

**T.C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TAM VE YARI KURU KAPYA BİBER ÜRETİMİNDE KARBONİK
MASERASYON ÖN İŞLEMİ İLE KURUTMA KOŞULLARININ
OPTİMİZASYONU VE ÜRÜNLERİN DEPOLAMA STABİLİTESİ
ÜZERİNE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

Mehmet AKSU

**Danışman
Prof. Dr. Gülcan ÖZKAN**

**II. Danışman
Prof. Dr. Erkan KARACABEY**

**DOKTORA TEZİ
GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ISPARTA - 2024**



© 2024 [Mehmet AKSU]

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER.....	i
ÖZET	iii
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	6
2.1. Kapyra Biber.....	6
2.2. Kurutma.....	13
2.3. Kurutma Öncesi Uygulanan Ön İşlemler.....	26
2.4. Karbonik Maserasyon Ön İşlemi.....	31
2.5. Proses Optimizasyonu	34
3. MATERYAL ve YÖNTEM	38
3.1. Materyal	38
3.2. Yöntem.....	39
3.2.1. Kuru kapyra biber üretimi.....	39
3.2.1.1. Yanıt yüzey yöntemi ile deneme tasarımı.....	39
3.2.1.2. Karbonik maserasyon ön işlemi	41
3.2.1.3. Kurutma denemeleri.....	42
3.2.2. Optimizasyon	43
3.2.3. Fiziksel analizler	45
3.2.3.1. Toplam kuru madde miktarı tayini	45
3.2.3.2. Suda çözünür kuru madde miktarı tayini	45
3.2.3.3. pH değeri tayini.....	46
3.2.3.4. Su aktivitesi tayini.....	46
3.2.3.5. Rehidrasyon oranının belirlenmesi	46
3.2.3.6. Kolorimetrik renk tayini.....	47
3.2.3.7. Tekstür analizi	48
3.2.3.8. Kuruma hızı	48
3.2.4. Kimyasal analizler	49
3.2.4.1. Titrasyon asitliğinin belirlenmesi.....	49
3.2.4.2. Askorbik asit içeriğinin belirlenmesi	49
3.2.4.3. Toplam fenolik içeriğinin belirlenmesi.....	50
3.2.4.4. Antioksidan aktivitenin belirlenmesi	51
3.2.4.5. Toplam karotenoit miktarı tayini	52
3.2.4.6. Karotenoit kompozisyonunun HPLC ile belirlenmesi.....	53
3.2.5. Mikrobiyolojik analizler.....	54
3.2.5.1. Örnek hazırlama	54
3.2.5.2. Toplam aerobik mezofil bakteri sayısının belirlenmesi...	54
3.2.5.3. Toplam maya ve küf sayısının belirlenmesi.....	54
3.2.6. İstatistiksel değerlendirmeler	55
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	56
4.1. Taze Kapyra Biberlerin Bazı Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri.....	56
4.2. Optimizasyon Sonuçları	57

4.2.1. Modele dahil edilecek yanıtların tespiti	61
4.2.2. Optimum modelin oluşturulması ve doğrulanması	64
4.3. Karbonik Maserasyon Ön İşleminin Kuru Ürün Özelliklerine Etkileri	73
4.3.1. Renk değerleri ve fiziksel özellikler	73
4.3.2. Rehidrasyon analizi	82
4.3.3. Tekstür analizi	85
4.3.4. Kimyasal özellikler.....	87
4.4. Depolama Analizleri	91
4.4.1. Renk değerlerindeki değişimler	91
4.4.2. Fiziksel özelliklerdeki değişimler	102
4.4.3. Kimyasal özelliklerdeki değişimler	114
4.4.4. Mikrobiyolojik özelliklerdeki değişimler.....	136
4.5. Taramalı Elektron Mikroskobu Görüntüleri	146
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	148
KAYNAKLAR	151
ÖZGEÇMİŞ.....	168

ÖZET

Doktora Tezi

TAM VE YARI KURU KAPYA BİBER ÜRETİMİNDE KARBONİK MASERASYON ÖN İŞLEMİ İLE KURUTMA KOŞULLARININ OPTİMİZASYONU VE ÜRÜNLERİN DEPOLAMA STABİLİTESİ ÜZERİNE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Mehmet AKSU

**Süleyman Demirel Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Prof. Dr. Gülcan ÖZKAN

II. Danışman: Prof. Dr. Erkan KARACABEY

Kapya biber ülkemizde miktar olarak en fazla üretilen biber çeşidi olup; gıda endüstrisinde turşu, salça, konserve, sos ve kurutulmuş ürün gibi birçok şekilde değerlendirilmektedir. Kurutulmuş meyve ve sebzelerin çeşitli avantajları nedeniyle üretim miktar ve çeşidi sürekli artmakla birlikte; gıdaların kurutulmasında harcanan yüksek enerji miktar ve fiyatları, kuruma süresini kısaltıcı alternatif sistemler ve ön işlemler konusunda yapılan araştırmalarda artışa sebep olmaktadır.

Bu tez çalışması kapsamında kapyalı biber kurutulmasında daha önce uygulanmayan yeni bir teknik olarak karbonik maserasyon (CM) ön işlemi ile farklı nem içeriklerine sahip tam ve yarı kuru kapyalı biber üretimi gerçekleştirilmiştir. Kurutma ve CM ön işlem prosesi için en uygun koşulların tespiti amacıyla, yanıt yüzey yöntemi (RSM) ile proses parametreleri optimize edilmiştir. Geriye doğru eleme metodu ile modelde yer almasına karar verilen kuruma hızı, kırmızı renk (a^*), esmerleşme indeksi (BI) ve antioksidan aktivite yanıt olarak seçilmiştir.

CM ön işlemi sonrası kurutulan tam kuru kapyalı biberlerin L^* , a^* ve kroma değerleri ile taze biberde ölçülen değerler arasında önemli bir fark tespit edilmemiştir ($p>0.05$). Yarı kuru kapyalı biberlerde ise aynı etki sadece a^* değerinde görülmüş; diğer değerlerde istatistiksel olarak önemli bir fark bulunmamıştır ($p>0.05$). Toplam renk farkı (ΔE) ve esmerleşme indeksi (BI) değerleri hem tam hem de yarı kuru kapyalı biberlerde CM ön işleminden olumlu şekilde etkilenerek kontrol gruplarından daha düşük bulunmuştur ($p\leq 0.05$). CM ön işlemi uygulanan tam kuru kapyalı biberlerin rehidrasyon oranı, kontrol gruplarına kıyasla istatistiksel olarak önemli düzeyde yüksek bulunmuştur ($p\leq 0.05$). CM ön işlemi, yarı kuru ürünlerde rehidrasyon oranı bakımından önemli fark oluşturmamıştır ($p>0.05$). Tekstür parametreleri olan kabuk direnci ve elastikiyet bakımından ise tam kuru kapyalı biberlerde CM ön işlemli ve kontrol örnekleri arasında istatistiksel olarak önemli bir fark bulunmazken, yarı kuru

kapya biberlerde kabuk direnci deęerleri kontrol gruplarına gre daha dřk tespit edilmiřtir ($p \leq 0.05$). CM n iřlemi tam kuru kapy biberlerin kimyasal zelliklerinden ise toplam fenolik, askorbik asit, toplam karotenoit miktarları ile antioksidan aktivite zerinde olumlu etki gstermiř ve bu zelliklere ait deęerler kontrol gruplarından daha yksek bulunmuřtur ($p \leq 0.05$). Yarı kuru kapy biberlerde de antioksidan aktivite haricindeki deęerlerde de benzer etkiler saptanmıřtır.

Toplam 6 ay sren depolama periyodunda CM n iřlemine tabi tutulan tam kuru kapy biberlerde toplam renk farkı, rehidrasyon oranı, toplam fenolik, toplam karotenoit, kapsantin ve toplam aerob mezofil bakteri sayısı deęerleri aısından kontrol gruplarından daha iyi sonular tespit edilmiřtir ($p \leq 0.05$). Yarı kuru kapy biberlerin depolama srecinde ise rehidrasyon oranı, askorbik asit ve maya-kf sayısı deęerleri bakımından CM n iřlemi sonrası kurutulan kapy biberlerin kontrol gruplarından daha stn niteliklere sahip olduęu saptanmıřtır ($p \leq 0.05$). Depolama sıcaklıęı 4°C olan tam kuru kapy biberlerin askorbik asit, toplam fenolik, toplam karotenoit ve kapsantin miktarları 20°C' de depolanan rneklerden daha yksek bulunmuřtur. Yarı kuru kapy biberler iin ise Hue aısı ve rehidrasyon oranı ile askorbik asit, toplam karotenoit ve kapsantin miktarları depolama sıcaklıęının ykselmesinden olumsuz etkilenen zelliklerdir. Ambalajlama yntemleri deęerlendirildięinde ise kapy biberlerin depolama srecindeki toplam karotenoit ve kapsantin miktarlarının ambalaj yntemlerine gre farklılık gsterdięi ($p \leq 0.05$); vakum ambalajın normal ambalaja gre renk madde miktarını en yksek yksek oranda koruyan ambalajlama yntemi olduęu tespit edilmiřtir. Depolama srecinin ilerlemesi ile Hue aısı deęerlerinin yanında askorbik asit, toplam fenolik, toplam karotenoit ve kapsantin gibi fonksiyonel bileřenlerin miktarlarında azalıř tespit edilmiřtir ($p \leq 0.05$). Maya-kf geliřimi, tam kuru kapy biberlerde depolama boyunca gzlenmezken, yarı kuru kapy biberlerde depolamanın ikinci ayından itibaren artıř gstermiřtir ($p \leq 0.05$).

Optimize edilen proses parametrelerine gre; kuru kapy biber retimi iin en uygun kurutma sıcaklıęı 79.9°C olarak tespit edilmiřtir. CM n iřlemi iin optimum kořullar ise 30.5°C sıcaklık, 1 bar basın ve 4 saat bekleme sresi olarak belirlenmiřtir. Karbonik maserasyona tabi tutulduktan sonra kurutulan kapy biberlerin kuruma sresinde %17.3'lk bir azalma saęlanmıřtır.

alıřma sonularına gre CM n iřlemi kapy biberin kuruma sresinde azalma saęlarken bazı fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik zellikler zerinde de olumlu etkiler gstermiřtir. Bu avantajlar sayesinde CM n iřleminin kapy biber kurutmada gelecek vadettięi sonucu ıkarılabilir. Sistemin kesikli dzenden srekli sisteme evrilmesi ve daha byk kapasitelere ıkması iin sistemde iyileřtirmeler yapılması ve arařtırmaların srdrlmesi nerilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Kurutma, kapy biber, yarı kuru, karbonik maserasyon, yanıt yzey yntemi, depolama.

2024, 169 sayfa

ABSTRACT

Ph.D. Thesis

OPTIMIZATION OF CARBONIC MACERATION PRE-TREATMENT AND DRYING CONDITIONS IN FULL AND SEMI DRIED CAPIA PEPPER PRODUCTION AND EXAMINATION IT'S EFFECTS ON STORAGE STABILITY OF THE PRODUCTS

Mehmet AKSU

**Süleyman Demirel University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Food Engineering**

Supervisor: Prof. Dr. Gülcan ÖZKAN

Co-Supervisor: Prof. Dr. Erkan KARACABEY

Capia pepper is the most produced pepper variety in our country in terms of quantity. In the food industry, it is used in many ways such as pickled, paste, canned, sauce and dried. While production quantity and types of dried fruit and vegetables is continuously increasing, the high amount of energy and prices spent in drying of foods have made more attractive the alternative systems and pre-treatments that shorten the drying time.

Within the scope of this thesis study, fully and semi-dried capia peppers having different moisture contents were produced by carbonic maceration (CM) pre-treatment as a new technique that has not been used before in drying of capia peppers. In order to determine the optimum values for drying and CM pre-treatment conditions, the process parameters were optimized using the response surface methodology (RSM). The drying rate, red color (a^*), browning index (BI) and antioxidant activity were selected as responses which have been decided to involve in the model by backward elimination method.

No significant difference was detected between the L^* , a^* and chroma values of fully dried capia peppers with CM pre-treatment and the values measured in fresh peppers ($p>0.05$). In semi-dried capia peppers, the same effect was seen only at a^* value; there was no statistically significant difference in other values ($p>0.05$). Total color difference (ΔE) and browning index (BI) values in both fully and semi-dried capia peppers were positively affected by CM pre-treatment and were found to be lower than the control groups ($p\leq 0.05$). The rehydration rate of fully dried capia peppers subjected to CM pre-treatment were found statistically higher than control groups ($p\leq 0.05$). No significant difference was detected in terms of rehydration rate for semi-dried products ($p>0.05$). In terms of skin resistance and elasticity, which are texture parameters, CM pre-treatment did not create a statistically significant difference in fully dried capia peppers, but skin resistance values in semi-dry capia peppers were found to be lower than the

control groups ($p \leq 0.05$). Among chemical properties, CM pre-treatment had a positive effect in the amounts of total phenolic substance, ascorbic acid and total carotenoid besides antioxidant activity for the of fully dried capia peppers and the values for these properties were found to be higher than the control groups ($p \leq 0.05$). Similar effects were observed in semi-dried capia peppers in terms of these values except antioxidant activity.

