



T.C.

TOKAT GAZİOSMANPAŞA ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

BIYOSİSTEM MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**HAVUÇ (*Daucus carota* L.) DİLİMLERİNİN KURUTULMASINDA
FARKLI KURUTMA YÖNTEMLERİNİN VE ÖN İŞLEMLERİN
KURUMA KARAKTERİSTİKLERİ VE BAZI KALİTE
ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SAMET KAYA DURSUN

Prof. Dr. Gazanfer ERGÜNEŞ

TOKAT- 2024

ETİK SÖZLEŞME

Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre, Prof. Dr. Gazanfer ERGÜNEŞ danıŐmanlıđında hazırlamıŐ olduğum ‘‘Havuç (*Daucus carota* L.) Dilimlerinin Kurutulmasında Farklı Kurutma Yöntemlerinin ve Ön İŞlemlerin Kuruma Karakteristikleri ve Bazı Kalite Özelliklerine Etkisi’’ adlı Yüksek Lisans tezinin bilimsel etik değerlere ve kurallara uygun, özgün bir çalışma olduğunu, aksinin tespit edilmesi halinde her türlü yasal yaptırımını kabul edeceğimi beyan ederim.

03/07/2024

Samet Kaya DURSUN

JÜRİ KABUL VE ONAY



TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim süresince her konuda yardımcı olan danışman hocam sayın Prof. Dr. Gazanfer ERGÜNEŞ' e teşekkürü borç bilirim. Ayrıca bu süreçte bana yardımcı olan yol gösteren sayın Dr. Öğr. Üyesi Muhammed TAŞOVA hocama, başta Didem YILDIRIM ve Dr. Burcu AKSÜT olmak üzere diğer lisansüstü eğitim sürecimdeki arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak bu yolda ilerlemem için beni destekleyen ablam Dr. Öğr. Üyesi Kübra DURSUN' a ve eğitim hayatım boyunca maddi manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen babam Halim, annem Hatice ve kardeşlerim Yunus Emre, BüŐra, AyŐe ve Selim'e teşekkür ederim.

ÖZET

HAVUÇ (*Daucas carota* L.) DİLİMLERİNİN KURUTULMASINDA FARKLI KURUTMA YÖNTEMLERİNİN VE ÖN İŞLEMLERİN KURUMA KARAKTERİSTİKLERİ VE BAZI KALİTE ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

Dursun, Samet Kaya

Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Gazanfer ERGÜNEŞ

Temmuz 2024, xi + 51 sayfa

Havuç, içerisinde bulundurduğu zengin besin maddelerinden dolayı insan sağlığı için önemli bir yere sahiptir. Bu ürün gıda endüstrisinde havuç suyu, kurutulmuş havuç, havuç tozu ve havuç cipsi gibi geniş kullanım alanına sahip olması dolayısıyla çok fazla tercih edilen bir üründür. Kurutma meyve ve sebze gibi tarımsal kökenli ürünlerin muhafazasında yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Kurutmanın temel amacı, tarımsal ürünün içeriğinde bozulmaya neden olabilecek fazla nemi azaltarak oksidatif ve enzimatik bozulmayı yavaşlatarak ürünlerin depolama süresi ve raf ömrünün arttırılmasına katkı sağlamaktadır. Çalışmada taze havuç dilimleri için en uygun kurutma koşullarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Kurutma denemeleri konvektif kurutucuda, vakumlu etüvde, laboratuvar tip konvektif kurutucuda ve güneşte gerçekleştirilmiştir. Kurutma denemeleri öncesi havuç dilimleri %3 derişimindeki sitrik asit çözeltisinde ve kaynar suda 15 dakika bekletilmiştir. Ön işlemler ve ön işlemsiz (kontrol) havuç dilimleri 50, 60, 70 ve 80 °C hava sıcaklıkları uygulanarak kurutulmuştur. Ürünlerin kuruma süresi, renk değişimi, rehidrasyon özellikleri ve ince tabaka kuruma modellerine kurutma yöntemleri ve ön işlemlerin etkisi belirlenmiştir. Kurutma kinetiğinin belirlenmesi amacıyla Lewis, Wang-Sing ve Midilli-Küçük teorik modelleri kullanılarak uygunlukları incelenmiştir. Çalışma sonucunda, kurutma sıcaklıklarının artırılması ve ön işlemlerin uygulanmasının kurutma süresini önemli ölçüde azalttığı belirlenmiştir. Ayrıca, uygulanan ön işlemler kurutma yöntemleri ve sıcaklıkları kurutulmuş ürünlerin renk değerlerini ve rehidrasyon özelliklerini etkilemiştir. Araştırma sonuçlarına göre en hızlı kuruma 80 °C sıcaklıkta haşlama ön işlemi uygulanmış örneklerde olduğu görülmüştür. Kurutma denemeleri sonucunda, renk parametresi açısından taze havucun renk değerlerine en yakın son ürün laboratuvar tip konvektif kurutucuda 80 °C sıcaklıkta sitrik asit ön işlemi uygulanmış örneklerde belirlenmiştir. Midilli-Küçük ve Wang-Sing modellerinin, havuç için daha uygun kuruma modelleri olduğu tespit edilmiştir. Kurutulmuş havuç dilimlerinin rehidrasyon kapasitesi ve oranı açısından en uygun yöntemin ise 70 °C rehidre su sıcaklığında, laboratuvar tip konvektif kurutucuda 70 °C sıcaklıkta ve haşlama ön işlemi uygulanmış örneklerde belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Havuç Kurutma, Kuruma Kinetiği, Renk Analizi, Matematiksel Modelleme, Rehidrasyon

ABSTRACT

THE EFFECTS OF DIFFERENT DRYING METHODS AND PRE-TREATMENTS ON DRYING CHARACTERISTICS AND SOME QUALITY PROPERTIES IN DRYING CARROT (*Daucus carota* L.) SLICES

Dursun, Samet Kaya

Department of Biosystem Engineering

Advisor: Prof. Dr. Gazanfer ERGÜNEŞ

July 2024, xi + 51 pages

Carrot, have an important place in human health due to the rich nutrients they contain. This product is a highly preferred product in the food industry due to its wide range of uses such as carrot juice, dried carrots, carrot powder and carrot chips. Drying is a widely used method for preserving agricultural products such as fruits and vegetables. The main purpose of drying is to reduce excess moisture that may cause deterioration in the content of agricultural products, slow down oxidative and enzymatic degradation, and contribute to increasing the storage period and shelf life of products. The aim of the study is to determine the most suitable drying conditions for fresh carrot slices. Drying trials were carried out in a convective dryer, vacuum oven, laboratory type convective dryer and in the sun. Before drying experiments, carrot slices were kept in 3% citric acid solution and boiling water for 15 minutes. Pretreated and non-pretreated (control) carrot slices were dried by applying air temperatures of 50, 60, 70, and 80 °C. The effects of drying methods and pretreatments on the drying time, color change, rehydration properties, and thin layer drying patterns of the products were determined. To determine the drying kinetics, Lewis, Wang-Sing, and Midilli-Küçük theoretical models were used and their suitability was examined. As a result of the study, it was determined that increasing the drying temperatures and applying pre-treatments significantly reduced the drying time. In addition, the applied pretreatment, drying methods and temperatures affected the color values and rehydration properties of the dried products. According to the research results, the fastest drying was observed in the samples that were preboiled at 80 °C. As a result of the drying experiments, the final product closest to the color values of fresh carrots in terms of color parameters was determined in the samples that were pretreated with citric acid in a laboratory type convective dryer at 80 °C. It has been determined that Midilli-Küçük and Wang-Sing models are more suitable drying models for carrots. The most suitable method in terms of rehydration capacity and rate of dried carrot slices was determined at 70 °C rehydration water temperature, in laboratory type convective dryer at 70 °C and in samples with preblanching treatment.

Keywords: Carrot Drying, Dry Kinetic, Color Analysis, Mathematical Modeling, Rehydration

İÇİNDEKİLER

ETİK SÖZLEŞME	i
JÜRİ KABUL VE ONAY	ii
TEŞEKKÜR	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
İÇİNDEKİLER	vi
SİMGE ve KISALTMALAR	viii
ÇİZELGE LİSTESİ	x
ŞEKİLLER LİSTESİ	xi
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	4
3. MATERYAL ve YÖNTEM	11
3.1. Materyal	11
3.1.1. Kurutulan ürün	11
3.2. Yöntem	11
3.2.1. Kurutulan ürünün hazırlığı ve ön işlemler	11
3.2.2. Kurutma yöntemi	13
3.2.3. Kurutma ortamları	13
3.2.4. Bağıl nem, sıcaklık ve güneş ışınım değerinin ölçümü	17
3.2.5. Nem tayini	17
3.2.6. Renk ölçümü	18
3.2.7. Kuruma Hızı	19
3.2.8. Rehidrasyon parametreleri	20
3.2.9. Kuruma modeli	21
3.2.10. İstatistiksel analiz	21

4. BULGULAR ve TARTIŞMA.....	22
4.1. Taze Havuç Örneklerinin Kuruma Performans Değerleri.....	22
4.2. Kuruma hızı değerleri	25
4.3. Modelleme Verileri	29
4.4. Renk Değerleri.....	35
4.5. Rehidrasyon performans değerleri	40
5. SONUÇ ve ÖNERİLER	45
6. KAYNAKLAR.....	47
ÖZGEÇMİŞ.....	51

SİMGE VE KISALTMALAR

Simgeler	Açıklama
a	Kırmızı/yeşil renk değeri
b	Sarı/mavi renk değeri
BI	Kahverengileşme indeksi
β	Beta
C	Kroma
cm	Santimetre
$^{\circ}\text{C}$	Celsius
d_t	Dakika
ΔE	Toplam renk değışimi
h°	Hue açısı
L	Parlaklık renk değeri
M	Ürünün anlık nem içeriği
M_e	Ürünün verilen durumdaki denge nemi
M_t	t anındaki nem içeriği
M_0	Kurutulan materyalin ilk nem içeriği
M_1	Kuru ürünün ilk ağırlığı
M_2	Nemli ürün ağırlığı
mm	Milimetre
N_y	Yaş baza göre nem oranı
N_k	Kuru baza göre nem oranı
R^2	Belirtme katsayısı

sn	Saniye
%	Yüzde
WI	Beyazlık indeksi
W_i	Yaş örnek ağırlığı
W_s	Kuru örneğin ağırlığı

Kısaltmalar

Açıklama

ANO	Ayrılabilir Nem Oranı
KH	Kuruma Hızı
RO	Rehidrasyon Oranı
RK	Rehidrasyon Kapasitesi
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 3.1. Kurutma model eşitlikleri	21
Çizelge 4.1. Etüvde kurutulan örneklerin matematiksel model bulguları.....	30
Çizelge 4.1. Etüvde kurutulan örneklerin matematiksel model bulguları (devamı).....	31
Çizelge 4.2. Vakumlu etüvde kurutulan örneklerin matematiksel model bulguları	31
Çizelge 4.2. Vakumlu etüvde kurutulan örneklerin matematiksel model bulguları (devamı).....	32
Çizelge 4.3. Laboratuvar tip konvektif kurutucuda kurutulan örneklerin matematiksel model bulguları	33
Çizelge 4.3. Laboratuvar tip konvektif kurutucuda kurutulan örneklerin matematiksel model bulguları (devamı)	34
Çizelge 4.4. Renk Değerleri	35
Çizelge 4.5. Etüvde kurutulan havuç örneklerinin rehidrasyon oranı ve rehidrasyon kapasitesi değerleri.....	41
Çizelge 4.6. Vakumlu etüvde kurutulan havuç örneklerinin rehidrasyon oranı ve rehidrasyon kapasitesi değerleri.....	42
Çizelge 4.7. Laboratuvar tip konvektif kurutucuda kurutulan havuç örneklerinin rehidrasyon oranı ve rehidrasyon kapasitesi değerleri	43
Çizelge 4.8. Güneşte kurutulan havuç örneklerinin rehidrasyon oranı ve rehidrasyon kapasite değerleri	44

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1. Kurutma denemelerinde kullanılan havuç	11
Şekil 3.2. Uç kısımları kesilmiş havuç örneği	11
Şekil 3.3. Haşlama ön işlemi	12
Şekil 3.4. Sitrik asit ön işlemi hazırlanışı ve bandırma uygulaması	12
Şekil 3.5. Konvektif kurutucu (etüv).....	14
Şekil 3.6. Çalışmada kullanılan diğer etüv	14
Şekil 3.7. Vakumlu kurutucu	15
Şekil 3.8. Laboratuvar tip konvektif kurutucu.....	15
Şekil 3.9. Laboratuvar tip konvektif kurutucu şematik görünümü	16
Şekil 3.10. Güneşte kurutma.....	16
Şekil 3.11. Solarimetre, bağıl nem ve sıcaklık ölçer.....	17
Şekil 3.12. Nem tayini için kullanılan havuç örnekleri.....	18
Şekil 3.13. Renk ölçüm cihazı	19
Şekil 3.14. Su banyosu cihazı	20
Şekil 4.1. Etüvde kurutulan havuç örneklerinin zamana bağlı ANO değişimleri	22
Şekil 4.2. Vakumlu etüvde kurutulan havuç örneklerinin ANO değişimleri	23
Şekil 4.3. Laboratuvar tip konvektif kurutucuda kurutulan havuç örneklerinin zamana bağlı ANO değişimleri	24
Şekil 4.5. Açıkta (güneş) kurutulan havuç örneklerinin zamana bağlı ANO değişimleri	25
Şekil 4.6. Etüvde kurutulan havuç örneklerine ait kuruma hızı değerleri.....	26
Şekil 4.7. Vakumlu etüvde kurutulan havuç örneklerine ait kuruma hız değerleri	27
Şekil 4.8. Laboratuvar tip konvektif kurutucuda kurutulan havuç örneklerine ait kuruma değerleri.....	28
Şekil 4.9. Açıkta (güneş) kurutulan havuç örneklerine ait kuruma hız değerleri	29
Şekil 4.10. Kurutulmuş havuç örneklerine ait L , a ve b değerleri.....	40

1. GİRİŞ

Havuç (*Daucus carota* L.) maydanozgiller (*Apiaceae*) familyasında yer alan ve kökü için sebze olarak yetiştirilen koni şeklindeki iki yıllık otsu kültür bitkisidir (İsmail, 2017). Havuç askorbik asit, β -karoten, A, B, C vitaminleri ve minerallerince zengin doğal bir antioksidan ve besin kaynağıdır (İsmail, 2017; Polat, 2019). İnsan sağlığı için önemli bir sebze olan havuç kolesterol ve yüksek tansiyon düşürücü, felç, kalp rahatsızlığı ve bazı kanser türlerinin riskini azaltıcı özelliğe sahiptir (Kumar ve ark., 2012). Bu özelliklere sahip olmasından dolayı insan sağlığı açısından önemli bir yere sahiptir. Havuç ayrıca meyve suyu, kurutulmuş ürün, konserve ve hazır çorbalarda kullanılmaktadır (Chen ve ark., 2016). Dünya çapında en çok üretilen ve en çok tüketilen sebzelerden birisidir. Havuç üretiminde dünyanın en önde gelen ülkesi Çin'dir. Amerika Birleşik Devletleri, Özbekistan, Polonya, Türkiye, Fas, Birleşik Krallık ve Japonya önemli diğer üreticilerdir (Doymaz, 2017). Türkiye'de havuç üretimi 2023 yılında yaklaşık 777 908 ton'dur (TÜİK, 2024). Havucun, mevsimlik bir ürün olması hasat sezonunda işlenmesini gerektirmektedir. Hasat edilmiş olan havuçlar işlendikten sonra (havuç suyu, kurutulmuş havuç, havuç tozu ve havuç cipsi vb.) elde edilen ürünler son yıllarda araştırmacıların ilgisini büyük oranlarda çekmektedir.

Gelişmekte olan ülkelerde uygun alt yapının olmamasından veya uygun muhafaza yöntemlerinin bilinmemesinden dolayı hasat edilen taze ürünlerin yaklaşık %30-40'ı çöpe gitmektedir (Lewicki ve Lenart, 2006; Bonazzi ve Dumoulin, 2011). Hasat edilen ürünler, soğukta muhafaza koşullarında tat, biyoaktif bileşikler ve renk değişimlerine uğrayarak hoş olmayan koku oluşturabilir ve birçok farklı morfolojik ve fizyolojik değişime maruz kalabilir (Liu ve ark., 2019). Ayrıca soğukta muhafaza yönteminde, enerji tüketimi ve ilk yatırım maliyetinin yüksek olması ergonomikliğini zorlaştırmaktadır. Bu sebeple havucun muhafazası işlemlerinde hem ürünün daha uzun süre depolanabilmesi hem de enerji tüketimi ve ilk yatırım masraflarının daha az olduğu yöntemleri seçmek önemlidir (Omari ve ark., 2018). Kurutma uygulamaları, en eski ve en yaygın olarak tercih edilen muhafaza yöntemlerinden birisidir.

Kurutma, tarım ürünlerinin bünyelerindeki yüksek nemin bozulmadan saklanabileceği kritik bir nem seviyesine kadar düşürüldüğü ve bu esnada ürünün fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerinde değişikliklerin oluştuğu, kontrollü şartlar altında yapılan bir ısı ve kütle difüzyon olayı olarak tanımlanmaktadır (Polatçı ve Taşova, 2020). Kurutma işlemlerin ekonomik yönleri dikkate alınmalı ve kurutma parametreleri, kurutma süresi, enerji tüketimi ve kurutulmuş ürünlerin kalitesi açısından uygun koşullar belirlenmelidir (Kowalski ve ark., 2013). Kurutma işleminde artan hava sıcaklığında ve özellikle uzun süreli ısıtmaya maruz kalmasında ürünlerin renk, tat, koku, tekstür ve besin içeriği gibi önemli kalite özellikleri olumsuz etkilenebilir. Tüketici açısından, kurutulmuş ürünlerin kalite özellikleri bu ürünlerin satın almalarında etkilidir. Bu nedenle, yüksek kalitede kurutulmuş ürünler elde etmek amacıyla optimum kurutma koşulları ve yöntemi seçimi önem arz etmektedir (Stepień, 2009; Brennan, 2006).

Literatürde kullanılan yaklaşık 500 çeşit kurutucunun olduğu bildirilmesine rağmen bunlardan ortalama 100 tanesi yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Mujumdar, 2000; Şevik, 2013). Bu yöntemler arasında açıkta, normal sıcak hava, vakum, mikrodalga ve kızılötesi kurutma işlemleri ile bunların birleşimlerinden oluşan hibrit kurutma teknikleri gibi yöntemler bulunmaktadır. Açıkta kurutma, masraf ve pratiklik açısından uygun bir yöntem olarak görülmektedir. Açıkta kurutulan tarımsal ürünlerde homojen olmayan bir sıcaklık dağılımının oluşmasından dolayı kurutma işlemi uzun sürmektedir ve bazı kalite özellikleri korunamamaktadır. Bununla birlikte açıkta kurutulduğundan dolayı biyolojik materyal çevresel etmenlerden olumsuz etkilenmektedir. Açıkta kurutmanın yüksek oranda ürün kaybı, böceklenme, küflenme riski, yetersiz kuruma, kuşlar ve kemirgenlerin üründe meydana getirdiği zararlar, yağmur gibi doğa olaylarından dolayı kurutmaya ara verilmesi, geniş alanlara ihtiyaç duyulması ve yüksek iş gücü ihtiyacı gibi bazı dezavantajları vardır (Top ve ark., 2019).

Sıcak havayla kurutma olarak da adlandırılan konvektif kurutma, endüstride yaygın olarak kullanılmasını belirleyen bazı avantajları vardır. Bunlar; işlemlerin basit, ucuz ve kullanım bilgilerinin pratik olmasıdır. Sıcak havayla kurutma yönteminde en önemli parametrelerden birisi kurutma havası sıcaklığıdır. Sıcaklık değerinin artması kurumayı

hızlandırır, maliyeti düşürür ve bir yandan da ürün kalitesinde bazı kayıplar meydana getirebilir. Bu nedenle, endüstriyel uygulamada optimum sıcaklık veya rasyonel ısı dozajı bulmak çok önemlidir. Bu amaçla, kurutma ortamı sıcaklığının kurutulan ürünlerin kalitesine etkisinin detaylı bir analizi gerekmektedir (Gawalek, 2005). Gıda kalitesindeki düşüş, ürün yapısının bozulması, renk değişimi ve besin değerinin azalması ile de meydana gelebilir (Kowalski ve Pawlowski, 2010; Ho ve ark., 2001).

