asit kaybı en az gerçekleşmiştir. Literatürde çileklerin askorbik asit degradasyonunun birinci dereceden kinetiğe uygun olduğu ve bu kinetik modelde degradasyon hızının başlangıç konsantrasyonuna bağlı olduğu bildirilmektedir (Patras vd 2011). Bu bilgiyle başlangıç konsantrasyonu yüksek olan ürünlerin degradasyon oranının da yüksek olması literatür ile uyumlu bir sonuç olarak değerlendirilmiştir. Ancak, çalışmamızda OZM + KADMAK kombinasyonu ile kurutulan çileklerin depolanmasında meydana gelen askorbik asit kaybı literatür ile uyumlu olan bu yaklaşımdan farklı gerçekleşmiştir. Bu yöntemle elde edilen üründe başlangıç askorbik asit miktarı düşük (141,7 mg/100 g) olmasına rağmen, depolama ile degradasyon yine yüksek düzeyde devam etmiştir. Bu farklılığın örneklerin depolama başlangıcındaki su aktivitesi değerleri göz önüne alındığında yüksek düzeydeki su aktivitesi değerinden kaynaklanabileceği değerlendirilmiştir. Nitekim su aktivitesinin askorbik asit degradasyon kinetiğini ve hızını değiştirdiğini bildiren çalışmalar mevcuttur (Laing vd 1978, Uddin vd 2002).

Çizelge 4.20. Depolama süresi ve ambalaj atmosfer bileşiminin çileklerin askorbik asit kaybı üzerine etkisi

| Kurutma Yöntemi                       | Depolama Süresi (gün)    |                            |                            |                            |
|---------------------------------------|--------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
|                                       | 0                        | 30                         | 60                         | 120                        |
| <b>Modifiye atmosferde paketlenme</b> |                          |                            |                            |                            |
| ATM                                   | 0,00 <sup>aC</sup> ±0,00 | 6,74 <sup>fB</sup> ±1,24   | 11,50 <sup>eB</sup> ±1,90  | 30,87 <sup>cA</sup> ±1,46  |
| DONUK                                 | 0,00 <sup>aD</sup> ±0,00 | 8,81 <sup>defC</sup> ±0,98 | 21,56 <sup>dB</sup> ±2,42  | 66,06 <sup>aA</sup> ±1,94  |
| KADMAK                                | 0,00 <sup>aC</sup> ±0,00 | 7,09 <sup>efC</sup> ±0,73  | 16,94 <sup>edB</sup> ±2,06 | 54,13 <sup>bA</sup> ±3,97  |
| ATM + KADMAK                          | 0,00 <sup>aD</sup> ±0,00 | 8,88 <sup>defC</sup> ±0,55 | 17,99 <sup>edB</sup> ±1,46 | 49,75 <sup>bA</sup> ±1,64  |
| OZM + KADMAK                          | 0,00 <sup>aD</sup> ±0,00 | 13,60 <sup>bC</sup> ±1,06  | 29,43 <sup>bcB</sup> ±1,85 | 56,14 <sup>bcA</sup> ±3,25 |
| <b>Normal atmosferde paketlenme</b>   |                          |                            |                            |                            |
| ATM                                   | 0,00 <sup>aD</sup> ±0,00 | 13,70 <sup>bC</sup> ±0,50  | 24,57 <sup>cdB</sup> ±0,89 | 32,11 <sup>cA</sup> ±1,16  |
| DONUK                                 | 0,00 <sup>aD</sup> ±0,00 | 22,22 <sup>aC</sup> ±0,14  | 32,24 <sup>bB</sup> ±0,20  | 68,86 <sup>aA</sup> ±0,43  |
| KADMAK                                | 0,00 <sup>aD</sup> ±0,00 | 9,69 <sup>cedC</sup> ±0,01 | 17,10 <sup>deB</sup> ±0,01 | 55,18 <sup>bA</sup> ±0,02  |
| ATM + KADMAK                          | 0,00 <sup>aD</sup> ±0,00 | 11,79 <sup>bcC</sup> ±0,46 | 21,10 <sup>dB</sup> ±0,81  | 57,25 <sup>bA</sup> ±2,21  |
| OZM + KADMAK                          | 0,00 <sup>aB</sup> ±0,00 | 9,91 <sup>cdB</sup> ±1,28  | 42,46 <sup>aA</sup> ±5,50  | 51,09 <sup>bA</sup> ±2,39  |

Sonuçlar yüzde (%) ortalama±standart hata olarak verilmiştir.

Aynı sütundaki farklı küçük harfler ve aynı satırdaki farklı büyük harfler ortalamanın farklı olduğunu gösterir ( $P<0,05$ ).

#### 4.6.1.4. Çileklerin depolama sırasında toplam monomerik antosiyanin değişimi

Toplam monomerik antosiyanin içeriği çileğin antioksidan özellikli pigmenti olup, bu pigment çileğe rengini vermektedir. Bu nedenle TMA'nın depolama sırasındaki değişimi analiz edilmiştir. Farklı kurutma yöntemleriyle elde edilen kuru çilek dilimlerinin modifiye ve normal atmosfer depolama koşullarında zamana bağlı TMA değişimine ait sonuçlar Çizelge 4.21'de verilmiştir. Sonuçlar kuru çileklerin TMA içeriğinin depolama süresine bağlı olarak uygulamaların tamamında önemli ( $P<0,01$ ) düzeyde azaldığını göstermiştir. İzlenen depolama süresi sonunda tüm uygulamalarda %80'in üzerinde TMA kaybı meydana gelmiştir. Modifiye atmosferde paketlenmiş ürünlerin TMA kayıpları normal atmosfer depolamasına göre daha az gerçekleşmiştir.

Ancak zamana bağlı kayıplar bu farklılığa nazaran çok daha fazladır. Kurutma yöntemlerine göre depolamada en yüksek kayıplar OZM + KADMAK yöntemiyle kurutulan çileklerde belirlenmiştir. Antosiyaninler, gıdalara turuncu, kırmızı, mor ve mavi renklerini veren doğal renk pigmentleridir. Bu özelliklerinin yanında toksisitelerinin çok düşük olması ve serbest radikalleri inhibe etme güçleri fonksiyonel özelliklerindendir (Wrolstad 2004). Ancak, bu bileşenlerin gıda işleme ve depolama süresince kararlılıkları çok düşüktür. Özellikle işlem ve depolama sıcaklığı, ortamdaki ışık ve oksijen varlığı, pH ve asitlik değişimlerinden çok fazla etkilenirler (Ersus ve Yurdagel 2007). Ayrıca antosiyaninlerin degradasyonu ile ilgili yapılmış olan pekçok çalışmada depolama süresince parçalanmanın devam ettiği ve degradasyon tepkimesinin 1. derece kinetik modele uygun olduğu da bildirilmiştir (Tonon vd 2010). Kurutma yöntemlerine göre en çok kayıp ozmotik kurutma ile ön kurutulan örneklerde tespit edilmiştir. Bu yüksek kayba, kurutulan örneklerin ozmotik basınca maruz kalması sonucu hücre yapısının bozulması ve bununla birlikte ozmotik kurutmanın oksidasyona uygun şartlarda gerçekleşmesinin neden olduğu değerlendirilmiştir. Ayrıca, literatürdeki çalışmalar ışığında, örneklerin antosiyanin içerikleri arasında tespit edilen farklılıkların paketleme atmosferi ile doğrudan ilişkili olduğu sonucuna varılmıştır.

Çizelge 4.21. Depolama süresi ve ambalaj atmosfer bileşiminin çileklerin toplam monomerik antosiyanin kaybı üzerine etkisi

| Kurutma Yöntemi                      | Depolama Süresi (gün)    |                             |                            |                              |
|--------------------------------------|--------------------------|-----------------------------|----------------------------|------------------------------|
|                                      | 0                        | 30                          | 60                         | 120                          |
| <b>Modifiye atmosferde paketleme</b> |                          |                             |                            |                              |
| ATM                                  | 0,00 <sup>aD</sup> ±0,00 | 42,78 <sup>deC</sup> ±0,56  | 71,96 <sup>cdB</sup> ±0,33 | 80,87 <sup>dA</sup> ±3,61    |
| DONUK                                | 0,00 <sup>aD</sup> ±0,00 | 41,56 <sup>deC</sup> ±4,57  | 70,43 <sup>cdB</sup> ±2,23 | 84,31 <sup>cdA</sup> ±1,57   |
| KADMAK                               | 0,00 <sup>aD</sup> ±0,00 | 38,91 <sup>eC</sup> ±7,74   | 66,35 <sup>dB</sup> ±3,19  | 84,32 <sup>cdA</sup> ±2,59   |
| ATM + KADMAK                         | 0,00 <sup>aD</sup> ±0,00 | 58,98 <sup>bcC</sup> ±2,59  | 74,22 <sup>cB</sup> ±2,13  | 87,52 <sup>bcdA</sup> ±0,36  |
| OZM + KADMAK                         | 0,00 <sup>aD</sup> ±0,00 | 68,81 <sup>abC</sup> ±3,24  | 84,79 <sup>bB</sup> ±0,88  | 92,48 <sup>abA</sup> ±1,74   |
| <b>Normal atmosferde paketleme</b>   |                          |                             |                            |                              |
| ATM                                  | 0,00 <sup>aC</sup> ±0,00 | 41,22 <sup>deB</sup> ±6,41  | 75,26 <sup>cA</sup> ±1,11  | 87,68 <sup>abcdA</sup> ±2,50 |
| DONUK                                | 0,00 <sup>aD</sup> ±0,00 | 45,20 <sup>cdeC</sup> ±3,76 | 72,59 <sup>cB</sup> ±1,88  | 86,81 <sup>bcdA</sup> ±0,37  |
| KADMAK                               | 0,00 <sup>aC</sup> ±0,00 | 42,86 <sup>deB</sup> ±6,33  | 74,50 <sup>cA</sup> ±2,33  | 88,46 <sup>abcA</sup> ±3,19  |
| ATM + KADMAK                         | 0,00 <sup>aC</sup> ±0,00 | 56,28 <sup>bcdB</sup> ±3,40 | 82,18 <sup>bA</sup> ±0,16  | 88,53 <sup>abcA</sup> ±0,71  |
| OZM + KADMAK                         | 0,00 <sup>aC</sup> ±0,00 | 77,40 <sup>aB</sup> ±2,74   | 90,35 <sup>aA</sup> ±0,56  | 94,94 <sup>aA</sup> ±1,65    |

Sonuçlar yüzde (%) ortalama±standart hata olarak verilmiştir

Aynı sütundaki farklı küçük harfler ve aynı satırdaki farklı büyük harfler ortalamanın farklı olduğunu gösterir ( $P<0,05$ )

#### 4.6.1.5. Çileklerin depolama sırasında antioksidan aktivite değişimi

Farklı kurutma yöntemleri ile kurutulan çileklerin modifiye ve normal atmosfer koşullarında paketlenmiş olarak depolanması sırasında meydana gelen antioksidan aktivite kayıpları Çizelge 4.22’de görülmektedir. Sonuçlar kurutulmuş çileklerin antioksidan aktivitesinin depolama zamanına, kurutma yöntemlerine ve paketleme atmosfer bileşimine bağlı olarak önemli düzeyde farklı olduğunu göstermektedir.

Depolama süresince en yüksek antioksidan aktivite kaybı, ilk iki aylık depolama periyodu içerisinde gerçekleşmiştir. Devam eden depolama periyodunda meydana gelen antioksidan aktivite kayıpları bu aylara nazaran daha düşük kalmıştır. Kurutma yöntemlerine göre bir değerlendirme yapıldığında, en yüksek antioksidan aktivite kayıpları KADMAK yöntemiyle kurutularak depolanan çileklerde gerçekleşmiştir. Paketleme tipine göre antioksidan aktivite kayıpları ilk aylarda daha çok normal atmosferde paketlenen ürünlerde gerçekleşirken, devam eden depolama süreçlerinde paketlemeler arasında genel olarak belirgin bir farklılık kalmadığı göze çarpmıştır.