During the storage period lasting for 6 months, fully dried capia peppers subjected to CM pre-treatment showed better results than the control groups in terms of total color difference, rehydration rate, total phenolic, total carotenoid, capsanthin and total aerobic mesophyll bacteria count values ($p \leq 0.05$). During the storage period of semi-dried capia peppers, it was determined that CM pre-treated capia peppers had superior qualities than the control groups in terms of rehydration rate, ascorbic acid and yeast-mold number values ($p \leq 0.05$). The ascorbic acid, total phenolic, total carotenoid and capsanthin amounts of fully dried capia peppers whose storage temperature was 4°C were found to be higher than those stored at 20°C. For semi-dried capia peppers, Hue angle, rehydration rate and ascorbic acid, total carotenoid and capsanthin amounts are the properties that were negatively affected from the increase in storage temperature. When packaging methods were evaluated, total carotenoid and capsanthin contents of capia peppers during the storage process differed according to packaging methods ($p \leq 0.05$) and it was determined that the packaging method providing the highest pigment content was vacuum packaging, while the lowest pigment content was found in normal packaging. As the storage process progressed, the Hue angle values as well as the amounts of ascorbic acid, total phenolics, total carotenoids and capsanthin decreased ($p \leq 0.05$). While yeast and mold growth has not been observed in fully dried capia peppers during storage, an increase in yeast and mold number was recorded throughout storage starting from the second month.

According to optimized process parameters; the optimum drying temperature for capia pepper drying was determined as 79.9°C. The optimum conditions for CM pre-treatment were found as 30.5°C temperature, 1 bar pressure and 4 hours waiting time. Drying of capia peppers after CM pre-treatment resulted in a 17.3% reduction in drying time.

According to the study results, CM pre-treatment reduced the drying time of capia pepper and had positive effects on some physical, chemical and microbiological properties. Thanks to these advantages, it can be concluded that CM pre-treatment is promising in drying of capia pepper. It is recommended to make improvements in the system and continue research in order to convert the system from a batch system to a continuous system and to increase it to larger capacities.

Keywords: Drying, capia pepper, semi-dried, carbonic maceration, response surface methodology, storage.

2024, 169 pages

TEŞEKKÜR

Bu araştırma için beni yönlendiren, karşılaştığım zorlukları bilgi ve tecrübesi ile aşmamda yardımcı olan değerli Danışman Hocam Prof. Dr. Gülcan ÖZKAN'a teşekkürlerimi sunarım. Deneme deseninin oluşturulmasından başlamak üzere araştırma sonuçlarının yorumlanmasına değin desteğini esirgemeyen ikinci Danışman Hocam Prof. Dr. Erkan KARACABEY'e de ayrıca teşekkür ederim.

Tez izleme komitesinin kurulduğu ilk günden itibaren tezin son aşamalarına kadar destek ve tecrübelerinden yararlandığım Prof. Dr. Ayhan TOPUZ ve Doç. Dr. Alper KUŞÇU'ya; ayrıca analizlerin yorumlanması sırasında vermiş olduğu destekten dolayı Doç. Dr. Mehmet TORUN, Doç. Dr. Muammer DEMİR, Dr. Öğr. Üyesi Sebahattin Serhat TURGUT ve Arş. Gör. Dr. Salih EROĞLU' na da teşekkürlerimi sunuyorum.

Laboratuvar çalışmalarım sırasında bilgi ve tecrübelerinin yanında bizzat emek vererek desteğini her zaman hissettiren Dr. Muhammed Mustafa ÖZÇELİK; Dr. Öğr. Üyesi Şerife ÇEVİK, Arş. Gör. Ayşe ÖZÇELİK, Dr. Merve Seçil BARDAKÇI, doktora öğrencisi Sedef AYDIN, Gıda Yüksek Mühendisi Pınar ÜNSAL GEDİK ve Gıda Mühendisi Lina MİÇOOĞULLARI'na teşekkür ederim.

Tez çalışmamın yürütülmesinde maddi ve manevi yardımlarını gördüğüm Prof. Dr. Süleyman GÜLCÜ, Ziraat Mühendisi Ramazan UYSAL ve Av. Hasan İLTAR'a teşekkür ederim.

FDK-2019-7446 No'lu Proje ile tezimi maddi olarak destekleyen Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi Başkanlığı'na teşekkür ederim.

Tez çalışması kapsamındaki optimizasyon çalışmalarında TÜBİTAK 2237-A Bilimsel Eğitim Etkinlikleri Destekleri kapsamında düzenlenen "Proses Analizi ve Optimizasyonu" (Etkinlik No: 1129B372000721) eğitiminde paylaşılan bilgilerden faydalanılmıştır. Başta eğitim koordinatörü Prof. Dr. Erkan KARACABEY olmak üzere tüm eğitmen ve organizasyon ekibi ile TÜBİTAK' a teşekkürlerimi sunarım. Tez çalışması kapsamındaki hesaplamalarda ise TÜBİTAK 2237-A Bilimsel Eğitim Etkinlikleri Destekleri kapsamında düzenlenen "Analitik Doğa, Kümeleme ve Ordinasyon Teknikleri" (Etkinlik No: 1129B371900914) eğitimlerinde paylaşılan bilgilerden faydalanılmıştır. Başta eğitim koordinatörü Prof. Dr. Serkan GÜLSOY olmak üzere tüm eğitmen ve organizasyon ekibi ile TÜBİTAK' a teşekkür ediyorum.

Tezimin her aşamasında beni yalnız bırakmayan eşim İlknur'a ve çocuklarım Süleyman ve Selim'e fedakârlık, anlayış, sevgi ve sabırları için sonsuz sevgi ve saygılarımı sunarım.

Mehmet AKSU
ISPARTA, 2024

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Dünyada üretim miktarı açısından ülke sıralaması	7
Şekil 2.2. Kırmızı biberlerdeki karotenoitlerin yapısı	10
Şekil 2.3. Sıcak hava ile kurutma sırasında gıdalarda ısı ve kütle aktarımı ..	19
Şekil 2.4. Meyve ve sebzelere kurutma öncesi uygulanan ön işlemler	28
Şekil 2.5. Proses optimizasyonunda uygulanan deneme tasarımları.....	36
Şekil 2.6. Deneme tasarımlarındaki noktaların geometrik gösterimi	36
Şekil 3.1. Kurutma öncesi hazırlanan biberler	38
Şekil 3.2. Karbonik maserasyon tankının görünüşü	41
Şekil 3.3. Kurutma fırınının görünümü	43
Şekil 4.1. Yanıtların optimum noktaları ve ulaşılabilirlik değerleri.....	66
Şekil 4.2. Fırın sıcaklığı ve maserasyon koşullarının a* değerine etkisine ait yanıt yüzey grafiği.....	67
Şekil 4.3. Fırın sıcaklığı ve maserasyon koşullarının esmerleşme indeksine etkisine ait yanıt yüzey grafiği.....	68
Şekil 4.4. Maserasyon koşullarının antioksidan aktiviteye etkisine ait yanıt yüzey grafiği.....	69
Şekil 4.5. Optimum ve kontrol kurutmalarına ait kuruma eğrileri	71
Şekil 4.6. Kuru kapa biberlerin esmerleşme indeksi değerleri	81
Şekil 4.7. Kuru kapa biberlerin rehidrasyon oranları	83
Şekil 4.8. Depolama sürecinde tam kuru kapa biberlerin toplam renk farkı değerleri	95
Şekil 4.9. Depolama sürecinde yarı kuru kapa biberlerin toplam renk farkı değerleri	96
Şekil 4.10. Depolama sürecinde tam kuru kapa biberlerin esmerleşme indeksi değerleri	98
Şekil 4.11. Depolama sürecinde yarı kuru kapa biberlerin esmerleşme indeksi değerleri	99
Şekil 4.12. Depolama sürecinde tam kuru kapa biberlerin Hue açısı değerleri	100
Şekil 4.13. Depolama sürecinde yarı kuru kapa biberlerin Hue açısı değerleri	101
Şekil 4.14. Depolama sürecinde tam kuru kapa biberlerin rehidrasyon oranlarındaki değişimler.....	106
Şekil 4.15. Depolama sürecinde yarı kuru kapa biberlerin rehidrasyon oranlarındaki değişimler.....	107
Şekil 4.16. Depolama sürecinde tam kuru kapa biberlerin kabuk direncindeki değişimler	109
Şekil 4.17. Depolama sürecinde yarı kuru kapa biberlerin kabuk direncindeki değişimler	111
Şekil 4.18. Depolama sürecinde tam kuru kapa biberlerin elastikiyet değerlerindeki değişimler	112
Şekil 4.19. Depolama sürecinde yarı kuru kapa biberlerin elastikiyet değerlerindeki değişimler	113
Şekil 4.20. Depolama sürecinde tam kuru kapa biberlerin askorbik asit miktarındaki değişimler	120

Şekil 4.21. Depolama sürecinde yarı kuru kapy biberlerin askorbik asit miktarındaki değişimler	121
Şekil 4.22. Depolama sürecinde tam kuru kapy biberlerin toplam fenolik miktarındaki değişimler	123
Şekil 4.23. Depolama sürecinde yarı kuru kapy biberlerin toplam fenolik miktarındaki değişimler	125
Şekil 4.24. Depolama sürecinde tam kuru kapy biberlerin toplam karotenoit miktarındaki değişimler	127
Şekil 4.25. Depolama sürecinde yarı kuru kapy biberlerin toplam karotenoit miktarındaki değişimler	128
Şekil 4.26. Depolama sürecinde tam kuru kapy biberlerin kapsantin miktarındaki değişimler	130
Şekil 4.27. Depolama sürecinde yarı kuru kapy biberlerin kapsantin miktarındaki değişimler	131
Şekil 4.28. Depolama sürecinde tam kuru kapy biberlerin antioksidan aktivitelerindeki değişimler	134
Şekil 4.29. Depolama sürecinde yarı kuru kapy biberlerin antioksidan aktivitelerindeki değişimler	135
Şekil 4.30. Tam kuru kapy biberlerde tespit edilen toplam aerob mezofil bakteri kolonileri.....	139
Şekil 4.31. Depolama sürecinde tam kuru kapy biberlerin toplam aerob mezofil bakteri sayılarındaki değişimler.....	140
Şekil 4.32. Depolama sürecinde yarı kuru kapy biberlerin toplam aerob mezofil bakteri sayılarındaki değişimler.....	141
Şekil 4.33. Depolama sürecinde tam kuru kapy biberlerin küf sayılarındaki değişimler	142
Şekil 4.34. Depolama sürecinde yarı kuru kapy biberlerin küf sayılarındaki değişimler	143
Şekil 4.35. CM ön işlemi sonrası ve ön işlemsiz kurutulan kapy biberlerin SEM görüntüleri.....	146
Şekil 4.36. Yüksek nemli sıcak hava akımı ile haşlamaya tabi tutulduktan sonra kurutulan kırmızı biberlerin SEM görüntüleri	147

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 2.1. Biberin taksonomik sınıflandırılması	6
Çizelge 2.2. Dünyada en fazla biber yetiştirme alanına sahip ülkeler.....	7
Çizelge 2.3. Çeşitlere göre Türkiye’de biber üretim miktarları değerleri.....	8
Çizelge 2.4. Kappa biberin kimyasal bileşimi.....	9
Çizelge 2.5. Kappa biberin içerdiği önemli fitokimyasallar	9
Çizelge 2.6. Biber türleri ve içerdikleri karotenoidler.....	10
Çizelge 2.7. Gıdalarda mikroorganizmaların gelişebildiği su aktivitesi değerleri.....	14
Çizelge 2.8. Gıdaların kurutulmasında kullanılan konvansiyonel kurutucuların sınıflandırılması.....	17
Çizelge 2.9. Meyve ve sebzelerin kurutulmasında uygulanan bazı yöntemlerin avantaj ve dezavantajları.....	20
Çizelge 2.10. Kırmızı biber kurutmada uygulanan bazı ön işlemler	29
Çizelge 2.11. Ön işlem olarak karbonik maserasyon uygulanan kurutma işlemleri.....	32
Çizelge 3.1. Kurutma işlem parametreleri için kodlanmış faktör seviyeleri.....	40
Çizelge 3.2. CM ve kurutma koşullarının yanıt yüzey yöntemi ile optimizasyonu için oluşturulan deneme tasarımı.....	40
Çizelge 3.3. L-askorbik asit analizi için HPLC çalışma koşulları.....	50
Çizelge 3.4. Karotenoid analizi için HPLC çalışma koşulları	53
Çizelge 4.1. Taze kappa biberlerin bazı fiziksel özellikleri	56
Çizelge 4.2. Taze kappa biberlerin bazı kimyasal özellikleri	57
Çizelge 4.3. Deneme desenindeki şartlara göre üretilen kuru kappa biberlerin bazı fiziksel özellikleri	59
Çizelge 4.4. Deneme desenindeki şartlara göre üretilen kuru kappa biberlerin bazı kimyasal özellikleri.....	60
Çizelge 4.5. Model için test edilen bağımlı değişkenlere ait katsayılar.....	61
Çizelge 4.6. Modele dahil olan yanıtlara ait varyans analiz tablosu.....	63
Çizelge 4.7. Optimum model için belirlenen denklem katsayıları	65
Çizelge 4.8. Kurutma ve CM için optimum değerler.....	66
Çizelge 4.9. Model parameterlerinin güven ve tahmin aralıkları.....	70
Çizelge 4.10. Doğrulama kurutmalarına ait sonuçlar	70
Çizelge 4.11. Taze, tam ve yarı kuru kappa biberlere ait renk değerleri.....	74
Çizelge 4.12. Taze ve kuru kappa biberlerin bazı fiziksel özellikleri.....	82
Çizelge 4.13. Kuru kappa biberlerin bazı tekstür değerleri	85
Çizelge 4.14. Taze ve kuru kappa biberlerin bazı kimyasal özellikleri	87
Çizelge 4.15. Tam kuru kappa biber örneklerinin depolama sürecindeki renk değerleri.....	92
Çizelge 4.16. Yarı kuru kappa biber örneklerinin depolama sürecindeki renk değerleri	93
Çizelge 4.17. Tam kuru kappa biber örneklerinin depolama sürecindeki bazı fiziksel özellikleri	103
Çizelge 4.18. Yarı kuru kappa biber örneklerinin depolama sürecindeki bazı fiziksel analiz sonuçları	104