Vakumlu kurutucular, yüksek sıcaklıklarda yapısı bozulan ürünlerin düşük sıcaklıklarda hızlı bir şekilde kurutulması amacıyla tasarlanmıştır. Katı ürünlerin yanı sıra özellikle püre ve sıvı haldeki ürünleri kurutmak için kullanılan vakumlu kurutucular, üründeki suyu kondüksiyon, konveksiyon veya radyasyon yollarından birisi veya birkaçı ile birlikte ısıtılarak buharlaşmasını sağlar. Kurutma ortamında hava bulunmadığından kolaylıkla okside olabilen vitamin ve renk gibi kalite özelliklerinde daha az kayıplar meydana gelmektedir. Vakumlu kurutucuların olumlu yönlerinin yanında oldukça pahalı olması gibi olumsuz yönleri de bulunmaktadır (Saldamcı ve Saldamlı, 2004; Demiray, 2015).

Bu çalışmanın amaçları; havuç dilimleri konvektif kurutucuda, vakumlu etüvde, laboratuvar tip konvektif kurutucuda (50, 60, 70 ve 80 °C) ve güneşte kurularak yöntemlerin havuç dilimlerinin kuruma süresi ve son kalite parametreleri üzerindeki etkisini belirlemek, uygulanan ön işlemler (haşlama, sitrik asit çözeltilisine bandırma) havuç dilimlerinin kuruma süresi ve kalite özellikleri üzerine etkilerini saptamaktır. Buna ek olarak, havuç için uygun kuruma modelinin belirlenmesi, kuruma kinetiğinin incelenmesi, kurutma uygulamaları farklılıklarının ve ön işlemlerin rehidrasyon ve renk gibi kalite parametreleri üzerine etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu parametreler dikkate alınarak havuçta uygun kurutma yöntemi, ön işlem ve kurutma sıcaklığının belirlenmesi hedeflenmiştir.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Zielinska ve Markowski (2010), havuçları akışkan yataklı kurutucuda 60, 70, 80 ve 90 °C sıcaklıklarda kurutma işlemleri gerçekleştirerek hava sıcaklıklarının havuçların kurutma özelliklerine, matematiksel modellere, tahmini efektif nem yayılımına ve havuçların büzülme olaylarına olan etkisini araştırmışlardır. Çalışma sonucunda yüksek sıcaklıklar uygulandığında daha yüksek kuruma oranı gözlemlediklerini ve en iyi matematiksel modellerin ise Two term ve Page (R^2 : 0.999) modelleri olduğunu bildirmişlerdir.

Hiranvarachat ve ark. (2011), sitrik asit ve kaynar suya bandırma ön işlemleri uyguladıkları ve uygulamadıkları (işlenmemiş ve damıtılmış suda bekletilmiş) havuç dilimlerini sıcak hava ile kurutarak fiziko-kimyasal özelliklerine olan etkisini araştırmışlardır. Çalışma sonucunda ise kaynar suda haşladıkları numunelerin ve sitrik asit çözeltisinde haşladıkları örneklerin kuruma sürelerinde önemli bir fark olmadığını ve işlenmemiş havuç, suda bekletilmiş havuç ve sitrik asit çözeltisine bandırılan havuçların rehidrasyon oranlarında önemli bir fark elde etmediklerini bildirmişlerdir. Daha yüksek kurutma havası sıcaklıklarında daha yüksek parlaklık (L) ve kırmızı/yeşil (a) değerleri elde ettiklerini ifade etmişlerdir. Sitrik asit çözeltisine bandırma ön işleminde, ön işlemsiz havuç örneklerine göre daha düşük L değeri gözlemlenirken a değerinin daha yüksek olduğunu tespit etmişlerdir. Fiziksel özellikler açısından sitrik asitte haşlama (pH 5'e kadar) ön işlemleri ve 70 °C sıcaklıkta kurutmayı en iyi koşullar olduğunu önermişlerdir.

Ricce ve ark. (2016), 3 mm kalınlığında dilimledikleri havuç örneklerini konvektif kurutucuda 40 °C ve 60 °C sıcaklıkta kurutarak kuruma kinetiği, rehidrasyon (25 °C) ve matematiksel modelleme üzerine olan etkisini araştırmışlardır. Çalışma sonucunda ise kurutma sıcaklığının artması ultrason ön işleminin etkisini azalttığını tespit etmişlerdir. Uzun süre ultrason ön işlemleri uygulanmasının, düşük sıcaklıklarda kurutma rehidrasyon oranını arttırdığını bildirmişlerdir. Henderson & Pabis modeli en iyi sonuçları verdiğini tespit etmişlerdir.

Delfiya ve ark. (2017), güneş-biyokütle hibrit kurutucuda (50-60 °C) mikrodalga ve tuzlu su çözeltisinde ön işlem uyguladıkları havuç dilimlerinin bazı fiziko-kimyasal ve beta karoten içeriği üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Çalışma sonucunda ön işlemlerin kuruma hızını etkilediğini ve en yüksek kuruma hızınının 3 dakika mikrodalga %4 tuzlu su çözeltisi ön işlemi uyguladıkları örneklerde tespit etmişlerdir. En yüksek rehidrasyon oranının ve toplam renk değişiminin (ΔE) 3 dakika mikrodalga ve %2 tuzlu su çözeltisi ön işlemi uygulanan örneklerde olduğunu bildirmişlerdir.

Doymaz (2017), havuç örneklerinde, kurutma havası sıcaklığı ve ön işlemlerin etkisini, matematiksel modellerin uyumluluğunu, efektif difüzyon, aktivasyon enerjisi, rehidrasyon ve renk özelliklerini araştırmıştır. Çalışma sonucunda, sıcaklıkların artmasıyla ön işlem uygulamasıyla örneklerin kuruma süresinde azama olduğunu rapor etmiştir. Çalışma sonucunda ön işlemlerin kuruma sürelerini azalttığını bildirmişlerdir. Matematiksel modellemede ise en iyi Midilli ve ark. modeli olduğunu tespit etmiştir. Sıcak suya bandırma ön işleminin, havuç örneklerinin parlaklık (L) değerini yükselttiğini bildirmiştir.

İsmail (2017), ön işlem uyguladığı ve uygulamadığı (kontrol) havuç dilimlerinin, güneşte kurutulması sonrasında rehidrasyon (25 ve 50 °C) kinetiğini araştırmıştır. Çalışma sonucunda rehidrasyon kinetiği üzerine su sıcaklık artışının kuruma kinetiğinin artmasında etkili olduğunu fakat ön işlemlerin ise etkili olmadığını tespit etmiştir. En yüksek rehidrasyon kapasitesinin ön işlem uygulanmayan (kontrol) örneklerde olduğu belirlenirken en düşük rehidrasyon kapasitesini haşlama ön işlemi uyguladığı örneklerde olduğunu rapor etmiştir.

Rajkumar ve ark. (2017), sıcak hava (45 °C) ve dondurarak (-21 °C) kurutmaya tabi tutulan havuç dilimlerinin bazı fiziksel özellikleri ve aromatik profillerini karşılaştırmışlardır. Çalışma sonucunda tazeye göre parlaklık (L), sarı/mavi (b) ve kroma (C) değerlerinde sıcak hava ile kurutma yönteminde azaldığını dondurarak kurutma yönteminde arttığını, kırmızı/yeşil (a) değerinde iki yöntemde de arttığını, hue (h°) değerlerinde iki yöntemde de azaldığını ve toplam renk değişiminin (ΔE) sıcak havayla kurutma yönteminde daha yüksek olduğunu bildirmişlerdir. Rehidrasyon oranlarında ise en yüksek değerleri dondurarak kurutulmuş ürünlerde sonra sıcak hava

ile kurutulmuş ürünlerde ve en düşük ise taze havuç örneklerinde olduğunu tespit etmişlerdir. Dokusal parametreler, renk ölçümleri ve rehidrasyon oranları açısından dondurarak kurutma yönteminin sıcak havayla kurutma yöntemine göre daha iyi sonuçlar elde ettiklerini ifade etmişlerdir.

Haq ve ark. (2018), mikrodalga ön işleminin Asya Himalaya siyah havucunu konvektif kurutucuda kurularak nem yayılımı, kuruma süresi ve hızı üzerine olan etkisini araştırmışlardır. Çalışma sonucunda mikrodalga ön işlemin kuruma süresine etki ettiğini ve en kısa kuruma süresinin 3 dakika boyunca ön işlem uygulayıp 70 °C sıcaklıkta kuruttukları örneklerde tespit etmişlerdir. Matematiksel kuruma modelleri arasında en iyi Page modeli olduğunu bildirmişlerdir.

Cao ve ark. (2019), mikrodalga, sıcak hava ve vakum yöntemlerinden oluşan bir hibrit kurutucuda havuç örneklerinin kalite özelliklerini incelemişlerdir. Çalışma sonucunda en yüksek parlaklık (L) değerinin, 50 dakika boyunca kurutulan örneklerde olduğunu tespit ederlerken, kırmızı/yeşil (a) ve sarı/mavi (b) değerlerde 60 ve 70 dakika kurutulan örneklerde düştüğünü ve 80 dakika kurutulan örneklerin sarı/mavi (b) değerinin yükseldiğini tespit etmişlerdir. Kuruma süresinin uzamasıyla rehidrasyon oranlarının azaldığını bildirmişlerdir. Havuç dilimlerinin kurutulmasında 70 dakika boyunca kurutulan örneklerin en iyi kalitede olduğunu ifade etmişlerdir.

Liu ve ark. (2019), ön işlem uygulamasının (darbeli elektrik alan) vakumlu kurutucuda (0.3 bar) kurutulan havuç dilimlerinin kalite özellikleri üzerine etkilerini araştırmışlardır. Havuç örneklerini 25, 50, 75 ve 90 °C sıcaklık değerlerinde kurutmuşlardır. Kurutma öncesi havuç örneklerini 5 ve 25 mm kalınlıklarda dilimlemişlerdir. Çalışma sonucunda kurutma sıcaklıkları ve ön işlem kuruma süresini önemli ölçüde etkilediğini bildirmişlerdir. Toplam renk değişimi (ΔE) değerinin, ön işlem uygulanmış örneklerde kontrol örneklerine kıyasla daha düşük olduğunu ve en yüksek değerin 90 °C uygulanarak kurutulan kontrol örnekleri ile elde edildiğini tespit etmişlerdir.

Saleh ve ark. (2019), hava sıcaklığı ve dilim kalınlığının havuçta kurutma sonrası bazı kalite özellikleri üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Kabin kurutucuda 50, 60 ve 70 °C

sıcaklıklarda havuç dilimlerini kurutma çalışması gerçekleştirmişlerdir. Kurutma denemeleri öncesi havuç örneklerini damıtılmış su ile yıkayıp, soyarak 3 ve 6 mm kalınlığında dilimlemişlerdir. Çalışma sonucunda 3 mm kalınlığında dilimledikleri havuç örnekleri 6 mm kalınlığındaki örneklere göre daha hızlı kurduğunu bildirmişlerdir. Her iki kalınlıktaki numunelerin 50 °C sıcaklıkta kurutulması ile daha fazla toplam renk değişiminin (ΔE) olduğunu gözlemlemişlerdir. Kurutma çalışması sonucunda elde ettikleri ürünlerin her iki kalınlık için 50 ve 70 °C sıcaklıklarda renk bozulmalarının yüksek olduğunu ve 60 °C de ise minimum seviyede renk bozulmasının olduğunu ifade etmişlerdir. Kuruttukları havuç dilimlerinin rehidrasyon oranı açısından ise 70 °C sıcaklık 50 ve 60 °C sıcaklığa göre önemli ($p<0.05$) ölçüde azalttığını bildirmişlerdir.

Abbaspour-Gilandeh ve ark. (2020), havuç örneklerinin farklı kurutucularda ön işlem (ultrasonik) uygulanması sonucu kuruma kinetiği, kalite ve enerji tüketimi gibi parametrelerin farklılıklarını karşılaştırmışlardır. Çalışma sonucunda en kısa kurutma süresinin ve en yüksek kuruma hızının ön işlem+mikrodalga+konvektif yönteminde olduğunu bildirmişlerdir. En iyi modelin konvektif, ön işlem+kızılötesi ve ön işlem+mikrodalga+konvektif yöntemi uygulaması sonucunda ($R^2=0.9997$) Midilli modelinin olduğunu belirlemişlerdir. En düşük toplam renk değişim (ΔE) değerini ön işlem+mikrodalga+konvektif yöntemi ile elde edildiğini en yüksek renk farkı değerlerinin ise konvektif kurutma uygulaması sonucu elde edildiğini tespit etmişlerdir. En yüksek rehidrasyon oranını ön işlem+mikrodalga yöntemi uygulanarak kurutulan örnekler ile elde edildiğini bildirmişlerdir.

Singh ve Gangwar (2020), ozmotik ön işlem yönteminin konvektif kurutucuda (60 °C ve 70 °C) havuç örneklerinin fiziko-kimyasal özelliklerini üzerine etkilerini araştırmışlardır. Ozmotik ön işlem uyguladıkları havuç dilimlerinin kontrol numunelerine göre daha erken kurduğunu ifade etmişlerdir. Ozmotik ön işlem uyguladıkları havuç örneklerin kontrol numunelerine göre kırmızı/yeşil (a) ve sarı/mavi (b) değerlerinde azalma olduğunu rapor etmişlerdir. En yüksek rehidrasyon oranının 70 °C uygulanarak kurutulan kontrol numuneleri ile elde edildiğini bildirmişlerdir.

Xu ve ark. (2020), tünel mikrodalga ve konvektif kurutucuda ön işlem uyguladıkları havuç örneklerinin kurutma verimliliği, homojenliği ve fiziko-kimyasal özelliklerini incelemişlerdir. Çalışma sonucunda en kısa kuruma süresinin 0.65 cm/s hızında tünel mikrodalga ile gerçekleştirildiğini bildirmişlerdir. Parlaklık (L), kırmızı/yeşil (a) ve sarı/mavi (b) değerlerinin tüm yöntemlerde önemli ($p<0.05$) lde arttığını, haşlama ve n kurutma uygulanan örneklerde toplam renk değişimi (ΔE) değerleri konvektif yöntemle kurutulduğunda daha düşük değerler elde ettiklerini ifade etmişlerdir. n kurutma uygulanarak 1.30 cm/s konveyör hızında tünel mikrodalgada kurutulan örneklerin rehidrasyon kapasitelerinin daha yüksek olduğunu tespit etmişlerdir.

Raut ve ark. (2021), çalışmalarında laboratuvar tip kurutucu ile kuruttıkları havuç dilimlerinin kalite parametrelerini araştırmışlardır. Çalışma sonucunda en kısa kuruma süresinin 70 °C sıcaklıkta kurutulan örneklerde olduğunu bulmuşlardır. En uygun matematiksel kuruma modeli olarak ise Page modeli olduğunu tespit etmişlerdir. Kurutulan havuç örneklerinde en yüksek toplam renk değişimi (ΔE) değerlerinin 70 °C uygulanarak kurutulan örnekler ile elde edildiğini bildirmişlerdir. En yüksek rehidrasyon oranının 70 °C sıcaklıkta ve en düşük rehidrasyon oranının ise 50 °C sıcaklıkta kurutulan örnekler ile elde edildiğini tespit etmişlerdir.

Wang ve ark. (2021), n işlemli ve n işlemsiz olarak kuruttıkları havuç örneklerinin fiziksel ve kimyasal özelliklerini incelemişlerdir. Çalışma sonucunda kuruma süresi açısından en kısa kurutma süresi sağlayan ön işlem uygulamalarının; 8 dakika boyunca haşlama ve 6 dakika boyunca vakum+buhar n işlemleri uyguladıkları havuç örnekleri ile elde edildiğini rapor etmişlerdir. Vakum+buhar ön işlemi ile muamele edilen numunelerin daha yüksek kırmızı/yeşil (a) ve sarı/mavi (b) renk değerleri tespit edilirken daha düşük parlaklık (L) ve toplam renk değişimi (ΔE) ile sonuçlandığını bildirmişlerdir.

Aksüt ve ark. (2022), n işlem uyguladıkları ve uygulamadıkları (kontrol) mor havuç örneklerini konvektif kurutucuda 65 °C sıcaklıkta kurutarak en uygun ince tabakalı kuruma modelini, kuruma performansı ve kalite özelliklerini araştırmışlardır. Çalışma sonucunda kaynar suya bandırma n işleminin kuruma sürelerini kısalttığını bildirmişlerdir. Kurutma işlemlerinden sonra parlaklık (L) değerinin tazeye göre

arttığını, kurutulan havuç örnekleri arasında kroma (C) değerlerinde istatistiki açıdan bir fark olmadığını ve en düşük kahverengileşme indeksinin (BI) ön işlem uyguladıkları örneklerde olduğunu belirlemişlerdir. Rehidrasyon oranları açısından ön işlemlili ve ön işlemsiz olarak kurutulan örneklerin birbirine çok yakın olduğunu ve rehidrasyon kapasitesi açısından ise kontrol grubu örneklerin daha yüksek değerlere sahip olduğunu ifade etmişlerdir.

Cerezal-Mezquita ve Bugueño-Muñoz (2022), havuç örneklerini güneşte kurutarak havuç örneklerinin kuruma kinetiği, matematiksel modelleme ve renk parametreleri üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Çalışma sonucunda kırmızı/yeşil (a), sarı/mavi (b), hue (h°), kroma (C) ve kahverengileşme indeksi (BI) değerlerinin tazeye göre azaldığını tespit etmişlerdir. Beyazlık indeksi (WI) değerinin ise arttığını tespit ederlerken toplam renk değişimi (ΔE) değerinin ise 14.11 olduğunu bildirmişlerdir. Kurutma denemelerine un uygun modelin Weibull modeli olduğunu belirlemişlerdir.

Ciurzynska ve ark. (2022), havuç dilimlerini hibrit kurutma yöntemleriyle kurutup kalite özelliklerini araştırmışlardır. Çalışma sonucunda en az toplam renk değişimi (ΔE) değerlerinin mikrodalga ve mikrodalga+dondurarak kurutma yönteminde olduğunu belirlemişlerdir. Havuç dilimlerinin kurutulmasında kuruma süresi ve renk değişimlerini sınırlandırmak için mikrodalga ve mikrodalga+dondurarak kurutma yöntemlerini önermişlerdir.

Ignaczak ve ark. (2023), ön işlemlerin ve kurutma yöntemlerinin atıştırmalık havuç özelliklerine olan etkisini araştırmışlardır. Çalışma sonucunda kurutulmuş havuç örneklerinin en yüksek parlaklık (L) değerlerini ön işlem uygulanmadan dondurarak kurutulmuş örneklerde olduğunu belirlemişlerdir. Ozmotik ön işlem uygulanan örneklerin L değerinde bir düşüş olduğunu ve daha uzun haşlama süresinin havuç örneklerinde daha fazla renk koyulaşmasına neden olduğunu bildirmişlerdir. Haşlama ön işlemi uygulanmış örneklerde, konvektif ve mikrodalga+konvektif yöntemiyle kurutulan numunelerde kırmızı (a) değerinin arttığını ve sarı (b) değerinin kurutma yöntemleriyle büyük ölçüde azaldığını tespit etmişlerdir. En yüksek toplam renk değişimi (ΔE) ve hue (h°) değerlerini mikrodalga+vakum kurutma yönteminde olduğunu kroma (C) değerinin ise kurutma yöntemleriyle azaldığını gözlemlemişlerdir.