Çizelge 4.22. Depolama süresi ve ambalaj atmosfer bileşiminin antioksidan aktivite kaybı üzerine etkisi

| Kurutma Yöntemi               | Depolama Süresi (gün)    |                            |                             |                             |
|-------------------------------|--------------------------|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
|                               | 0                        | 30                         | 60                          | 120                         |
| Modifiye atmosferde paketleme |                          |                            |                             |                             |
| ATM                           | 0,00 <sup>aD</sup> ±0,00 | 14,24 <sup>eC</sup> ±0,34  | 58,09 <sup>abcB</sup> ±3,41 | 75,75 <sup>abcA</sup> ±1,14 |
| DONUK                         | 0,00 <sup>aD</sup> ±0,00 | 21,12 <sup>dC</sup> ±0,73  | 44,35 <sup>cdB</sup> ±0,66  | 68,74 <sup>cdA</sup> ±1,07  |
| KADMAK                        | 0,00 <sup>aD</sup> ±0,00 | 21,69 <sup>cdC</sup> ±0,63 | 61,25 <sup>abB</sup> ±6,85  | 79,25 <sup>abA</sup> ±0,89  |
| ATM + KADMAK                  | 0,00 <sup>aD</sup> ±0,00 | 13,36 <sup>eC</sup> ±0,73  | 37,75 <sup>dB</sup> ±1,71   | 57,78 <sup>eA</sup> ±0,86   |
| OZM + KADMAK                  | 0,00 <sup>aC</sup> ±0,00 | 38,48 <sup>aB</sup> ±1,52  | 48,29 <sup>bcdB</sup> ±4,56 | 72,60 <sup>bcA</sup> ±2,0   |
| Normal atmosferde paketleme   |                          |                            |                             |                             |
| ATM                           | 0,00 <sup>aC</sup> ±0,00 | 40,00 <sup>aB</sup> ±1,35  | 44,76 <sup>cdB</sup> ±4,39  | 64,71 <sup>edA</sup> ±4,16  |
| DONUK                         | 0,00 <sup>aD</sup> ±0,00 | 29,46 <sup>bC</sup> ±1,60  | 37,83 <sup>dB</sup> ±2,27   | 48,41 <sup>fA</sup> ±1,25   |
| KADMAK                        | 0,00 <sup>aD</sup> ±0,00 | 40,66 <sup>aC</sup> ±0,69  | 69,64 <sup>aB</sup> ±3,26   | 81,75 <sup>aA</sup> ±2,78   |
| ATM + KADMAK                  | 0,00 <sup>aC</sup> ±0,00 | 24,60 <sup>cb</sup> ±1,03  | 45,65 <sup>cdA</sup> ±8,21  | 63,31 <sup>edA</sup> ±3,68  |
| OZM + KADMAK                  | 0,00 <sup>aD</sup> ±0,00 | 28,76 <sup>bC</sup> ±0,92  | 40,35 <sup>dB</sup> ±4,95   | 73,09 <sup>bcA</sup> ±0,30  |

Sonuçlar yüzde (%) ortalama±standart hata olarak verilmiştir.

Aynı sütundaki farklı küçük harfler ve aynı satırdaki farklı büyük harfler ortalamanın farklı olduğunu gösterir ( $P<0,05$ ).

Literatürde çilek ile aynı familyadan gelen açai üzümünün suyunun sıcak hava ve donuk kurutma sonrası 120 günlük depolaması sırasında antioksidan ve antosiyanin stabilitelerinin incelendiği bir çalışmada, depolamanın ilk 60 günlük kısmında antioksidan aktivite kayıplarının daha hızlı gerçekleştiği bildirilmiştir. Depolama sıcaklığı ve su aktivitesi daha yüksek olan örneklerin depolama seyrindeki antioksidan aktivite kayıpları da daha fazla olmuştur. Bu çalışma sonuçlarına göre, başlangıçta 1170  $\mu\text{mol}$  troloks eşdeğeri / g kuru madde antioksidan aktivite gösteren meyve suyunun 40. gün sonunda 780  $\mu\text{mol}$  troloks eşdeğeri / g kuru madde ve 120. gün sonunda da 740  $\mu\text{mol}$  troloks eşdeğeri / g kuru madde aktivite gösterdiği rapor edilmiştir. Ayrıca, antioksidan aktivite degradasyonunun üzümü meyveler için 1. derece kinetik modele göre gerçekleşen bir rekasiyon olduğu bildirilmiştir (Tonon 2010). Michalczyk vd'nin (2009) yaptığı bir araştırmada çilek örnekleri sıcak hava ile kurutma ve donuk kurutma yöntemleriyle kurutulmuş ve 10 ay süre ile oda sıcaklığındaki karanlık ortamda depolanmıştır. Depolama süresince antioksidan aktiviteleri takip edilen örneklerin,

depolama başlangıcında 32 g taze örnek / g DPPH ölçülen IC<sub>50</sub> değeri, depolamanın 2. ayında %20; 4. ayında ise %105 artış göstermiştir. Araştırmacılar, antioksidan aktivitesindeki bu azalmayı fenolik bileşenlerin zaman içerisinde artan parçalanma reaksiyonları ile açıklamışlar ve çileklerin antosiyanin ve fenolik bileşenlerinin depolama ile değişimlerinin, antioksidan aktivite kaybı ile korelasyon içinde olduğunu raporlamışlardır. Araştırma bulguları bu kayıpların seyri açısından literatürle uyumlu olarak bulunmuştur.

#### 4.6.1.6. Kurutulmuş çileklerin depolama sırasındaki aroma değişimi

Çileklerin kurutma yöntemleri ve depolamalara bağlı olarak aroma profilleri değişimleri araştırılmış, elde edilen bulgular Çizelge 4.23'te verilmiştir. Bu sonuçlara göre çileklerde metil ve etil esterlerin aromada baskın uçucu bileşenler olduğu ve çilek aromasının furan, aldetit, ester, terpen ve alkaloid yapısındaki yaklaşık 20 farklı uçucu bileşenden oluştuğu tespit edilmiştir. Literatürde taze çileklerin aroma bileşenleri üzerine yapılan çalışmalarda, çilekler için tek bir aroma aktif maddenin bulunmadığı, pek çok uçucu bileşenin birlikte çilek aromasından sorumlu olduğu bildirilmiştir. Bu uçucu bileşenlerden aromaya en çok etkisi olanların ethyl butanoate, furaneol, ethyl hexanoate olduğu, 2-heptanone ve methyl butanoate konsantrasyonlarının da türler arasındaki farklılıkları sağladığı rapor edilmiştir (Forney vd 2000). Buna göre, en kuvvetli aroma aktif bileşenlerden biri olan ethyl butanoate, birbirine benzer şekilde en az donuk kurutma ve KADMAK yöntemlerinde kayba uğramıştır. Araştırma sonuçlarına göre depolama süresince örneklerin aroma profilleri sınırlı miktarda değişim göstermiştir. Kurutulmuş ürünlerin nem ve hava geçişi iz miktarda olan polietilen ambalajlarda, sabit sıcaklıkta (20-22°C) ve doğrudan ışık almayan ortamda depolanması bu stabilitenin sağlanmasında önemli rol oynamıştır. Aroma bileşenlerinden methyl butanoate, taze çilekte ve tüm uygulamalar sonrası elde edilen kurutulmuş örneklerde en baskın uçucu bileşen olarak bulunmuştur. Forney vd (2000) tarafından taze çileklerin depolama öncesi ve sonrası aroma profili araştırılmıştır. Bu çalışmada taze çileklerin miktarcı başlıca aroma bileşenleri methyl butanoate (%65), methyl hexanoate (%11), ethyl butanoate (%13), ethyl hexanoate (%2) olarak rapor edilmiş ve 15 günlük depolama sonrasında bu oranların sırasıyla; %35, %5, %45 ve %15 değiştiği bildirilmiştir.

Araştırma bulgularına göre, miktarcı aroma kayıplarının en fazla olduğu uygulamalar OZM+KADMAK ile ATM kurutma olmuştur. Bu kurutma işlemlerinin sıcak sulu çözeltide ve doğrudan oksidasyona sebep olabilecek sıcak hava ile gerçekleşmesinin bu sonucu beraberinde getirdiği düşünülmektedir.

Çizelge 4.23. Depolama süresi ve ambalaj atmosfer bileşiminin çileklerin aroma profili üzerine etkisi

| Kurutma Yöntemi | Ambalajlama | Depolama Süresi | Methyl butanote | Methyl hexanote | Ethyl butanote | Ethyl hexanote | Decanal | 1-Octanol | Tridecanol |
|-----------------|-------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|---------|-----------|------------|
| Taze Çilek      | -           | 0.Gün           | 84,27           | T.E.            | 7,28           | 5,58           | 1,91    | 0,97      | T.E.       |
| OZM + KADMAK    | Normal      | 0.Gün           | 62,47           | 29,31           | 4,13           | 2,90           | 0,41    | 0,52      | 0,26       |
|                 |             | 90.Gün          | 59,03           | 32,38           | 4,11           | 3,36           | 0,07    | 0,53      | 0,52       |
|                 | MAP         | 0.Gün           | 62,47           | 29,31           | 4,13           | 2,90           | 0,41    | 0,52      | 0,26       |
|                 |             | 90.Gün          | 53,23           | 29,74           | 4,61           | 3,13           | 1,06    | 3,91      | 4,31       |
| DONUK           | Normal      | 0.Gün           | 92,18           | T.E.            | 0,20           | 5,04           | 1,66    | 0,93      | T.E.       |
|                 |             | 90.Gün          | 89,42           | T.E.            | 0,14           | 4,88           | 1,42    | 0,99      | T.E.       |
|                 | MAP         | 0.Gün           | 90,19           | T.E.            | 0,18           | 6,02           | 1,34    | 0,77      | T.E.       |
|                 |             | 90. Gün         | 88,01           | T.E.            | 0,16           | 5,52           | 1,35    | 0,69      | T.E.       |
| KADMAK          | Normal      | 0.Gün           | 92,30           | T.E.            | 0,27           | 5,03           | 1,62    | 0,77      | T.E.       |
|                 |             | 90.Gün          | 90,31           | T.E.            | 0,44           | 4,87           | 1,23    | 0,79      | T.E.       |
|                 | MAP         | 0.Gün           | 88,45           | T.E.            | 0,59           | 6,15           | 1,81    | 0,97      | T.E.       |
|                 |             | 90.Gün          | 84,24           | T.E.            | 0,37           | 5,74           | 1,66    | 1,04      | T.E.       |
| ATM+KADMAK      | Normal      | 0.Gün           | 92,50           | T.E.            | 0,13           | 4,93           | 1,58    | 0,85      | T.E.       |
|                 |             | 90.Gün          | 89,45           | T.E.            | 0,02           | 3,17           | 1,23    | 0,45      | 1,44       |
|                 | MAP         | 0.Gün           | 89,74           | T.E.            | 2,41           | 3,12           | 2,41    | 0,42      | T.E.       |
|                 |             | 90.Gün          | 87,64           | T.E.            | 2,14           | 2,88           | 2,43    | 0,64      | 0,41       |
| ATM             | Normal      | 0.Gün           | 74,16           | 14,48           | 1,98           | 3,45           | 1,74    | 0,78      | 1,11       |
|                 |             | 90.Gün          | 68,44           | 21,65           | 1,87           | 3,21           | 1,21    | 0,65      | 1,02       |
|                 | MAP         | 0.Gün           | 77,12           | 11,43           | 2,44           | 2,63           | 2,74    | 1,03      | 0,46       |
|                 |             | 90.Gün          | 65,47           | 22,67           | 1,48           | 2,84           | 3,04    | 0,97      | 1,33       |

Sonuçlar yüzde (%) pik alanı / toplam pik alanı olarak verilmiştir. T.E.: Tespit edilemedi.

#### 4.6.2. Kurutulmuş kivilerin depolama sırasındaki fiziksel ve kimyasal özelliklerinin değişimi

Depolama sırasında kurutulmuş kivi dilimlerinde nem içeriği ve su aktivitesi, renk, rehidrasyon kapasitesi ve aroma değişimleri ile askorbik asit kaybı, HMF oluşumu ve antioksidan aktivite kaybı izlenmiştir.

##### 4.6.2.1. Kurutulmuş kivilerin depolama sırasında nem içeriği ve su aktivitesi değişimleri

Kurutulmuş kivi örneklerinin depolama süresine ve koşullarına bağlı nem içeriği ve su aktivitesi değişimlerine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları Çizelge 4.24'te verilmiştir. Depolamalar süresince kurutulmuş kivilerin nem içeriklerinin %9,13 - %16,20 (yaş baz) arasında; su aktivitesi değerlerinin ise 0,45 – 0,54 arasında değiştiği görülmüştür.

Nem geçirgenliği düşük olan polietilen ambalajlar içerisinde, oda sıcaklığında ve yarı karanlık ortamda depolanan ürünlerin 90 günlük depolama süresi boyunca en düşük

nem seviyesi 0. gün örneklerinde, en yüksek nem seviyesi ise 68. gün örneklerinde tespit edilmiştir. Su aktivitesi değerleri de 0. gün örneklerinde diğer örneklere göre daha düşük bulunmuş ancak tüm örneklerin mikrobiyolojik olarak riskli olmayan düzeyde düşük su aktivitesi değerlerine sahip olduğu değerlendirilmiştir. Depolama koşullarının nem içeriği ve sıcaklık değişiminin istatistiksel olarak önemli ancak pratikte önemli olmayan bu değişkenliklere neden olduğu düşünülmüştür.

Kurutulmuş kivilerin atmosferik ve modifiye atmosfer paketleme yönünden karşılaştırılmasında ürünlerin nem içeriği ve su aktivitesinde istatistiki olarak önemli bir farklılık bulunmamıştır (Çizelge 4.24).

Çizelge 4.24. Depolama koşullarında kivilerin nem içeriği ve su aktivitesi değişimleri

| Depolama Süresi (gün)    | Nem (g/100 g)              | Su aktivitesi             |
|--------------------------|----------------------------|---------------------------|
| 0                        | 9,128 <sup>c</sup> ±0,146  | 0,446 <sup>c</sup> ±0,004 |
| 20                       | 13,088 <sup>b</sup> ±0,140 | 0,499 <sup>b</sup> ±0,002 |
| 40                       | 13,234 <sup>b</sup> ±0,312 | 0,524 <sup>a</sup> ±0,001 |
| 68                       | 16,177 <sup>a</sup> ±0,564 | 0,538 <sup>a</sup> ±0,001 |
| 90                       | 13,931 <sup>b</sup> ±0,209 | 0,541 <sup>a</sup> ±0,006 |
| <b>Ambalaj Atmosferi</b> |                            |                           |
| Hava                     | 15,571 <sup>a</sup> ±0,418 | 0,506 <sup>a</sup> ±0,026 |
| Azot (%95)               | 15,897 <sup>a</sup> ±0,581 | 0,517 <sup>a</sup> ±0,014 |

Sonuçlar ortalama±standart hata olarak verilmiştir.