Çizelge 4.19. Tam kuru kalya biber örneklerinin depolama sürecindeki bazı kimyasal özellikleri	115
Çizelge 4.20. Yarı kuru kalya biber örneklerinin depolama sürecindeki bazı kimyasal özellikleri	117
Çizelge 4.21. Tam kuru kalya biber örneklerinin depolama sürecindeki mikrobiyolojik analiz sonuçları	137
Çizelge 4.22. Yarı kuru kalya biber örneklerinin depolama sürecindeki mikrobiyolojik analiz sonuçları	138



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

a*	Kırmızı-Yeşil renk
AA	Askorbik Asit
ABTS	2,2'-azino-bis 3-etilbenzotiazolin-6-sülfonik asit
a _w	Su aktivitesi
b*	Sarı-Mavi renk
BHT	Bütillenmiş hidroksi toluen
BI	Esmerleşme indeksi
c	Kroma
°C	Derece santigrat
CM	Karbonik maserasyon
dk	Dakika
DPPH	2,2-difenil-1-picril-hidrazil-hidrat
FAO	Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü
FRAP	Demir iyon indirgeyici antioksidan güç
g	Gram
GAE	Gallik asit eşdeğeri
h	Saat
h°	Hue açısı
HCl	Hidroklorik asit
HPLC	Yüksek performans sıvı kromatografisi
km	Kuru madde
kob	Koloni oluşturan birim
L*	Beyazlık
mg	Miligram
mL	Mililitre
mm	Milimetre
Pa	Pascal
pH	Potansiyel hidrojen
R	Korelasyon Katsayısı
R ²	Regresyon Katsayısı
RSM	Yanıt yüzey yöntemi
sa	Saat
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
TFM	Toplam Fenolik Madde
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
µm	Mikrometre
µmol	Mikromol
µg	Mikrogram
µL	Mikrolitre

1. GİRİŞ

Biber, insan beslenmesinde önemli yer tutan ve geniş kullanım alanı olan bir meyve olup gerek besin içeriği açısından zenginliği gerekse lezzet ve aroma bakımından tercih edilen özelliklerinden dolayı mutfaklarda yemeklerin vazgeçilmez bir bileşeni haline gelmiştir.

Solanaceae familyasına ait olan biberin şekil, boyut, renk ve acılık bakımından farklı morfolojik özelliklere sahip oldukça fazla sayıda tür ve çeşidi bulunmakta ve Dünya çapında yetiştirilmektedir. Anavatanının Güney ve Orta Amerika olduğu ve buradan Avrupa'ya ve diğer ülkelere yayıldığı bilinen *Capsicum* cinsinin en yaygın olarak üretilen türü *Capsicum annuum* L. olup (Yılmaz, 2020), *Capsicum frutescens*, *Capsicum chinense*, *Capsicum baccatum* ve *Capsicum pubescens* olmak üzere Dünya çapında kültüre alınan 4 türü daha mevcuttur (Eren, 2019). Ilıman iklimlerde tek; tropik bölgelerde ise çok yıllık olarak yetiştirilmektedir. Dünyada hem ekiliş alanı hem de hasat edilen ürün miktarı ilk sırada yer alan ülke Çin olup, Türkiye üretim miktarı bakımından Çin'in ardından Dünyada ikinci sıradadır (FAO, 2024). Ülkemizde ise tüm biber çeşitleri arasında yaklaşık %50 oran ile en fazla miktarda üretilen çeşit kalya biber olup, 2021 yılında 1.445.275 ton kalya biber üretilmiştir (TÜİK, 2024).

Kırmızı tatlı biber grubunda bulunup salçalık veya yağlık olarak da adlandırılan kalya biber (Turhan vd., 2014) diğer biber çeşitleri arasında yüksek kuru madde içeriği ve cazip kırmızı rengi ile öne çıkmaktadır. Kalya biberin 100 gramında yaklaşık 92 g su, 6 g karbonhidrat, 1 g protein, 0.5 g kül ve 0.3 g yağ bulunmaktadır (Yılmaz, 2023). Yağda çözünen vitaminlerden A ve E; suda çözünen vitaminlerden ise B, C ve folat bakımından zengin olmasıyla dikkat çekmektedir (Kasım ve Kasım, 2018).

Ana besin unsurlarına ilave olarak fenolik maddeler (Vega-Gálvez vd., 2009), karotenoidler (Rodriguez vd., 2020), kapsaisinoidler (Topuz ve Özdemir, 2007) gibi antioksidan (Cemal ve Yıldız, 2022) ve antikarsinogenik (Valle vd., 2020) aktiviteye sahip birçok fonksiyonel fitokimyasal da ihtiva etmeleri, biberleri

beslenme ve sađlık aısından daha nemli hale getirmektedir (Maurya vd., 2018; Baenas vd., 2019; Sanatombi ve Rajkumari, 2019). Biberler, yapılarında bulunan karotenoit kompozisyonuna gre kırmızı, sarı, turuncu ve yeřil bařta olmak zere eřitli renklere sahip olmaktadır. Ksantofil ve β -karoten grubu sarı renkten sorumlu iken, kapsantin, kapsorubin, kriptoksantin, zeaksantin, violaksantin ve kapsolutein kırmızı rengin hakim olmasını sađlayan pigmentlerdir (Aras, 2022).

Yksek nem ieriđi nedeniyle meyve ve sebzeler, kolay bozulabilir gıdalar arasında yer almakta olup taze halde muhafazaları ancak sınırlı sreler iin mmkn olabilmektedir. Gnmzde raf mr kısa olan taze meyve ve sebzeleri farklı teknikler kullanarak uzun sre saklamak mmkndr. Gıdanın nem ieriđini ve su aktivitesini azaltmaya dayalı muhafaza metotlarından biri olan kurutma, bu kapsamda bilinen en eski tekniklerden biridir. Kurutma iřlemi temel olarak gıdaların su aktivitesini, biyokimyasal reaksiyonları ve mikrobiyal geliřmeyi sınırlayacak seviyeye getirmek suretiyle raf mrnde uzama sađlamaktadır (Aye, 2012).

Kurutma prosesi, gıda matrisinde bulunan serbest suyun uzaklařması prensibine dayanmaktadır. Kuruma sırasında suyun uzaklařması, dıř katmanlarda bařlayıp daha sonra i kısımlardaki serbest suyun yzeye ulařması ile devam eder. Bu yn ile kurutma iřleminin ilk ařaması, yzeydeki ve buraya yakın blgedeki serbest suyun uzaklařmasının kolay olması sebebiyle hızlı gerekleřmektedir. İlerleyen srete ise yzeydeki kuruyan tabakanın gzenekleri kapatarak ktle transfer hızının azalmasına neden olması ile proses giderek zorlařan bir hal almaktadır. Kuruma ile bzřme meydana geldiđi iin suyun geeceđi yol kısalır. Dilim kalınlıđı dřer. Burada kapiler bořluklardan iletim zorlařacađı iin difzyon iletimi ile suyun uzaklařması baskın hale geer ve bu da yavaş bir iletim řekli olduđu iin kuruma hızının dřmesine neden olur. Ayrıca yzeyde materyalle ve kurutma kořullarına bađlı olarak oluřan kabuk tabakasının da kapiler bořluklardaki iletimi engellemesinin yanı sıra difzyonuda zorlařtırdıđı bilinmektedir. Bu bađlamda ikincil bir etkisi de bulunmaktadır. Bu etkileri bertaraf etmek ve suyun yapıdan uzaklařtırılmasını

kolaylaştırmak için kurutma öncesi hammaddelere çeşitli ön işlemler uygulanmaktadır. Bu ön işlemler ile gıdanın merkezindeki suyun dış yüzeye erişimini kısıtlayan sıkı yapı bozulmakta; doku içerisinde suyun yüzeye kolayca ulaşabileceği yollar açılmış olmakta ve nihayetinde kuruma hızı artmaktadır (Dandamrongrak vd., 2003). Enerji tüketimini ve ürün maliyetlerini azaltmanın yanında ürün kalitesinde iyileşme de sağlayan kurutma öncesindeki ön işlemler, fiziksel ve kimyasal olmak üzere iki ana gruba ayrılmaktadır. Fiziksel ön işlemler ısı ve ısı olmayan ön işlemlerden oluşurken kimyasal ön işlemler ise sıvı ve gaz faz olarak uygulanan ön işlemler olarak iki ana başlıkta sınıflandırılmaktadır. Gıdanın yapısına, kurutma işleminde kullanılacak tekniğe ve ürün kalite kriterlerine bağlı olarak bu ön işlemlerden uygun olanı seçilerek; kurutma öncesinde gıda materyaline uygulanabilmektedir.

Karbonik maserasyon, gaz halinde uygulanan bir kimyasal ön işlem olarak kurutma çalışmalarında kullanılmaya başlamıştır. Tarihte ilk olarak 1934 yılında şarap endüstrisinde fermentasyon öncesi cibrenin fenolik madde içeriğini zenginleştirmek için uygulanan karbonik maserasyonun (Tesniere ve Flanzky, 2011); kuruma hızını artırıcı olumlu etkilerinden dolayı son yıllarda meyve ve sebze kurutmada ön işlem olarak uygulanabilirliği birçok çalışmaya konu edilmiş ve incelenmiştir (Wang vd., 2014; Zhao vd., 2016; Turgut vd., 2017; An vd., 2018; Özçelik vd., 2022). Bu işlem sayesinde sitoplazma pH'sı düşmekte; hücre duvarı geçirgenliği artmakta, yüksek molekül ağırlıklı polimerler parçalanmakta ve bağlı su serbest su formuna geçmektedir. Ayrıca mikro ölçekte gıda materyalinin yapısında neden olduğu kırılmalara bağlı olarak suyun bünyeden ayrılması için geçebileceği yeni yolların açılması suretiyle suyun uzaklaşması kolaylaşmakta; dolayısıyla ürünün kuruma hızı da artmaktadır (Deng vd., 2019).

Kurutma işlemlerinde diğer bir husus da kuruma sürecinin ne zaman hangi nem değerinde son bulacağıdır. Özellikle son yıllarda renk ve tekstür başta olmak üzere kuru ürünün bazı özelliklerinin taze forma en yakın halde kalmasını sağlaması sebebiyle kurutulmuş ürünlere alternatif olarak yarı kurutulmuş ürünler gündeme gelmiştir (Chaturvedi vd., 2014). Kuruma sırasında tam kuru

ürünlere göre daha kısa süreyle ısıya maruz kalan yarı kuru ürünlerde, renk, aroma, tekstür gibi özelliklerde ısı etkisi ile görülen olumsuzluklar en aza inerken kuruma süresinin kısılması ile maliyetlerden tasarruf da mümkün olabilmektedir (Sujatha vd., 2015). Rehidrasyon gerektirmeden tüketilmeye hazır halde bulunmaları, yarı kurutulmuş ürünleri tüketiciler açısından da daha cazip hale getirmektedir. Bu avantajların yanında tam kuru ürünlere kıyasla daha yüksek su aktivitesine sahip yarı kuru ürünler, mikrobiyolojik açıdan daha yüksek bozulma riski taşımaktadır (Feroz vd., 2016).

Gıda proseslerinde başta ekstraksiyon kurutma, ekstrüzyon, ısıl işlemler (pastörizasyon, pişirme vb) olmak üzere elde edilen son üründe bulunması arzu edilen niteliklere (yanıtlar) ulaşmak için proses koşullarının (bağımsız değişkenler) bileşik etkilerinin ilişkilendirilerek değerlendirilmesi için optimizasyon işlemine ihtiyaç duyulmaktadır. Optimizasyonun iki ana hedefinden birisi ürün kalitesini iyileştirmek iken diğer hedef prosesi etkili ve verimli hale getirmektir. Optimizasyonda işlemi bu hedeflere ulaştıracak en iyi parametreler ortaya konulmaktadır. Gıda biliminde en yaygın kullanılan optimizasyon tekniklerinden birisi RSM olarak da adlandırılan yanıt yüzey yöntemidir (Koç ve Kaymak-Ertekin, 2009). Gıda kurutma proseslerinin yanıt yüzey yöntem ile optimizasyonu hakkında yapılmış çalışmalarda seçilen yanıtlar genellikle kuruma süresi (Gül, 2018; Tekgül, 2019) ve maksimum su kaybı (Başunal, 2016) gibi proses etkinliği ve verimi ile ilgili parametreler olmakla birlikte son ürünün rengi (Tekgül, 2019), gevrekliği (Bodruk, 2020), askorbik asit içeriği (Gül, 2018), şeker içeren ürünlerin HMF miktarı (Gül, 2018; Koç, 2015) gibi ürün kalitesini değerlendirmede göz önüne alınan kriterler de yanıt olarak değerlendirmeye alınmaktadır.