Salehi ve ark. (2023), havuç örneklerini ön işlemli ve ön işlemsiz (kontrol) olarak konvektif kurutucuda 70 °C sıcaklık uygulayarak kurutup kuruma hızı, fiziko-kimyasal özelliklerini ve en uygun matematiksel kuruma modelini araştırmışlardır. Çalışma sonucunda ön işlemlerin kuruma süresini azalttığını ve en uygun Page modeli olduğunu bildirmişlerdir. Ön işlem süresinin rehidrasyon oranları üzerinde önemli ($p>0.05$) ölçüde etkilemediğini ifade etmiş ve mikrodalga ön işlemi uygulanmış örneklerde kontrol örneklerine göre daha yüksek olduğunu ifade etmişlerdir. Kurutulmuş havuç örneklerinin parlaklık (L) değerleri kontrol örneklerine göre daha düşük olduğunu ancak ultrason ön işlemi görmüş örneklerde daha yüksek olduğunu bildirmişlerdir. Kırmızılık (a) değerinin her iki ön işlem görmüş örneklerde kontrole göre daha yüksek olduğunu ve sarılık (b) değerinin mikrodalga ön işlemli örneklerde daha yüksek ancak ultrason ön işlemli örneklerde daha düşük olduğunu tespit etmişlerdir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Kurutulan ürün

Bu çalışmada kurutma materyali olarak havuç kullanılmıştır. Kurutma denemesinde kullanılan havuç örnekleri Tokat meyve ve sebze halinden (29.09.2022) temin edilmiştir. Taze havuç örnekleri kurutma denemeleri sonlanana kadar $+4\pm 0.5$ °C sıcaklıkta muhafaza edilmiştir. Taze havuç örneklerinin yaş baza göre nem içeriği $\%88.50\pm 0.53$ olarak belirlenmiştir.



Şekil 3.1. Kurutma denemelerinde kullanılan havuç

3.2. Yöntem

3.2.1. Kurutulan ürünün hazırlığı ve ön işlemler

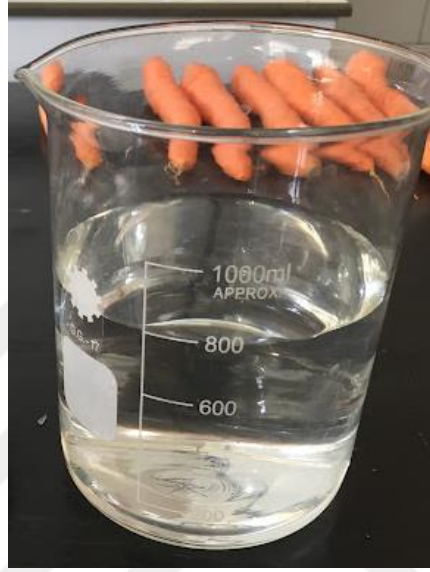
Çalışmada kullanılan havuç suyla yıkanıp kurulandıktan sonra keskin bir bıçak yardımıyla uç kısımları homojen boyutlarda olmasını sağlamak amacıyla kesilmiştir. Havuç örnekleri 5 mm dilim kalınlığında daire şeklinde dilimlenmiştir.



Şekil 3.2. Uç kısımları kesilmiş havuç örneği

Sebzelerin haşlanması yaygın olarak kullanılan yöntemler, sıcak-kaynar suya (en yaygın yöntem), buhara, asit veya tuz içeren çözeltilere bandırma ve mikrodalgada

ısıtmadır (Kidmose ve Martens, 1999; Severini ve ark., 2005). Haşlama işleminin temel amacı polifenoloksidazlar, peroksidaz, katalaz ve fenolaz gibi enzimlerin aktivasyonunu durdurmaktır. Aksi takdirde üründe istenmeyen renk, tat veya doku değişiklikleri gibi bozulma reaksiyonlar meydana gelebilmektedir (Gornicki, Kaleta, 2007). Haşlama ön işlemi için havuç örnekleri 15 dakika süresince kaynar suya bandırılmıştır.



Şekil 3.3. Haşlama ön işlemi

Sitrik asit ön işlemi için dilimlenen havuç örnekleri 500 ml' lik cam behere hazırlanan %3'lük (485 ml saf su+15 g sitrik asit) sitrik asit çözeltisinde 15 dakika boyunca bekletilmiştir.



Şekil 3.4. Sitrik asit ön işlemi hazırlanışı ve bandırma uygulaması

3.2.2. Kurutma yöntemi

Kurutma denemeleri Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Biyosistem Mühendisliği Bölümü Kurutma Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir. Çalışmada kullanılan taze havuç örnekleri etüv, vakumlu etüv, laboratuvar tip konvektif kurutucuda 50, 60, 70 ve 80 °C kurutma sıcaklıklarında ve güneşte üç paralel halinde kurutulmuştur. Vakum kurutma işlemleri 10 kPa vakum değerinde yapılmıştır. Laboratuvar tip konvektif kurutucuda yapılan kurutma işlemleri 862.50 m³/sa hava debisi değerinde gerçekleştirilmiştir. Kuruma işlemlerinde örneklerin son nem değeri yaş baza göre %10 seviyelerine kadar kurutulmuştur. Laboratuvar kurutma işlemlerinde yaklaşık 20 g ve güneşte kurutma işlemlerinde yaklaşık 40 g taze örnek kullanılmıştır. Taze ve kuru örneklerin ağırlık değerlerini ölçmek için AND marka GF-300 model hassas terazi (0.01 g) kullanılmıştır.

3.2.3. Kurutma ortamları

Kurutulacak olan havuç örnekleri 4 farklı ortamda kurutulmuştur.

- Konvektif (etüv)
- Vakumlu etüv
- Laboratuvar tip konvektif kurutucu
- Açıkta (güneş) kurutma

Konvektif Kurutucu (Etüv)

Kurutma denemeleri ve nem tayini için konvektif kurutucu (etüv) kullanılmıştır. Çalışmada iki farklı etüv kullanılmıştır. Etüvler aynı özellikte olup sadece bazı boyut ve teknik özellikleri farklıdır.



Şekil 3.5. Konvektif kurutucu (etüv)

Kurutma denemelerinde kullanılan etüvler Şimşek Labortechnik marka ST-120 ve ST-055 modelleri kullanılmıştır. ST-120 modeli boyut olarak daha büyük daha yüksek sıcaklık değerlerine kadar ayarlanabilir.



Şekil 3.6. Çalışmada kullanılan diğer etüv

Vakumlu Etüv

Havuç dilimlerinin kurutulmasında CLS Scientific marka CLVO-64T model vakumlu etüv kullanılmıştır. Vakumlu etüv üzerinde kurutma işlemleri için vakum basıncı ve sıcaklık değerleri ayarlanabilmektedir.



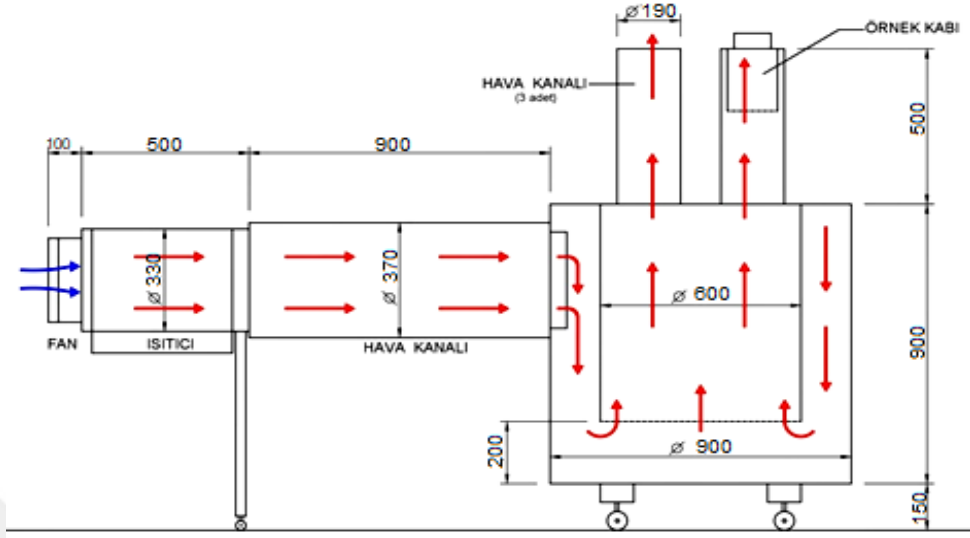
Şekil 3.7. Vakumlu kurutucu

Laboratuvar tip konvektif kurutucu

Laboratuvar tip konvektif kurutucu deneysel amaç doğrultusunda tasarlanıp üretilmiştir. Kurutucunun temel çalışma prensibi bir fan aracılığıyla çevre havasını ısıtıcı bölmesine ileterek ve ısınan havayı kurutma bölmesine aktararak çalışmaktadır. Kurutma havasının ısıtılması için rezistanslar kullanılmıştır. Isıtılan hava kanaldan geçerek kurutma odasına aktarılmaktadır. Kurutma odasındaki sıcak hava aşağıdan yukarı yönde ürüne temas ettirilerek üründen nem uzaklaştırmaktadır. Ürünlerin kurutulacağı bölüm üç bölmeye ayrılmıştır. Kurutucuya ait elektrik panosu üzerinden kurutma havasının sıcaklığı ve debisi ayarlanabilmektedir.



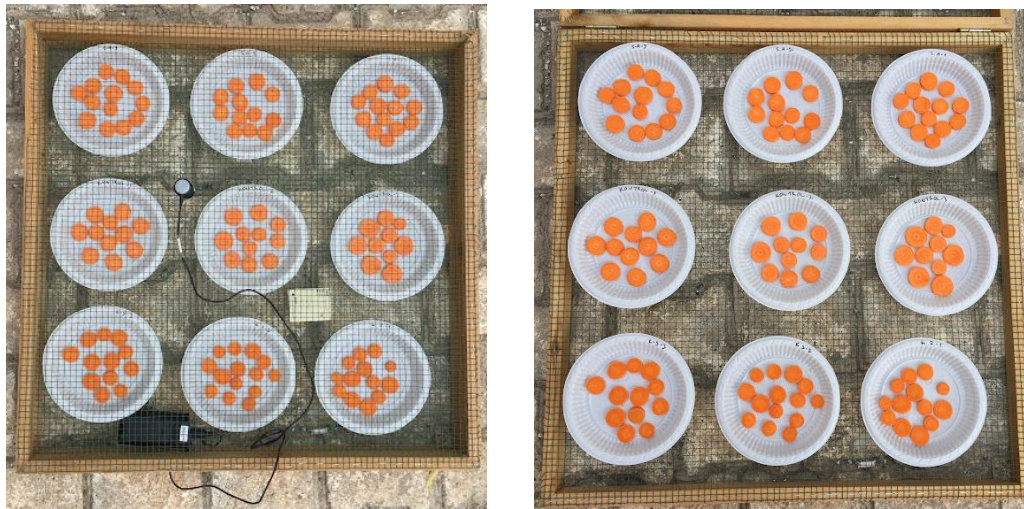
Şekil 3.8. Laboratuvar tip konvektif kurutucu



Şekil 3.9. Laboratuvar tip konvektif kurutucu şematik görünümü

Acıkta (güneş) kurutma

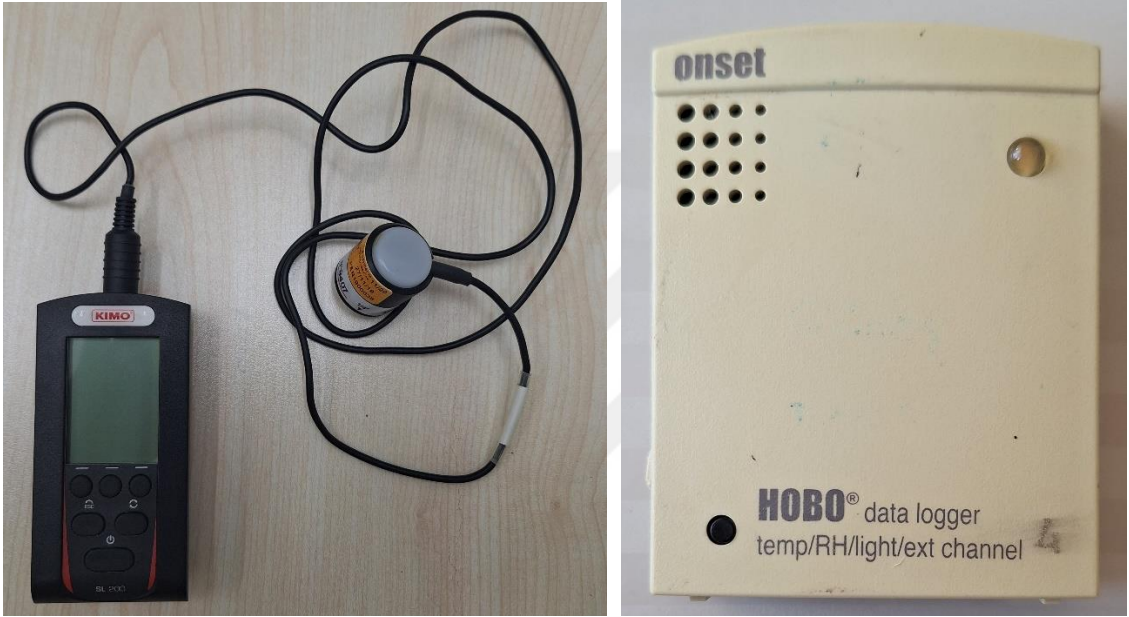
Havuç dilimlerini güneşte kurutmak için imal edilen kurutma kafeslerinden yararlanılmıştır. Kurutma kafesleri zararlıların (kuş, böcek ve kemirgen vb.) kurutulacak ürüne zarar vermesini önlemek amacıyla kullanılmıştır. Kurutma kafesi 75 x 75 cm ve kenar çita kalınlığı 3.5 cm boyutlarında olup hava geçişini engellemeyecek bir şekilde tel örgü ile kaplanmıştır. Güneşte kurutma denemeleri 09.00-17.00 saatleri arasında yürütülmüştür.



Şekil 3.10. Güneşte kurutma

3.2.4. Bağıl nem, sıcaklık ve güneş ışınım değerinin ölçümü

Güneşte kurutma işlemlerinde bağıl nem ve sıcaklık değerlerini ölçüp kaydetmek için HOB0 marka Data Logger (Temp/RH/light) kullanılmıştır. Çalışma sonunda kaydedilen veriler HOB0ware program ile bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Kurutma işleminde güneşten gelen ışınım şiddetini (W/m^2) ölçmek için Kimo marka SL200 model güneş ışınım ölçer (solarimetre) kullanılmıştır.



Şekil 3.11. Solarimetre, bağıl nem ve sıcaklık ölçer

3.2.5. Nem tayini

Nem tayini işlemi 70 °C sabit sıcaklıkta etüvde ürünlerin ağırlık değişimleri sabitlenene kadar kurutulmuştur (Yağcıoğlu, 1999). Taze havuç örnekleri tabaklara konularak altı paralel halinde nem tayini işlemi gerçekleştirilmiştir. Yaş ve kuru baza göre nem içeriğini hesaplamak için 1 ve 2 numaralı eşitlikler kullanılmıştır.

$$N_y = \frac{W_i - W_s}{W_i} \times 100 \quad (1)$$

$$N_k = \frac{W_i - W_s}{W_s} \times 100 \quad (2)$$

Burada: N_y ; yaş baz nemi (%), N_k ; kuru baz nemi (%), W_i ; yaş örnek ağırlığı (g), W_s ; kuru örneğin ağırlığı (g)



Şekil 3.12. Nem tayini için kullanılan havuç örnekleri

3.2.6. Renk ölçümü

Taze ve kurutulmuş havuç örneklerinin L , a ve b değerleri Minolta marka CR-300 model renk ölçer ile ölçülmüştür. Bu değerler kullanılarak kroma, hue, kahverengileşme indeksi ve toplam renk değişim değerleri hesaplanmıştır.

" L " parlaklık değerini ifade ederken 0-100 arasında değerler almaktadır. " a " kırmızı-yeşil ve " b " ise sarı-mavi renkleri temsil etmektedir. Bu değerler pozitif (+) olursa " a " kırmızıyı " b " sarı renkte olduğunu negatif (-) işaretli değerler alırsa " a " yeşil ve " b " mavi renkte olduğunu göstermektedir (McGuire, 1992).

Kroma değeri, rengin doygunluğunu göstermektedir. Canlı renklerde yüksek değerler hesaplanırken solgun renklerde düşük değerler hesaplanmaktadır. Kroma değeri 3 numaralı eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır.

Hue değeri, ölçülen kırmızılık ve sarılık değerleri kullanılarak hesaplanan bir renk radyantını ifade etmektedir. Hue değeri 4 numaralı eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır.

$$C = \sqrt{a^2 + b^2} \quad (3)$$

$$h^\circ = \tan^{-1} \left(\frac{b}{a} \right) \quad (4)$$

Burada: C; kroma, a; kırmızı-yeşil renk değeri, b; sarı-mavi renk değeri, h° ; hue açısı.

Toplam renk değişim değeri (ΔE): Taze havucun renk değerlerini kurutma işlemleriyle ne kadar değiştirdiğini belirlemektir. Toplam renk değişim değerini 8 numaralı eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır (Çelen ve ark., 2015).

$$\Delta L = L_{taze} - L \quad (5)$$

$$\Delta a = a_{taze} - a \quad (6)$$

$$\Delta b = b_{taze} - b \quad (7)$$

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2} \quad (8)$$

Kahverengileşme indeks değeri (BI): Havucun kurutma işlemleri sonunda gerçekleşen kahverengilik değerini belirtmektedir. Kahverengileşme indeksi 9 numaralı eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır (Plou ve ark., 1999).

$$X = \frac{a + (1.75 \times L)}{[(5.645 \times L) + (a - (3.012 \times b))]} \quad (9)$$

$$BI = \frac{[100(x - 0.31)]}{0.17} \quad (10)$$



Şekil 3.13. Renk ölçüm cihazı

3.2.7. Kuruma Hızı

Havuç örneklerinin kuruma hız değerlerine sıcaklıkların ve ön işlemlerin etkisi belirlemek için 11 numaralı eşitlik kullanılmıştır.

$$KH = \frac{M_t - M_{(t+dt)}}{dt} \quad (11)$$

Burada: KH; kuruma hızı (g su/g kuru madde.dakika), M_t ; t anındaki nem içeriği (g su/g kuru madde), d_t ; dakika

3.2.8. Rehidrasyon parametreleri

Kurutulan gıdaların rehidrasyon kinetiğinin araştırıldığı çalışmalarda rehidre için kullanılan su sıcaklığı da rehidrasyon parametrelerini (rehidrasyon hızı, oranı, kapasitesi) önemli seviyede etkilediği belirtilmektedir. Çalışma kapsamında farklı sıcaklarda kurutulmuş havuç örnekleri su banyosu cihazında (Şimşek Labortechnik marka-Türkiye SBD309 model) 50, 70 °C ve oda sıcaklığında bekletilmiştir. Rehidrasyon denemeleri üçer paralel halinde gerçekleştirilmiş olup deneme sonlanana kadar kurutulmuş havuç dilimleri ağzı kapalı plastik tüplerde güneş görmeyen ve kuru bir ortamda muhafaza edilmiştir. Kurutulmuş havuç örneklerinin rehidrasyon oranı (RO) 12 numaralı eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır (Ertekin ve Yıldız, 2004). Kurutulmuş havuçların rehidrasyon kapasiteleri (RK) ise 13 numaralı eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır (Chen ve ark., 2016).

$$RO = \frac{M_2}{M_1} \quad (12)$$

$$RK = \frac{(M_2 - M_1)}{M_1} \times 100 \quad (13)$$

Burada: M_2 ; nemlendirilmiş ürünün ağırlığını, M_1 ; kuru ürünün ilk ağırlığını belirtmektedir.