Sütunlardaki farklı harfler ortalamının  $P<0,05$  seviyesinde farklı olduğunu gösterir.

#### 4.6.2.2. Kurutulmuş kivi dilimlerinin depolamaya bağlı renk değişimleri

İki farklı yöntem ile 3 farklı ortam atmosferinde gerçekleştirilen kurutmalar sonrasında, modifiye ve normal atmosferde depolamaya alınan örneklerin depolama süresindeki esmerleşme indeksi  $L$ ,  $a$ ,  $b$  değerleri üzerinden hesaplanmış, sonuçlar Çizelge 4.25’de verilmiştir. Sonuçlar uygulanan kurutma yöntemi, depolama süresi ve depolama koşullarına göre önemli ( $P<0,05$ ) düzeyde farklılık göstermiştir. KADMAK sistemi ile kurutulan örneklerin esmerleşme indeksi değerleri sıcak hava ile kurutma yöntemine göre belirgin düzeyde düşük bulunmuştur. Atmosfer ortamında kurutma uygulaması ile ürünlerin esmerleşme indeksi düzenli olarak önemli düzeyde artmıştır. Depolamaların 90. gününde KADMAK uygulamalarından elde edilen ürünlerin esmerleşme indeksi ATM kurutmaya kıyasla belirgin düzeyde düşük kalmıştır.

Ambalajlama tipine göre bir kıyaslama yapıldığında, genel olarak modifiye atmosferde paketlenmiş (MAP) örnekler normal atmosferde paketlenmiş olanlara kıyasla daha az esmerleşmiştir. Depolama başlangıcında en düşük esmerleşme indeksi %5 oksijen ortamında uygulanan KADMAK sonrası normal atmosfer paketlenen örneklerde tespit edilmiştir. Depolamanın sonunda ise esmerleşme indeksinin en düşük olduğu örnek, aynı kurutma yöntemiyle üretilmiş ve MAP paketlenmiş örnek olarak belirlenmiştir. Ayrıca MAP depolanan örneklerin depolama süresince esmerleşme indeksi değişimleri, normal atmosferde paketlenen örneklerden daha düşük düzeyde bulunmuştur. Bu durumun, ortamdaki oksijen varlığının renk pigmentlerinin degradasyonunu hızlandırıcı etkisi ile ilişkili olduğu değerlendirilmiştir.

Çizelge 4.25. Depolama süresi ve ambalaj atmosfer bileşiminin kurutulmuş kivilerin esmerleşme indeksi üzerine etkisi

| Kurutma Yöntemi                | Depolama Süresi (gün)    |                           |                           |                          |
|--------------------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|
|                                | 0                        | 20                        | 40                        | 90                       |
| Normal atmosferde paketlenme   |                          |                           |                           |                          |
| ATM                            | 0,00 <sup>aD</sup> ±0,00 | 3,30 <sup>aC</sup> ±2,22  | 5,85 <sup>abB</sup> ±0,42 | 8,38 <sup>aA</sup> ±0,23 |
| KADMAK (%10 O <sub>2</sub> )   | 0,00 <sup>aC</sup> ±0,00 | 2,53 <sup>abB</sup> ±0,28 | 5,53 <sup>baA</sup> ±0,45 | 3,48 <sup>cB</sup> ±0,89 |
| KADMAK (%5 O <sub>2</sub> )    | 0,00 <sup>aC</sup> ±0,00 | 0,74 <sup>bC</sup> ±0,02  | 2,62 <sup>cB</sup> ±0,43  | 3,54 <sup>cA</sup> ±0,15 |
| Modifiye atmosferde paketlenme |                          |                           |                           |                          |
| ATM                            | 0,00 <sup>aD</sup> ±0,00 | 1,82 <sup>abC</sup> ±0,41 | 8,00 <sup>aA</sup> ±0,09  | 6,00 <sup>bB</sup> ±0,67 |
| KADMAK (%10 O <sub>2</sub> )   | 0,00 <sup>aB</sup> ±0,00 | 2,39 <sup>abA</sup> ±0,32 | 2,88 <sup>cA</sup> ±0,64  | 2,77 <sup>cA</sup> ±0,89 |
| KADMAK (%5 O <sub>2</sub> )    | 0,00 <sup>aA</sup> ±0,00 | 1,71 <sup>abA</sup> ±0,91 | 1,67 <sup>cA</sup> ±1,26  | 2,59 <sup>cA</sup> ±0,37 |

Sonuçlar ortalama±standart hata olarak verilmiştir.

Aynı sütundaki farklı küçük harfler ve aynı satırdaki farklı büyük harfler ortalamaların farklı olduğunu gösterir ( $P<0,05$ ).

Kurutulmuş kivi örneklerinin kontrollü koşullarda alınan görüntülerine ait  $L$ ,  $a$ ,  $b$  değerleri üzerinden hesaplanan toplam renk değişimi de uygulanan kurutma yöntemlerine, depolama süresine ve ambalajlama tipine göre önemli ( $P<0,05$ ) düzeyde farklılık göstermiştir (Çizelge 4.26). Depolamaya bağlı en yüksek renk değişimi sıcak hava ile kurutulmuş örneklerde belirlenmiştir. KADMAK ile elde edilen ürünlerin renk değişimi oldukça düşük düzeydedir. Ayrıca paketlenme atmosferinin renk değişimi üzerine sınırlı düzeyde etkisi olduğu tespit edilmiştir. Depolamanın 40. ve 90. günlerinde MAP örneklerinin renk değişim değerleri normal atmosfer paketlemelerden daha düşük bulunmuştur.

Çizelge 4.26. Depolama süresi ve ambalaj atmosfer bileşiminin kurutulmuş kivilerin renk değişimi üzerine etkisi

| Kurutma Yöntemi                | Depolama Süresi (gün)    |                            |                           |                           |
|--------------------------------|--------------------------|----------------------------|---------------------------|---------------------------|
|                                | 0                        | 20                         | 40                        | 90                        |
| Normal atmosferde paketlenme   |                          |                            |                           |                           |
| ATM                            | 0,00 <sup>aC</sup> ±0,00 | 2,15 <sup>abBC</sup> ±0,06 | 5,71 <sup>aAB</sup> ±1,40 | 7,24 <sup>aA</sup> ±1,37  |
| KADMAK (%10 O <sub>2</sub> )   | 0,00 <sup>aC</sup> ±0,00 | 1,26 <sup>bBC</sup> ±0,26  | 3,08 <sup>bAB</sup> ±0,18 | 4,15 <sup>baA</sup> ±0,88 |
| KADMAK (%5 O <sub>2</sub> )    | 0,00 <sup>aB</sup> ±0,00 | 4,25 <sup>aA</sup> ±0,02   | 4,06 <sup>abA</sup> ±0,41 | 4,01 <sup>bA</sup> ±0,07  |
| Modifiye atmosferde paketlenme |                          |                            |                           |                           |
| ATM                            | 0,00 <sup>aB</sup> ±0,00 | 3,88 <sup>aA</sup> ±0,43   | 4,17 <sup>abA</sup> ±0,56 | 4,95 <sup>baA</sup> ±1,21 |
| KADMAK (%10 O <sub>2</sub> )   | 0,00 <sup>aB</sup> ±0,00 | 2,26 <sup>abA</sup> ±0,97  | 2,42 <sup>baA</sup> ±0,41 | 4,11 <sup>baA</sup> ±0,10 |
| KADMAK (%5 O <sub>2</sub> )    | 0,00 <sup>aB</sup> ±0,00 | 2,82 <sup>abA</sup> ±1,29  | 3,75 <sup>abA</sup> ±0,19 | 5,61 <sup>baA</sup> ±0,57 |

Sonuçlar ortalama±standart hata olarak verilmiştir.

Aynı sütundaki farklı küçük harfler ve aynı satırdaki farklı büyük harfler ortalamaların farklı olduğunu gösterir ( $P<0,05$ ).

#### 4.6.2.3. Kurutulmuş kivilerin depolama sırasındaki askorbid asit değışimleri

Farklı kurutmalar sonucunda elde edilen ve paketlenerek depolamaya alınan kivi dilimlerinin depolama süresince askorbid asit kaybı izlenmiş, uygulanan kurutma ve ambalajlama yöntemlerine göre zamana bağlı askorbid asit değışimine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları Çizelge 4.27’de verilmiştir. Bulgular değerlendirildiğinde her iki pakitleme yönteminde de depolama süresince, ölçüm alınan her aşamada en yüksek kayıplar sıcak hava ile kurutulmuş örneklerde tespit edilmiştir. KADMAK ile yapılan kurutmalar atmosferik ortamda yapılan kurutmalardan daha az askorbid asit kaybı sağlamıştır. Özellikle %5 oksijen ortamında kurutulan kivilerin en düşük düzeyde askorbid asit kaybına uğradığı belirlenmiştir.

Pakitleme yöntemleri birbiriyle karşılaştırıldığında depolama periyodunun her aşamasında normal atmosfer koşullarında paketlenen ürünlerde modifiye atmosfer (%95 N<sub>2</sub>) ile paketlenenlere kıyasla daha fazla askorbid asit kaybı olduğu ancak 90. günde tüm örneklerdeki askorbid asit kayıplarının %82’nin üzerine çıktığı saptanmıştır.

Depolamanın başlangıç aşamasında, kurutma yöntemleri arasında istatistiki olarak önemli düzeyde fark çıkmamış olmasına rağmen depolama sürecinde özellikle KADMAK ile kurutulmuş örneklerde depolama boyunca askorbid asit kaybının daha az olması; ürünlerin daha az oksidasyona maruz kalması ile ilişkilendirilmiştir.

Literatürde birçok meyvenin askorbid asit degradasyonunun birinci dereceden kinetiğe uygun olduğu ve bu kinetik modelde degradasyon hızının başlangıç konsantrasyonuna, ortam sıcaklığına ve örneklerin su aktivitesi değerine bağlı olduğu bildirilmektedir (Patras vd 2011, Uddin vd 2002). Yapılan farklı bir çalışmada, kivi dilimleri donuk kurutma ile 0,52 su aktivitesi değerine kadar kurutulmuş, normal atmosferde paketlenmiş ve 30°C’de 16 gün süre ile depolanmıştır. Depolama süresince örneklerin askorbid asit miktarı takip edilmiş ve 6. gün sonunda örneklerdeki askorbid asit kaybının depolama başlangıcına göre %92 olduğu bildirilmiştir (Uddin vd 2001). KADMAK yöntemi ile %5 oksijen ortamında gerçekleştirilen kurutmalar sonrasında elde edilen üründe depolama ile degradasyonun düşük düzeyde devam etmesi örneklerin depolama başlangıcındaki su aktivitesi değerleri (0,486) göz önüne alındığında düşük düzeydeki su aktivitesi değerinden kaynaklanabileceği değerlendirilmiştir. Nitekim su aktivitesinin askorbid asit degradasyon kinetiğini ve hızını değıştirdiğini bildiren çalışmalar mevcuttur (Laing vd 1978, Uddin vd 2001).

Çizelge 4.27. Depolama süresi ve ambalaj atmosfer bileşiminin kurutulmuş kivilerin askorbik asit kaybı üzerine etkisi

| Kurutma Yöntemi                | Depolama Süresi (gün)    |                            |                            |                            |
|--------------------------------|--------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
|                                | 0                        | 20                         | 40                         | 90                         |
| Normal atmosferde paketlenme   |                          |                            |                            |                            |
| ATM                            | 0,00 <sup>aD</sup> ±0,00 | 22,54 <sup>abC</sup> ±2,53 | 45,34 <sup>aAB</sup> ±3,76 | 88,40 <sup>aA</sup> ±0,40  |
| KADMAK (%10 O <sub>2</sub> )   | 0,00 <sup>aD</sup> ±0,00 | 23,46 <sup>abC</sup> ±2,42 | 38,87 <sup>baB</sup> ±1,19 | 86,64 <sup>baA</sup> ±0,53 |
| KADMAK (%5 O <sub>2</sub> )    | 0,00 <sup>aD</sup> ±0,00 | 16,07 <sup>bcC</sup> ±3,19 | 32,94 <sup>bcB</sup> ±3,91 | 85,03 <sup>baA</sup> ±0,67 |
| Modifiye atmosferde paketlenme |                          |                            |                            |                            |
| ATM                            | 0,00 <sup>aD</sup> ±0,00 | 27,11 <sup>aC</sup> ±0,17  | 40,98 <sup>baB</sup> ±0,74 | 88,36 <sup>aA</sup> ±0,08  |
| KADMAK (%10 O <sub>2</sub> )   | 0,00 <sup>aD</sup> ±0,00 | 17,63 <sup>bcC</sup> ±0,36 | 36,33 <sup>bcB</sup> ±1,65 | 86,67 <sup>baA</sup> ±0,85 |
| KADMAK (%5 O <sub>2</sub> )    | 0,00 <sup>aD</sup> ±0,00 | 8,82 <sup>cC</sup> ±1,97   | 28,86 <sup>cbB</sup> ±0,43 | 82,95 <sup>caA</sup> ±0,06 |

Sonuçlar yüzde (%) ortalama±standart hata olarak verilmiştir.

Aynı sütundaki farklı küçük harfler ve aynı satırdaki farklı büyük harfler ortalamanın farklı olduğunu gösterir ( $P<0,05$ ).