Ön işlem uygulandıktan sonra kurutulan biber çeşitlerine dair literatür incelemelerinde başta dolmalık (Swain vd., 2012; Sharma vd., 2015; Wang vd., 2017; Krzykowski vd., 2018, Odewole ve Falua, 2021; Rybak vd., 2021) ve şili (Phomkong vd., 2010; Anoraga vd., 2018; Zhang vd., 2019) biber olmak üzere diğer biber çeşitlerinin ön işlemleri kurutulması ile ilgili çok sayıda çalışma mevcutken; kapy biberin ön işlemleri kurutulması ve yarı kuru kapy biber ile

ilgili olarak ise herhangi bir literatüre rastlanmamıştır. Benzer olarak karbonik maserasyon ön işleminden sonra kurutulan ürünlere örnek olarak üzüm (Wang vd., 2014), çilek (Özçelik vd., 2022), domates (Turgut vd., 2017), erik (An vd., 2018), şili biberi (Liu vd., 2014), tatlı patates (Zhao vd., 2016) verilebilirken kapy a biber e dair bir araştırma ile karşılaş ılmamıştır. Kuru kapy a biber üretiminin optimizasyonu, yarı kurutulmuş kapy a biber üretimi ve karbonik maserasyonun ön işlem olarak kapy a biber kurutmada kullanımı ile ilgili olarak literatürde herhangi bir çalışmaya rastlanmaması nedeniyle, mevcut tez çalışmasının literatüre özgün bir katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Bu tez çalışması kapsamında kapy a biberlere kurutma öncesi karbonik maserasyon ön işlemi uygulanarak tam ve yarı kurutulmuş ürün üretilmesi ve üretilen kuru kapy a biberlerin depolama koşullarının iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Karbonik maserasyon ön işlem koşulları ve kurutma sıcaklığının optimizasyonu RSM ile gerçekleştirilmiştir. Yapılan denemeler sonucunda en iyi yanıtları veren ön işlem ve kurutma sıcaklığı koşulları altında tam ve yarı kuru ürünler üretilmiştir. Ayrıca kurutulmuş ürünler polietilen ambalajlarda normal, vakum altında ve azot gazı altında olmak üzere üç farklı şartta paketlenerek oda sıcaklığı ve buzdolabı sıcaklığı şartlarında 6 ay süre ile depolanmıştır. Depolama süresince ikişer aylık periyotlarla fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik analizler yapılarak ürün kalitesindeki değişim takip edilmiştir. Böylece karbonik maserasyon ön işleminin kurutma performansına ve ürün özelliklerine olan etkisinin incelenmesinin yanısıra; kuru ve yarı kuru ürünlerin depolanması ve ambalajlanmasında kullanılabilecek en uygun şartlar da belirlenmeye çalışılmıştır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

2.1. Kapyra Biber

Solanaceae familyasına ve *Capsicum* cinsine dahil olan biberin Dünya çapında yetiştirilen; şekil, boyut, renk ve acılık bakımından farklılık gösteren oldukça fazla sayıda tür ve çeşidi bulunmaktadır. Taksonomik sınıflandırması Çizelge 2.1’de gösterilmektedir.

Çizelge 2.1. Biberin taksonomik sınıflandırılması

Bölüm	Spermatophyta
Alt bölüm	Angiospermae
Sınıf	Dicotyledoneae
Alt sınıf	Dialypetal
Takım	Personatea
Familya	Solanaceae
Cins	<i>Capsicum</i>
Tür	<i>Capsicum annuum</i>

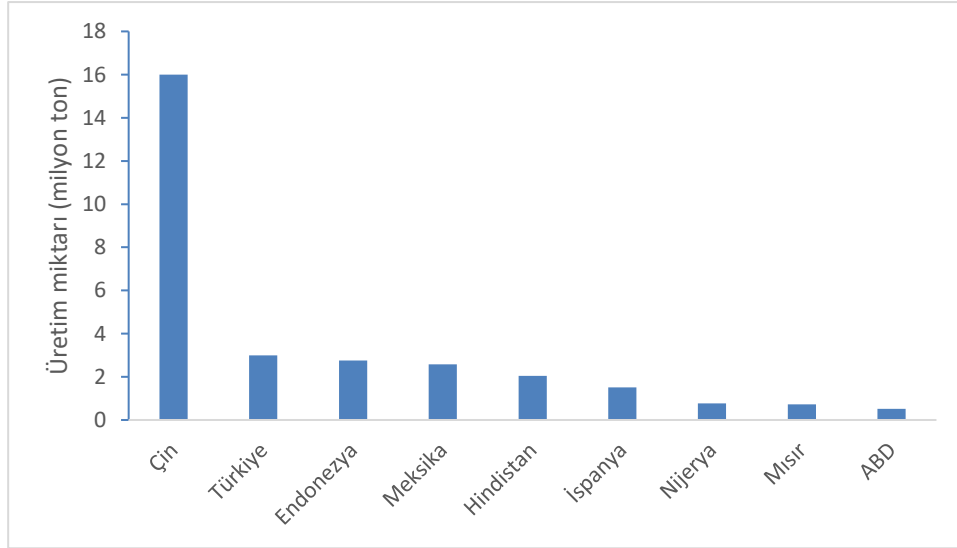
Anavatanının Güney ve Orta Amerika olduğu ve buradan Avrupa’ya ve diğer ülkelere yayıldığı bilinen *Capsicum* cinsinin en yaygın olarak üretilen türü *Capsicum annuum* L. olup (Yılmaz, 2020), *Capsicum frutescens*, *Capsicum chinense*, *Capsicum baccatum* ve *Capsicum pubescens* olmak üzere Dünya çapında kültüre alınan 4 türü daha mevcuttur (Eren, 2019).

Dünyadaki ülkeler biber üretim alanları bakımından karşılaştırıldığında, ülkemiz onuncu sıradadır. Çizelge 2.2’de görüldüğü üzere dünyada en fazla alanda biber üretiminin gerçekleştiği ülke Çin olup, ilk on ülke arasında sırasıyla Hindistan, Endonezya, Etiyopya, Meksika, Myanmar, Nijerya, Bangladeş, Tayland ve Türkiye gelmektedir.

Çizelge 2.2. Dünyada en fazla biber yetiştirme alanına sahip ülkeler (FAO, 2024).

Ülke	Üretim Alanı (ha)
Çin	756703
Hindistan	702000
Endonezya	321923
Etiyopya	176038
Meksika	147808
Myanmar	110000
Nijerya	103049
Bangladeş	100137
Tayland	84869
Türkiye	80239

Üretim miktarı açısından bakıldığında ise Türkiye üretim alanlarına kıyasla daha iyi bir konumda olup; dünya sıralamasında ikinci durumdadır. Miktar açısından biber üreten ülkelere ait bilgiler Şekil 2.1’ de görülmektedir. Çin yıllık yaklaşık 17 milyon tonluk üretimi ile dünyada biber üretiminde lider konumda iken 3 milyon tonu aşan üretimi ile Türkiye ikinci sırada yer almaktadır.



Şekil 2.1. Dünyada üretim miktarı açısından ülke sıralaması (FAO, 2024)

Dünyadaki üretimden sonra ülkemizdeki durum incelenecek olursa, ülkemizde miktar olarak en fazla üretilen biber çeşidi kapyadır (Çizelge 2.3). Son beş yılda

biber çeşitleri arasında üretim miktarı en fazla artan çeşit kapyra olurken, tüm biber üretiminin yaklaşık %50'sini kapyra biber oluşturmaktadır.

Çizelge 2.3. Çeşitlere göre Türkiye’de biber üretim miktarları (TÜİK, 2024)

Biber çeşidi	Üretim miktarı (ton)				
	2017	2018	2019	2020	2021
Kapyra	1.107.713	1.128.060	1.234.423	1.291.091	1.445.275
Dolmalık	420.904	397.175	371.918	389.957	420.918
Sivri	945.361	930.349	902.203	838.890	1.064.633
Çarliston	134.194	99.390	117.125	116.967	160.469
Toplam	2.608.172	2.554.974	2.625.669	2.636.905	3.091.295

Biber meyveleri taze olarak tüketilmesinin yanında gıda endüstrisi için baharat, kuru ürün, sos, salça, konserve, turşu, kuru çorbalık karışım gibi ürünlere hammadde olarak yaygın biçimde kullanılmaktadır (Yılmaz vd., 2015).

Çoğunlukla tek yıllık olarak yetiştirilen kapyra biber, evlerde kullanılmasının yanında önemli bir endüstri hammaddesidir. Gıda endüstrisinde salça, közlenmiş ürün, salamura, ezme, sos gibi birçok ürünün üretiminde kullanılmaktadır. Yüksek kuru madde ve C vitamini miktarı, cazip rengi, yoğun aroması kapyra biberi diğer biber çeşitleri arasında öne çıkarmaktadır.

Tatlı kırmızıbiberler arasında yer alan kapyra biber 2,5 ile 5 cm arasında değişen çapta; 10 ile 20 cm arasında uzunluğa sahip uzun konik şekilli bir biber çeşididir (Yılmaz vd., 2015). Kapyra biberin kimyasal bileşimi ile ilgili literatürden derlenen bilgiler Çizelge 2.4’de verilmiştir.

Çizelge 2.4. Kapyra biberin kimyasal bileşimi (Albayrak, 2021; Cemal ve Yıldız, 2022; Kuşçu ve Pazır, 2018)

Bileşen	Oran (%)
Nem	89.30-90.53
Toplam kuru madde	9.47-10.70
Suda çözünür kuru madde	7.80-8.48
Toplam karbonhidrat	5.91-6.23
Kül	1.1-1.2
Toplam azot	0.23-0.30
Toplam asitlik	0.20-0.47

Beslenme açısından bakıldığı zaman tatlı biberlerin içerdiği en önemli biyoaktif bileşik grupları arasında karotenoitler, polifenoller, flavonoidler ve C vitamini öne çıkmaktadır (Sanatombi ve Rajkumari, 2019). Çizelge 2.5'te kapyra biberin içerdiği biyoaktif fitokimyasallara örnekler verilmiştir.

Çizelge 2.5. Kapyra biberin içerdiği önemli fitokimyasallar

Bileşen	Miktarı
Toplam fenolik madde (mg GAE/100 g km)	674.00 ^a
Askorbik asit (mg/100g km)	297.61 ^b
Toplam karotenoit madde (mg/100 g km)	21.59 ^b
Toplam flavonoid madde (mg/100 g)	631.00 ^c

a: Cemal ve Yıldız, 2022; b: Albayrak, 2021; c: Özcan ve Uslu, 2022

Biberler yapısında bulundurdıkları karotenoitler sayesinde turuncu, sarı, yeşil, kahverengi, siyah veya erguvani renk almaktadır. Bu karotenoitlerden ksantofiller ve β -karotenin sarı renklerden sorumlu iken kapsantin, kapsorubin, kriptoksantin, zeaksantin, violaksantin ve kapsolutein kırmızı renk maddelerinden sorumludurlar (Turgay ve Çelik, 2016). Beslenme açısından bakıldığı zaman ise karotenoitler antioksidan, antikanser, kalp-damar hastalıklarını önleyici, makula oluşumunu önleyici, katarakt engelleyici gibi insan sağlığına pek çok olumlu etkisi olan maddelerdir (Sanatombi vd., 2019). Sekiz izopren halka içeren izoprenoid yapıya sahip karotenoitler; kırmızı,

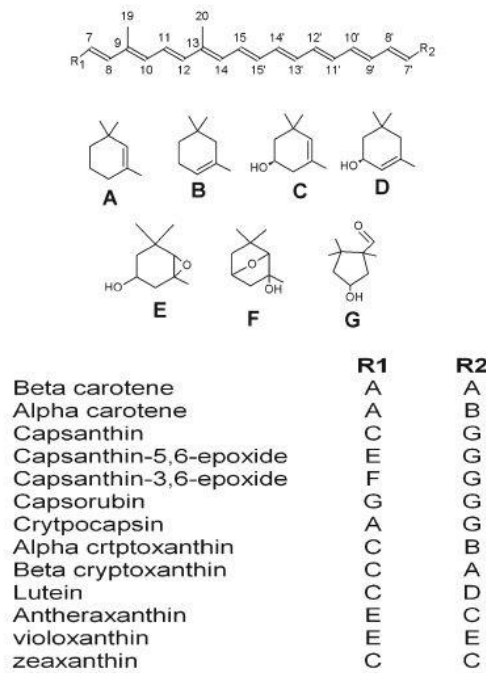
turuncu ve sarı renkleri sağlayan geniş bir lipofilik pigmentler grubu olup; bitki hücre yapısında çoğunlukla kloroplast ve kromoplastlarda bulunmaktadır (Gómez-García ve Ochoa-Alejo, 2013). Kırmızıbiberlerin türüne göre içerdikleri karotenoitler, Çizelge 2.6’da özetlenmektedir.