Şekil 3.14. Su banyosu cihazı

3.2.9. Kuruma modeli

Kurutulan havuç örneklerinin süreye bağlı olarak ayrılan nem oranı değeri 14 numarada verilen eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır.

$$ANO = \frac{M - M_e}{M_0 - M_e} \quad (14)$$

Burada: ANO; ayrılabilir nem oranı, M; ürünün anlık nem içeriği (g nem/g kuru madde), M_e ; ürünün verilen durumdaki denge nemi (g nem/g kuru madde), M_0 ; kurutulan materyalin ilk nem içeriği (g nem/g kuru madde).

Kuruma eğrilerini oluşturmak için literatürde yaygın olarak kullanılan Lewis, Wang-Sing ve Midilli-Küçük ince tabakalı matematiksel modeller seçilmiştir. Modellere ait eşitlikler Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Kurutma model eşitlikleri

Model ismi	Eşitlik	Kaynak
Lewis	$ANO = \exp(-k \cdot t)$	Lewis, (1921)
Wang-Sing	$ANO = 1 + k \cdot t + h \cdot t^2$	Wang-Singh, (1978)
Midilli-Küçük	$ANO = h \cdot \exp(-j \cdot t^k) + (m \cdot t)$	Midilli ve ark., (2002)

Burada: k, h, j ve m; eşitliklere ait sabit katsayılar, t; süre.

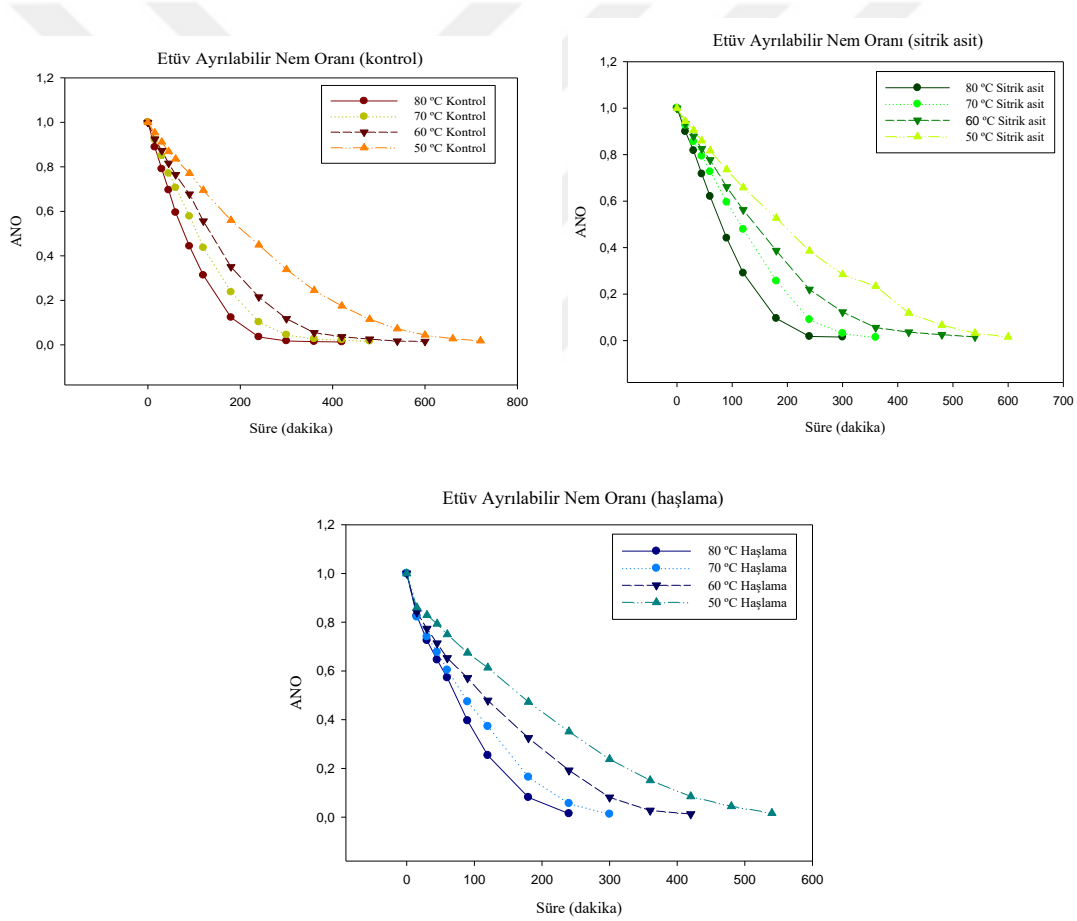
3.2.10. İstatistiksel analiz

Taze ve kurutulmuş örnekler arasındaki istatistiksel farklı ($p < 0.05$) belirlemek için SPSS22 programında çoklu karşılaştırma analizi (Duncan) yapılmıştır. Kuruma eğrilerini ve kuruma modellerini oluşturmak için SigmaPlot10 programı kullanılmıştır. Parametrelere ait standart hataları hesaplamak için Excel 2019 versiyonu kullanılmıştır.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Taze Havuç Örneklerinin Kuruma Performans Değerleri

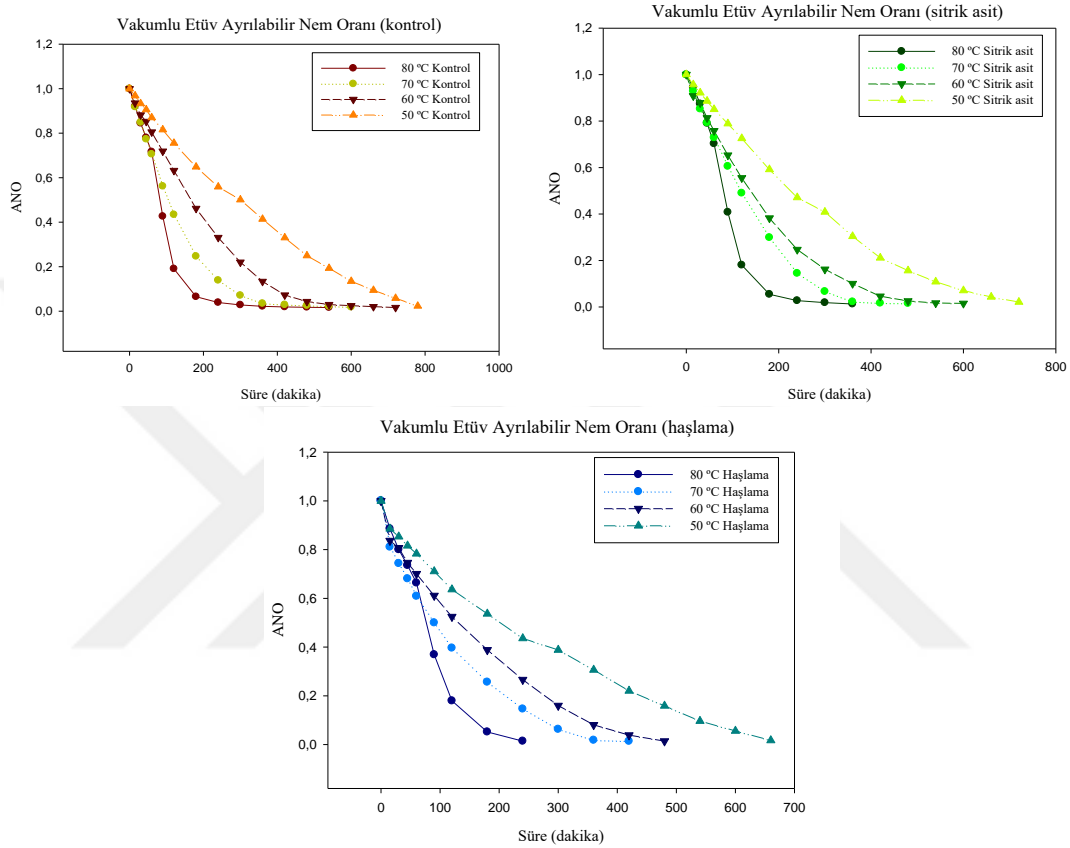
Taze havuç örnekleri hasat işlemi sonrasında gerekli ön işlemler uygulanarak konvektif kurutucuda (etüv), vakumlu etüvde, laboratuvar tip konvektif kurutucuda ve açıkta (güneş) kurutma işlemlerine tabii tutulmuştur. Konvektif kurutucuda, vakumlu etüvde ve laboratuvar tip konvektif kurutucuda 50, 60, 70 ve 80 °C sıcaklıkları uygulanarak kurutma denemeleri gerçekleştirilmiştir. Etüvde kurutulan ön işlemlili ve ön işlemsiz (kontrol) havuç örneklerinin zamana ve sıcaklığa bağlı ANO değişimleri Şekil 4.1’de verilmiştir.



Şekil 4.15. Etüvde kurutulan havuç örneklerinin zamana bağlı ANO değişimleri

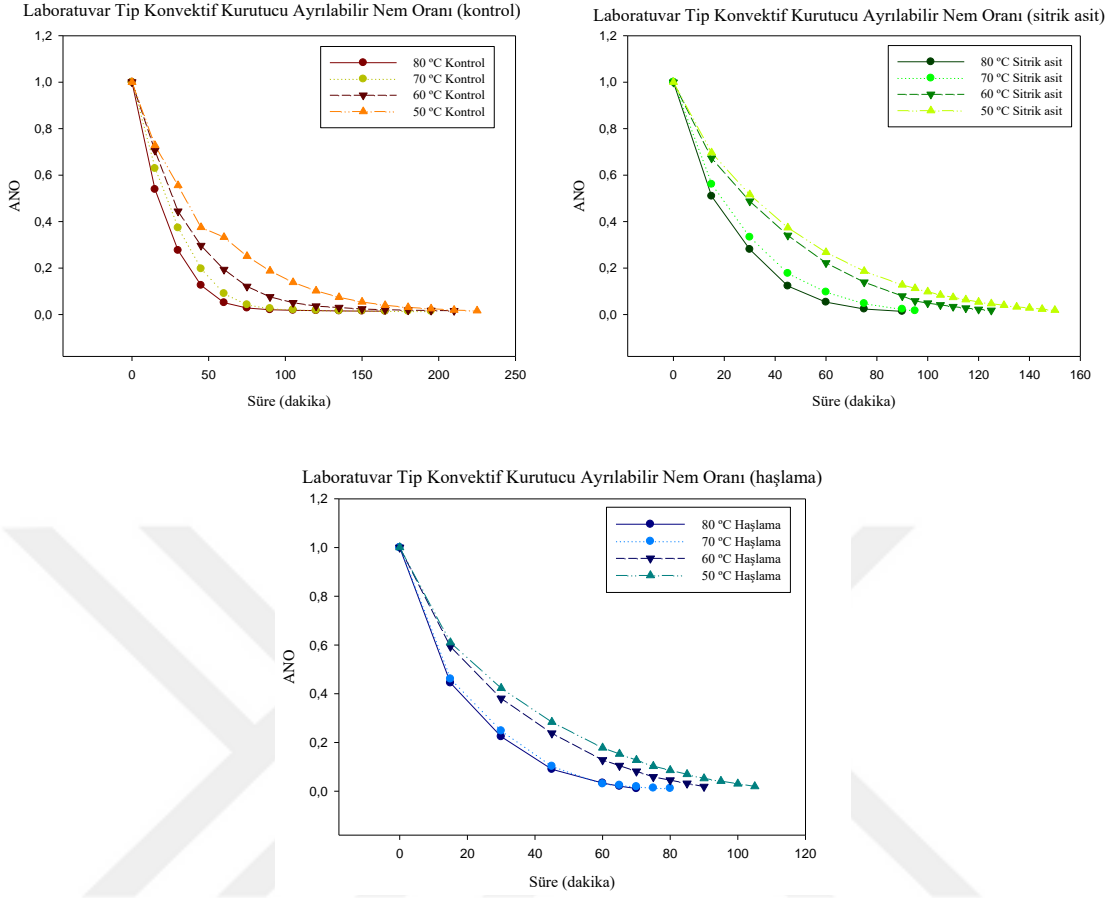
Ön işlemlili ve ön işlemsiz (kontrol) olarak etüvde kurutulan havuç örneklerinin kuruma verileri analiz edilmiştir. Şekil 4.1 incelediğinde en uzun kuruma süresinin 720 dakika ile 50 °C sıcaklıkta ön işlemsiz (kontrol) olarak kurutulan örneklerde olduğu tespit

edilmiştir. En kısa kuruma süresi ise 240 dakika ile 80 °C sıcaklıkta haşlama ön işlemi uygulanmış örneklerde olduğu belirlenmiştir. Vakumlu etüvde kurutulan ön işlemlili ve ön işlemsiz havuç örneklerinin zamana ve sıcaklığa bağlı ANO değişimleri Şekil 4.2’de verilmiştir.



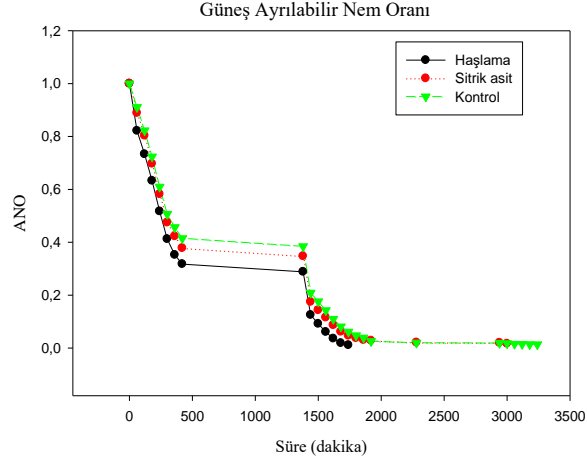
Şekil 16 Vakumlu etüvde kurutulan havuç örneklerinin ANO değişimleri

Şekil 4.2 incelendiğinde ön işlemlili ve ön işlemsiz (kontrol) vakumlu etüvde kurutulan havuç dilimleri arasında en uzun kuruma süresi 780 dakika ile 50 °C sıcaklıkta ön işlemsiz (kontrol) olarak kurulan havuç örneklerinde olduğu belirlenmiştir. En kısa kuruma süresinin ise 240 dakika ile 80 °C sıcaklıkta haşlama ön işlemi uygulanmış havuç örneklerinde olduğu belirlenmiştir. Laboratuvar tip konvektif kurutucuda kurutulan ön işlemlili ve ön işlemsiz (kontrol) havuç örneklerinin zamana ve sıcaklığa bağlı ANO değişimleri Şekil 4.3’de verilmiştir.



Şekil 17 Laboratuvar tip konvektif kurutucuda kurutulan havuç örneklerinin zamana bağlı ANO değişimleri

Şekil 4.3'e göre ön işlemlili ve ön işlemsiz (kontrol) bir şekilde kurutulan havuç örnekleri arasında en uzun kuruma süresinin 225 dakika ile 50 °C sıcaklıkta kurutulan kontrol grubu örneklerinde olduğu gözlemlenmiştir. En kısa kuruma süresinin ise 70 dakika ile 80 °C sıcaklıkta haşlama ön işlemlili uygulanmış örneklerde olduğu gözlemlenmiştir. Açıkta (güneş) kurutulan ön işlemlili ve ön işlemsiz havuç örneklerinin zamana ve sıcaklığa bağlı ANO değişimleri Şekil 4.5'de verilmiştir.

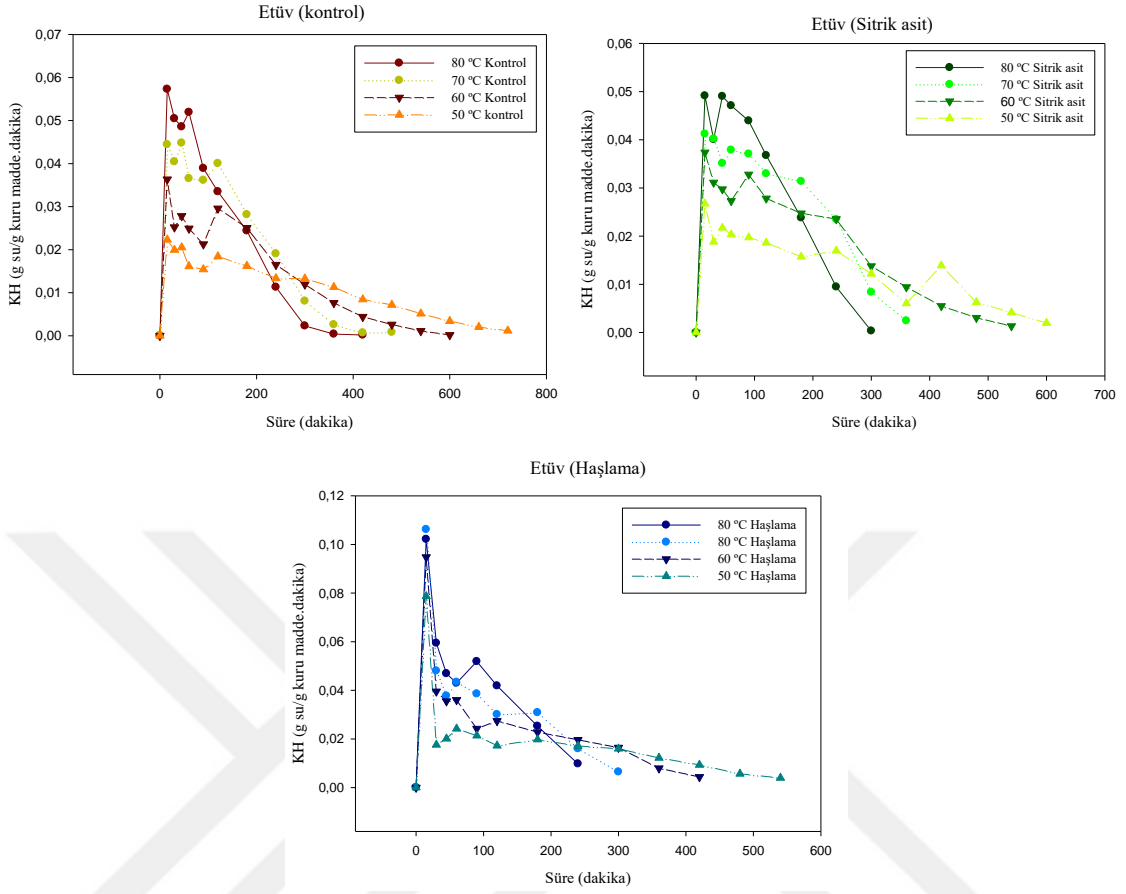


Şekil 18 Açıkta (güneş) kurutulan havuç örneklerinin zamana bağlı ANO değişimleri

Güneşte kurutma denemeleri esnasında ortalama ışınım şiddeti 644.72 W/m^2 olarak belirlenmiştir ve deneme materyalinin üzerine herhangi bir gölge gelmemiştir. Ortalama sıcaklık değeri ise $25.89 \text{ }^\circ\text{C}$ olarak tespit edilmiştir. Şekil 4.5 incelendiğinde ön işlemlili ve ön işlemsiz (kontrol) olarak güneşte kurutulan havuç dilimlerinin en uzun kuruma süresinin 3240 dakika ile ön işlemsiz (kontrol) gurubu örneklerinde olduğu belirlenmiştir. En kısa kuruma süresinin ise 1740 dakika ile haşlama ön işlemine tabii tutulmuş örneklerde olduğu belirlenmiştir.