#### 4.6.2.4. Kurutulmuş kivilerin depolama sırasındaki antioksidan aktivite değişimi

Kivilerin kurutma ve paketlenme yöntemlerine göre depolama süresince belirlenen antioksidan aktivite kayıpları Çizelge 4.28’de verilmiştir. Sonuçlara göre, kivilerin kurutma sonrasında depolamanın ilk 20 gününde gerçekleşen antioksidan kayıpları kurutma şartları ve paketlenme ortamına göre önemli farklılıklar göstermiştir. Ancak 20. günden sonra yalnızca depolama süresine göre önemli düzeyde ( $P<0,05$ ) değişimlerin olduğu tespit edilmiştir. İlk 20 gün süresince en düşük antioksidan aktivite kayıpları oksijen seviyesinin en düşük olduğu modifiye atmosferde paketlenmiş ürünlerde belirlenmiştir. 90 günlük depolama sonucunda tüm ürünlerde gerçekleşen kayıplar doğrusal bir şekilde artmıştır. Taze kivilerin kurutmalar sonucunda %75 seviyesinde antioksidan aktivite kayıplarına uğramış olması ve kurutma yöntemleri arasında bu açıdan istatistiki olarak bir fark çıkmamış olmasına rağmen, depolamanın ilk 20 günü sonrasında örnekler arasında yaklaşık %70 fark bulunmuştur. Literatürde kivilerin depolama süresince antioksidan aktivitelerindeki değişimi konu alan bir çalışmaya rastlanmamıştır. Ancak farklı meyvelerde yapılan çalışmalarda, depolama süresince antioksidant aktivite kayıplarının meyvelerdeki antioksidan aktivite özelliği gösteren fenolik maddelerin (fenolik asitler ve flavonoidler) degradasyonundan kaynaklandığı vurgulanmıştır (Wang vd 1996).

Çizelge 4.28. Depolama süresi ve ambalaj atmosfer bileşiminin kurutulmuş kivilerin antioksidan aktivite kaybı üzerine etkisi

| Kurutma Yöntemi                | Depolama Süresi (gün)    |                            |                            |                           |
|--------------------------------|--------------------------|----------------------------|----------------------------|---------------------------|
|                                | 0                        | 20                         | 40                         | 90                        |
| Normal atmosferde paketlenme   |                          |                            |                            |                           |
| ATM                            | 0,00 <sup>aD</sup> ±0,00 | 16,01 <sup>abC</sup> ±0,47 | 39,14 <sup>aAB</sup> ±2,02 | 68,49 <sup>aA</sup> ±4,10 |
| KADMAK (%10 O <sub>2</sub> )   | 0,00 <sup>aD</sup> ±0,00 | 14,01 <sup>abC</sup> ±0,42 | 37,64 <sup>aB</sup> ±1,51  | 63,44 <sup>aA</sup> ±2,03 |
| KADMAK (%5 O <sub>2</sub> )    | 0,00 <sup>aD</sup> ±0,00 | 16,62 <sup>aC</sup> ±1,14  | 40,67 <sup>aB</sup> ±3,47  | 67,80 <sup>aA</sup> ±4,56 |
| Modifiye atmosferde paketlenme |                          |                            |                            |                           |
| ATM                            | 0,00 <sup>aD</sup> ±0,00 | 11,33 <sup>bcC</sup> ±2,15 | 38,13 <sup>aB</sup> ±3,01  | 65,74 <sup>aA</sup> ±3,61 |
| KADMAK (%10 O <sub>2</sub> )   | 0,00 <sup>aD</sup> ±0,00 | 10,71 <sup>cC</sup> ±1,54  | 37,13 <sup>aB</sup> ±2,01  | 63,23 <sup>aA</sup> ±4,90 |
| KADMAK (%5 O <sub>2</sub> )    | 0,00 <sup>aD</sup> ±0,00 | 12,93 <sup>abC</sup> ±1,30 | 37,87 <sup>aB</sup> ±2,75  | 65,25 <sup>aA</sup> ±3,10 |

Sonuçlar yüzde (%) ortalama±standart hata olarak verilmiştir.

Aynı sütundaki farklı küçük harfler ve aynı satırdaki farklı büyük harfler ortalamaların farklı olduğunu gösterir ( $P<0,05$ ).

#### 4.6.2.5. Kivilerin depolama sırasında aroma değişimi

Kurutulmuş kivilerin kurutma yöntemlerine ve depolama sürelerine göre aroma profili değişimi yüzde pik alanı olarak belirlenmiş, sonuçlar Çizelge 4.29’da verilmiştir. Buna göre kivilerde miktarca ana aroma bileşenlerinin 2-hexenal (%58-81), 2-hexanol (%10-34), 1-hexanol (%2-5) olduğu belirlenmiştir. Ancak yapılan literatür çalışmalarında kivin kendine özgü aromasının en az 26 farklı uçucu bileşenin karışımından oluştuğu ve özellikle de en etkili aroma aktif bileşenin 2-hexenal olduğu belirtilmiştir. Bu aktif bileşiğin taze kivi aromasını temsil ettiği ve ürünün hasat olgunluğunda maksimum seviyede olduğu rapor edilmiştir. Kivi aromasının en baskın bileşenlerinin butirat esterleri ve altı karbonlu doymamış aldehytler olduğu da ayrıca bildirilmiştir (Talens vd 2003). Kurutma yöntemlerinin her birinde 2-Hexenal’ın %25-33 seviyesinde azaldığı, 2-Hexanol’ün ise %200-400 seviyesinde arttığı belirlenmiştir. Literatürde kivilerde ozmotik kurutma öncesi ve sonrası aroma profili değişimi üzerinde yapılmış bir araştırmada, kurutma başlangıcındaki 2-Hexenal miktarının 9,59 µg/g taze örnek değerinden kurutma sonunda 0,55 µg/g taze örnek değerine düştüğü rapor edilmiştir (Talens vd 2003). Bu yüksek kaybın gerekçesi olarak şeker çözeltisinde uzun süre bekletme ve kısmi sıcaklık uygulaması işaret edilmiştir. Bir ay süre ile depolanan örneklerde tekrar edilen analizlerde ise kurutma sonrasına göre aroma profilinin %3-6 oranında değiştiği ve değişimlerin istatistiksel olarak önemli bulunmadığı bildirilmiştir. Aroma profilinin depolama ortamındaki oksijen miktarına (oksidasyon nedeniyle), ısı ve ışık şartlarına bağlı olduğu bilinmektedir (Jordan vd 2002). Bu bilgiler ve çalışmalar ışığında, aroma profilinin kurutma sırasında önemli ( $P<0,05$ ) ölçüde değiştiği, ancak uygun depolama ortamında sınırlı değişim gösterdiği sonucuna ulaşılmıştır.

Çizelge 4.29. Depolama süresi ve ambalaj atmosfer bileşiminin kivilerin aroma profili üzerine etkisi

| Kurutma Yöntemi              | Ambalajlama | Depolama Süresi | 2-Hexenal | 2-Hexanol | 1-Hexenol | Nonane, heptamethyl | Isoamyl isovalerate | 1-Octanol | Tridecanol |
|------------------------------|-------------|-----------------|-----------|-----------|-----------|---------------------|---------------------|-----------|------------|
| Taze Kivi                    | -           | 0. Gün          | 81,34     | 9,67      | 3,32      | 1,84                | 0,54                | 0,08      | 0,04       |
| ATM                          | Normal      | 0. Gün          | 61,53     | 31,22     | 4,14      | 2,54                | 0,24                | 0,00      | 0,34       |
|                              |             | 90. Gün         | 62,28     | 29,47     | 4,31      | 2,93                | 0,05                | 0,45      | 0,51       |
|                              | MAP         | 0. Gün          | 61,53     | 31,22     | 4,14      | 2,54                | 0,24                | 0,00      | 0,34       |
|                              |             | 90. Gün         | 61,27     | 30,51     | 4,24      | 2,62                | 0,08                | 0,62      | 0,67       |
| KADMAK (%10 O <sub>2</sub> ) | Normal      | 0. Gün          | 57,64     | 33,69     | 4,37      | 2,85                | 0,28                | 0,56      | 0,62       |
|                              |             | 90. Gün         | 61,68     | 29,61     | 4,58      | 2,95                | 0,11                | 0,45      | 0,62       |
|                              | MAP         | 0. Gün          | 57,64     | 33,69     | 4,37      | 2,85                | 0,28                | 0,56      | 0,62       |
|                              |             | 90. Gün         | 63,36     | 28,30     | 4,51      | 2,93                | 0,08                | 0,34      | 0,49       |
| KADMAK (%5 O <sub>2</sub> )  | Normal      | 0. Gün          | 62,34     | 29,35     | 4,54      | 2,72                | 0,08                | 0,40      | 0,56       |
|                              |             | 90. Gün         | 65,52     | 26,45     | 4,55      | 2,79                | 0,04                | 0,30      | 0,35       |
|                              | MAP         | 0. Gün          | 62,34     | 29,35     | 4,54      | 2,72                | 0,08                | 0,40      | 0,56       |
|                              |             | 90. Gün         | 64,78     | 27,25     | 4,47      | 2,79                | 0,09                | 0,30      | 0,32       |

Sonuçlar yüzde (%) pik alanı / toplam pik alanı olarak verilmiştir.

#### 4.6.3. Muzların depolama ile fiziksel ve kimyasal özelliklerinin değişimi

Depolama sırasında kurutulmuş muz dilimlerinin nem içeriği ve su aktivitesi değişimi, renk değişimi, rehidrasyon kapasiteleri, aroma değişimleri, askorbik asit kaybı, HMF oluşumu ve antioksidan aktivite kaybı izlenmiştir.

##### 4.6.3.1. Kurutulmuş muzların depolama sırasındaki nem içeriği ve su aktivitesi değişimleri

Kurutulmuş muzların nem içeriği ve su aktivitesi değerlerine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları ile birlikte Çizelge 4.30'da verilmiştir. Depolamalar süresince muzların nem içeriklerinin %9,19 - %12,20 (yaş baz) arasında; su aktivitesi değerlerinin ise 0,47 – 0,55 arasında değiştiği görülmüştür.

Nem geçirgenliği düşük olan polietilen ambalajlar içerisinde, oda sıcaklığında ve yarı karanlık ortamda depolanan muz örneklerinin 90 günlük depolama süreleri boyunca en düşük nem seviyesi 0. Gün örneklerinde, en yüksek nem seviyesi ise kivilerle benzer şekilde 68. gün örneklerinde tespit edilmiştir. Su aktivitesi değerleri de 0. gün örneklerinde diğer örneklerle göre daha düşük bulunmuş, ancak tüm örneklerin mikrobiyolojik olarak riskli olmayan düzeyde düşük su aktivitesi değerlerine sahip olduğu değerlendirilmiştir.

Kurutulmuş muzların her iki ambalaj ortamında nem içeriği ve su aktivitesi değerleri arasındaki fark istatistiki olarak önemli düzeyde bulunmamıştır.

Çizelge 4.30. Depolama koşullarında kurutulmuş muzların nem içeriği ve su aktivitesi değişimleri

| Depolama Süresi (gün)    | Nem içeriği (g/100 g)      | Su aktivitesi             |
|--------------------------|----------------------------|---------------------------|
| 0                        | 9,188 <sup>b</sup> ±0,142  | 0,467 <sup>b</sup> ±0,007 |
| 20                       | 9,827 <sup>b</sup> ±0,524  | 0,521 <sup>a</sup> ±0,013 |
| 40                       | 11,445 <sup>a</sup> ±0,566 | 0,541 <sup>a</sup> ±0,008 |
| 68                       | 12,104 <sup>a</sup> ±0,619 | 0,547 <sup>a</sup> ±0,009 |
| 90                       | 11,223 <sup>a</sup> ±0,347 | 0,544 <sup>a</sup> ±0,007 |
| <b>Ambalaj Atmosferi</b> |                            |                           |
| Hava                     | 10,410 <sup>a</sup> ±0,361 | 0,518 <sup>a</sup> ±0,009 |
| Azot (%95)               | 10,421 <sup>a</sup> ±0,353 | 0,519 <sup>a</sup> ±0,009 |

Sonuçlar ortalama±standart hata olarak verilmiştir.

Sütunlardaki farklı harfler ortalamının  $P<0,05$  seviyesinde farklı olduğunu gösterir.

#### 4.6.3.2. Muzların depolama ile renk değişimleri

Kurutulmuş muz örneklerinin depolama süresi ve ambalaj ortamına bağlı olarak esmerleşme indeksi değişimleri analiz edilmiş ve elde edilen sonuçlar Çizelge 4.31’de verilmiştir.  $L$ ,  $a$ ,  $b$  değerleri üzerinden hesaplanan esmerleşme indeksi sonuçlarına göre, depolama süreleri ve depolama koşulları istatistiki olarak önemli ( $P<0,05$ ) düzeyde farklılık göstermiştir ( $P<0,05$ ). Ancak ölçülen renk parametreleri üzerinden hesaplanan esmerleşme indeksi verilerindeki bu farklılığın belirli bir düzende olmadığı tespit edilmiştir. Örneklerin hem sarılık ( $-a$ ) hem de parlaklık ( $L$ ) değerlerinin kurutma sonrası ve depolama süresince birlikte değişiyor olması hesaplanan esmerleşme indeksi değerlerinde yüksek sapmalara sebep olmuştur.