Çizelge 2.6. Biber türleri ve içerdikleri karotenoitler (Arimboor vd., 2015)

Biber türü	İçerdiği karotenoitler*
<i>Capsicum annuum</i> L. var Jalapeno	Kapsantin, zeaksantin, beta karoten
<i>Capsicum annuum</i> L. var AlevaNK	Kapsantin, zeaksantin, kapsorubin
<i>Capsicum annuum</i> L. var Jaranda	Kapsantin, zeaksantin, kriptoksantin
<i>Capsicum annuum</i> L. var Vergasa	Kapsantin, beta karoten, zeaksantin
<i>Capsicum annuum</i> L. var KM622	Kapsantin, kapsorubin, violaksantin
<i>Capsicum annuum</i> L. var Magali	Kapsantin, violaksantin, lutein

*: Oransal olarak en yüksekten düşüğe doğru sıralanmıştır.

Kırmızıbiberlerde yaygın olarak bulunan karotenoitlerin kimyasal yapısı Şekil 2.2’deki gibi izopren yapıya R1 ve R2 ile gösterilen yan grupların bağlanması ile oluşmaktadır.



Şekil 2.2. Kırmızıbiberlerdeki karotenoitlerin yapısı (Arimboor vd., 2015)

Karotenoitlerin temel görevi; hücre ve organellerin oksidatif zararlara karşı korunması olup, bu korumayı tekli oksijen molekülleri ile reaksiyona girerek bunların peroksi radikallere dönüşümünü engelleyerek sağlamaktadır. Bu sayede hücrede zararlı oksijen türevlerinin birikimi önlenmektedir. Aynı zamanda ksantofil döngüsüne katılmak ve absisik asit prekürsörü olmak suretiyle fotosentezde yer alırlar. Tozlayıcı ve tohum taşıyıcı canlıları cezbedici olmaları nedeniyle doğada önemli bir ekolojik fonksiyona sahiptirler. Karotenoitlerin önemli biyolojik fonksiyonları arasında; çift bağları kıran özel bir enzim grubunun (CCD: carotenoid cleavage dioxygenases) aktivitesi ile çift bağ kısımlarından bölünmeleri sonucu oluşan apokarotenoitler olarak bilinen ve fitohormonlar (absisik asit, strigolaktonlar vb.), görme ve iletimde görev alan moleküller (retinal ve retinoik asit) ve uçucu aromatik bileşikler (β -ionon, β -siklositral, geranial, geranil aseton, teaspiron, α -damaskenon, β -damaskenon vb.) gibi gruplar bulunmaktadır (Gómez-García ve Ochoa-Alejo, 2013).

Karotenoitler insan beslenmesi ve sağlığında önemli fonksiyonlara sahip bileşiklerdir. İzopren yapıdaki prekürsör maddelerden A vitamini sentezi vücut sisteminde mümkün değilken, bitkisel kaynaklı karotenoitler (β -karoten, α -karoten, γ -karoten ve β -kriptoksantin) beslenme yolu ile alınarak A vitaminine dönüşebilen bileşiklerdir. Karotenoitler besinsel değerlerinin yanı sıra, oksidatif stresi, kanser ve kardiyovasküler hastalık riskini azaltıcı etkilere de sahiptirler (Arimboor vd., 2015).

Biber meyvelerinin pigment dağılımı genotip, olgunluk düzeyi ve yetiştirme şartlarına bağlı olarak değişkenlik gösterebilmektedir. Kırmızıbiberlerde farklı renklerden sorumlu pigmentler bulunmaktadır. Meyvelerin yeşil rengi klorofil kaynaklı iken, antosiyaninler mor/menekşe renkten sorumludurlar. Sarı ve turuncu renk ise α - ve β -karoten, zeaksantin, lutein ve β -kriptoksantin sayesinde oluşmaktadır. Açılsiklopentanol uç gruplarına sahip okside formdaki karotenoitler, kırmızı rengin oluşumunu sağlamaktadır. Bu karotenoitlerin en yaygın olanları kapsantin, kapsorubin ve kapsantin-5,6-epoksittir (Arimboor vd., 2015; Gómez-García ve Ochoa-Alejo, 2013).

Kapsantin, kırmızıbiberlerde en fazla sentezlenen ve biriken lipofilik yapıda kırmızı renkli pigmenttir. Tam olgunluğa ulaşan kırmızıbiber meyvelerinde toplam karotenoitlerin yaklaşık %50'sini kapsantin oluşturmaktadır. Yapısında 11 konjuge çift bağın yanında konjuge keto grubu ve siklopentan halka içeren kapsantin, güçlü antioksidan özellik göstermektedir. Aynı sayıda çift bağ içermelerine rağmen β -karoten ve β -kriptoksantin antioksidan kapasiteleri, kapsantinden daha düşüktür. Kapsantinin provitamin A fonksiyonu taşımasına rağmen, antioksidan ve anti tümör (kolon kanseri) özellikleri ile fonksiyonel bir bileşik olarak düşünülmektedir (Gómez-García ve Ochoa-Alejo, 2013).

Capsicum annuum L. türü kırmızıbiberlerde karotenoit madde çeşitlerinin oransal dağılımı en yüksek ketoksantofillerden (kapsantin, kapsorubin ve kapsolutein) başlayarak ksantofiller (zeaksantin, neoksantin ve violaksantin), epoksiksantofiller (kapsantin-5,6-epoksit ve kapsantin-3,6 epoksit) ve hidrokarbonlar (likopen) şeklinde azalarak devam etmektedir. Olgun kırmızıbiber meyvelerinde çoğu karotenoit bileşik, yağ asitleri ile esterleşmiş halde bulunmakta olup; bu sayede yağda çözünebilen özellik sergilemekte ve kromoplastlardaki lipofilik globüllerde birikmektedirler. Kırmızı ksantofillerden kapsantin, laurik (12:0), miristik (14:0) ve palmitik (16:0) gibi kısa zincirli yağ asitleri ile esterleşmiş halde bulunurken sarı ksantofiller nispeten daha uzun zincirli yağ asitleri ile esterleşmiş durumdadırlar. Bünyelerinde yüksek miktarda çift bağ içeren yağ asidi bulundurmaları; sarı ksantofillerin kırmızılara kıyasla daha az stabil olmalarına neden olmaktadır. Olgunluk düzeyi de kırmızıbiberlerde karotenoit içeriğinde önemli etkiye sahiptir. Çeşide bağlı olarak değişkenlik göstermekle beraber; olgun kırmızıbiberler, ham meyveye kıyasla 60 kata kadar daha fazla miktarda karotenoit içerebilmektedir. Farklı *Capsicum* türleri (*C. baccatum*, *C. chacoense*, *C. chinense*, *C. frutescens* ve *C. annuum*) arasında en yüksek karotenoit içeriği, 390 ile 16600 $\mu\text{g/g}$ (kuru madde) arasında değişen miktarlarda olmak üzere *Capsicum annuum* türünde bulunmaktadır (Gómez-García ve Ochoa-Alejo, 2013).

2.2. Kurutma

Kurutma işlemi, bilinen en eski ve en yaygın gıda muhafaza yöntemlerinden birisi olarak halen geçerliliğini koruyan bir tekniktir. Kurutma; kondüksiyon, konveksiyon veya radyasyon yolu ile ısı iletimi sonucu gıdada bulunan suyun buharlaşması ve buharlaşan suyun hava sirkülasyonu ile uzaklaştırılması olmak üzere iki aşamada gerçekleşen bir süreçtir. Gıdaların çoğu, oransal olarak yüksek miktarda su içermektedir. Özellikle meyve ve sebzeler, yaklaşık %85 ve üzeri oranda su içermeleri sebebiyle, mikrobiyolojik bozulmalara karşı oldukça hassastırlar (Maisnam vd., 2017). Kurutma yöntemi ile gıdanın su içeriğinin kimyasal ve mikrobiyolojik aktivitelerin sınırlandırıldığı güvenli noktalara getirilmesi suretiyle muhafaza süresinin uzatılması amaçlanmaktadır. Ürün ağırlık ve hacminin azalması sayesinde ambalajlama, depolama ve nakliye aşamalarındaki giderlerin azalması da kurutmanın dolaylı avantajları arasındadır (Sagar ve Kumar, 2010).

Kurutulmuş ürünler oransal olarak azalmış su içeriği ve artan kuru madde içerikleri sayesinde besin maddelerini daha yoğun biçimde içerdikleri için besleyici özellikleri ve enerji içerikleri de daha yüksektir (Ahmed vd., 2013; Aye, 2012).

Gıda maddesinin kuruma hızını etkileyen faktörleri gıdanın özellikleri (şekli, boyutu ve kalınlığı, bileşimi, yapısı, gözenekliliği, başlangıç nem içeriği, yüzey karakteristikleri, nem kaybına izin veren yüzey alanı oranı, materyalin mevsimsel olarak değişen karakteristikleri, varyetelerin farklılıkları) ve kurutucu sistem özellikleri (kurutucu tipi, dizaynı, hava sıcaklığı, geçen süre, kurutucuya giren havanın nispi nemi, kurutucuya giren havanın hava akış hızı, kurutucu için hava sirkülasyon hızı, hava akışının yönü ve homojenitesi, giriş hava sıcaklığı ve nemini etkileyen sezonluk ve günlük meteorolojik değişimler) olarak iki ana başlıkta özetlemek mümkündür (Mercer, 2014).

Gıdaların kurutulması işlemi ile su aktivitesi değeri, birlikte değerlendirilmesi gereken iki olgudur. Tam kuru meyve ve sebzeler için eşik su aktivitesi

değerinin 0.3 olarak dikkate alınması gerektiği bildirilse de (Calín-Sánchez vd., 2020) kurutulmuş bir gıdanın mikrobiyel açıdan güvenli sınıra gelmesi için mikroorganizmaların hangi su aktivitesi değerlerinin altında gelişimlerinin durduğu veya sınırlandığının bilinmesi önemlidir. Çizelge 2.7’de gıdalarda bozulma yapan mikroorganizmaların gelişebildikleri su aktivitesi değerleri özetlenmiştir.

Çizelge 2.7. Gıdalarda mikroorganizmaların gelişebildiği su aktivitesi değerleri (Wernecke ve Wernecke, 2014)

Su aktivitesi	Mikroorganizma	Gıda
1.0 - 0.95	<i>Pseudomonas</i> , <i>Escherichia</i> , <i>Proteus</i> , <i>Shigella</i> , <i>Klebsiella</i> , <i>Bacillus</i> , <i>Clostridium perfringens</i> , yeast, fungus	Meyveler, sebzeler, et, balık, süt, ekmek
0.95 - 0.91	Bakteriler, <i>Salmonella</i> , <i>Vibrio parahaemolyticus</i> , <i>C. botulinum</i> , <i>Serratia</i> , <i>Lactobacillus</i> , <i>Pediococcus</i> , molds, <i>Rhodotorula</i> , <i>Pichia</i>	Peynir, füme/tuzlanmış et, Meyve suyu konsantresi
0.91 - 0.87	Maya ve küfler (<i>Candida</i> , <i>Torulopsis</i> , <i>Hansenula</i>), <i>Micrococcus</i>	Salam, beze, olgunlaştırılmış peynir, margarin
0.87 - 0.80	Küfler (<i>Penicillium</i>), <i>Staphylococcus aureus</i> , <i>Saccharomyces (bailii)</i> spp., <i>Debaryomyces</i>	Meyve suyu konsantresi
0.80 - 0.75	Halofilik bakteriler (tuzu seven)	Kondanse süt, çikolata sosu, meyve sosu, tahıllar, kahvaltılık gevrekler, yemeklik baklagiller, kek, füme et
0.75 - 0.65	Kserofilik küfler (<i>Aspergillus chevalieri</i> , <i>A. candidus</i> , <i>Wallemia sebi</i>), <i>Saccharomyces bisporus</i>	Marmalat, acıbadem kurabiyesi, reçel, kaplanmış meyveler
0.65 - 0.60	Ozmofilik maya ve mantarlar	Yulaf ezmesi, yüksek oranda şeker içeren ürünler, kuru meyveler, kabuklu yemişler
0.50 - 0.40	Yavaş mikrobiyal çoğalma	Sert şekerlemeler, bal
0.40 - 0.30	Yavaş mikrobiyal çoğalma	Makarna, baharat bitkileri
0.30 - 0.20	Yavaş mikrobiyal çoğalma	Kuru yumurta
0.20 - 0.00	Yavaş mikrobiyal çoğalma	Bisküviler, hamur işleri galeta unu
		Süt tozu, kuru sebzeler, mısır gevreği, kuru çorbalar

Bu açıdan bakıldığında zaman, çoğu patojenik bakterinin 0.85; maya ve küflerin 0.70 ve çoğu mikroorganizma için 0.6 su aktivitesi değerinin altında gelişimleri oldukça yavaşlamaktadır. Her ne kadar bu su aktivitesi değerlerinin

altında mikrobiyal gelişimin inhibe edildiği kabul edilse de tam olarak steril bir üründen bahsetmenin imkânsız olduğunu da gözardı etmemek gerekmektedir. Kurutma sırasındaki yüksek sıcaklık toplam bakteri yükünü oldukça azaltsa da canlı kalabilen ve gıdalarda bozulmalara yol açan mikroorganizmalar gerek kuru ürünün depolanması gerekse rehidrasyon sonucu elde edilen üründe bozulmalara neden olabilecektir (Sagar ve Kumar, 2010).