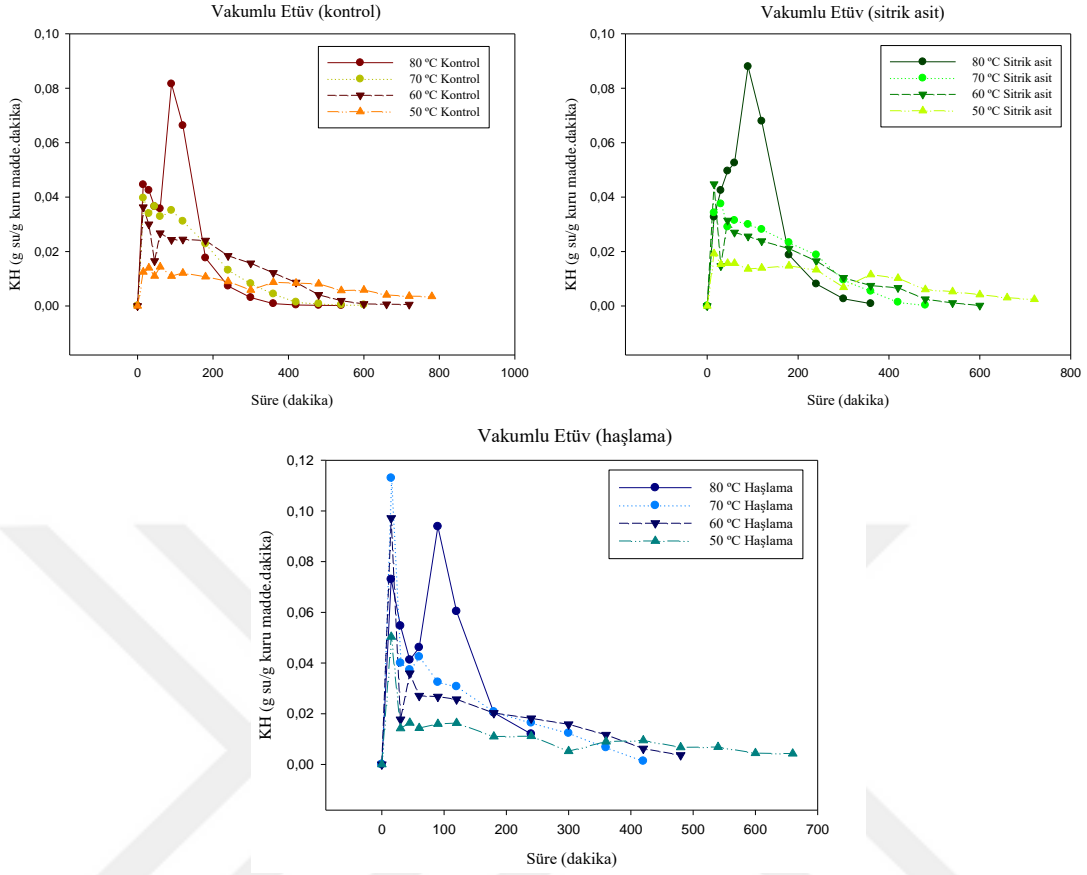
4.2. Kuruma hızı değerleri

Ön işlemlili ve ön işlemsiz (kontrol) olarak kurutulan havuç dilimlerine ait veriler kullanılarak kuruma hızı değerleri hesaplanmıştır. Etüvde kurutulan havuç örneklerinin kuruma hız değerleri Şekil 4.6'da verilmiştir.



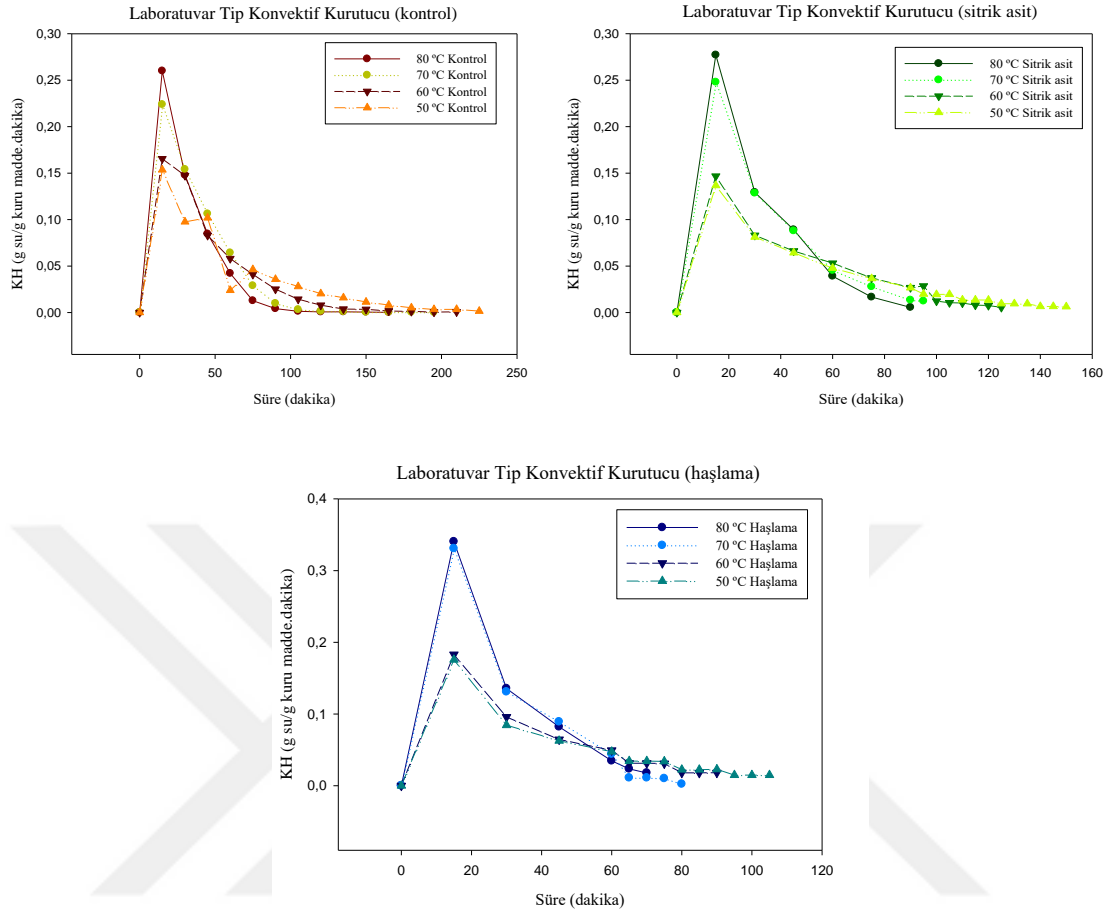
Şekil 19 Etüvde kurutulan havuç örneklerine ait kuruma hızı değerleri

Şekil 4.6 incelendiğinde ön işlemlili ve ön işlemsiz (kontrol) olarak etüvde kurutulmuş havuç dilimlerinin kuruma hız değerleri 50 °C sıcaklıkta kontrol, sitrik asit ve haşlama örneklerinde sırasıyla ortalama 0.0098, 0.0118 ve 0.0154 g nem g kuru madde⁻¹.dakika olarak hesaplanmıştır. Kurutma işlemlerinden 60 °C sıcaklıkta kontrol, sitrik asit ve haşlama yöntemleri uygulanarak kurutulan örneklerin sırasıyla ortalama 0.0133, 0.0174 ve 0.0225 g nem g kuru madde⁻¹.dakika değerlerine sahip olduğu belirlenmiştir. 70 °C sıcaklıkta kontrol, sitrik asit ve haşlama örneklerinde sırasıyla ortalama 0.0174, 0.0232 ve 0.0293 g nem g kuru madde⁻¹.dakika olarak hesaplanmıştır. 80 °C sıcaklıkta kontrol, sitrik asit ve haşlama örneklerinde sırasıyla ortalama 0.0181, 0.0241 ve 0.0362 g nem g kuru madde⁻¹.dakika olarak tespit edilmiştir. Vakumlu etüvde kurutulan havuç örneklerinin kuruma hız değerleri Şekil 4.7’de verilmiştir.



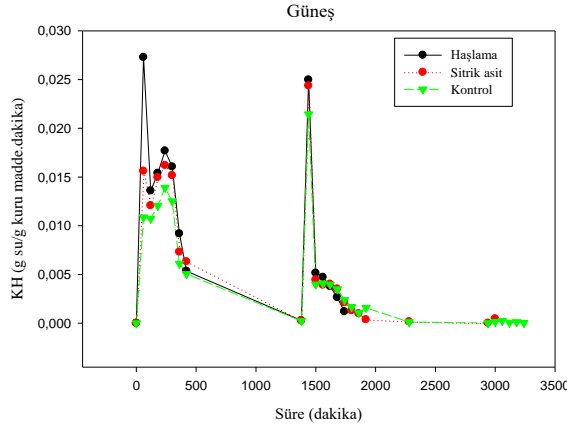
Şekil 20 Vakumlu etüvde kurutulan havuç örneklerine ait kuruma hız değerleri

Şekil 4.7'ye göre ön işlemlili ve ön işlemsiz olarak vakumlu etüvde kurutulmuş havuç örneklerinin kuruma hız değerleri 50 °C sıcaklıkta kontrol, sitrik asit ve haşlama örneklerinde sırasıyla ortalama 0.0075, 0.0090 ve 0.0098 g nem g kuru madde⁻¹.dakika olarak hesaplanmıştır. 60 °C sıcaklıkta kontrol, sitrik asit ve haşlama örneklerinde sırasıyla ortalama 0.0116, 0.0120 ve 0.0183 g nem g kuru madde⁻¹.dakika değerlerine sahip olduğu belirlenmiştir. 70 °C sıcaklıkta kontrol, sitrik asit ve haşlama örneklerinde sırasıyla ortalama 0.0133, 0.0171 ve 0.0226 g nem g kuru madde⁻¹.dakika olarak hesaplanmıştır. 80 °C sıcaklıkta kontrol, sitrik asit ve haşlama örneklerinde sırasıyla ortalama 0.0173, 0.0294 ve 0.0393 g nem g kuru madde⁻¹.dakika olarak tespit edilmiştir. Laboratuvar tip konvektif kurutucuda kurutulan havuç örneklerinin kuruma hız değerleri Şekil 4.8'de verilmiştir.



Şekil 21 Laboratuvar tip konvektif kurutucuda kurutulan havuç örneklerine ait kuruma değerleri

Şekil 4.8 incelendiğinde ön işlemlili ve ön işlemsiz (kontrol) olarak laboratuvar tip konvektif kurutucuda kurutulmuş havuç dilimlerinin kuruma oranı değerleri 50 °C sıcaklıkta kontrol, sitrik asit ve haşlama örneklerinde sırasıyla ortalama 0.0371, 0.0442 ve 0.0630 g nem g kuru madde⁻¹.dakika olarak hesaplanmıştır. Kuruma oranı değeri 60 °C sıcaklıkta kontrol, sitrik asit ve haşlama örneklerinde sırasıyla ortalama 0.0395, 0.0529 ve 0.0736 g nem g kuru madde⁻¹.dakika olduğu belirlenmiştir. Kuruma oranı değerleri 70 °C sıcaklıkta kontrol, sitrik asit ve haşlama örneklerinde sırasıyla ortalama 0.0457, 0.0877 ve 0.1137 g nem g kuru madde⁻¹.dakika olarak hesaplanmıştır. Kuruma oranı değerleri 80 °C sıcaklıkta kontrol, sitrik asit ve haşlama örneklerinde sırasıyla ortalama 0.0505, 0.0929 ve 0.1300 g nem g kuru madde⁻¹.dakika olarak tespit edilmiştir. Güneşte kurutulan havuç örneklerinin kuruma hız değerleri Şekil 4.9’da verilmiştir.



Şekil 22 Açıkta (güneş) kurutulan havuç örneklerine ait kuruma hız değerleri

Şekil 4.9'a göre ön işlemlili ve ön işlemsiz (kontrol) olarak güneşte kurutulmuş havuç örneklerinin kuruma hız değerleri kontrol, sitrik asit ve haşlama örneklerinde sırasıyla ortalama 0.0022, 0.0028 ve 0.0052 g nem g kuru madde⁻¹.dakika olarak hesaplanmıştır. Çalışmada elde edilen bulgular incelendiğinde havuç dilimlerine uygulanan ön işlemlerin kuruma süresi ve kuruma hız değerlerini etkilediği görülmüştür. Sitrik asit ve haşlama ön işlemleri uygulanan örnekler kontrol gruplarına göre daha kısa sürede kurumuştur. Tepe (2024), ön işlemler (sıcak suda (80 °C) 1 ve 2 dk, etanol çözeltilisinde (%50 ve %100) 15 ve 30 dk, ultrason (640 W) 15 ve 30 dk) uyguladığı havuç örneklerini 65 °C sıcaklıkta konvektif kurutucuda kurutmuştur. Çalışma sonucunda uyguladığı ön işlemlerin kuruma süresini azalttığını bildirmiştir. Liu ve ark. (2019), kuruttukları havuç dilimleri çalışmasında kurutma sıcaklıkları ve ön işlemlerin kuruma süresini önemli ölçüde etkilediğini ifade etmişlerdir. Benzer şekilde Abbaspour-Gilandeh ve ark. (2020), farklı kurutucularda yaptıkları havuç kurutma çalışmasında ön işlemlerin ve kurutma yöntemlerinin kuruma süresini etkilediğini bildirmişlerdir. Literatürdeki ve bu çalışmadaki bulguların benzer olduğu görülmüştür.

4.3. Modelleme Verileri

Kurutulmuş havuç dilimlerinin kurutma işlemleri sırasında süreye bağlı uzaklaşan nem oranları tespit edilerek ince tabakalı kuruma modelleri oluşturulmuştur. Modelleri oluşturmak için SigmaPlot10.0 paket programı kullanılmıştır. Modellere ait bulgular incelenerek en iyi matematiksel model belirlenmiştir.

Çizelge 2 Etüvde kurutulanan örneklerin matematiksel model bulguları

Sıcaklık	Ön işlem	Modeller	k	h	j	m	p	R ²
50 °C	Kontrol	Lewis	0.0038	-	-	-	<0.0001	0.9861
		Wang-Sing	-0.0028	0.000002	-	-	<0.0001	0.9998
		Midilli-Küçük	1.23	0.98	0.0009	-0.00006	<0.0001	0.9992
	Sitrik asit	Lewis	0.0041	-	-	-	<0.0001	0.9843
		Wang-Sing	-0.0031	0.000002	-	-	<0.0001	0.9991
		Midilli-Küçük	1.1278	0.9886	0.0017	-0.0002	<0.0001	0.9988
	Haşlama	Lewis	0.0048	-	-	-	<0.0001	0.9846
		Wang-Sing	-0.0036	0.000003	-	-	<0.0001	0.9875
		Midilli-Küçük	0.9201	0.9664	0.0053	-0.0003	<0.0001	0.9959
60 °C	Kontrol	Lewis	0.0059	-	-	-	<0.0001	0.9818
		Wang-Sing	-0.0043	0.000005	-	-	<0.0001	0.9987
		Midilli-Küçük	1.3731	0.9696	0.0008	-0.00002	<0.0001	0.9986
	Sitrik asit	Lewis	0.0057	-	-	-	<0.0001	0.9796
		Wang-Sing	-0.0043	0.000005	-	-	<0.0001	0.9994
		Midilli-Küçük	1.3111	0.9786	0.0010	-0.00007	<0.0001	0.9989
	Haşlama	Lewis	0.0070	-	-	-	<0.0001	0.9859
		Wang-Sing	-0.0053	0.000007	-	-	<0.0001	0.9809
		Midilli-Küçük	0.7515	0.9904	0.0167	-0.0006	<0.0001	0.9976
70 °C	Kontrol	Lewis	0.0073	-	-	-	<0.0001	0.9850
		Wang-Sing	-0.0054	0.000007	-	-	<0.0001	0.9967
		Midilli-Küçük	1.3516	0.9797	0.0013	0.00001	<0.0001	0.9989
	Sitrik asit	Lewis	0.0070	-	-	-	<0.0001	0.9707
		Wang-Sing	-0.0053	0.000007	-	-	<0.0001	0.9975
		Midilli-Küçük	1.3696	0.9784	0.0010	-0.0001	<0.0001	0.9979
	Haşlama	Lewis	0.0092	-	-	-	<0.0001	0.9872
		Wang-Sing	-0.0070	0.00001	-	-	<0.0001	0.9874
		Midilli-Küçük	0.8847	0.9859	0.0124	-0.0005	<0.0001	0.9959

Çizelge 3 Etüvde kurutulan örneklerin matematiksel model bulguları (devamı)

80 °C	Kontrol	Lewis	0.0096	-	-	-	<0.0001	0.9904
		Wang-Sing	-0.0067	0.00001	-	-	<0.0001	0.9894
		Midilli-Küçük	1.2562	0.9853	0.0029	0.0000003	<0.0001	0.9989
	Sitrik asit	Lewis	0.0095	-	-	-	<0.0001	0.9761
		Wang-Sing	-0.0074	0.00001	-	-	<0.0001	0.9982
		Midilli-Küçük	1.3885	0.9838	0.0016	-0.00004	<0.0001	0.9989
	Haşlama	Lewis	0.0109	-	-	-	<0.0001	0.9869
		Wang-Sing	-0.0085	0.00002	-	-	<0.0001	0.9950
		Midilli-Küçük	1.0216	0.9854	0.0084	-0.0004	<0.0001	0.9963

Çizelge 4.1 incelendiğinde etüvde kurutma yönteminde en iyi Wang-Sing ($R^2 = 0.9998$) modeli olup 50 °C sıcaklıkta kurutulan kontrol grubu örneklerin tespit edilmiştir. En zayıf ise Lewis ($R^2 = 0.9707$) modeli olup 70 °C sıcaklıkta sitrik asit çözeltilisine bandırılan örneklerde olduğu görülmüştür.

Çizelge 4 Vakumlu etüvde kurutulan örneklerin matematiksel model bulguları

Sıcaklık	Ön işlem	Modeller	k	h	j	m	p	R ²
50 °C	Kontrol	Lewis	0.0028	-	-	-	<0.0001	0.9817
		Wang-Sing	-0.0020	0.000001	-	-	<0.0001	0.9991
		Midilli-Küçük	1.0277	0.9961	0.0017	-0.0002	<0.0001	0.9992
	Sitrik asit	Lewis	0.0034	-	-	-	<0.0001	0.9850
		Wang-Sing	-0.0025	0.000002	-	-	<0.0001	0.9995
		Midilli-Küçük	1.1696	0.9870	0.0011	-0.0001	<0.0001	0.9991
	Haşlama	Lewis	0.0037	-	-	-	<0.0001	0.9860
		Wang-Sing	-0.0028	0.000002	-	-	<0.0001	0.9810
		Midilli-Küçük	0.7046	0.9915	0.0120	-0.0005	<0.0001	0.9988

Çizelge 5 Vakumlu etüvde kurutulan örneklerin matematiksel model bulguları (devamı)

60 °C	Kontrol	Lewis	0.0047	-	-	-	<0.0001	0.9871
		Wang-Sing	-0.0034	0.000003	-	-	<0.0001	0.9982
		Midilli-Küçük	1.3381	0.9691	0.0007	-0.000001	<0.0001	0.9988
	Sitrik asit	Lewis	0.0055	-	-	-	<0.0001	0.9915
		Wang-Sing	-0.0040	0.000004	-	-	<0.0001	0.9971
		Midilli-Küçük	1.2137	0.9781	0.0017	0.00002	<0.0001	0.9991
	Haşlama	Lewis	0.0059	-	-	-	<0.0001	0.9875
		Wang-Sing	-0.0044	0.000005	-	-	<0.0001	0.9812
		Midilli-Küçük	0.8443	0.9774	0.0099	-0.0004	<0.0001	0.9964
70 °C	Kontrol	Lewis	0.0072	-	-	-	<0.0001	0.9914
		Wang-Sing	-0.0050	0.000006	-	-	<0.0001	0.9905
		Midilli-Küçük	1.2672	0.9870	0.0019	0.00002	<0.0001	0.9997
	Sitrik asit	Lewis	0.0067	-	-	-	<0.0001	0.9823
		Wang-Sing	-0.0050	0.000006	-	-	<0.0001	0.9997
		Midilli-Küçük	1.2754	0.9830	0.0016	0.00007	<0.0001	0.9990
	Haşlama	Lewis	0.0083	-	-	-	<0.0001	0.9911
		Wang-Sing	-0.0061	0.000009	-	-	<0.0001	0.9716
		Midilli-Küçük	0.8096	0.9879	0.0171	-0.0003	<0.0001	0.9980
80 °C	Kontrol	Lewis	0.0097	-	-	-	<0.0001	0.9532
		Wang-Sing	-0.0065	0.00001	-	-	<0.0001	0.9606
		Midilli-Küçük	2.0299	0.9629	0.00009	0.00006	<0.0001	0.9963
	Sitrik asit	Lewis	0.0099	-	-	-	<0.0001	0.9325
		Wang-Sing	-0.0075	0.00001	-	-	<0.0001	0.9711
		Midilli-Küçük	2.1205	0.9762	0.00006	0.00008	<0.0001	0.9982
	Haşlama	Lewis	0.0103	-	-	-	<0.0001	0.9458
		Wang-Sing	-0.0081	0.00002	-	-	<0.0001	0.9802
		Midilli-Küçük	1.8140	0.9555	0.0003	0.00004	<0.0001	0.9926

Çizelge 4.2'ye göre vakumlu etüv kurutma yönteminde en iyi Midilli-Küçük ($R^2 = 0.9997$) modeli olup 70 °C sıcaklıkta kontrol grubu örneklerinde ve Wang-Sing ($R^2 = 0.9997$) modeli olup 70 °C sıcaklıkta sitrik asit çözeltisine bandırılan örneklerde tespit edilmiştir. En zayıf modeli ise 80 °C sıcaklıkta sitrik asit çözeltisine bandırılan örneklerde Lewis ($R^2 = 0.9325$) modeli tahmin etmiştir.