Çizelge 4.31. Depolama süresi ve ambalaj atmosfer bileşiminin kurutulmuş muzların esmerleşme indeksi üzerine etkisi

| Kurutma Yöntemi                       | Depolama Süresi (gün)     |                            |                            |                            |
|---------------------------------------|---------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
|                                       | 0                         | 20                         | 40                         | 90                         |
| <b>Normal atmosferde paketlenme</b>   |                           |                            |                            |                            |
| ATM                                   | 0,00 <sup>aA</sup> ±0,00  | -4,73 <sup>cB</sup> ±0,55  | -8,62 <sup>cC</sup> ±1,62  | -6,76 <sup>cBC</sup> ±0,10 |
| KADMAK (%10 O <sub>2</sub> )          | 0,00 <sup>aA</sup> ±0,00  | -7,33 <sup>dC</sup> ±0,34  | -4,66 <sup>bcB</sup> ±0,54 | -2,74 <sup>bB</sup> ±0,86  |
| KADMAK (%5 O <sub>2</sub> )           | 0,00 <sup>aBA</sup> ±0,00 | -0,71 <sup>bBA</sup> ±0,33 | 2,62 <sup>aA</sup> ±1,36   | -1,68 <sup>bB</sup> ±1,01  |
| <b>Modifiye atmosferde paketlenme</b> |                           |                            |                            |                            |
| ATM                                   | 0,00 <sup>aA</sup> ±0,00  | -3,69 <sup>cA</sup> ±0,91  | -9,13 <sup>cB</sup> ±2,39  | -1,84 <sup>bA</sup> ±0,88  |
| KADMAK (%10 O <sub>2</sub> )          | 0,00 <sup>aBA</sup> ±0,00 | 1,65 <sup>aA</sup> ±0,54   | -2,49 <sup>bBC</sup> ±0,80 | -3,44 <sup>bC</sup> ±1,04  |
| KADMAK (%5 O <sub>2</sub> )           | 0,00 <sup>aC</sup> ±0,00  | 3,51 <sup>aB</sup> ±0,79   | 6,07 <sup>aA</sup> ±0,55   | 1,44 <sup>aCB</sup> ±0,70  |

Sonuçlar ortalama±standart hata olarak verilmiştir.

Aynı sütundaki farklı küçük harfler ve aynı satırdaki farklı büyük harfler ortalamının farklı olduğunu gösterir ( $P<0,05$ ).

Kurutulmuş muzların depolama süresi ve ambalaj ortamına bağlı olarak renk değişimleri Çizelge 4.32’de verilmiştir.

Çizelge 4.32. Depolama süresi ve ambalaj atmosfer bileşiminin kurutulmuş muzların renk değişimi üzerine etkisi

| Kurutma Yöntemi                | Depolama Süresi (gün)    |                          |                           |                           |
|--------------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|
|                                | 0                        | 20                       | 40                        | 90                        |
| Normal atmosferde paketlenme   |                          |                          |                           |                           |
| ATM                            | 0,00 <sup>aB</sup> ±0,00 | 1,86 <sup>aA</sup> ±0,10 | 2,47 <sup>bcA</sup> ±0,89 | 1,70 <sup>bBA</sup> ±0,15 |
| KADMAK (%10 O <sub>2</sub> )   | 0,00 <sup>aB</sup> ±0,00 | 1,48 <sup>aB</sup> ±0,18 | 4,25 <sup>baA</sup> ±0,80 | 1,60 <sup>bB</sup> ±0,50  |
| KADMAK (%5 O <sub>2</sub> )    | 0,00 <sup>aB</sup> ±0,00 | 1,60 <sup>aB</sup> ±0,62 | 6,31 <sup>aA</sup> ±0,72  | 7,47 <sup>aA</sup> ±0,06  |
| Modifiye atmosferde paketlenme |                          |                          |                           |                           |
| ATM                            | 0,00 <sup>aA</sup> ±0,00 | 2,22 <sup>aA</sup> ±0,67 | 2,12 <sup>bcA</sup> ±0,59 | 2,47 <sup>bA</sup> ±1,32  |
| KADMAK (%10 O <sub>2</sub> )   | 0,00 <sup>aC</sup> ±0,00 | 1,38 <sup>aB</sup> ±0,57 | 3,21 <sup>bcA</sup> ±0,15 | 2,07 <sup>bBA</sup> ±0,06 |
| KADMAK (%5 O <sub>2</sub> )    | 0,00 <sup>aB</sup> ±0,00 | 2,59 <sup>aA</sup> ±0,25 | 1,73 <sup>ca</sup> ±0,05  | 1,54 <sup>ba</sup> ±0,49  |

Sonuçlar ortalama±standart hata olarak verilmiştir.

Aynı sütundaki farklı küçük harfler ve aynı satırdaki farklı büyük harfler ortalamaların farklı olduğunu gösterir ( $P<0,05$ ).

Sonuçlara göre, depolama süresince muzlarda %1,4 – 7,5 aralığında renk değişimi hesaplanmıştır. En yüksek değişimler genellikle depolamanın 20. günü ile 40. günü arasında görülmüştür. Renk değişimlerinin ürünlerin paketlenme ortamına bağlı olarak da sınırlı değişim gösterdiği de tespit edilmiştir. KADMAK ile kurutulan ve modifiye atmosferde paketlenen ürünler hariç, elde edilen diğer ürünlerde depolamaya bağlı olarak ilk 40 gün süresince renk değişiminde artış, daha sonra 90. güne devam eden depolama süresince azalış gözlemlenmiştir. Meydana gelen bu farklı renk değişim profilinin örnekler arasındaki varyasyondan kaynaklandığı düşünülmektedir.

#### 4.6.3.3. Kurutulmuş muzların depolama sırasındaki askorbit asit değişimleri

Dilimlendikten sonra kurutulan muzların uygulanan kurutma yöntemlerine ve depolama ambalaj ortamına bağlı olarak belirlenen değişimlerine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi Sonuçları Çizelge 4.33’te verilmiştir. Her iki paketlenme yönteminde de depolamanın ilk 20 günlük sürecinde en yüksek kayıplar sıcak hava ile kurutulmuş örneklerde tespit edilmiştir. Bu süreçte KADMAK ile yapılan kurutmalar atmosferik ortamda yapılan kurutmalardan daha düşük askorbik asit kaybı sağlamıştır. Özellikle %10 oksijen ortamında kurutulan muzların 20. gün sonunda en düşük düzeyde askorbik asit kaybına uğradığı belirlenmiştir.

Paketlenme yöntemleri birbiriyle karşılaştırıldığında depolama periyodunun 90. günü haricinde normal atmosfer (hava) ile paketlenen ürünlerde modifiye atmosfer (%95 N<sub>2</sub>) ile paketlenenlere kıyasla daha fazla askorbik asit kaybı olduğu, ancak 90. günde tüm örneklerdeki askorbik asit kayıplarının birbirine yakın ve %87’nin üzerinde olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Depolamanın başlangıç aşamasında kurutma yöntemleri arasında istatistiki olarak önemli ( $P<0,05$ ) düzeyde bulunan fark, depolama süresince 40. gün örneklerine kadar aynı seyirde tespit edilmiştir. Kurutmaların 0. gününde örneklerin askorbik asit içeriğindeki en yüksek kayıp atmosfer ortamında sıcak hava kurutmada bulunmuş, bu kurutma yöntemiyle elde edilen ürünlerin depolama süresince askorbik asit kayıpları KADMAK ile kurutulan ürünlerden fazla olmuştur.

Literatürde kurutulmuş muzların besin bileşiminin depolamaya bağlı olarak araştırıldığı bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bununla birlikte birçok meyvenin depolama süresince askorbik asit kayıplarının, depolama ortam şartlarına (ışık, sıcaklık, oksijen varlığı, vb.) ve örneklerin su aktivitesi değerine bağlı olduğu bildirilmektedir (Uddin vd 2002).

Çizelge 4.33. Depolama süresi ve ambalaj atmosfer bileşiminin kurutulmuş muzların askorbik asit kaybı üzerine etkisi

| Kurutma Yöntemi                | Depolama Süresi (gün)    |                            |                            |                            |
|--------------------------------|--------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
|                                | 0                        | 20                         | 40                         | 90                         |
| Normal atmosferde paketlenme   |                          |                            |                            |                            |
| ATM                            | 0,00 <sup>aD</sup> ±0,00 | 25,90 <sup>aC</sup> ±1,72  | 41,55 <sup>baB</sup> ±0,80 | 90,06 <sup>aA</sup> ±0,67  |
| KADMAK (%10 O <sub>2</sub> )   | 0,00 <sup>aD</sup> ±0,00 | 19,62 <sup>aC</sup> ±4,38  | 44,48 <sup>ab</sup> ±1,68  | 88,98 <sup>baA</sup> ±0,01 |
| KADMAK (%5 O <sub>2</sub> )    | 0,00 <sup>aD</sup> ±0,00 | 10,60 <sup>bcC</sup> ±1,95 | 34,89 <sup>bb</sup> ±4,51  | 87,80 <sup>bcA</sup> ±0,74 |
| Modifiye atmosferde paketlenme |                          |                            |                            |                            |
| ATM                            | 0,00 <sup>aD</sup> ±0,00 | 17,34 <sup>baC</sup> ±0,22 | 37,38 <sup>baB</sup> ±0,24 | 86,93 <sup>ca</sup> ±0,46  |
| KADMAK (%10 O <sub>2</sub> )   | 0,00 <sup>aD</sup> ±0,00 | 5,72 <sup>cC</sup> ±2,29   | 40,35 <sup>baB</sup> ±0,86 | 89,67 <sup>aA</sup> ±0,54  |
| KADMAK (%5 O <sub>2</sub> )    | 0,00 <sup>aD</sup> ±0,00 | 9,63 <sup>bcC</sup> ±2,31  | 36,44 <sup>baB</sup> ±3,72 | 87,27 <sup>bcA</sup> ±0,24 |

Sonuçlar yüzde (%) ortalama±standart hata olarak verilmiştir.

Aynı sütundaki farklı küçük harfler ve aynı satırdaki farklı büyük harfler ortalamanın farklı olduğunu gösterir ( $P<0,05$ ).

#### 4.6.3.4. Kurutulmuş muzların depolama sırasındaki antioksidan aktivite değişimi

Farklı kurutma yöntemleri ile kurutulan muzların modifiye ve normal atmosfer koşullarında paketlenmiş olarak depolanması sırasında meydana gelen antioksidan aktivite kayıpları Çizelge 4.34'te görülmektedir. Bu bulgular, kurutulmuş muzların antioksidan aktivite kayıplarının depolama zamanına bağlı olarak önemli ( $P<0,05$ ) düzeyde farklı olduğunu, ancak aynı farklılığın kurutma yöntemlerine ve paketlenme atmosfer bileşiminde önemli bulunmadığını göstermektedir. Depolama süresince en yüksek antioksidan aktivite kaybı 40. günden sonraki depolama periyodu içerisinde gerçekleşmiştir. Öncesinde meydana gelen antioksidan aktivite kayıpları 40. gün sonrasındaki örneklerle nazaran daha düşük kalmıştır. Kurutma yöntemlerine göre bir değerlendirme yapıldığında, 0. gün örnekleri arasında önemli farklılık görülürken depolama süresince istatistiksel olarak fark bulunmamıştır. Paketleme tipine göre antioksidan aktivite kayıpları daha çok normal atmosferde paketlenen ürünlerde gerçekleşmiştir. Bu sonuçlar kurutma ve depolama ortamındaki oksijenin antioksidan

aktivite gösteren bileşenlerle reaksiyona girerek oksidasyona neden olduğunu göstermiştir.

Çizelge 4.34. Depolama süresi ve ambalaj atmosfer bileşiminin kurutulmuş muzların antioksidan aktivite kaybı üzerine etkisi

| Kurutma Yöntemi                | Depolama Süresi (gün)    |                          |                           |                            |
|--------------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------|----------------------------|
|                                | 0                        | 20                       | 40                        | 90                         |
| Normal atmosferde paketlenme   |                          |                          |                           |                            |
| ATM                            | 0,00 <sup>aC</sup> ±0,00 | 6,34 <sup>aC</sup> ±0,79 | 20,10 <sup>aB</sup> ±0,13 | 72,23 <sup>aA</sup> ±4,98  |
| KADMAK (%10 O <sub>2</sub> )   | 0,00 <sup>aC</sup> ±0,00 | 5,99 <sup>aC</sup> ±0,55 | 17,74 <sup>aB</sup> ±1,50 | 64,38 <sup>abA</sup> ±2,17 |
| KADMAK (%5 O <sub>2</sub> )    | 0,00 <sup>aD</sup> ±0,00 | 6,57 <sup>aC</sup> ±0,91 | 17,45 <sup>aB</sup> ±1,01 | 63,68 <sup>abA</sup> ±1,45 |
| Modifiye atmosferde paketlenme |                          |                          |                           |                            |
| ATM                            | 0,00 <sup>aC</sup> ±0,00 | 5,40 <sup>aC</sup> ±1,15 | 18,55 <sup>aB</sup> ±1,01 | 61,85 <sup>abA</sup> ±2,40 |
| KADMAK (%10 O <sub>2</sub> )   | 0,00 <sup>aC</sup> ±0,00 | 4,19 <sup>aC</sup> ±0,94 | 16,04 <sup>aB</sup> ±1,50 | 61,40 <sup>abA</sup> ±1,85 |
| KADMAK (%5 O <sub>2</sub> )    | 0,00 <sup>aC</sup> ±0,00 | 5,55 <sup>aC</sup> ±1,00 | 16,90 <sup>aB</sup> ±0,65 | 63,24 <sup>abA</sup> ±3,00 |

Sonuçlar yüzde (%) ortalama±standart hata olarak verilmiştir.