Bilinen en eski ve basit kurutma yöntemleri güneşte kurutma, güneş enerjili kurutucular ve fırında kurutma yöntemleridir (Ahmed vd., 2013). Doğal ve kolay bir yöntem olan güneşte kurutma ile başlayan süreç; zaman içerisinde güneş enerjisi gibi doğal ve elektrik, fosil yakıt gibi endüstriyel enerji kaynaklı sıcak hava kurutucularının geliştirilmesi ile devam etmiş olup son zamanlarda ise kırınım pencereli, ısı pompalı, mikrodalga destekli, vakumlu ve puf kurutma gibi kompleks yöntemlere doğru yönelim göstermektedir (Sablani, 2006, Calín-Sánchez vd., 2020).

Güneşte kurutma işleminin en büyük sakıncası; kurutma süresinin uzunluğu ve hijyenik koşulların yeterince sağlanamamasıdır. Yine de meyvelerin yüksek şeker ve asit içeriği sayesinde güneşte kurutmaya uygun olduğunu söylemek mümkündür. Sebzelerin nispeten düşük asit ve şeker içeriği ise mikrobiyal gelişme riskini arttırmaktadır. Hava sıcaklığı ve nisbi nemi de kısıtlayıcı faktörler arasındadır. Genel olarak hava sıcaklığının 30°C üzeri ve nisbi rutubetinin %60'ın altında olduğu sıcak ve rüzgârlı günler, güneşte kurutma açısından uygun olan günlerdir. Ancak bu durum iklim koşullarına bağlı olduğu için uygun koşulları her zaman yakalamak mümkün olmayabilir. Güneşte kurutmada gıdanın kurutma ortamına temas süresi de görece uzun olduğu için, kurutulacak gıdanın serildiği tepsinin üretildiği materyal de ürün kalitesini etkilemektedir. Paslanmaz çelik, teflon kaplı fiberglas ve plastik tepsiler en güvenli olanlardır. Galvanizli metal tepsiler, çinko ile kaplı oldukları için gıdaya kalıntı bulaştırma riski içermektedir. Benzer şekilde alüminyum ve bakır içeren tepsiler de oksidasyonu hızlandırıcı ve rengi koyulaştırıcı etkilerinden dolayı tercih edilmemektedir (Ahmed vd., 2013).

Yaş bir gıdadan kuru ürün eldesi için direkt, kızılötesi (radyan ısı) ve indirekt ısıtma prensibine dayalı başlıca üç tip yapay kurutucu mevcuttur. Konveksiyonel kurutucu olarak da adlandırılan direkt kurutucularda, ısı transferi yaş gıda maddesi ile sıcak gaz fazının (sıcak hava akımı) direkt teması ile gerçekleşmektedir. Buharlaşan su, gaz fazına geçmekte ve kurutma ortamından uzaklaştırılmaktadır. Kızılötesi kurutucuların çalışma prensibi ise kızılötesi ışınların üretilmesi, iletilmesi ve soğurulmasına dayanmaktadır. Bu sistemlerde yüksek frekanslı bir elektrik alanına yerleştirilerek gıda matriksi içinde ısı üretilmesi sağlanır. Kızılötesi (radyan ısı) kurutucular, aynı zamanda dielektrik ısı kurutucular olarak da adlandırılabilir. İndirekt kurutucularda kuruma için gerekli olan ısı aktarımı ise ısı tutucu plakalar vasıtasıyla gerçekleşir. Buharlaşan su, ısıtma ortamından bağımsız olarak ayrılır. Burada kuruma hızı, ısıtma yüzeyi ile temas eden gıda maddesinin temas yüzey alanı ile orantılıdır. İndirekt kurutucular, kondüksiyon veya temaslı kurutucular olarak da adlandırılmaktadır (Aye, 2012).

Kurutucuların tasarımında temel hareket noktası deneme yolu ile elde edilen bilgiler olsa da modelleme ve simülasyon çalışmaları, sistem performansının iyileştirilmesi ve ürün kalitesinin geliştirilmesi açısından önem arz etmektedir. Dizayndaki ilk hareket noktası, kurutulacak gıdanın karakteristik özellik ve ihtiyaçlarıdır. Örnek vermek gerekirse havuç için uygun olan bir kurutma prosesinin yeşil yapraklı sebzelerin kurutulması için kullanılması mümkün değildir. Bunun yanında ürün kalitesi, optimum kurutma koşulları ve işletme maliyetleri de dikkate alınması gereken hususlar arasında sayılabilir (Ahmed, 2010).

Çalışma ilkesine göre sınıflandırılacak olursa kesikli ve sürekli olmak üzere iki farklı kurutma sisteminden bahsetmek gerekmektedir. Günde 5 tona kadar ürün işleyen küçük işletmeler için daha ekonomik bir sistem olan kesikli kurutucuların yüksek işçilik giderlerine neden olması ve partiden partiye ürün kalitesinde sapmalar görülmesi gibi bazı dezavantajları bulunmaktadır. Yüksek kapasite ile ürün işleyen işletmeler için ise sürekli çalışan kurutucular üretim maliyeti ve sağladığı kapasite açısından avantaj sağlamaktadır (Guiné, 2018).

Konvansiyonel termal kurutucuların, ürün kalitesinin ürünün her yerinde eşit olmaması başta olmak üzere bazı sınırlayıcı dezavantajları mevcuttur. Bahsedilen düzensizlik, aşırı veya yetersiz kurumanın bir sonucudur. Kuruma süresinin uzunluğu, kurutucu ortam ile kurutulacak madde arasındaki düşük ısı verimliliğinden kaynaklanmaktadır. Ayrıca bu tip sıcak hava kurutucularında yüksek sıcaklıklar, besin öğelerinde ısı parçalanmaya ve istenemeyen bileşenlerin oluşumuna da neden olmaktadır (Sabarez, 2018). Çizelge 2.8’de gıda ürünlerinin kurutulmasında kullanılan sistemlerin genel bir sınıflandırılması yapılmıştır

Çizelge 2.8. Gıdaların kurutulmasında kullanılan konvansiyonel kurutucuların sınıflandırılması (Sabarez, 2018)

Sınıflandırma şekli	Kurutucu tipi (Genel özellik ve uygulamaları)
Besleme akımı tipi	<ul style="list-style-type: none"> ° Tanecik ° Bulamaç, hamurumsu, macunumsu ° Sıvı
Çalışma şekli	<ul style="list-style-type: none"> ° Sürekli ° Kesikli
Isı transfer yöntemi	<ul style="list-style-type: none"> ° Konveksiyon ° Kondüksiyon ° Elektromanyetik (radyofrekans, ohmik, kızılötesi, mikrodalga) ° Kombine (hibrit)
Enerji kaynağı	<ul style="list-style-type: none"> ° Elektrik ° Doğalgaz, LPG ° Güneş/rüzgar ° Biyokütle
Çalışma şekli	<ul style="list-style-type: none"> ° Döngüsel ° Aralıklı ° Sürekli
Ürün sıcaklığı	<ul style="list-style-type: none"> ° Donma noktası üzerinde ° Donma noktası altında
Çalışma basıncı	<ul style="list-style-type: none"> ° Atmosferik ° Vakum ° Yüksek basınç

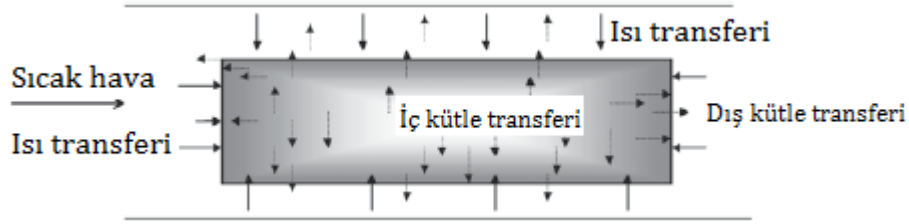
Gıdaların kurutulması sırasında dikkate alınması gereken en temel kriterler; suyun gıdadan hızlı biçimde uzaklaştırılması, ürün kalitesinin azami düzeyde korunması, çevreye verilen zararın asgari seviyeye indirilmesi ve maliyetlerin düşük tutulmasıdır (Sabarez, 2018). Günümüzde kurutularak muhafaza edilen

ürün sayısının ve kurutucu cihaz çeşitliliği gözönüne alındığında, doğru kurutucu tipini ve optimum kurutma şartlarını seçmek dahi oldukça güçtür. Bu açıdan bakıldığında matematiksel modelleme; gereksiz sayıda deneme-yanılma yapmak suretiyle oluşabilecek aşırı maliyetleri önleyerek laboratuvar tipi kurutucuların büyük ölçekli tesisler için üretilecek olan kurutuculara uyarlanması ve optimizasyon amacıyla kurutma prosesinin simülasyonu açısından oldukça faydalı bir araç haline gelmiştir. Bunun yanında, kurutma; faz değişimlerinin yanında çeşitli kimyasal reaksiyonları da içeren, geçici ısı, kütle ve momentum transferlerinin gözenekli veya gözeneksiz bir ortamda gerçekleştiği aşırı karmaşık yapıya sahip bir süreçler dizisidir. Modelleme ve ölçeklendirmedeki başka bir problem de son ürün kalitesinin tahmininde taşınım mekanizmalarının yanında kurutulacak olan gıdanın yapısal özelliklerinin de etkili olmasıdır. Tüm bu etkenleri dikkate alan bir matematiksel modelin geliştirilmesi zordur.

Büyük ölçekli kurutma tesislerinin çevresel etkileri de son yıllarda kritik bir konu haline gelmiştir. Kurutma sistemleri yüksek miktarlarda enerji tüketmekte ve bu nedenle yüksek sera gazı salınımlarına neden olmaktadır. Bu durum zorunlu olarak özellikle fosil yakıtlardan elde edilen enerji tüketimine bağlı olan bölgelerde endişe verici boyutlara ulaşabilmektedir. Enerji verimliliğini artırmak, çevresel etkiyi azaltmak ve kurutulmuş ürünlerin kalitesini yükseltmek için yeni ve geliştirilmiş kurutma teknolojilerinin geliştirilmesine duyulan ihtiyaç, büyük ölçüde kurutma işlemlerine dayanan gıda ve diğer endüstrilerin sürdürülebilir geleceği için çok önemli bir husus olarak karışımıza çıkmaktadır (Sabarez, 2018).

Sıcak hava ile temas eden bir gıda maddesinde ısı ve kütle transferi eş zamanlı olarak meydana gelmektedir. Şekil 2.3' te açıklandığı üzere; ısı akışı ortamdan gıda yüzeyine doğru ilerlerken, gıdanın iç bölgesindeki nem gıda yüzeyine doğru hareket eder (iç kütle transferi) ve nihayetinde sıcak hava ortamına buharlaşır (dış kütle transferi). Kurutma prosesi tipine bağlı olarak ısı transferi kondüksiyon, konveksiyon ve radyasyon mekanizmaları ile gerçekleşir. Isı transferinde ısı enerjisi, sıcaklık farkının sağladığı itici güç altında aktarılır ve ısı

transfer hızı, potansiyel sıcaklık farkıyla ve ısı transfer katsayısı ile karakterize edilen transfer sisteminin özellikleriyle orantılıdır. (Ahmed, 2010).



Şekil 2.3. Sıcak hava ile kurutmada gıdalarda ısı ve kütle aktarımı

Isı ve kütle transferinin eş zamanlı olarak gerçekleştiği kurutma prosesi sırasında sıcaklık ve nemin boyut ve zaman açısından gıda içinde doğru bir şekilde dağılımı, efektif difüzyon hızına bağlıdır. Konveksiyonel kurutma sırasında gıda materyali, kendisini çevreleyen sıcak hava ile temas halindedir ve süreç ilerledikçe gıdanın sıcaklığı kuru termometre sıcaklığı seviyesine doğru yükselmektedir. Konveksiyonel sıcak hava ile kurutmada serbest su difüzyon ile merkez noktadan yüzeye doğru hareket ederken, yüzeyde evaporasyon gerçekleşir. Bu sırada gıdanın sıcaklığı arttıkça, yüzeyinden merkeze doğru kondüksiyon ile ısı transferi meydana gelmektedir. Sıcak hava ile gerçekleştirilen konveksiyonel kurutmada kurutulacak gıda maddesinin özelliğine ve gereksinimlere bağlı olarak kabin, tünel, akışkan yatak veya püskürtmeli tip kurutucular kullanılmaktadır. Hava sıcaklığı, hava akış hızı ve nisbi nemi, bu prosesteki önemli parametrelerdir. Gıda maddelerinin kuruma karakteristikleri, maliyetler ve kurutma parametrelerinin kurutulan gıdanın besinsel ve duyu özelliklerine etkileri; ampirik, yarı ampirik veya teorik modeller ile belirlenebilmektedir. Bu modeller genellikle Fick difüzyon ve Fourier ısı iletim yasalarından türetilmektedir (Kılıç ve Çınar, 2019).

Gıdanın iç bölgelerindeki kütle transferi, suyun farklı hareket mekanizmalarını içermektedir. Gıda içindeki su, sıvı veya buhar fazda hareket edebilmektedir. Sıvı difüzyonu söz konusu olduğunda suyun hareket hızı gıdanın yapısına, sıcaklığa ve suyun konsantrasyon farkına bağlıdır. Ürün içinde buharlaşma

meydana geldiğinde ise su buhar halinde hareket etmekte ve kütle transferinde itici güç suyun buhar basıncı farkı olmaktadır (Sabarez, 2018).