Çizelge 6 Laboratuvar tip konvektif kurutucuda kurutulan örneklerin matematiksel model bulguları

Sıcaklık	Ön işlem	Modeller	k	h	j	m	p	R ²
50 °C	Kontrol	Lewis	0.0194	-	-	-	<0.0001	0.9974
		Wang-Sing	-0.0123	0.00004	-	-	<0.0001	0.9421
		Midilli-Küçük	0.9319	0.9996	0.0254	0.00004	<0.0001	0.9982
	Sitrik asit	Lewis	0.0229	-	-	-	<0.0001	0.9984
		Wang-Sing	-0.0155	0.00006	-	-	<0.0001	0.9803
		Midilli-Küçük	0.9627	0.9972	0.0250	-0.0002	<0.0001	0.9997
	Haşlama	Lewis	0.03	-	-	-	<0.0001	0.9966
		Wang-Sing	-0.0207	0.0001	-	-	<0.0001	0.9804
		Midilli-Küçük	0.8472	0.9993	0.0466	-0.0007	<0.0001	0.9996
60 °C	Kontrol	Lewis	0.0268	-	-	-	<0.0001	0.9980
		Wang-Sing	-0.0148	0.00005	-	-	<0.0001	0.9065
		Midilli-Küçük	1.1093	1.0025	0.0181	0.00009	<0.0001	0.9997
	Sitrik asit	Lewis	0.0262	-	-	-	<0.0001	0.9949
		Wang-Sing	-0.0181	0.00008	-	-	<0.0001	0.9901
		Midilli-Küçük	0.9830	0.9961	0.0252	-0.0004	<0.0001	0.9990
	Haşlama	Lewis	0.0344	-	-	-	<0.0001	0.9967
		Wang-Sing	-0.0239	0.0001	-	-	<0.0001	0.9874
		Midilli-Küçük	0.8937	0.9997	0.0439	-0.0008	<0.0001	0.9998

Çizelge 7 Laboratuvar tip konvektif kurutucuda kurutulan örneklerin matematiksel model bulguları (devamı)

70 °C	Kontrol	Lewis	0.0349	-	-	-	<0.0001	0.9957
		Wang-Sing	-0.0170	0.00007	-	-	<0.0001	0.8535
		Midilli-Küçük	1.1974	0.9975	0.0175	0.00008	<0.0001	0.9995
	Sitrik asit	Lewis	0.0382	-	-	-	<0.0001	0.9994
		Wang-Sing	-0.0260	0.0002	-	-	<0.0001	0.9818
		Midilli-Küçük	0.9816	0.9996	0.0395	-0.0002	<0.0001	0.9998
	Haşlama	Lewis	0.0505	-	-	-	<0.0001	0.9982
		Wang-Sing	-0.0321	0.0003	-	-	<0.0001	0.9770
		Midilli-Küçük	0.9349	0.9989	0.0594	-0.0003	<0.0001	0.9991
80 °C	Kontrol	Lewis	0.0436	-	-	-	<0.0001	0.9981
		Wang-Sing	-0.0201	0.00009	-	-	<0.0001	0.8341
		Midilli-Küçük	1.1241	0.9995	0.0291	0.0001	<0.0001	0.9998
	Sitrik asit	Lewis	0.0449	-	-	-	<0.0001	0.9989
		Wang-Sing	-0.0292	0.0002	-	-	<0.0001	0.9772
		Midilli-Küçük	1.0094	0.9996	0.0426	-0.0001	<0.0001	0.9993
	Haşlama	Lewis	0.0530	-	-	-	<0.0001	0.9990
		Wang-Sing	-0.0353	0.0003	-	-	<0.0001	0.9818
		Midilli-Küçük	0.8970	0.9998	0.0693	-0.0005	<0.0001	0.9998

Çizelge 4.3 incelendiğinde laboratuvar tip konvektif kurutucuda kurutulan havuç örneklerini tahmin eden model ise Midilli-Küçük ($R^2 = 0.9998$) modeli olup 80 °C sıcaklıkta kontrol ve haşlama ön işlemleri görmüş örneklerde, 70 °C sıcaklıkta sitrik asit çözeltisine bandırılmış örneklerde ve 60 °C sıcaklıkta haşlama ön işlemleri görmüş örneklerde tahmin etmiştir. En zayıf ise Wang-Sing ($R^2 = 0.8341$) modeli olup 80 °C sıcaklıkta kontrol grubu örneklerde tahmin ettiği belirlenmiştir.

4.4. Renk Değerleri

Kurutulmuş ürünlerde renk özelliği, ısıl işlemlerden kaynaklanan kalite kayıplarını değerlendirmek için önemli bir parametredir (Horuz ve Maskan, 2013). Taze ve kurutulmuş havuç dilimlerine ait ölçülen ve hesaplanan renk değerleri Çizelge 4.4’de verilmiştir.

Çizelge 8 Renk Değerleri

Yöntem	Sıcaklık	Ön işlem	<i>L</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>C</i>	<i>Hue</i>	<i>ΔE</i>	<i>BI</i>
Taze	-	-	54.25 ^{fg}	23.35 ^{hijkl}	27.07 ^{cd}	35.76 ^{efgh}	49.26 ^c	-	-
Etüv	50 °C	Kontrol	48.56 ^{rs}	20.11 ^{nop}	19.92 ^{nop}	28.33 ^{op}	44.74 ^{ghij}	33.87 ^{uv}	81.62 ^{mn}
		Sitrik asit	55.58 ^{ef}	25.48 ^{efgh}	24.99 ^{efg}	35.71 ^{efgh}	44.45 ^{ghij}	39.83 ^{hij}	91.28 ^{fghijk}
		Haşlama	51.44 ^{ijklmno}	25.09 ^{efghi}	21.22 ^{lmn}	32.86 ^{jkl}	40.24 ^{mn}	36.84 ^{mnop}	86.77 ^{ijkl}
	60 °C	Kontrol	49.50 ^{oprs}	15.49 ^s	17.44 ^s	23.37 ^{rs}	48.56 ^{cd}	34.25 ^{tuv}	65.40 ^p
		Sitrik asit	53.63 ^{fghi}	24.31 ^{ghij}	25.20 ^{efg}	35.05 ^{ghij}	46.20 ^{efgh}	38.66 ^{kl}	94.31 ^{cdef}
		Haşlama	53.18 ^{ghijk}	24.80 ^{fghi}	22.24 ^{klm}	33.34 ^{ijkl}	42.03 ^{klmn}	37.93 ^{klmn}	86.32 ^{ijklm}
	70 °C	Kontrol	45.04 ^t	13.15 ^t	17.66 ^{rs}	22.05 ^s	53.31 ^b	30.87 ^y	70.16 ^o
		Sitrik asit	49.89 ^{noprs}	23.15 ^{ijkl}	22.71 ^{ijkl}	32.44 ^{kl}	44.49 ^{ghij}	35.81 ^{prst}	92.51 ^{efgh}
		Haşlama	52.04 ^{ghijklm}	20.57 ^{mno}	21.11 ^{mn}	29.53 ^{no}	45.78 ^{efgh}	36.19 ^{opr}	79.56 ⁿ
	80 °C	Kontrol	44.46 ^t	13.01 ^t	20.01 ^{nop}	23.91 ^{rs}	57.14 ^a	30.39 ^y	79.88 ⁿ
		Sitrik asit	48.55 ^{rs}	19.42 ^{opr}	24.62 ^{efg}	31.40 ^{lmn}	51.74 ^b	34.51 ^{stuv}	97.62 ^{bcd}
		Haşlama	60.08 ^c	23.67 ^{hijk}	25.10 ^{efg}	34.59 ^{ghijk}	46.76 ^{defg}	41.99 ^{efg}	81.46 ^{mn}
Vakumlu etüv	50 °C	Kontrol	51.29 ^{ijklmno}	24.17 ^{ghij}	22.32 ^{klm}	32.91 ^{jkl}	42.75 ^{jkl}	36.72 ^{mnop}	89.52 ^{fghijkl}
		Sitrik asit	58.12 ^{cd}	29.79 ^b	25.10 ^{efg}	38.97 ^{bcd}	40.08 ⁿ	42.46 ^{def}	91.68 ^{fghij}
		Haşlama	53.45 ^{ghij}	24.21 ^{ghij}	22.24 ^{klm}	32.89 ^{ijkl}	42.71 ^{jkl}	38.07 ^{klm}	85.14 ^{lm}
	60 °C	Kontrol	51.20 ^{klmno}	22.44 ^{ijklm}	22.90 ^{hijk}	32.08 ^{lm}	45.65 ^{fgh}	36.32 ^{nopr}	89.31 ^{fghijkl}
		Sitrik asit	53.11 ^{ghijkl}	27.10 ^{cde}	25.94 ^{cde}	37.54 ^{cdef}	43.79 ^{hijk}	39.58 ^{ijk}	101.43 ^{ab}
		Haşlama	52.35 ^{ghijkl}	23.21 ^{hijkl}	19.34 ^{op}	30.22 ^{mno}	39.87 ⁿ	36.73 ^{mnop}	77.05 ⁿ
	70 °C	Kontrol	49.08 ^{prs}	19.77 ^{opr}	22.48 ^{ijklm}	29.94 ^{mno}	48.69 ^{cd}	34.40 ^{stuv}	88.85 ^{ghijkl}
		Sitrik asit	52.37 ^{ghijkl}	24.30 ^{ghij}	25.13 ^{efg}	35.02 ^{ghij}	46.08 ^{efgh}	38.05 ^{klm}	96.11 ^{bcde}
		Haşlama	52.10 ^{ghijklm}	21.29 ^{lmno}	19.91 ^{nop}	29.16 ^{nop}	43.15 ^{ijkl}	36.20 ^{opr}	76.60 ⁿ
	80 °C	Kontrol	48.50 ^{rs}	19.99 ^{nop}	22.36 ^{klm}	30.00 ^{mno}	48.17 ^{cde}	34.14 ^{tuv}	89.99 ^{fghijkl}

Laboratuvar tip konvektif kurutucu		Sitrik asit	50.98 ^{lmnop}	27.13 ^{cde}	24.89 ^{efg}	36.83 ^{defg}	42.56 ^{jklm}	38.41 ^{jklm}	102.87 ^a	
		Haşlama	62.27 ^b	26.94 ^{cdef}	26.75 ^{cd}	37.99 ^{cde}	44.84 ^{ghij}	44.10 ^c	86.06 ^{klm}	
	50 °C	Kontrol	53.62 ^{fghi}	23.05 ^{ijkl}	24.32 ^{fgh}	33.54 ^{hijkl}	46.54 ^{defg}	38.03 ^{klm}	89.94 ^{fghijkl}	
		Sitrik asit	62.21 ^b	30.20 ^{ab}	30.60 ^a	43.02 ^a	45.45 ^{fghi}	46.05 ^{ab}	100.60 ^{ab}	
		Haşlama	56.96 ^{de}	26.23 ^{defg}	23.99 ^{ghi}	35.55 ^{fghi}	42.49 ^{jklm}	40.67 ^{ghi}	86.45 ^{ijklm}	
	60 °C	Kontrol	53.42 ^{ghij}	21.59 ^{klmno}	24.96 ^{efg}	33.03 ^{ijkl}	49.16 ^c	37.66 ^{lmno}	90.64 ^{fghijk}	
		Sitrik asit	58.47 ^{cd}	32.04 ^a	28.61 ^b	42.98 ^a	41.91 ^{klmn}	44.81 ^{bc}	104.04 ^a	
		Haşlama	59.62 ^c	28.94 ^{bc}	27.05 ^{cd}	39.63 ^{bc}	43.04 ^{ijkl}	43.37 ^{cde}	93.73 ^{defg}	
	70 °C	Kontrol	50.14 ^{mnpqr}	18.34 ^{prst}	23.86 ^{ghij}	30.13 ^{mno}	52.50 ^b	34.97 ^{rstu}	89.56 ^{fghijkl}	
		Sitrik asit	59.53 ^c	28.23 ^{bcd}	29.02 ^b	40.51 ^b	45.89 ^{efgh}	43.67 ^{cd}	99.03 ^{abc}	
		Haşlama	49.34 ^{oprs}	25.34 ^{fghi}	21.31 ^{lmn}	33.11 ^{ijkl}	40.08 ⁿ	35.93 ^{oprs}	91.75 ^{fghi}	
	80 °C	Kontrol	47.90 ^s	17.82 st	20.40 ^{no}	27.10 ^p	48.84 ^{cd}	33.12 ^v	81.42 ^{mn}	
		Sitrik asit	54.07 ^{fgh}	24.92 ^{fghi}	27.23 ^c	36.92 ^{defg}	47.54 ^{cdef}	39.53 ^{ijk}	101.08 ^{ab}	
		Haşlama	58.22 ^{cd}	24.87 ^{fghi}	25.64 ^{def}	35.75 ^{efgh}	45.92 ^{efgh}	41.20 ^{fgh}	87.56 ^{hijkl}	
	Güneş	-	Kontrol	51.90 ^{hijklmn}	16.33 st	16.09 ^t	22.93 ^{rs}	44.71 ^{ghij}	36.28 ^{nopr}	59.30 ^r
		-	Sitrik asit	65.31 ^a	16.38 st	18.55 ^{prst}	24.75 ^t	48.66 ^{cd}	46.92 ^a	51.20 ^s
		-	Haşlama	56.65 ^{de}	22.13 ^{ijklmn}	19.08 ^{opr}	29.23 ^{nop}	40.86 ^{lmn}	39.42 ^{ijk}	68.37 ^{op}

Çizelge 4.4 incelendiğinde taze havuç dilimlerinin *L*, *a* ve *b* değerleri sırasıyla 54.25, 23.35 ve 27.07 olarak tespit edilmiştir. Kurutma yöntemleri kurutulmuş havuç dilimlerinin parlaklık değerlerini tazeye göre istatistiksel açıdan etüv yönteminde 50 °C sıcaklıkta sitrik asit uygulanmış örneklerde, 60 °C sıcaklıkta sitrik asit ve haşlama ön işlemi uygulanmış örnek grubunda ve 70 °C sıcaklıkta haşlama ön işlemi uygulanmış örneklerde koruduğu tespit edilmiştir. Vakumlu etüv yönteminde 50 °C sıcaklıkta haşlama ön işlemi uygulanan havuç dilimlerinde, 60 °C ve 70 °C sıcaklıkta sitrik asit ve haşlama ön işlemi uygulanan havuç dilimlerinde parlaklık değeri tazeye göre istatistiki açıdan koruduğu belirlenmiştir. Laboratuvar tip konvektif kurutucuda ise 50 °C ve 60 °C sıcaklıkta kontrol grubu örnekleri ve 80 °C sıcaklıkta sitrik asit ön işlemi uygulanan havuç örneklerinin parlaklık değeri tazeye göre istatistiki açıdan muhafaza ettiği tespit edilmiştir. Güneşte kurutma yönteminde istatistiksel açıdan parlaklık değerini tazeye göre koruyamadığı belirlenmiştir. Kırmızılık (*a*) değeri açısından tazeye göre istatistiksel açıdan etüv yönteminde 50 °C ve 60 °C sıcaklıkta sitrik asit ve haşlama, 70 °C sıcaklıkta sitrik asit ve 80 °C sıcaklıkta haşlama ön işlemi uygulanmış

örneklerde koruduğu tespit edilmiştir. Vakumlu etüv yönteminde 50 °C ve 60 °C sıcaklıkta kontrol ve haşlama ön işlemleri uygulanmış örnek gruplarında ve 70 °C sıcaklıkta sitrik asit ve haşlama ön işlemi uygulanan havuç örneklerinde olduğu belirlenmiştir. Laboratuvar tip konvektif kurutucu da ise 50 °C ve 60 °C sıcaklıkta kontrol grubu örneklerinde, 70 °C sıcaklıkta haşlama ön işlemi uygulanan ve 80 °C sıcaklıkta sitrik asit ve haşlama ön işlemi uygulanmış örneklerde kırmızılık değeri tazeye göre istatistiksel açıdan koruduğu tespit edilmiştir. Güneşte kurutulan örnekler arasında haşlama ön işlemi uygulanmış havuç dilimleri kırmızılık değeri açısından tazeye göre istatistiki olarak koruduğu görülmüştür.

Sarılık (*b*) değerleri incelendiğinde tazeye göre en yakın vakumlu etüvde 60 °C sıcaklıkta sitrik asit çözeltilisine bandırılmış örneklerde ve 80 °C sıcaklıkta haşlama ön işlemi uygulanmış havuç dilimlerinde tespit edilmiştir. Laboratuvar tip konvektif kurutucuda ise 60 °C sıcaklıkta haşlama ön işlemi ve 80 °C sıcaklıkta sitrik asit ve haşlama ön işlemi uygulanmış örnek gruplarında sarılık değerini tazeye göre istatistiksel açıdan muhafaza ettiği görülmüştür.