Aynı sütundaki farklı küçük harfler ve aynı satırdaki farklı büyük harfler ortalamanın farklı olduğunu gösterir ( $P<0,05$ ).

#### 4.6.3.5. Kurutulmuş muzların depolama sırasındaki aroma değişimi

Kurutulmuş muzların kurutma yöntemlerine ve depolama sürelerine göre pik alanı üzerinden belirlenen aroma profili değişimi Çizelge 4.35'te verilmiştir. Buna göre muzlarda miktarca yüksek pik intensitesi veren aroma bileşenlerinin 2-hexenal (%39-62), ethyl acetate (%11-32), pentanone (%1-23), 2-pentanone (%1-13) ve methyl butanal (%3-6) olduğu belirlenmiştir. Yapılan önceki çalışmalarda, muzun aktif aroma bileşenlerinin isobutyl ve isoamyl türevleri olduğu ve bu aromalar olmadan muz aromasının ayırt edici olmadığı belirtilmiştir (Mui vd 2002). Kurutma işlemleri arasında ve depolamalar süresince önemli değişimler görülmüştür. Kurutma yöntemlerinin tamamında 2-pentanone ve ethyl acetate kompozisyonları önemli ( $P<0,05$ ) ölçüde değişmiştir. Bu iki uçucu bileşenden 2-pentanone kurutma sonrasında yüksek miktarda azalmış, ancak depolama ile taze örnekteki seviyelere kadar tekrar yükselmiştir. Ethyl acetate ise kurutma başlangıcında hızla artmış, depolama süresince başlangıç düzeyine yakın seviyelere tekrar gerilemiştir. Tüm örneklerdeki 2-hexenal ise kurutma yöntemleri ve depolama sürelerince önemli bir değişim göstermemiştir. Taze örnekte iz miktarda tespit edilen pentanone, kurutma sonrasında 0. gün örneklerinde yine az miktarda görülürken, depolama seyrinde toplam uçucu bileşenlerin %23'ü seviyesine kadar artış göstermiştir. Bu artış en çok sıcak hava ile kurutulan ve normal atmosferde depolanan örnekler (%20) ile KADMAK %5 oksijen ile kurutulan ve normal atmosferde depolanan örneklerde (%23) görülmüştür. Nitekim muzların sıcak hava ile kurutma sırasında aroma profillerinde araştırmadakinine benzer şekilde değişimlerin görüldüğünü bildiren çalışmalar mevcuttur (Mui vd 2002).

Çizelge 4.35. Depolama süresi ve ambalaj atmosfer bileşiminin kurutulmuş muzların aroma profili üzerine etkisi

| Kurutma Yöntemi              | Ambalajlama | Depolama Süresi | Pentanone | 2-Pentanone | Isobutyl acetate | 2-hexenal | Ethyl acetate | Methyl butanal | Nonane, | Isoamyl butyrate | 2-heptanone |
|------------------------------|-------------|-----------------|-----------|-------------|------------------|-----------|---------------|----------------|---------|------------------|-------------|
| Taze Muz                     |             | 0. Gün          | 0,25      | 9,75        | 1,41             | 59,54     | 16,30         | 6,45           | 4,24    | 1,84             | 0,01        |
| ATM                          | Normal      | 0. Gün          | 0,84      | 0,86        | T.E.             | 58,23     | 32,14         | 4,73           | 3,15    | T.E.             | T.E.        |
|                              |             | 90. Gün         | 20,42     | 10,53       | 0,08             | 42,87     | 20,00         | 3,23           | 1,80    | 0,55             | 0,45        |
|                              | MAP         | 0. Gün          | 0,84      | 0,86        | T.E.             | 58,23     | 32,14         | 4,73           | 3,15    | T.E.             | T.E.        |
|                              |             | 90. Gün         | 7,35      | 11,13       | 0,10             | 49,04     | 25,87         | 3,22           | 2,16    | 0,43             | 0,58        |
| KADMAK (%10 O <sub>2</sub> ) | Normal      | 0. Gün          | 1,98      | 3,17        | T.E.             | 59,81     | 27,59         | 4,63           | 2,71    | T.E.             | T.E.        |
|                              |             | 90. Gün         | 8,83      | 11,43       | 0,86             | 47,43     | 21,27         | 3,58           | 2,12    | 1,77             | 1,96        |
|                              | MAP         | 0. Gün          | 1,98      | 3,17        | T.E.             | 59,81     | 27,59         | 4,63           | 2,71    | T.E.             | T.E.        |
|                              |             | 90. Gün         | 9,34      | 8,98        | 0,89             | 46,18     | 24,68         | 3,29           | 2,19    | 1,58             | 2,10        |
| KADMAK (%5 O <sub>2</sub> )  | Normal      | 0. Gün          | 1,40      | 1,28        | T.E.             | 62,22     | 27,94         | 4,70           | 2,37    | T.E.             | T.E.        |
|                              |             | 90. Gün         | 22,99     | 12,80       | 0,66             | 40,10     | 10,83         | 2,85           | 1,23    | 1,15             | 1,88        |
|                              | MAP         | 0. Gün          | 1,40      | 1,28        | T.E.             | 62,22     | 27,94         | 4,70           | 2,37    | T.E.             | T.E.        |
|                              |             | 90. Gün         | 12,94     | 19,01       | 1,52             | 39,34     | 18,24         | 2,72           | 1,77    | 1,62             | 1,81        |

Sonuçlar yüzde (%) pik alanı / toplam pik alanı olarak verilmiştir.

## 5. SONUÇ

Bu çalışma kapsamında kurutma işlemine hassas meyve ve sebzelerin kurutulması için modifiye atmosfer kapalı döngü kurutma sisteminin geliştirilmesi hedeflenmiştir. Geliştirilen bu kurutma sistemi model ürün olarak seçilen dilimlenmiş çilek, kivi ve muzların kurutulmasında, sıcak hava ve donuk kurutma yöntemleri ile karşılaştırmalı olarak, doğrudan veya ön kurutma işlemleri (sıcak hava ve ozmotik ön kurutma) ile kombine olarak denenmiş, bu kurutma yöntemleri ürün kalitesi ile enerji ekonomisi açısından test edilmiştir. Araştırma sonuçları aşağıda maddeler halinde özetlenmiştir.

Antalya gibi nemli ve güneşli bölgelerde, güneş enerjisinden yararlanarak kapalı döngü modifiye atmosfer gaz bileşiminde ürünlerin kurutulabildiği tepsili bir kurutucu tasarlanmıştır. Bu tepsili kurutucunun kapalı döngü çalışmalar esnasında kurutma gazı bileşimini dışarıya atmadan tekrar kullanabilmesi amacıyla, sistemde silika-jel dolgulu nem tutucu kolonlar kullanılmış ve bu kolonların ideal çalışma koşulları belirlenmiştir.

Geliştirilen kurutma sisteminin çalışma parametreleri yüksek ürün kalitesi için optimize edilmiştir. Çilek ile yapılan bu denemelerde kurutma sıcaklığı 60°C, modifiye gaz karışımı %9,5 O<sub>2</sub> (%90,5 N<sub>2</sub>), hava hızı 3 m/s optimum değerler olarak belirlenmiştir. Diğer meyveler için de bu parametrelerde ve ilaveten %5 oksijen ortamında kurutma çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

Doğrudan uygulanan KADMAK yöntemi, test edilen kurutma yaklaşımları içerisinde biyoaktif bileşenlerin stabilitesi açısından donuk kurutmaya en yakın sonuç veren uygulama olmuştur.

KADMAK yönteminde harcanan enerjinin donuk kurutma yönteminde harcananın %40'ı kadar olduğu görülmüştür. Eşdeğer kapasitede bu oran %10'a kadar düşmüştür.

Çalışma kapsamında karşılaştırmalı olarak uygulanan kurutma işlemleri sonunda başlangıç nem içeriği %90-94 (yaş baz) arasında varyasyon gösteren çileklerin son nem içeriği ve su aktivitesi değerleri sırasıyla 7,47-19,86 ve 0,36-0,67 arasına düşürülmüştür. Kiviler için %87-81 (yaş baz) aralığında ölçülen başlangıç nemi, 8,91-9,57 (yaş baz) aralığına düşürülmüş son ürün su aktivitesi ise 0,49-0,51 olarak belirlenmiştir. Kurutma başlangıç nemi %79-71 (yaş baz) arasında ölçülen muzların son nem içeriği ve su aktivite değerleri sırasıyla 8,41-10,26 ve 0,43-0,51 aralıklarında tespit edilmiştir.

Çileklerde sıcak hava ile kurutma, KADMAK ve sıcak hava + KADMAK uygulamaları sonucunda elde edilen ürünlerde renk değişimleri ve esmerleşme indeksi değerleri açısından istatistiki bir fark bulunmazken, donuk kurutulmuş ürünler pozitif yönde (daha açık renkli, daha düşük esmerleşme indeksi), ozmotik + KADMAK ile elde edilen ürünler negatif yönde (daha koyu renkli, daha yüksek esmerleşme indeksi) farklı bulunmuştur. Bu farkın, örneklerin vakum altında ve ısı işlem olmadan kurutulmasından kaynaklandığı değerlendirilmiştir. Kivi ve muzların da benzer şekilde sıcak hava ile kurutmada, %10 O<sub>2</sub> ortamında KADMAK ile ve %5 O<sub>2</sub> ortamında KADMAK ile gerçekleştirilen kurutmaları sonucunda elde edilen ürünlerde, esmerleşme indeksi ve renk değişimleri açısından istatistiki olarak farklılık tespit edilmemiştir. Ayrıca depolama

sürelerince renk değişimi değerleri incelenmiş, tüm örneklerin renk değişimi zamana bağlı olarak artmış ve renk değişiminin paketleme atmosferinden oldukça sınırlı düzeyde etkilendiği belirlenmiştir.

Araştırmadan elde edilen sonuçlara göre çilekler için en yüksek büzüşme oranı %85,89 değeri ile atmosfer kurutmada, en düşük büzüşme oranı ise %59,82 değeri ile donuk kurutmada gerçekleşmiştir. KADMAK ve kombine KADMAK uygulamalarında ise aralarında önemli bir farklılık olmaksızın %79,58-81,92 aralığında büzüşme oranları tespit edilmiştir. Kurutma yöntemlerine göre çileklerin rehidrasyon yetenekleri arasında fark bulunmazken, kurutulmuş kivilerde en yüksek rehidrasyon yeteneği %10 O<sub>2</sub> ortamındaki KADMAK ile üretilen örneklerde; kurutulmuş muzlarda ise en yüksek rehidrasyon yeteneği %5 O<sub>2</sub> ortamındaki KADMAK ile üretilen örneklerde ölçülmüştür.

Kurutulmuş ve 90 gün süre ile depolanmış örneklerin hiçbirinde hidroksi metil furfural (HMF) bileşeni tespit edilmemiştir.

Kurutulmuş çileklerde askorbik asit kaybı donuk kurutma ve KADMAK uygulamalarında, diğer uygulamalara göre önemli düzeyde düşük bulunmuştur. Muzlarda da benzer şekilde, en az kayıp %25 ile %5 O<sub>2</sub> ortamındaki KADMAK uygulamasında, en fazla kayıp ise %42 ile sıcak hava ile kurutma uygulamasında bulunmuştur. Ancak bu kayıp kivilerde tüm uygulamalarda %34-37 aralığında ve kurutmalar arasında benzer bulunmuştur. Depolama süresince zamana bağlı olarak tüm örneklerde askorbik asit kaybının artarak devam ettiği, ancak bu kayıpların modifiye atmosferde paketlenen ürünlerde özellikle ilk 40 gün süresince daha düşük düzeylerde kaldığı tespit edilmiştir.

Kurutulmuş çileklerin depolanmasında modifiye atmosfer paketlemenin, normal paketlemeye göre daha başarılı sonuç verdiği saptanmıştır. Ancak 4 aylık depolama sonunda tüm uygulamalarda %80'in üzerinde TMA kaybı ve %40'in üzerinde askorbik asit kaybı meydana geldiği, her iki ambalajlama yönteminde de kayıplarla birlikte rengin de belirgin düzeyde değiştiği görülmüştür. Bu nedenle alternatif olarak düşük sıcaklıklarda depolama denemesine ihtiyaç olduğu sonucuna varılmıştır.

Farklı yöntemlerle kurutulmuş çileklerde, kurutma yöntemine göre en düşük antioksidan aktivite kayıpları KADMAK (%13) ve donuk kurutma (%14) ile elde edilmiştir. Ancak depolamanın ilk 30 gününden sonra bu kayıplar tüm örneklerde artarak yükselmiştir. Çilek örneklerinin tamamında depolama sonunda antioksidan aktivite kaybının %40-65 düzeyinde olduğu belirlenmiştir. Kivi ve muzlarda ise, uygulanan kurutma yöntemleri arasında antioksidan aktivite kayıpları açısından istatistiki bir fark bulunamamış ve kurutma sonrası kayıp seviyelerinin kivilerde %74-75 ve muzlarda %55-57 aralığında olduğu tespit edilmiştir. Kivilerin ve muzların depolamalarında ilk 40 gün süresince en düşük kayıplar %10 O<sub>2</sub> ortamındaki KADMAK ve özellikle %5 O<sub>2</sub> ortamındaki KADMAK uygulamaları ile elde edilen ürünlerde belirlenmiş ancak depolamanın 90. günü itibarıyla bu kayıpların tüm uygulamalar için %80'den fazla olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Taze çilek, kivi ve muz ürünlerinin aroma profilleri çıkartılmış, uçucu bileşenleri belirlenmiştir. Bu bileşenlerin kurutma yöntemleri, depolama süresi ve paketleme şartlarına bağlı olarak değişimleri araştırılmış ve vakum altında ya da düşük oksijen

varlığında (KADMAK) kurutma uygulamaları ile bu uygulamaları takiben modifiye atmosfer paketlemenin ürünlerin aroma kaynağı olan uçucu bileşenlerini daha iyi koruduğu tespit edilmiştir.