Son yıllarda meyve ve sebzelerin kurutulması için pek çok yöntem geliştirilmiş ve halen de araştırmalar devam etmektedir. Bu yöntemlerden bazıları, avantaj ve dezavantajları ile Çizelge 2.9'da detaylandırılmıştır.

Çizelge 2.9. Meyve ve sebze kurutmada uygulanan bazı yöntemlerin avantaj ve dezavantajları (Calín-Sánchez vd., 2020).

Kurutma tekniği	Avantajları	Dezavantajları
Konvektif kurutma	Uzun raf ömrü Basit tasarım Kolay işletim Düşük maliyet	Yüksek sıcaklık ihtiyacı Sürenin uzunluğu Oksidasyon riski İstenmeyen aroma oluşumu
Püskürterek kurutma	Yüksek kalite Uzun raf ömrü Homojen partikül Sürekli çalışabilme	Biyoaktif bileşenlerde kayıplar Ekipman boyutunun büyüklüğü Yağlı ürünlerin işlem öncesi yağının giderilmesi gerekliliği İlk yatırım maliyetlerinin yüksekliği
Dondurarak kurutma	Minimum oksidasyon Kimyasal bileşenlerde minimum değişim Minimum büzüşme Maksimum uçucu bileşen korunumu Poroz yapının muhafazası	İlk kurulum maliyetlerinin aşırı yüksek olması Döngünün çok uzun sürmesi İşletme giderlerinin pahalı olması
Ozmotik kurutma	Fizikokimyasal ve duyuşal özelliklerde minimum değişim Çözelti olarak konsantre meyve suyu kullanıldığında ürün kalitesinde artış	Son nem içeriğinin yüksek olması ve ek kurutma gerektirmesi Ürünün yüksek şeker veya tuz içermesi Konsantre meyve sularında son ürün bileşimini tahmin güçlüğü
Aralıklı kurutma	Renk, tekstür, biyoaktif bileşen korunumu Minimum kararma Uzun raf ömrü	Askorbik asit gibi ısıya hassas bileşenlerin yüksek güç etkisi ile tahribi

Gıda ürünlerinin kuruma performansını arttırmak ve ürün kalitesini iyileştirmek için, kurutucu sistemler tasarlanırken göz önüne alınması gereken bazı faktörler vardır. Büyük ölçekli sistemlerde kurutma odası içindeki hava akımının odanın sıcak bölümünden soğuk bölümüne doğru hareket etmesinin bir sonucu olarak,

kurutma şartlarında (sıcaklık, nem vb.) ve kuruma hızında sistematik bir değişim gözlenmektedir. Islak gıda ürünü üzerinden geçen taze hava, kademeli olarak nem kazanmakta ve ısı kaybetmektedir. Nihayetinde hava, nem kazanmış olarak ama yine de önemli miktarda ısıyı bünyesine alarak kurutma ortamını terk etmektedir. Sistemi terk eden havanın sıcaklığı ve nem düzeyi kurutucu uzunluğu, yüklenen yaş ürün miktarı, başlangıç nem içeriği, kurutucuya giren taze havanın özellikleri gibi pek çok faktöre bağlıdır. Genellikle kurutucuyu terk eden havanın sıcaklığı oldukça yüksek olduğu için ısı kazanımı amacıyla tekrar kurutucu içine dolaşım amacıyla verilmesi ideal bir uygulama olmak birlikte bu havanın yüksek nem içermesi sebebiyle sisteme giren taze havanın nem içeriğini de arttıracak unutulmamalıdır. Bu nedenle sistemden çıkış yapan havanın ısı kazanımı amacıyla tekrar geri beslenecek miktarı; giren havanın nisbi nemini kabul edilebilir bir seviyeye yükseltecek düzeye karşılık gelecek şekilde sınırlandırılmalıdır. Bu sayede sisteme giriş yapan taze havanın sıcaklığını yükseltmek için gereken enerji miktarı da azalmış olacaktır (Sabarez, 2018).

Kurutulmuş son ürünlerde nem içeriğinin ürünün her bir yanında eşit şekilde olmaması, kurutma süreçlerinde karşılaşılan önemli problemlerden biridir. Bu durum büyük ölçekle yapılan kurutma işlemlerinde daha belirgin bir sorun haline gelmektedir. Düzensiz hava akışı sonucu oluşan sıcaklık ve nem gibi kurutma parametrelerindeki dalgalanmalar, bu durumun başlıca sebebidir. Yüksek nem içeriğine sahip gıdalar kurutulurken hava akımı ile ilgili karşılaşılan problemler; havanın akış hızının yüksekliği veya düşüklüğünden çok kurutucu içinde hız profilinin homojen olmamasından kaynaklanmaktadır. Bu sorunun önüne geçmek amacıyla, geleneksel kurutuculara hava akışını ayarlayıcı kanallar veya vanalar ilave edilebilmektedir. Kurutucu sistemler tasarlanırken, sistemde dolaşan hava akımının en az engelle karşılaşacağı yolu izlemeyi tercih edeceği unutulmamalıdır. Buradan hareketle, kurutucu arabalar/tepsiler ile kurutucu duvarları (kenarlar, tavan ve zemin) arasındaki hava boşluklarının azaltılması, sıcak havanın direkt olarak tepsilere yönlendirilmesini sağlayacaktır. Bu nedenle kurutucular, sıcak havayı ürünlerin serildiği tepsilere doğru yönlendirecek şekilde tasarlanmalıdır (Sabarez, 2018).

Maliyet açısından verimli bir kurutma yapmanın en önemli yolu, gıda maddesini son üründe istenen nem içeriğine en yakın noktaya kadar kurutmaktır. Kurutma işleminin son evrelerinde sürecin gittikçe zorlaştığı ve ağırlık azalmasının yavaşladığı periyot ne kadar erken bitirilirse, toplam kuruma süresi de o derecede azalacaktır. Kurutma işleminin arzu edilen nem seviyesinden daha düşük düzeylere kadar devam ettirilmesi, toplam kurutma süresini arttıracak ve ilave enerji masraflarına neden olacaktır (Sabarez, 2018).

Yukarıda özetlenen konveksiyonel kurutma tekniklerine ilave olarak yenilikçi metotlar da uygulanmaktadır. Bunlar arasında mikrodalga (Zhang vd., 2006), vakum, süperkızgın buhar (Sagar ve Kumar, 2010), radyofrekans, kırınım pencere, puf (Calín-Sánchez vd., 2020) gibi teknikler bulunmaktadır. Bu teknikler genellikle konveksiyonel yöntemlerle veya kendi aralarında kombine edilerek uygulanmaktadır.

Isıl olmayan yöntemlerle kombine edilmiş hibrit kurutma teknikleri de meyve ve sebzelerin kurutulması amacıyla son yıllarda araştırmalara konu olmaktadır. Konveksiyonel kurutmanın yoğun enerji tüketimi ve son ürünün özellikleri üzerindeki olumsuz etkilerini azaltmak için ultrases, ultraviyole ve vurgulu elektrik alan gibi teknikler sıcak hava ile yapılan kurutma işlemlerine akuple edilmektedir. Bu sayede kuruma süresi azalmakta, verimlilik artmakta, işletme giderleri azalmakta, çevreye daha az zarar verilmekte ve ürün kalitesinde iyileşme sağlanmaktadır. Bu ısı olmayan teknikler gıdanın iç bölgesinde bir sıcaklık değişimine neden olmakla birlikte ürünün tamamında bir ısı oluşturmamaktadır. Isıl olmayan kurutma sırasında ürün içinde daha düşük bir sıcaklık farkı olduğu için gıda maddesinin kalitesi ısı işleme dayalı kurutmaya nazaran daha iyi muhafaza edilmektedir. Ultrases işlemi sırasında oluşturulan akustik enerji vasıtasıyla dokularda belirli aralıklarla titreşim sağlanmakta ve hücrede kavitasyon gerçekleşmektedir. Bu durum, ürünün iç katmanlarından dış katmanlarına doğru suyun difüzyonunu kolaylaştırmaktadır. Vurgulu elektrik alan da konveksiyonel kurutma ile kombine edilen bir başka ısı olmayan işlemdir. Bu teknikte elektrotlar arasına yerleştirilen gıda ürünlerine

farklı frekanslarda ve farklı dalga şekillerinde yüksek voltaj gradyanı uygulanmaktadır. Vurgulu elektrik alana maruz bırakılacak gıdanın düşük elektriksel iletkenlik ve yüksek elektriksel direnç sahip olması gerekmektedir. Vurgulu elektrik alanın etki mekanizması ise hücrede bulunan kimyasal bileşenlerin sahip olduğu yüke bağlı olarak elektrot kutup yönünün tersine hareket etmesi sonucu hücre membranında incelme ve gözenek oluşumu şeklindedir. Ultraviyole ışınım ise gama ışınımdan farklı olarak iyonize edici özelliğe sahip olmaması sebebiyle, gıda işlemede güvenli olarak kullanılmaktadır. Bu yöntem ortam dezenfeksiyonu, sıvı gıdalarda mikroorganizma inaktivasyonu, meyve ve sebzelerin hasat sonrası muamelesi için kullanılmakla birlikte kimyasal sterilizasyon ve konveksiyonel termal ısıtma proseslerine alternatif olarak da araştırılmaktadır. Ancak bu yöntemlerle yapılan kurutma prosesleri hakkında sınırlı sayıda çalışma mevcuttur (Onwude vd., 2017).

Kurutma sırasında gıdaların kalite karakteristiklerinde gözlemlenen en önemli değişimler renk kaybı, tekstür değişimi, tat üzerinde etkili kimyasal değişimler ve besin öğelerindeki kayıplardır (Mayor ve Sereno, 2004). Kuru bir gıda için tüketicinin gözüne ilk çarpan özelliğinin renk olması nedeniyle, doğal rengin muhafazası oldukça önemlidir. Bu nedenle kurutma yöntemlerinin seçimi sırasında üzerinde en çok durulması gereken hususlardan birisi de süreci nihai ürün için çekici bir renkle sonuçlanacak şekilde gerçekleştirmektir (Calín-Sánchez vd., 2020).

Kurutma süreci, hassas proses kontrolü gerektiren eş zamanlı ısı ve kütle transferi mekanizmalarını içermektedir. Her ne kadar fiziksel bir değişim olarak kabul edilse de kurutma sonucunda arzu edilen veya edilmeyen fiziksel ve biyokimyasal değişimler meydana gelmektedir (Ahmed, 2010). Kuruma prosesi sırasında görünür ve gerçek yoğunluk, gözeneklilik, gözenek boyutu dağılımı, özgül hacim, partikül yoğunluğu, büzüşme gibi fiziksel özellikler değişime uğrayabilen önemli yapısal kalite kriterleri arasındadır. Literatürde en çok değinilen yapısal özellikler ise yığın yoğunluğu, gözeneklilik ve büzüşmedir. Kuru meyve ve sebzelerin fiziksel özellikleri bilhassa ürünün başlangıçtaki

haline geri dönebilme yeteneğinin bir ifadesi olan rehidrasyon açısından çok önemlidir. Prosesin başlangıç aşamalarındaki yüksek kuruma hızıyla gerçekleşen konveksiyonel kurutmada, üründe meydana gelen kabuk oluşumundan kaynaklı düşük rehidrasyon kapasitesi sorunu gözlenmektedir (Calín-Sánchez vd., 2020).

Konveksiyonel veya sıcak hava ile kurutma, sabit hızla kuruma ve azalan hızla kuruma olmak üzere iki aşamada gerçekleşmektedir. Başta kapiler kuvvet olmak üzere Darcy direnci, viskoz kuvvet, yerçekimi gibi diğer kuvvetlerin de etkisiyle gıdanın iç bölgelerindeki suyun gıda yüzeyine doğru hareketi gerçekleşmektedir. Yüzeye ulaşan serbest su ise sürekli ve değişmeyen bir hızla buharlaşmaktadır. Sabit hızla kuruma periyodunda bu iki olay (suyun yüzeye ulaşması ve yüzeydeki suyun buharlaşması) denge halinde ilerlemektedir. Gıda materyali içindeki sıcaklık gradyeni ihmal edilecek kadar düşük ise gıdanın yüzey sıcaklığı bu periyotta sabittir ve yaklaşık olarak kurutucu içinde dolaşan sıcak havanın yaşı termometre sıcaklığına çok yakındır. Bu aşamayı izleyen azalan hızla kuruma periyodunda ise, gıda yüzeyindeki su içeriğinin azalması ile yüzeydeki ıslak alanın oranı da azalmaktadır. Bunun sonucu olarak bir önceki aşamada su buharının sürekli olarak gerçekleşen akışı kesikli bir hale gelmekte; başka bir deyişle yüzeyde düzensiz, kesikli ve yeni ıslak yollar oluşmaktadır. Yüzeydeki serbest su içeriği azaldıkça, kütle transfer katsayısı azalmaktadır. Bu aşamada yüzeydeki konvektif ısı ve kütle transfer katsayıları, yüzey su içeriğinin bir fonksiyonu haline gelmektedir. (Zhang vd., 1999).

Speranza vd. (2019) kırmızı dolmalık biberlerin fırında ve güneşte kurutulması sırasında meydana gelen kimyasal değişimleri incelemişlerdir. Fırında kurutma işleminin karotenoid içeriğine etkisi önemsiz bulunmuş iken, C vitamini ve antioksidan madde içeriğini önemli düzeyde azalttığı sonucuna ulaşılmıştır.