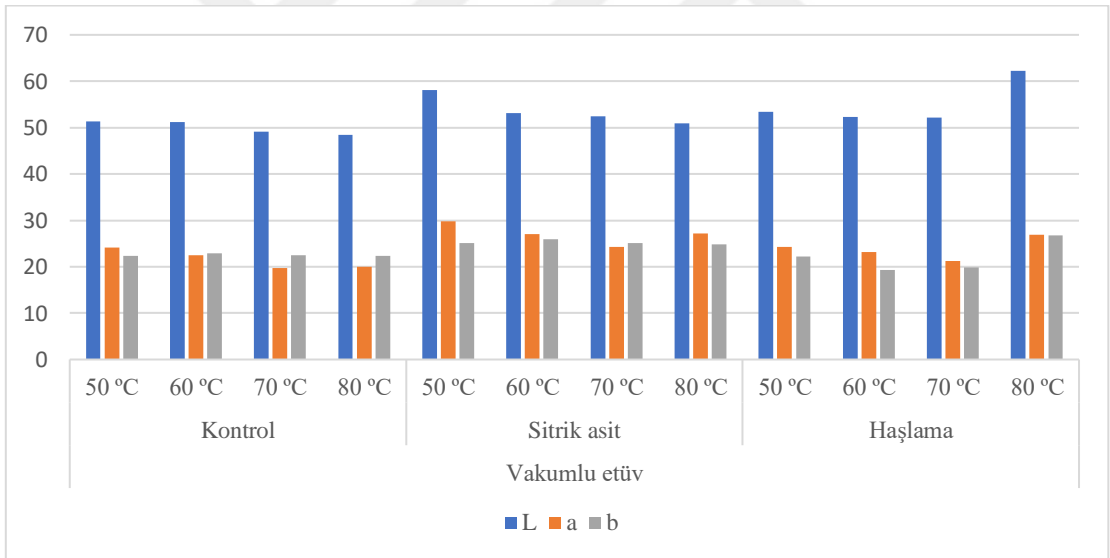
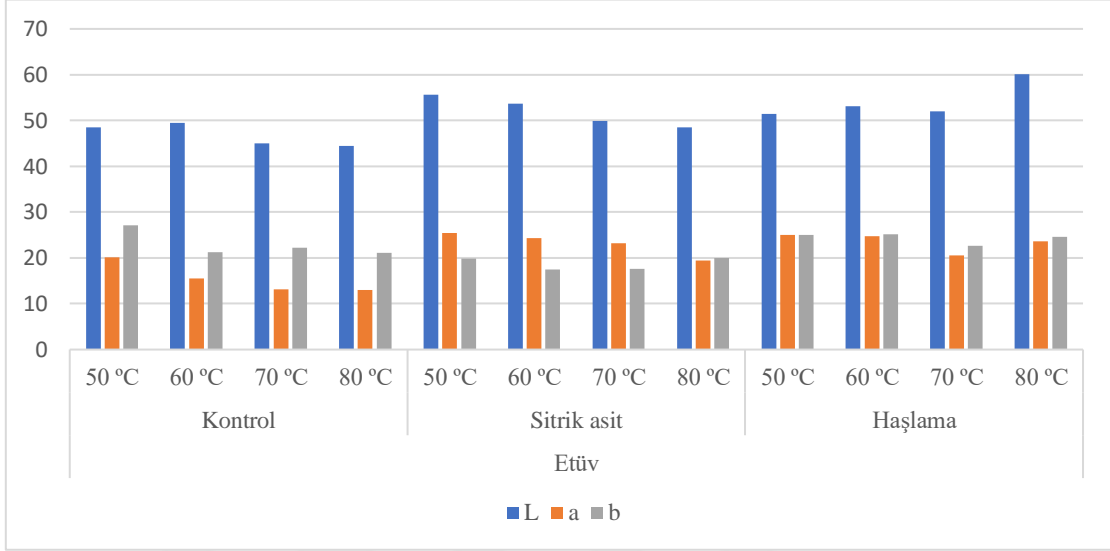
Taze havuç dilimlerinin hesaplanan kroma ve hue değerleri sırasıyla 35.76 ve 49.26 olarak belirlenmiştir. Kroma değerleri incelendiğinde tazeye en yakın değer istatistiksel açıdan etüvde 50 °C ve 60 °C sıcaklıkta sitrik asit çözeltilisine bandırılmış ve 80 °C sıcaklıkta haşlama ön işlemi uygulanmış örneklerde olduğu belirlenmiştir. Vakumlu etüvde kurutulan örnekler arasında kroma değeri istatistiksel açıdan tazeye göre 60 °C ve 70 °C sıcaklıkta sitrik asit ön işlemi uygulanan havuç dilimlerinde muhafaza ettiği tespit edilirken 80 °C sıcaklıkta sitrik asit ve haşlama ön işlemleri uygulanmış örneklerde koruduğu belirlenmiştir. Laboratuvar tip konvektif kurutucuda ise 50 °C sıcaklıkta kontrol grubu ve haşlandıktan sonra kurutulan havuç dilimlerinde belirlenirken 80 °C sıcaklıkta sitrik asit ve haşlama ön işlemi uygulanmış örneklerde kroma değeri açısından tazeye göre muhafaza ettiği görülmüştür.

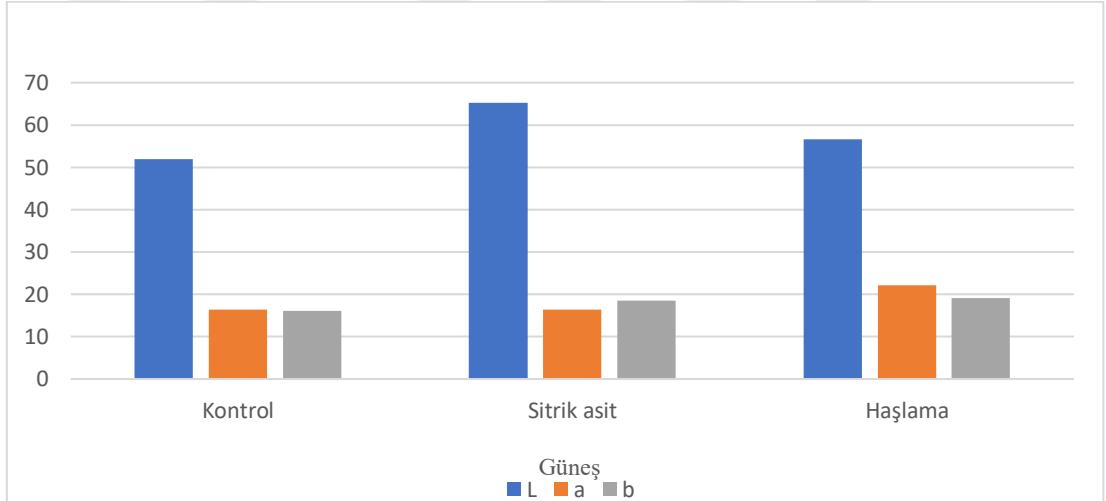
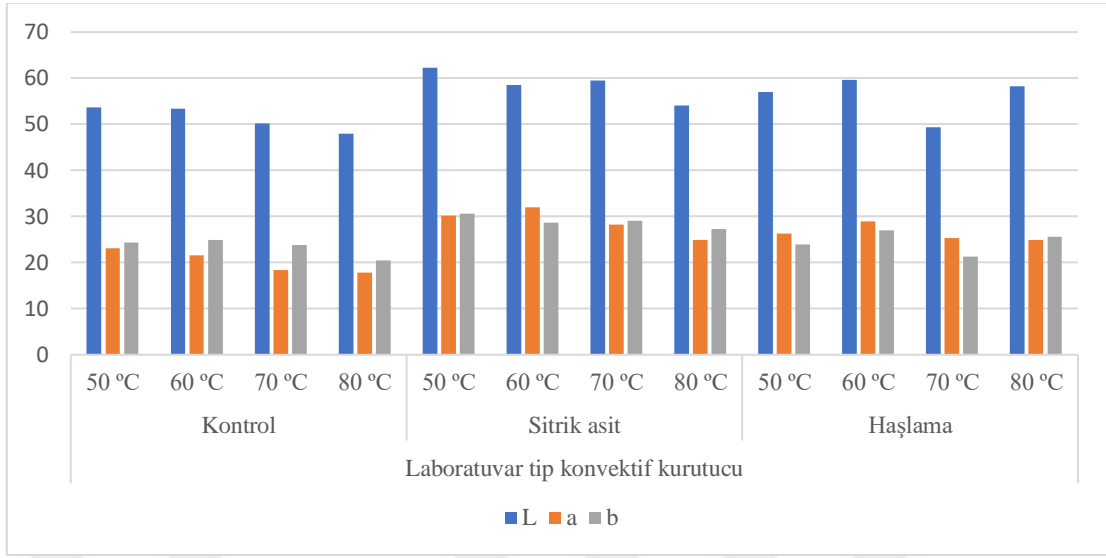
Hue açısına bakıldığında istatistiksel olarak en yakın etüvde 60 °C sıcaklıkta ve vakumlu etüvde 70 °C ve 80 °C sıcaklıkta kontrol grubu örneklerde olduğu belirlenmiştir. Laboratuvar tip konvektif kurutucuda 60 °C sıcaklıkta kontrol grubu ve

80 °C sıcaklıkta kontrol ve sitrik asit ön işlemleri uygulanan havuç dilimlerinde hue açısı bakımından tazeye göre istatistiksel olarak koruduğu tespit edilmiştir. Hue açısı güneşte kurutulan örnekler arasında sitrik asit çözeltisine bandırılan havuç dilimlerinin tazeye göre istatistiksel olarak muhafaza ettiği görülmüştür. En düşük toplam renk değişimi etüvde 70 °C ve 80 °C sıcaklıklarda kurutulan kontrol grubu örneklerde belirlenmiştir. Yi ve ark. (2016), daha düşük çıkan ΔE değerleri için tazeye daha yakın olduğunu ifade etmişlerdir. Kahverengileşme indeksini ise en düşük güneşte sitrik asit çözeltisine bandırılarak kurutulan havuç dilimlerinde tespit edilmiştir. Tüm renk verileri incelendiğinde renk açısından laboratuvar tip konvektif kurutucuda 80 °C sıcaklıkta sitrik asit çözeltisine bandırılarak kurutulması önerilmektedir.

Hu ve ark. (2017), ön işlem (kaynar suda (100 °C) 5 dk haşlama, şeker çözeltisinde (%20) 10 dk bandırma ve sitrik asit çözeltisinde (%1) 10 dk bandırma) uygulayarak havuç dilimlerini mikrodalga destekli konvektif kurutucuda (0.44, 0.77 ve 1.21 W/g güçlerde 40, 50 ve 60 °C sıcaklıklarda) kurutmuşlardır. Çalışma sonucunda ise taze ve kurutulmuş örneklerin parlaklık (L) ve kırmızılık (a) değerlerini sırasıyla 44.37-53.86 ve 22.64-27.50 aralıklarında belirlemişlerdir. Ignaczak ve ark. (2023), ön işlemlerin ve kurutma yöntemlerinin atıştırmalık havuç üretimine olan etkisini araştırmışlardır. Çalışması sonucunda taze ve kurutulmuş ürünlerin sarı (b) değerini 15.17-36.83 aralığında tespit etmişlerdir. Yılmaz ve ark. (2019), ön işlem (ultrason) uyguladıkları ve uygulamadıkları (kontrol) havuç dilimlerini konvektif kurutucuda (60 °C) kurutmuşlardır. Çalışma sonucunda ise taze ve kurutulmuş örneklerin kroma değerlerini 35.75-47.48 aralığında tespit etmişlerdir. Literatürdeki ve bu çalışmada kroma değerleri birbirlerine yakın olsa da sayısal değerlerin farklı olması ön işlemlerden kaynaklanmaktadır. Alam ve ark. (2018), havuç ve yaban havucuna ön işlem (darbeli elektrik alanı) uygulayarak konvektif kurutucuda (50, 60 ve 70 °C) kurutmuşlardır. Çalışma sonucunda ise taze ve kurutulmuş havuçların hue (h°) değerleri 35.8-47.79 aralığında değiştiğini tespit etmişlerdir. Xu ve ark. (2020), havuç kurutma çalışmalarında en düşük toplam renk değişim değerlerini konvektif kurutucuda olduğunu bildirmişlerdir. Cerezal-Mezquita, ve Bugueño-Muñoz, (2022), güneşte (açıkta) kuruttukları havuç örneklerin kahverengileşme indeksini (BI) 148.38 olarak

belirlemiştir. Kurutulmuş havuç örneklerine asit L , a ve b değerlerinin grafiksel gösterimi Şekil 4.10'da verilmiştir.





Şekil 23 Kurutulmuş havuç örneklerine ait L , a ve b değerleri

4.5. Rehidrasyon performans değerleri

Kurutulmuş ürünlerin kalitesine, rehidrasyon kabiliyeti özellikleri etkilidir. Minimum nem içeriği ve strüktür değişikliği, maksimum kuruma hızına, rehidrasyon oranı, renk tutma ve besin maddelerini koruma özelliklerine sahip ürünler tercih edilir (Delfiya ve ark., 2017). Ön işlem uygulanarak ve ön işlem uygulanmadan kurutulmuş havuç dilimlerinin rehidrasyon kapasitesi ve rehidrasyon oranı değerleri hesaplanmıştır.

Çizelge 9 Etüvde kurutulan havuç örneklerinin rehidrasyon oranı ve rehidrasyon kapasitesi değerleri

Yöntem	Kurutma sıcaklığı	Ön işlem	Rehidrasyon su sıcaklığı	Rehidrasyon oranı (RO)	Rehidrasyon kapasitesi (RK)
Etüv	50 °C	Kontrol	Oda sıcaklığı	4.63±0.10	78.41±0.48
			50 °C	4.14±0.15	75.82±0.84
			70 °C	4.18±0.14	76.05±0.82
		Sitrik asit	Oda sıcaklığı	4.64±0.14	78.43±0.67
			50 °C	4.11±0.17	75.61±0.99
			70 °C	4.33±0.14	76.89±0.78
		Haşlama	Oda sıcaklığı	4.40±0.31	77.22±1.53
			50 °C	4.10±0.39	75.46±2.25
			70 °C	5.13±0.25	80.47±0.95
	60 °C	Kontrol	Oda sıcaklığı	5.08±0.29	80.27±1.13
			50 °C	4.81±0.16	79.20±0.69
			70 °C	4.60±0.07	78.24±0.35
		Sitrik asit	Oda sıcaklığı	5.22±0.17	80.82±0.62
			50 °C	4.88±0.04	79.49±0.16
			70 °C	5.08±0.23	80.27±0.90
		Haşlama	Oda sıcaklığı	4.68±0.24	78.59±1.06
			50 °C	3.96±0.36	74.58±2.32
			70 °C	3.65±0.20	72.57±1.46
	70 °C	Kontrol	Oda sıcaklığı	4.88±0.16	79.51±0.66
			50 °C	4.68±0.22	78.58±1.02
			70 °C	4.52±0.15	77.86±0.76
		Sitrik asit	Oda sıcaklığı	5.28±0.02	81.07±0.08
			50 °C	5.27±0.11	81.02±0.39
			70 °C	4.77±0.31	78.96±1.37
Haşlama		Oda sıcaklığı	4.99±0.15	79.95±0.63	
		50 °C	5.25±0.65	80.73±2.52	
		70 °C	5.03±0.51	79.96±2.10	
80 °C	Kontrol	Oda sıcaklığı	4.91±0.13	79.64±0.55	
		50 °C	4.65±0.08	78.49±0.36	
		70 °C	4.68±0.19	78.63±0.86	
	Sitrik asit	Oda sıcaklığı	5.63±0.10	82.24±0.30	
		50 °C	5.00±0.03	79.99±0.10	
		70 °C	4.99±0.12	79.94±0.46	
	Haşlama	Oda sıcaklığı	5.00±0.07	79.98±0.27	
		50 °C	4.52±0.20	77.87±1.02	
		70 °C	4.79±0.33	79.07±1.40	

Çizelge 4.5’de, havuç dilimlerinin rehidrasyon oranı ve kapasitelerini kurutma yöntemleri, kurutma sıcaklıkları, uygulanan ön işlemler ve rehidre su sıcaklıkları etkilediği görülmüştür. Etüvde kurutulan havuç örnekleri arasında en yüksek rehidrasyon oranı ve rehidrasyon kapasitesi sitrik asit çözeltilisine bandırıldıktan sonra 80 °C sıcaklıkta kurutulan ve oda sıcaklığında rehidre edilen örneklerde tespit edilmiştir.

Çizelge 10 Vakumlu etüvde kurutulan havuç örneklerinin rehidrasyon oranı ve rehidrasyon kapasitesi değerleri

Yöntem	Kurutma sıcaklığı	Ön işlem	Rehidrasyon su sıcaklığı	Rehidrasyon oranı (RO)	Rehidrasyon kapasitesi (RK)
Vakumlu etüv	50 °C	Kontrol	Oda sıcaklığı	3.86±0.14	74.10±0.92
			50 °C	3.65±0.06	72.62±0.42
			70 °C	3.70±0.20	72.89±1.43
		Sitrik asit	Oda sıcaklığı	4.19±0.43	75.97±2.40
			50 °C	3.74±0.10	73.28±0.71
			70 °C	3.58±0.09	72.03±0.69
		Haşlama	Oda sıcaklığı	3.98±0.27	74.82±1.75
			50 °C	3.37±0.01	70.35±0.10
			70 °C	4.26±0.61	76.17±3.75
	60 °C	Kontrol	Oda sıcaklığı	5.02±0.04	80.09±0.16
			50 °C	4.76±0.02	78.98±0.09
			70 °C	4.53±0.11	77.94±0.52
		Sitrik asit	Oda sıcaklığı	5.29±0.24	81.07±0.85
			50 °C	4.66±0.05	78.52±0.22
			70 °C	4.73±0.09	78.85±0.39
		Haşlama	Oda sıcaklığı	4.73±0.47	78.74±2.06
			50 °C	4.15±0.16	75.87±0.91
			70 °C	4.66±0.59	78.29±2.91
	70 °C	Kontrol	Oda sıcaklığı	4.95±0.28	79.74±1.18
			50 °C	4.60±0.14	78.25±0.64
			70 °C	4.51±0.02	77.83±0.10
		Sitrik asit	Oda sıcaklığı	5.30±0.21	81.13±0.73
			50 °C	4.98±0.21	79.90±0.84
			70 °C	4.77±0.04	79.05±0.18
Haşlama		Oda sıcaklığı	5.15±0.77	80.32±2.81	
		50 °C	5.10±0.70	80.16±2.64	
		70 °C	4.63±0.91	77.89±3.92	
80 °C	Kontrol	Oda sıcaklığı	4.77±0.25	79.01±1.08	
		50 °C	4.64±0.12	77.95±0.56	
		70 °C	4.47±0.11	77.61±0.53	
	Sitrik asit	Oda sıcaklığı	5.40±0.14	81.46±0.47	
		50 °C	4.92±0.05	79.66±0.20	
		70 °C	4.80±0.10	79.14±0.44	
	Haşlama	Oda sıcaklığı	4.59±0.43	78.08±2.15	
		50 °C	3.83±0.10	73.87±0.70	
		70 °C	3.70±0.19	72.91±1.35	

Çizelge 4.6'ya göre vakumlu etüvde kurutulan örnekler arasında en yüksek rehidrasyon oranı ve rehidrasyon kapasitesi sitrik asit çözeltilisine bandırıldıktan sonra 80 °C sıcaklıkta kurutulan ve oda sıcaklığında rehidre edilen örneklerde gözlemlenmiştir.

Çizelge 11 Laboratuvar tip konvektif kurutucuda kurutulan havuç örneklerinin rehidrasyon oranı ve rehidrasyon kapasitesi değerleri

Yöntem	Kurutma sıcaklığı	Ön işlem	Rehidrasyon su sıcaklığı	Rehidrasyon oranı (RO)	Rehidrasyon kapasitesi (RK)
Laboratuvar tip hassas kurutucu	50 °C	Kontrol	Oda sıcaklığı	4.97±0.09	79.85±0.36
			50 °C	4.49±0.16	77.72±0.80
			70 °C	4.42±0.02	77.37±0.10
		Sitrik asit	Oda sıcaklığı	3.63±1.04	70.56±9.96
			50 °C	3.74±0.36	73.11±2.52
			70 °C	4.04±0.12	75.25±0.71
		Haşlama	Oda sıcaklığı	3.67±0.12	72.75±0.85
			50 °C	3.31±0.12	69.79±1.12
			70 °C	3.57±1.39	68.95±12.18
	60 °C	Kontrol	Oda sıcaklığı	4.73±0.03	78.87±0.13
			50 °C	4.49±0.23	77.70±1.17
			70 °C	4.54±0.26	77.91±1.25
		Sitrik asit	Oda sıcaklığı	4.30±0.08	76.73±0.44
			50 °C	4.23±0.03	76.37±0.18
			70 °C	4.23±0.28	76.29±1.53
		Haşlama	Oda sıcaklığı	3.94±0.37	74.45±2.29
			50 °C	4.10±0.37	75.47±2.35
			70 °C	3.90±0.53	74.06±3.51
	70 °C	Kontrol	Oda sıcaklığı	5.24±0.27	80.87±1.03
			50 °C	4.69±0.03	78.69±0.13
			70 °C	4.98±0.33	79.84±1.37
		Sitrik asit	Oda sıcaklığı	5.27±0.10	81.02±0.35
			50 °C	4.72±0.05	78.81±0.24
			70 °C	4.66±0.09	78.52±0.41
		Haşlama	Oda sıcaklığı	5.63±0.41	82.16±1.34
			50 °C	5.60±0.90	81.83±2.95
			70 °C	6.13±1.80	82.72±5.03
	80 °C	Kontrol	Oda sıcaklığı	5.21±0.19	80.79±0.71
			50 °C	4.52±0.05	77.89±0.24
			70 °C	4.51±0.07	77.81±0.33
		Sitrik asit	Oda sıcaklığı	5.27±0.11	81.01±0.39
			50 °C	4.94±0.13	79.73±0.51
			70 °C	4.71±0.13	78.75±0.59
		Haşlama	Oda sıcaklığı	4.75±0.11	78.96±0.48
			50 °C	4.26±0.32	76.44±1.75
			70 °C	4.12±0.08	75.71±0.47

Çizelge 4.7 incelendiğinde laboratuvar tip konvektif kurutucuda kurutulan havuç örnekleri arasında en yüksek rehidrasyon oranı ve rehidrasyon kapasitesi haşlama ön işlemi uygulandıktan sonra 70 °C sıcaklıkta kurutulan ve 70 °C su sıcaklığında rehidre edilen örneklerde tespit edilmiştir.