Araştırma sonuçları kurgulanan hipotezleri büyük ölçüde destekler nitelikte bulunmuştur. Geliştirilen kurutma sistemiyle besinsel ve fonksiyonel bileşenleri korunmuş ürünler elde edilebildiği görülmüştür. Geliştirilen sistemin doğrudan veya ön kurutmalı olarak, kurutmaya hassas farklı ürünler için de test edilmesi gerektiği değerlendirilmiştir.



## 6. KAYNAKLAR

- ACHANTA, S. and OKOS, M.R. 1995. Impact of drying on biological product quality. *Food Preservation by Moisture Control Applications*, (1): 637–657.
- AGNIESZKA, C. and ANDRZEJ, L. 2010. Rehydration and sorption properties of osmotically pretreated freeze-dried strawberries. *Journal of Food Engineering*, 97(2): 267-274.
- AGUDELO-LAVERDE, L.M., CAROLINA S. and BUERA, M.P. 2013. Water content effect on the chromatic attributes of dehydrated strawberries during storage, as evaluated by image analysis. *LWT-Food Science and Technology*, 52(2):157-162.
- AKYILDIZ, A. 1999. Kurutulmuş Elma Cipsi Üretim Tekniği Üzerine Araştırma. Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 104 s.
- AL-KHUSEIBI, M.K., SABLANI, S.S. and PERERA, C.O. 2005. Comparison of water blanching and high hydrostatic pressure effects on drying kinetics and quality of potato. *Drying Technology*, 23(12): 2449-2461.
- ALVES, D.G., BARBOSA, J.L., ANTONIO, G.C. and MURR, F.E.X. 2005. Osmotic dehydration of acerola fruit (*Malpighia puniceifolia* L.). *Journal of Food Engineering*, 68: 99–103.
- AOAC. 1984. Official analytical methods.. AOAC International, Gaithersburg, USA.
- BURDURLU, H.S., KOCA, N. and KARADENİZ, F. 2006. Degradation of vitamin C in citrus juice concentrates during storage. *Journal of Food Engineering*, 74 (2): 211-216.
- BURSAĆ KOVAČEVIĆ, D., LEVAJ, B. and DAGOVIĆ-UZELAC, V. 2009. Free radical scavenging activity and phenolic content in strawberry fruit and jam. *Agriculturae Conspectus Scientificus (ACS)*, 74(3): 155-159.
- CEMEROĞLU, B. 2007. Gıda analizleri. Gıda Teknolojisi Derneği Yayınları, Ankara, 682 s.
- CEMEROĞLU, B.S. 2009. Meyve ve sebze işleme teknolojisi 2. Cilt. Nobel Akademik Yayıncılık, 636 s.
- CEYLAN, İ., AKTAŞ, M. ve DOĞAN, H. 2007. Mathematical modeling of drying characteristics of tropical fruits. *Applied Thermal Engineering* 27(11): 1931-1936.
- CHANDRASEKARAN, S., RAMANATHAN, S. and BASAK, T. 2013. Microwave food processing—A review. *Food Research International*, 52(1): 243-261.

- CHANG, K.S., WANG, H.C. and CHUNG, T.W. 2004. Effect of regeneration conditions on the adsorption dehumidification process in packed silica gel beds. *Applied Thermal Engineering*, 24: 735–742.
- DARAVINGAS, G. and CAIN, R.F. 1965. Changes in the anthocyanin pigments of raspberries during processing and storage, *Journal of Food Science* 30: 400-405.
- DARICI, S. ve ŞEN, S. 2011. Kivi meyvesinin kurutulmasında kurutma havası hızının kurumaya etkisinin incelenmesi. X. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi. ss. 51-65, İzmir.
- DARICI, S. ve ŞEN, S. 2015. Experimental investigation of convective drying kinetics of kiwi under different conditions. *Heat and Mass Transfer*, 51(8): 1167-1176.
- DE BRUIJN, J. and BÓRQUEZ, R. 2014. Quality retention in strawberries dried by emerging dehydration methods. *Food Research International*, 63: 42-48.
- DEMİREL, D. ve TURHAN, M. 2003. Air-drying behavior of Dwarf Cavendish and Gros Michel banana slices. *Journal of Food Engineering*, 59(1): 1-11.
- DOUNGORN, S., POOMSA-AD, N. and WISET, L. 2012. Drying equations of Thai Hom Mali paddy by using hot air, carbon dioxide and nitrogen gases as drying media. *Food and Bioprocess Processing*, 90: 187-198.
- DOYMAZ, İ. 2008. Convective drying kinetics of strawberry. *Chemical Engineering and Processing*, 47: 914–919.
- EL-BELTAGY, A., GAMEA, G.R. and ESSA, A.A. 2007. Solar drying characteristics of strawberry. *Journal of Food Engineering*, 78(2): 456-464.
- ELMACI, Y. ve ALTUĞ, T. 2002. Flavour evaluation of three black mulberry (*Morus nigra*) cultivars using GC/MS, chemical and sensory data. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 82(6): 632-635.
- ERENTURK, S., GULABOGLU, M.S. and GULTEKIN, S. 2005. The effects of cutting and drying medium on the vitamin C content of rosehip during drying. *Journal of Food Engineering*, 68(4): 513-518.
- ERSUS, S., ve YURDAGEL, U. 2007. Microencapsulation of anthocyanin pigments of black carrot (*Daucuscarota* L.) by spray dryer. *Journal of Food Engineering*, 80(3): 805–812.
- ESPER, A. and MUHLBAUER, W. 1998. Solar drying - an effective means of food preservation. *Renewable Energy*, 15(1): 95-100.
- FERNANDES, F.A.N., RODRIGUES, S., GASPARETO, O.C.P. and OLIVEIRA, E.L. 2006. Optimization of osmotic dehydration of papaya followed by air-drying. *Food Research International*, 39: 492–498.

- FORNEY, C.F., KALT, W. and JORDAN, M.A. 2000. The composition of strawberry aroma is influenced by cultivar, maturity, and storage. *Hort Science*, 35(6): 1022-1026
- GAMBOA-SANTOS, J., MONTILLA, A., CÁRCEL, J. A., VILLAMIEL, M., and GARCIA-PEREZ, J. V. 2014. Air-borne ultrasound application in the convective drying of strawberry. *Journal of Food Engineering*, 128: 132-139.
- GAMBOA-SANTOS, J., MONTILLA, A., SORIA, A.C., CÁRCEL, JA., GARCIA-PÉREZ, J.V. and VILLAMIEL, M. 2014. Impact of power ultrasound on chemical and physicochemical quality indicators of strawberries dried by convection. *Food Chemistry*, 161: 40-46.
- GEANKOPLIS, C.J. 1993. Transport processes and unit operations (3rd Edition). Englewood Cliffs, NJ, USA, 150 p.
- GIRI, S.K. and PRASAD, S. 2007. Drying kinetics and rehydration characteristics of microwave-vacuum and convective hot-air dried mushrooms. *Journal of Food Engineering*, 78: 512–521.
- GOLUBOVIC, M.N., HETTIARACHCHI, H.D.M. and WOREK W.M. 2006. Sorption properties for different types of molecular sieve and their influence on optimum dehumidification performance of desiccant wheels. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 49: 2802–2809.
- GONZÁLEZ-MONTELONGO, R., LOBO, M.G. and GONZÁLEZ, M. 2010. Antioxidant activity in banana peel extracts: testing extraction conditions and related bioactive compounds. *Food Chemistry*, 119(3): 1030-1039.
- GOULA, A.M. and ADAMOPOULOS, K.G. 2006. Retention of ascorbic acid during drying of tomato halves and tomato pulp. *Drying Technology*, 24(1): 57-64.
- HAMMAMI, C. and RENE, F. 1997. Determination of freeze-drying process variables for strawberries. *Journal of Food Engineering*, 32(2): 133-154.
- HAWLADER M.N.A., PERERA C.O. and TIAN M, 2006a. Comparison of the retention of 6-gingerol in drying of ginger under modified atmosphere heat pump drying and other drying methods. *Drying Technology*, 24: 51–56.
- HAWLADER M.N.A, PERERA C.O. and TIAN M. 2006b. Properties of modified atmosphere heat pump dried foods. *Journal of Food Engineering*, 74: 392-401.
- HAYASHI, H. 1989. Drying technologies of foods-their history and future. *Drying Technology*, 7 (2): 315-369.

- HUANG, L.L., ZHANG, M., MUJUMDAR, A.S., SUN, D. F., TAN, G.W. and TANG, S. 2009. Studies on decreasing energy consumption for a freeze-drying process of apple slices. *Drying Technology*, 27(9): 938-946.
- HODGES, D.M., WISMER, W.V. and FORNEY, C.F. 2001. Antioxidant responses in harvested leaves of two cultivars of spinach differing in senescence rates. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 126: 611-617.
- HOSSEINPOUR, S., RAFIEE, S., MOHTASEBI, S.S. and AGHBASHLO, M. 2013. Application of computer vision technique for on-line monitoring of shrimp color changes during drying. *Journal of Food Engineering*, 115: 99-114.
- IGUAZ, A., LOPEZ, A. and VIRSEDA, P. 2002. Influence of air recycling on the performance of a continuous rotary dryer for vegetable wholesale by-products. *Journal of Food Engineering*, 54: 289-297.
- JANGAM, S.V., LAW, C.L. and MUJUMDAR, A.S. 2010. Energy efficiency and energy saving in drying. *Drying of Food, Vegetables and Fruits*. Volume:1, 232 p. ISBN: 978-981-08-6759-1, pp. 145-158, Singapore.
- JIA, C.X., DAI, Y.J., WU, J.Y. and WANG, R.Z. 2006. Experimental comparison of two honeycombed desiccant wheels fabricated with silica gel and composite desiccant material. *Energy Conversion and Management*, 47: 2523-2534.
- JORDAN, M.J., MARGARIA, C.A., SHAW, P.E. and GOODNER K.L. 2002. Aroma active components in aqueous kiwi fruit essence and kiwi fruit puree by GC-MS and multidimensional GC/GC-O. *Journal of Agricultural Food Chemistry*, 50: 5386-5390.
- KABEEL, A.E. 2009. Adsorption-desorption operations of multilayer desiccant packed bed for dehumidification applications. *Renewable Energy*, 34: 255-265.
- KARA, T. ve DEMİR, F. 2012. Muzun farklı kurutma şartlarındaki kuruma karakteristiklerinin belirlenmesi. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 8(2):179-184.
- KAYA, A., AYDIN, O., ve DİNCER, I. 2008. Experimental and numerical investigation of heat and mass transfer during drying of Hayward kiwi fruits (*Actinidia Deliciosa* Planch). *Journal of Food Engineering*, 88(3): 323-330.
- KAYISOGLU, S. ve ERTEKİN, C. 2011. Vacuum drying kinetics of Barbunya bean. *Philippine Agricultural Scientist*, 94: 285-291.
- KEVERS, C., FALKOWSKI, M., TABART, J., DEFRAIGNE, J.O., DOMMES, J., and PINCEMAIL, J. 2007. Evolution of antioxidant capacity during storage of selected fruits and vegetables. *Journal of agricultural and food chemistry*, 55(21): 8596-8603.

- KLOPOTEK, Y., OTTO, K. and BÖHM, V. 2005. Processing strawberries to different products alters contents of vitamin C, total phenolics, total anthocyanins, and antioxidant capacity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53: 5640-5646.
- KOÇ, B., EREN, I. and ERTEKİN, F.K. 2008. Modelling bulk density, porosity and shrinkage of quince during drying: The effect of drying method. *Food Engineering*, 85: 340–349.
- KROKIDA, M.K. and MARINOS-KOURIS, D. 2003. Rehydration kinetics of dehydrated products. *Journal of Food Engineering*, 57(1): 1-7.
- LAING, B.M., SCHLUETER, D.L. and LABUZA, T.P. 1978. Degradation kinetics of ascorbic acid at high temperature and water activity. *Journal of Food Science*, 43(5): 1440-1443.
- LAROCHE, A., FINE, F. and GERVAIS, P. 2005. Water activity affects heat resistance of microorganisms in food powders. *International Journal of Food Microbiology*, 97(3): 307-315.
- LESTER, G.E., LEWERS, K.S., MEDINA, M.B. and SAFTNER, R.A. 2012. Comparative analyses of strawberry total phenolics via Fast Blue BB vs. Folin-Ciocalteu: Assay interference by ascorbic acid. *Journal of Food Composition and Analyses*, 27: 102-107.
- LEWICKI, P.P. and JAKUBCZYK, E. 2004. Effect of hot air temperature on mechanical properties of dried apples. *Journal of Food Engineering*, 64: 307-314.
- LI, Y.W., WANG, R.Z., WU, J.Y. and XU, Y.X. 2007. Experimental performance analysis on a direct-expansion solar-assisted heat pump water heater. *Applied Thermal Engineering*, 27: 2858-2868.
- MAISUTHISAKUL, P., SUTTAJIT, M. and PONGSAWATMANIT, R. 2007. Assesment of phenolic content and free radical-scavenging capacity of some Thai indigenous plants. *Food Chemistry*, 100 (4): 1409-1418.
- MARFIL, P.H.M., SANTOS, E.M. and TELIS, V.R.N. 2008. Ascorbic acid degradation kinetics in tomatoes at different drying conditions. *LWT-Food Science and Technology*, 41(9): 1642-1647.
- MARITZA, M.A., SABAH, M., ANABERTA, M.C., MONTEJANO, J.G. and ALLAF, K. 2012. Comparative study of various drying processes at physical and chemical properties of strawberries (*Fragaria var camarosa*). *Procedia Engineering*, 42: 267-282.
- MARTINEZ, F, and T.P. LABUZA. 1968. Effect of moisture content on rate of deterioration of freeze-dried salmon. *Journal of Food Science*, 33: 241-247.