Çizelge 12 Güneşte kurutulan havuç örneklerinin rehidrasyon oranı ve rehidrasyon kapasite değerleri

Yöntem	Ön işlem	Rehidrasyon su sıcaklığı	Rehidrasyon oranı (RO)	Rehidrasyon kapasitesi (RK)
Güneş	Kontrol	Oda sıcaklığı	4.67±0.03	78.61±0.12
		50 °C	4.37±0.08	77.13±0.43
		70 °C	4.31±0.15	76.79±0.83
	Sitrik asit	Oda sıcaklığı	4.86±0.06	79.43±0.26
		50 °C	4.16±0.08	75.93±0.44
		70 °C	3.93±0.02	74.55±0.12
	Haşlama	Oda sıcaklığı	4.58±0.10	78.15±0.46
		50 °C	3.69±1.28	69.86±13.02
		70 °C	3.93±0.13	74.54±0.85

* Oda sıcaklığı 23.00±2 °C olarak ölçülmüştür.

Çizelge 4.8'e göre güneşte kurutulmuş örnekler arasında en yüksek rehidrasyon oranı ve rehidrasyon kapasitesi sitrik asit çözeltisine bandırıldıktan sonra kurutulan ve oda sıcaklığında rehidre edilen örneklerde belirlenmiştir. Daha yüksek bir rehidrasyon oranı daha iyi bir ürün olduğunu işaret etmektedir (Saleh ve ark., 2019). Tüm yöntemler incelendiğinde en yüksek rehidrasyon oranı ve kapasitesi sırasıyla 6.13 ve %82.72 ile haşlama ön işlemine tabii tutulduktan sonra 70 °C sıcaklıkta laboratuvar tip konvektif kurutucuda kurutulan 70 °C sıcaklıkta rehidre edilmiş örneklerde tespit edilmiştir. Benzer şekilde Raut ve ark. (2021), yaptıkları çalışmada en yüksek rehidrasyon oranını 70 °C sıcaklıkta kuruttukları örneklerde tespit etmişlerdir. Singh ve Gangwar (2020), ön işlem uygulayarak yaptıkları havuç kurutma çalışması sonucunda en yüksek rehidrasyon oranını 70 °C sıcaklıkta kurutulan numunelerde olduğunu bildirmişlerdir. Doymaz (2017), havuç kurutma çalışmasında en yüksek rehidrasyon oranını ön işlem uygulayarak 70 °C sıcaklıkta kuruttuğu ve 65 °C su sıcaklığında yapılan rehidrasyon işleminde tespit etmiştir. Bu çalışmada ve literatürdeki bulguların uyumlu olduğu bulunmuştur.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Çalışmada havuç örneklerine ön işlemler uygulanarak farklı kurutma yöntemleriyle kurutulmuştur. Havuç dilimleri ön işlemlili (haşlama ve sitrik asit) ve ön işlemlisiz (kontrol) olarak konvektif, vakumlu etüv ve laboratuvar tip konvektif kurutucularda 50, 60, 70 ve 80 °C sıcaklıklarda kurutulmuştur. Kontrol amaçlı açıkta (güneşte) kurutma denemeleri yürütülmüştür. Kurutma denemeleri sonucunda en kısa kuruma süresi laboratuvar tip konvektif kurutucuda 80 °C sıcaklıkta haşlama ön işlemlisi uygulanmış örneklerde 70 dakika olarak tespit edilmiştir. En uzun kuruma süresi ise güneşte kurutulan ön işlemlisiz (kontrol) örneklerinde 3240 dakika olarak belirlenmiştir. Kurutma denemelerinde en yüksek kuruma hız değeri laboratuvar tip konvektif kurutucuda 0.1300 g nem g kuru madde⁻¹.dakika olarak hesaplanmıştır. En düşük kuruma hız değeri ise güneşte kurutulan kontrol grubu örneklerde 0.0022 g nem g kuru madde⁻¹.dakika olarak belirlenmiştir. Çalışma kapsamındaki veriler incelendiğinde kuruma süresi ve kuruma hızı açısından taze havuç dilimlerini laboratuvar tip konvektif kurutucuda 80 °C sıcaklıkta haşlama ön işlemlisi uygulanarak kurutulması önerilmektedir. Kuruma süreleri ve nem oranları kullanılarak kuruma eğrileri oluşturulmuştur. Wang-Sing ve Midilli-Küçük modelleri Lewis modeline göre daha uygun olduğu tespit edilmiştir. Kurutma yöntemleri, kurutma sıcaklıkları ve ön işlemler taze havuç dilimlerinin renk değerlerini etkilemiştir. Elde edilen veriler doğrultusunda renk parametresi açısından laboratuvar tip konvektif kurutucuda 80 °C sıcaklıkta sitrik asit çözeltisine bandırılarak kurutulması önerilmektedir. Kurutma yöntemleri, kurutma sıcaklıkları, ön işlemler ve rehidrasyon su sıcaklıkları kurutulmuş havuç dilimlerinin rehidrasyon oranı ve kapasite değerlerini etkilemiştir. Rehidrasyon oranı ve kapasitesi açısından tüm yöntemler incelendiğinde en yüksek rehidrasyon oranı ve kapasitesi haşlama ön işlemlisi uygulandıktan sonra 70 °C sıcaklıkta laboratuvar tip konvektif kurutucuda kurutulan ve 70 °C sıcaklıkta rehidre edilen kuru örneklerde tespit edilmiştir. Laboratuvar tip konvektif kurutucuda elde edilen kurutulmuş taze havuç dilimleri açıkta kurutmaya göre rengini koruyarak, daha kısa sürede ve kurumanın yanında olumsuz çevresel etkilerden (yağmur, toz, böcek, kuş vb.) uzaklaşarak daha temiz ürün elde edilmesine olanak sağlamıştır. Sıcak hava ile kontrollü şartlarda kurutma işleminin belirtilen olumlu tarafları yanında, ilk yatırım masrafı ve enerji maliyeti gibi bazı olumsuz tarafları öne çıkmaktadır. Bu sebepler göz önünde bulundurularak, açıkta tarımsal ürünleri kurutma döneminde güneş enerjisi

potansiyelinin de yüksek olmasına dikkat edilerek özellikle yöresel ölçekli kurutma sistemlerinde güneş enerjili ya da güneş enerjisi destekli kurutucuların kullanılması uygun olacaktır.

Bu alışma kapsamında elde edilen bulgular doğrultusunda taze havuç dilimlerinin laboratuvar tip konvektif kurutucuda kurutulması önerilmektedir.



6. KAYNAKLAR

- Abbaspour-Gilandeh, Y., Kaveh, M. ve Aziz, M., 2020. Ultrasonic-Microwave and Infrared Assisted Convective Drying of Carrot: Drying Kinetic, Quality and Energy Consumption. *Applied Sciences*, 10 (18), 6309. <https://doi.org/10.3390/app10186309>.
- Aksüt, B., Dursun, S.K. ve Taşova, M., 2022. Sıcak Suya Daldırma İşleminin Kalite Özellikleri ve Kuruma Kinetiği Parametrelerine Etkisi: Mor Havuç Örneği, *Ereğli Tarım Bilimleri Dergisi*, 2 (1), 32-40. <https://dx.doi.org/10.54498/etbd.2022.9>.
- Alam, M.D.R., Lygn, J.G., Frontuto, D., Marra, F. ve Cinquanta, L., 2018. Effect of Pulsed Electric Field Pretreatment on Drying Kinetics, Color, and Texture of Parsnip and Carrot. *Food Engineering, Materials Science, & Nanotechnology*, 83 (8), 2159-2166. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.14216>.
- Bonazzi, C. ve Dumoulin. E., 2011. Modern drying technology. In: Tsotsas E, Mujumdar AS (eds) *Product quality and formulation*, vol 3. Wiley-VCH, Weinheim, Germany.
- Brennan J.G., 2006. *Postharvest Handling and Preparation of Foods for Processing*. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co., KGaA, Weinheim, Germany.
- Cao, Z., Zhanf, M., Mujumdar, A.S. ve Zhong, Q., 2019. Evaluation of quality properties and water mobility in vacuum microwave-dried carrot slices using pulse-spouted bed with hot air, *Drying Technology*, 37 (9), 1087-1096. <https://doi.org/10.1080/07373937.2018.1484758>.
- Cerezal-Mezquita, P. ve Bugueño-Muñoz, W., 2022. Drying of Carrot Strips in Indirect Solar Dehydrator with Photovoltaic Cell and Thermal Energy Storage. *Sustainability*, 14 (4), 2147. <https://doi.org/10.3390/su14042147>.
- Chen, A.G., Guo, X.Y. ve Wu, T., 2016. A novel dehydration technique for carrot slices implementing ultrasound and vacuum drying methods. *Ultrasonics Sonochemistry*, 30, 28-34.
- Ciurzynska, A., Janowicz, M., Karwacka, M., Galus, S., Kowalska, J. ve Ganko, K., 2022. The Effect of Hybrid Drying Methods on the Quality of Dried Carrot. *Applied Sciences*, 12 (20), 10588. <https://doi.org/10.3390/app122010588>.
- Delfiya, A., Mohapatra, D., Kotwaliwale, N. ve Mishra, A.K., 2017. Effect of microwave blanching and brine solution pretreatment on the quality of carrots dried in solar-biomass hybrid dryer. *Journal of Food Processing and Preservation*, 42 (2), e13510. <https://doi.org/10.1111/jfpp.13510>.
- Demiray, E., 2015. Havuç ve Kırmızıbiberin Farklı Kurutma Yöntemleri İle Kurutulması, Kuruma Karakteristiklerinin ve Bazı Kalite Özelliklerindeki Değişimin Modellenmesi. Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Pamukkale Üniversitesi, Denizli.
- Doymaz, İ., 2017. Drying kinetics, rehydration and colour characteristics of convective hot-air drying of carrot slices. *Heat and Mass Transfer*, 53, 25-35.
- Gawalek, J., 2005. Effect on convection and freeze drying conditions on the quality of dried carrot roots. *Inżynieria Rolnicza*, 11 (71), 119-127,
- Gornicki, K. ve Kaleta, A., 2007. Drying curve modelling of blanched carrot cubes under natural convection condition. *Journal of Food Engineering*, 82 (2), 160-170. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.02.002>.

- Haq, R., Kumar, P. ve Prasad, K., 2018. Effect of microwave treatment on dehydration kinetics and moisture diffusivity of Asiatic Himalayan black carrot. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 17 (4), 463-470. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2016.11.004>.
- Hiranvarachat, B., Devahastin, S. ve Chiewchan, N., 2011. Effects of acid pretreatments on some physicochemical properties of carrot undergoing hot air drying. *Food and Bioproducts Processing*, 89 (2), 116-127. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2010.03.010>
- Ho, J.C., Chou, S.K., Mujumdar, A.S., Hawlader, M.N.A. ve Chua, K.J., 2001. An optimisation framework for drying of heat-sensitive products. *Applied Thermal Engineering*, 21, 1779-1798.
- Horuz, E. ve Maskan, M., 2015. Hot air and microwave drying of pomegranate (*Punica granatum L.*) arils. *Journal of Food Science Technol.* 52, 285–293. <https://doi.org/10.1007/s13197-013-1032-9>.
- Hu, X., Kurian, J., Garipey, Y. ve Raghavan, V., 2017. Optimization of microwave-assisted fluidized-bed drying of carrot slices. *Drying Technology*, 35 (10), 1234-1248. <https://doi.org/10.1080/07373937.2016.1242014>.
- Ignaczak, A., Salamon, A., Kowalska, J., Marzec, A. ve Kowalska, H., 2023. Influence of Pre-Treatment and Drying Methods on the Quality of Dried Carrot Properties as Snacks. *Molecules* 28, 6407. <https://doi.org/10.3390/molecules28176407>.
- İsmail, O., 2017. Güneş altında kurutulmuş havuç dilimlerinin rehidrasyon kinetiğinin incelenmesi. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 32 (2), 355-361.
- Kidmose, U. ve Martens, H.J., 1999. Changes in texture, microstructure and nutritional quality of carrot slices during blanching and freezing *Journal of the Science of Food Agriculture*, 79 (12), 1747-1753.
- Kowalski, S.J. ve Pawlowski, A., 2010. Drying of wet materials in intermittent conditions. *Drying Technology*, 28, 636-643.
- Kowalski, S.J., Szadzinska, J. ve Lechtanska, J., 2013. Non-stationary drying of carrot: Effect on product quality. *Journal of Food Engineering*, 118 (4), 393-399.
- Kumar, N., Sarkar, B.C. ve Sharma, H.K., 2012. Mathematical modelling of thin layer hot air drying of carrot pomace. *Journal of Food Science and Technolgy*, 49, 33-41.
- Lewicki, P. ve Lenart, A., 2006. Osmotic dehydration of fruits and vegetables. in *handbook of industrial drying*. 3rd ed.; CRC Press: Boca Raton, FL, USA.
- Liu, C., Pirozzi, A., Ferrari, G., Vorobiev, E. ve Grimi, N., 2020. Effects of Pulsed Electric Fields on Vacuum Drying and Quality Characteristics of Dried Carrot. *Food and Bioprocess Tecnology*, 13, 45-52. <https://doi.org/10.1007/s11947-019-02364-1>.
- Mujumdar, A.S., 2000. *Drying technology in agriculture and food sciences*. Science Publishers, Inc, USA.
- Omari, A., Behrooz-Khazaei, N. ve Sharifian, F., 2018. Drying kinetic and artificial neural network modeling of mushroom drying process in microwave-hot air dryer. *Journal of Food Process Engineering*, 41, 12849.
- Polat, A., 2019. Havuç ve Patatesin Kurutulmasında Ultrases Ön İşlem Uygulamasının Etkisinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, , Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı, Bursa Uludağ Üniversitesi, Bursa.

- Polatçı, H. ve Toşova, M., 2020. Sıcaklık Kontrollü Mikrodalga Kurutucu Geliştirilmesi ve Portakal Kurutma Performansının Belirlenmesi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 8 (1), 131-138.
- Rajkumar, G., Shanmugam, S., Galvao, M.S., Neta, M.T.S.L., Sandes, R.D.D., Mujumdar, A.S. ve Narain, N., 2017. Comparative evaluation of physical properties and aroma profile of carrot slices subjected to hot air and freeze drying. *Drying Technology*, 35 (6), 699-708. <https://doi.org/10.1080/07373937.2016.1206925>.
- Saleh, R.M., Kulig, B., Hensel, O., Sturm, B. ve Sturm, B., 2019. Investigation of dynamic quality changes and optimization of drying parameters of carrots (*Daucus carota* var. *laguna*). *Journal of Food Process Engineering*, 43 (2), e13314. <https://doi.org/10.1111/jfpe.13314>.
- Raut, S., Saleh, R.M.D., Kirchofer, P., Kulig, B. ve Sturm, B., 2021. Investigating the Effect of Different Drying Strategies on the Quality Parameters of *Daucus carota* L. Using Dynamic Process Control and Measurement Techniques. *Food and Bioprocess Technology*, 14, 1067-1088. <https://doi.org/10.1007/s11947-021-02609-y>.
- Ricce, C., Rojas, M.L., Miano, A.C., Siche, R. ve Augusto, P.E.D., 2016. Ultrasound pre-treatment enhances the carrot drying and rehydration. *Food Research International*, 89(1), 701-708. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.09.030>.
- Saldamlı, İ. ve Saldamlı, E., 2004. *Gıda Endüstrisi Makineleri*, Savaş Kitapevi, 318-330, Ankara.
- Saleh, R.M., Kulig, B., Hensel, O., Sturm, B. ve Sturm, B., 2019. Investigation of dynamic quality changes and optimization of drying parameters of carrots (*Daucus carota* var. *laguna*). *Journal of Food Process Engineering*, 43 (2), e13314. <https://doi.org/10.1111/jfpe.13314>.
- Salehi, F., Goharpour, K. ve Kamran, H.R., 2023. Effects of ultrasound and microwave pretreatments of carrot slices before drying on the color indexes and drying rate. *Ultrasonics Sonochemistry*, 101, 106671. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2023.106671>.
- Severini, C., Baiano, A., De Pilli, T., Carbone, B.F. ve Derossi, A., 2005. Combined treatments of blanching and dehydration: study on potato cubes *Journal of Food Engineering*, 68, 289-296. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.05.045>.
- Singh., S.K. ve Gangwar, V., 2020. Drying Behavior of Osmo-convective Drying of Carrot Slices and Quality Characteristics of Dehydrated Products. *Int.J.Curr.Microbiol.App.Sci.* 9 (10), 1-8. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2020.910.xx>.
- Stepien, B., 2009. The impact of drying method on selected mechanical properties of carrots after rehydration. *Inżynieria Rolnicza*, 5 (114), 251-258.
- Şevik, S., 2013. Design experimental investigation and analysis of a solar drying system. *Energy Conversion and Management*, 68, 227-234.
- Wang, H., Fang, X.M., Sutar, P.P., Meng, J.S., Wang, J., Yu, X.L. ve Xiao, H.W., 2021. Effects of vacuum-steam pulsed blanching on drying kinetics, colour, phytochemical contents, antioxidant capacity of carrot and the mechanism of carrot quality changes revealed by texture, microstructure and ultrastructure. *Food Chemistry*, 338, 127799. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127799>.
- Tepe, T.K., 2024. Effect of pretreatments on drying characteristics, rehydration properties, and total energy consumption of carrot slices: comparison between

- thin layer mathematical modelling and artificial neural network modelling. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 14, 1373-1387. <https://doi.org/10.1007/s13399-023-04925-z>.
- Top, V., Tontul, İ. ve Türker, S., 2019. Güneş Enerjisi Destekli Kurutma Yöntemlerinin Gıda Endüstrisinde Kullanımı. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 7 (8), 1100-1112.
- TÜİK, 2024. TÜİK (Türkiye İstatistik Kurumu) <https://data.tuik.gov.tr/Kategori/GetKategori?p=tarim-111&dil=1>. (31.05.2024).
- Xu, Y., Lang, X., Xiao, Y., Li, D., Liu, C., Song, J., Zhang, Z., Liu, C., Jiang, N., Zhang, M. ve Zhou, C., 2022. Study on drying efficiency, uniformity, and physicochemical characteristics of carrot by tunnel microwave drying combined with explosion puffing drying. *Drying Technology*, 40 (2), 416-429. <https://doi.org/10.1080/07373937.2020.1803351>.
- Yılmaz, B., Cakmak, H. ve Tavman, S., 2019. Ultrasonic pretreatment of carrot slices: Effects of sonication source on drying kinetics and product quality. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 91 (3), e20180447. <https://doi.org/10.1590/0001-3765201920180447>.
- Yi, J., Zhou, L., Bi, J., Chen, Q., Liu, X. ve Wu, X., 2016. Impacts of Pre-Drying Methods on Physicochemical Characteristics, Color, Texture, Volume Ratio, Microstructure and Rehydration of Explosion Puffing Dried Pear Chips. *Journal of Food Processing and Preservation*. 40 (5), 863-873. <https://doi.org/10.1111/jfpp.12664>.
- Zielinska, M. ve Markowski, M., 2010. Air drying characteristics and moisture diffusivity of carrots. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 49 (2), 212-218. <https://doi.org/10.1016/j.cep.2009.12.005>.

ÖZGEÇMİŞ