- MASKAN, M. 2001. Drying, shrinkage and rehydration characteristics of kiwifruits during hot air and microwave drying. *Journal of Food Engineering*, 48: 177-182.
- MASKAN, M. 2001. Kinetics of colour change of kiwifruits during hot air and microwave drying. *Journal of Food Engineering*, 48: 169-175.
- MEGÍAS-PÉREZ, R., GAMBOA-SANTOS, J., SORIA, A.C., VILLAMIEL, M. and MONTILLA, A. 2014. Survey of quality indicators in commercial dehydrated fruits. *Food Chemistry*, 150: 41-48.
- MENGES, H.O. and ERTEKIN, C. 2006. Thin layer drying model for treated and untreated Stanley plums. *Energy Conversion and Management*, 47: 2337–2348.
- MERCADO, V.H., GÓNGORA-NIETO, M.M. and BARBOSA-CAVONAS, G.V. 2001. Advances in dehydration of foods. *Journal of Food Engineering*, 49: 288.
- MICHALCZYK, M., MACURA, R., MATUSZAK, I. 2009. The effect of air- drying, freeze- drying and storage on the quality and antioxidant activity of some selected berries. *Journal of Food Processing and Preservation*, 33(1): 11-21.
- MOHAMMADI, A., RAFIEE, S., EMAM-DJOMEH, Z. and KEYHANI, A. 2008. Kinetic models for colour changes in kiwifruit slices during hot air drying. *World Journal of Agricultural Sciences*, 4(3): 376-383
- MOLYNEUX, P. 2004. The use of the stable free radical diphenylpicrylhydrazyl (DPPH) for estimating antioxidant activity. *Songklanakarin Journal of Science and Technology*, 26(2): 211–219.
- MONGPRANEET, S., ABE, T. and TSURUSAKI, T. 2002. Accelerated drying of welsh onion by far infrared radiation under vacuum condition. *Journal of Food Engineering*, 55(2): 147-156.
- MORAGA, G., MARTINEZ-NAVARRETE, N. and CHIRALT, A. 2006. Water sorption isotherms and phase transitions in kiwifruit. *Journal of Food Engineering*, 72(2): 147-156.
- MOTEVALI, A., MINAEI, S. and KHOSHTAGAZA, H.M. 2011. Evaluation of energy consumption in different drying methods. *Energy Conversion and Management*, 52(2): 1192-1199.
- MUI, W. W., DURANCE, T.D. and SCAMAN, C.H. 2002. Flavor and texture of banana chips dried by combinations of hot air, vacuum, and microwave processing. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(7): 1883-1889.
- NGUYEN, M.H. and PRICE, W.E. 2007. Air-drying of banana: influence of experimental parameters, slab thickness, banana maturity and harvesting season. *Journal of Food Engineering*, 79(1): 200-207.

- NIMMANPIPUG, N., THERDTHAI, N. and DHAMVITHEE, P. 2013. Characterisation of osmotically dehydrated papaya with further hot air drying and microwave vacuum drying. *International Journal of Food Science and Technology*, 48(6): 1193-1200.
- NOSHAD, M., MOHEBBI, M., SHAHIDI and MORTAZAVI, S.A. 2012. Effect of osmosis and ultrasound pretreatment on the moisture adsorption isotherms of quince. *Food and Bioproducts Processing*, 90(2): 266-274.
- OLIVEIRA, I.M., FERNANDES, F.A., RODRIGUES, S., SOUSA, P.H., MAIA, G.A. and FIGUEIREDO, R.W. 2006. Modeling and optimization of osmotic dehydration of banana followed by air drying. *Journal of Food Process Engineering*, 29(4): 400-413.
- O'NEILL, M.B., RAHMAN, M.S., PERERA, C.O., SMITH, B. and MELTON, L.D. 1998. Colour and density of apple cubes dried in air and modified atmosphere. *International Journal of Food Protection*, (1): 197-205.
- ORIKASA, T., KOIDE, S., OKAMOTO, S., IMAIZUM, T., MURAMATSU, Y., TAKEDA, J.I. and TAGAWA, A. 2014. Impacts of hot air and vacuum drying on the quality attributes of kiwifruit slices. *Journal of Food Engineering*, 125: 51-58.
- OSORIO, C., FRANCO, M.S., CASTANO, M.P., GONZALEZ-MIRET, M.L., HEREDIA, J.F. and MORALES, A.L. 2007. Colour and flavour changes during osmotic dehydration of fruits. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 8: 353-359.
- OZEN, B.F., DOCK, L.L., OZDEMIR, M. and FLOROS, J.D. 2002. Processing factors affecting the osmotic dehydration of diced green peppers. *International Journal of Food Science and Technology*, 37: 497-502.
- PALOU, E., LOPEZ-MALO, A., BARBOSA-CAVONAS, G.V., WELTI-CHANES, J., SWANSON, B. G. 1999. Polyphenoloxidase Activity and Color of Blanched and High Hydrostatic Pressure Treated Banana Puree. *Journal Of Food Science*, 64(1): 42-45.
- PATRAS, A., BRUNTON, N.P., TIWARI, B.K. and BUTLER, F. 2011. Stability and degradation kinetics of bioactive compounds and colour in strawberry jam during storage. *Food and Bioprocess Technology*, 4(7): 1245-1252.
- PIZZONI, D., COMPAGNONE, D., DÌ NATALE, C., D'ALESSANDRO, N. and PITTIA, P. 2015. Evaluation of aroma release of gummy candies added with strawberry flavours by gas-chromatography/mass-spectrometry and gas sensors arrays. *Journal of Food Engineering*, 167: 77-86.
- QUEK, S. Y., CHOK, N.K. and SWEDLUND, P. 2007. The physicochemical properties of spray-dried watermelon powders. *Chemical Engineering and Processing*, 46(5): 386-392.

- RADA-MENDOZA, M., OLANO, A. and VILLAMIEL, M. 2002. Determination of hydroxymethylfurfural in commercial jams and in fruit-based infant foods. *Food Chemistry*, 79(4): 513-516.
- RAMESH, M.N., WOLF, W., TEVINI, D. and JUNG, G. 1999. Studies on inert gas processing of vegetables. *Journal of Food Engineering*, 40: 199-205.
- RATTI, C. 2001. Hot air and freeze-drying of high-value foods: a review. *Journal of Food Engineering*, 49(4): 311-319.
- RATTI, C. 1994. Shrinkage During Drying of Foodstuffs. *J. of Food Engineering*, 23: 91-105.
- RIZZOLO, A., GERLI, F., PRINZIVALLI, C., BURATTI, S. and TORREGGIANI, D. 2007. Headspace volatile compounds during osmotic dehydration of strawberries (cv Camarosa): Influence of osmotic solution composition and processing time. *LWT-Food Science and Technology*, 40(3): 529-535.
- SIES, H. 1997. Oxidative Stress: Oxidants and Antioxidants. *Experimented Physiology*, 82: 291-295.
- SIMAL, S., FEMENIA, A., GARAU, M.C. and ROSSELLÓ, C. 2005. Use of exponential, Page's and diffusional models to simulate the drying kinetics of kiwi fruit. *Journal of Food Engineering*, 66(3): 323-328.
- SOUZA, S.J., MEDEIROS, F.D. MAGALHAES, M.A., RODRIGUES, S. and FERNANDES, A.N. 2007. Optimization of osmotic dehydration of tomatoes in a ternary system followed by air-drying. *Journal of Food Engineering*, 83: 501-509.
- SZCZESNIAK, A.S. 2002. Texture is a sensory property. *Food Quality and Preference*, 13(4): 215-225
- SZULTKA, M., BUSZEWSKA - FORAJTA, M., KALISZAN, R. and BUSZEWSKI, B. 2014. Determination of ascorbic acid and its degradation products by high-performance liquid chromatography-triple quadrupole mass spectrometry. *Electrophoresis*, 35(4): 585-592.
- TALENS, P., ESCRICHE, I., MARTÍNEZ-NAVARETE, N. and CHIRALT, A. 2003. Influence of osmotic dehydration and freezing on the volatile profile of kiwi fruit. *Food Research International*, 36: 635-642.
- TULEK, Y. ve DEMIRAY, E. 2014. Sıcak hava kurutma yönteminde farklı sıcaklık ve öm işlemlerin Trabzon hurmasının renk ve kuruma karakteristiklerine etkisi. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 20: 27-37.

- TUNDE-AKINTUNDE, T.Y., AFOLABIB, T.J. and AKINTUNDEC, B.O. 2005. Influence of drying methods on drying of bell-pepper (*Capsicum annum*). *Journal of Food Engineering*, 68(4): 439-442.
- TONON, R.V., BRABET, C., HUBINGER, M.D. 2010. Anthocyanin stability and antioxidant activity of spray-dried açai (*Euterpe oleracea Mart.*) juice produced with different carrier agents. *Food Research International*, 43(3): 907-914.
- TOPUZ, A. 2008. A novel approach for color degradation kinetics of paprika as a function of water activity. *LWT Food Science and Technology*, 41: 1672-1677.
- TSO, C.Y. and CHAO, C.Y.H. 2012. Activated carbon, silica-gel and calcium chloride composite adsorbents for energy efficient solar adsorption cooling and dehumidification systems. *International Journal of Refrigeration*, 35: 1626-1638.
- UDDIN, M.S., HAWLADER, M.N. and ZHOU, L. 2001. Kinetics of ascorbic acid degradation in dried kiwifruits during storage. *Drying Technology*, 19(2): 437-446.
- UDDIN, M.S., HAWLADER, M.N. A., DING, L. and MUJUMDAR, A.S. 2002. Degradation of ascorbic acid in dried guava during storage. *Journal of Food Engineering*, 51(1): 21-26.
- US PATENT 5346332 A. 1994. Closed-loop drying process and system. Khanh Dinh. Advanced Dryer Systems, Inc.
- VELIOGLU, Y.S., MAZZA, G., GAO, L. and OOMAH, B.D. 1998. Antioxidant activity and total phenolics in selected fruits, vegetables, and grain products. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46(10): 4113-4117.
- VODA, A., HOMAN, N., WITEK, M., DUIJSTER, A., DALEN, G., SMAN, R., NIJSSE, J., VLIET, L., AS, H.,V. and DUYNHOVEN, J. 2012. The impact of freeze-drying on microstructure and rehydration properties of carrot. *Food Research International*, 49(2): 687-693.
- VON GADOW, A., JOUBERT, E. and HANSMANN, C.F. 1997. Comparison of the antioxidant activity of rooibos tea (*Aspalathus linearis*) with green, oolong and black tea. *Food Chemistry*, 60(1): 73-77.
- WANG, H., CAO, G. and PRIOR, R.L. 1996. Total antioxidant capacity of fruits. *Journal of Food Chemistry*, 44: 701-705.
- WOJDYLO, A., FIGIEL, A., OSMIANSKI, J. 2009. Effect of drying methods with the application of vacuum microwaves on the bioactive compounds, color, and antioxidant activity of strawberry fruits. *J. Agricultural Food Chemistry*, 57(4): 1337-1343.
- WROLSTAD, R.E. 2004. Anthocyanin pigments – Bioactivity and coloring properties. *Journal of Food Science*, 69(5): 419–421.

- XU, Y., ZHANG, M., MUJUMDAR, A.S., DUAN, X. and JIN-CAI, S. 2006. A two-stage vacuum freeze and convective air drying method for strawberries. *Drying Technology*, 24(8): 1019-1023.
- YAN, Z., SOSUA-GALLAGHER, M.J. and OLIVEIRA, F.A.R. 2008. Shrinkage and porosity of banana, pineapple and mango slices during air-drying. *Journal of Food Engineering*, 84: 430–440.
- ZABALAGA, R.F., LA FUENTE, C.I. and TADINI, C.C. 2016. Experimental determination of thermophysical properties of unripe banana slices (*Musa cavendishii*) during convective drying. *Journal of Food Engineering*, 187: 62-69.



## ÖZGEÇMİŞ



İhsan Burak ÇAM 1986 yılında Ankara’da doğdu. Lise öğrenimini Ankara Gazi Anadolu Lisesi’nde tamamladı. 2004 yılında girdiği Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü’nden 2008 yılında mezun oldu. Aynı yıl Akdeniz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans eğitime başlayan İhsan Burak ÇAM, 2010 yılında Gıda Yüksek Mühendisi oldu ve aynı anabilim dalında doktora eğitime başladı. 2011 yılında Akdeniz

Üniversitesi Gıda Güvenliği ve Tarımsal Araştırmalar Merkezi’nde Uzman olarak çalışmaya başladı. Halen aynı kurumda kariyerini sürdürmektedir.