Andrade vd. (2019), kırmızı ve sarı şili biberlerin (*Capsicum baccatum*) farklı sıcaklıklarda kurutulması sırasında kuruma kinetiğini incelemiş, matematiksel olarak modellemiş ve kurutma işleminin renk üzerine olan etkisini gözlemlemişlerdir. Farklı sıcaklık değerleri olarak 35, 45, 55 ve 70°C'de yapılan

kurutma işlemleri sırasında elde edilen kuruma eğrilerinin incelenmesi sonucunda on farklı matematiksel model arasında Midilli tip modelin kuruma prosesini en iyi açıkladığını tespit etmişlerdir. Kurutma sırasında uygulanan sıcaklık derecesinin artışı ile kuru ürüne ait L^* değerlerinin artış gösterdiği; başka bir ifade ile renkte açılma gözlemlendiği sonucuna ulaşılmıştır. Benzer şekilde Hue açısı (h°) ve kroma (c) değerleri de sıcaklığın artışına bağlı olarak yükseliş göstermiştir. 70°C 'lik kurutma sıcaklığının biberin orjinal kırmızı rengine olumsuz etkisinin olduğu da bildirilmektedir.

Kurutma sıcaklığı ve depolamanın domates ve biberin kimyasal ve biyoaktif bileşenlerine etkisi ile ilgili bir çalışmada (Kaur vd., 2020), 40°C , 50°C ve 60°C 'de kurutularak 180 gün depolanan ürünlerdeki değişimler incelenmiştir. 60°C 'de kurutulan domates ve biberlerdeki fenolik madde, antioksidan aktivite ve flavonoid madde değerleri diğer sıcaklık derecelerinde kurutulan ürünlerden daha iyi bulunurken, likopen dışındaki kimyasal bileşenlerde önemli azalmalar tespit edilmiştir. Domateste rengin en iyi korunduğu kurutma sıcaklığı 60°C iken biber için bu değer 40°C olarak saptanmıştır. Depolama sırasında gerek domates gerekse biber için 40°C 'de kurutulan ürünlerin su aktivitelerinin görece yüksek olmasından dolayı kimyasal özelliklerinde ve besin maddelerinin miktarlarında önemli azalmalar gözlenmiştir.

Kırmızıbiberlerin kurutulması sırasındaki nem kaybı, renk değişimi ve enzimatik olmayan esmerleşmenin matematiksel olarak modellenmesi üzerine yapılan bir araştırmada (Yang vd., 2018) biberler 60°C , 70°C ve 80°C sıcaklığa sahip hava akımında kurutulmuştur. Kurutma kinetiğinin yanısıra renk maddelerinin parçalanması da Weibull tipi model ile açıklanmıştır. L , a ve b yüzey renk değerlerinin değişimi ile doğal renk madde miktarı ve enzimatik olmayan esmerleşme değerleri arasında iyi bir korelasyon gözlenmiştir.

Orta nemli veya yarı kurutulmuş gıdalar da kurutma prosesleri sonucunda elde edilen bir ürün çeşididir. Çeşitli gıdalar için %20'den 50'ye kadar değişen aralıkta nem içeriğine sahip ürünler orta nemli olarak nitelendirilse de (Qiu vd., 2019); meyve ve sebze işleme endüstrisi açısından incelendiğinde %25

civarında nem içeren ürünler orta nemli olarak nitelendirilmekte olup bu ürünlere örnek olarak püre, nektar ve kuru ürünler verilebilmektedir (Lavelli vd., 2011). Su aktivitesi açısından değerlendirildiğinde ise orta nemli gıdaların 0.6 veya daha altında su aktivitesine sahip gıdalar olduğu bildirilmektedir (Yan vd., 2008).

Gıdaların kurutulması, sabit hızda ve azalan hızda kuruma olmak üzere iki ayrı aşamayı içermektedir. Azalan hızda kuruma evresi, sabit hızda kuruma evresine göre çok daha uzun süreler gerektirmekte ve enerji tüketimini arttırmaktadır. Orta nemli gıdalar bu bağlamda azalan hızda kuruma evresinin daha kısa sürede sonlandırılması ile elde edilebildiği için bu uzun aşamada geçen süre kısalmaktadır (Jomlapelatikul vd., 2016).

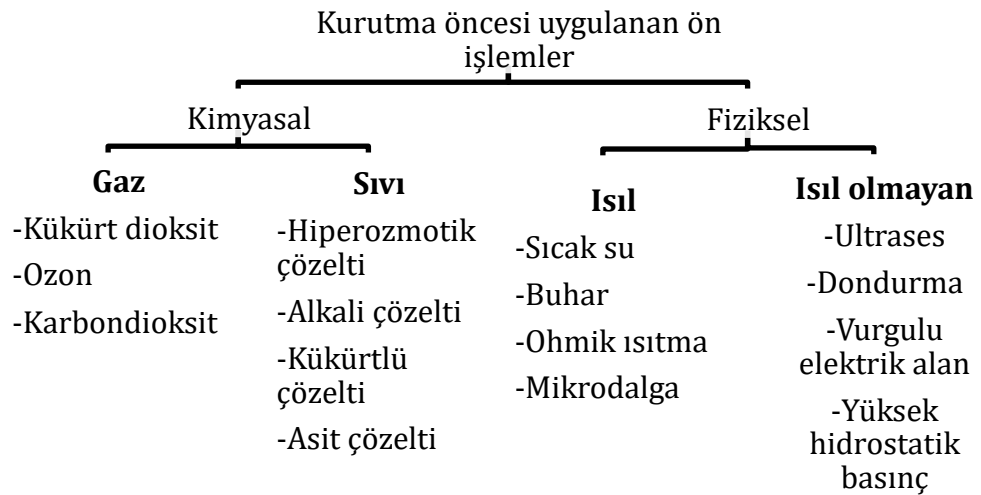
Yarı kuru gıdaların tam kuru gıdalara göre öne çıkan özellikleri, yemeye hazır olmaları, başka bir deyişle çoğu zaman rehidrasyona gerek duymaksızın tüketilebilmeleri (Lucera vd., 2016) ve taze ürüne çok yakın özelliklere (renk, aroma, tekstür gibi) sahip olmalarıdır (Sergio vd., 2016). Tekstür ve renk açısından da tam kuru ürünlere kıyasla daha üstün nitelikli ürünler elde edilmektedir (Yamada vd., 2009). Bu avantajların yanında tam kuru gıdalara göre daha yüksek su aktivitesine sahip olmaları, özellikle oda sıcaklığında muhafaza edilen yarı kuru ürünler için mikrobiyel riskleri de barındırmaktadır.

Yarı kuru gıdaların yukarıda bahsedilen avantajlarına karşılık tam kuru gıdalar ile kıyaslandığında literatürde yarı kuru gıdalar ile ilgili daha az çalışmaya rastlanmıştır.

2.3. Kurutma Öncesi Uygulanan Ön İşlemler

Gıda bünyesinden suyun buharlaştırılarak uzaklaştırılması işlemi, yoğun enerji tüketen bir süreçtir. Gıda işleme sanayinde kullanılan enerjinin %20-25'i; gelişmiş ülkelerdeki sanayi kollarının %10-25'lik kısmı kurutma proseslerinde harcanmaktadır (Guiné, 2018).

Kurutma sırasında gıda matriksinde bulunan suyun uzaklaşma hızı üzerine çeşitli faktörler etkilidir. Kuruma sırasında su uzaklaşması ilk önce dış katmanlarda başlayıp daha sonra iç kısımlardaki serbest suyun yüzeye ulaşması ile devam eder. Bu yönü ile kurutma işleminin ilk aşaması, yüzeydeki ve buraya yakın bölgedeki serbest suyun uzaklaşmasının kolay olması sebebiyle hızlı gerçekleşmektedir. İlerleyen süreçte yüzeydeki kuruyan tabakanın gözenekleri kapatması sonucunda kütle transfer hızının azalmasına bağlı olarak proses giderek zorlaşan bir hal almaktadır. Yine gıda hammaddeleri ve özellikle meyve ve sebzelerin doğal yapısı gereği çeşitli bileşenler özellikle de selüloz, hemiselüloz, lignin gibi kompleks polisakkaritler yapıda düzensiz vaziyette bulunmakta ve adeta bir ağ gibi davranarak suyun moleküler hareketini kısıtlamaktadır. Bu etkileri bertaraf etmek ve suyun bünyeden ayrılmasını kolaylaştırmak için kurutma öncesi hammaddelere çeşitli ön işlemler uygulanmaktadır. Bu ön işlemler ile gıdanın merkezindeki suyun dış yüzeye erişimini kısıtlayan sıkı yapı bozulmakta ve doku içerisinde suyun yüzeye kolayca ulaşabileceği yollar açılmış olmaktadır. Bu amaçla uygulanan ön işlemler kimyasal ve fiziksel olarak iki ana başlık altında incelenebilir (Deng vd., 2019). Bu ön işlemler Şekil 2.4' de sınıflandırılmıştır.



Şekil 2.4. Meyve ve sebzelere kurutma öncesi uygulanan ön işlemler

Ön işlemler, gıda matrisinde çeşitli etkiler ile kurumayı hızlandırıcı etki göstermektedir. Örnek vermek gerekirse ultrases ön işlemi ile oluşan kavitasyon etkisi, hücre duvarının parçalanması ile serbest suyun uzaklaştırılmasını kolaylaştırmaktadır. Benzer şekilde vurgulu elektrik alanına maruz kalan bir gıda maddesinde oluşan gözenekler sayesinde benzer etki görülmektedir. Etanole daldırma ön işlemi ise Marangoni etkisi göstererek düşük yüzey gerilimine sahip ortamdan yüksek yüzey gerilimine sahip ortama madde geçişi sağlayarak suyun bünyeden uzaklaşmasına yardımcı olmaktadır (Llavata vd., 2021). Isıl ön işlemler ise enzim inaktivasyonu, mikrobiyal yükün azalması, havanın uzaklaşması suretiyle oksidasyonunun geciktirilmesi gibi olumlu etkilerinin yanında, hücre duvarının geçirgenliğinin artması, yüzeydeki mumsu tabakanın uzaklaşması ve kabukta ince çatlakların oluşması gibi fiziksel değişimler ile kurutma işlemini hızlandırmaktadır (Deng vd., 2019).

Fiziksel ön işlemlerden en bilinenleri sıcak su veya buharla haşlama olup ısı olmayan ön işlemler (ultrases, vurgulu elektrik alanı vb.) endüstride ısı ön işlemlere nazaran henüz yaygınlaşmamıştır. Sıklıkla uygulanan kimyasal ön işlemlerden en yaygın olanı ise hammaddenin çeşitli çözeltilere bandırılmasıdır. Bu amaçla potasyum karbonat, sodyum karbonat, sodyum hidroksit gibi kimyasalların yanında zeytinyağı ve etil oleat gibi lipofil karakterli maddeler de çözelti hazırlanmasında kullanılmaktadır. Karbonik maserasyon işlemi ise bandırma işleminden farklı olarak son yıllarda öne çıkan bir kimyasal ön işlemdir. Bu işlem sayesinde sitoplazma pH'sı düşmekte; hücre duvarı geçirgenliği artmakta, yüksek molekül ağırlıklı polimerler parçalanmakta ve bağlı su serbest su formuna geçmektedir. Böylece suyun bünyeden ayrılması kolaylaşmakta; dolayısıyla ürünün kuruma hızı da artmaktadır (Turgut vd., 2018). Kırmızıbiber kurutma ile ilgili yapılan çalışmalarda literatürde rastlanan ön işlemlerden bazıları Çizelge 2.10' da verilmiştir.

Çizelge 2.10. Kırmızıbiber kurutmada uygulanan bazı ön işlemler

Biber tipi	Kurutma şekli	Ön işlem	Kaynak
Şili	Konveksiyonel ve güneşte	Sodyum metabisülfid ve kalsiyum klorür çözeltisine daldırma	Phomkong vd., 2010
Şili	Konveksiyonel	Suda ve buharda haşlama	Anoraga vd., 2018
Dolmalık	Dondurarak kurutma	Suda ve mikrodalga haşlama	Krzykowski vd., 2018
Dolmalık	Konveksiyonel ve güneşte	Potasyum metabisülfid ve sitrik asit çözeltisine daldırma	Sharma vd., 2015
Çarliston	Konveksiyonel	Etil oleat, sodyum karbonat ve sitrik asit çözeltisine daldırma	Doymaz ve Kocayiğit, 2012
Dolmalık	Mikrodalga	Ozmotik çözeltiye daldırma	Swain vd., 2012
Dolmalık	Konveksiyonel	Ozmotik çözeltiye daldırma	Odewole ve Falua, 2021
Dolmalık	Dondurarak kurutma	Suda ve buharda haşlama, ultrases, vurgulu elektrik alan	Rybak vd., 2021
Şili	Konveksiyonel	Soğuk plazma	Zhang vd., 2019
Dolmalık	Konveksiyonel	Buharda haşlama	Wang vd., 2017

Kurutma öncesi biberlerin süktroz, sodyum klorür, kalsiyum klorür veya sodyum metabisülfid gibi koruyucu kimyasal maddelerle muamelesi sonucu, kuru üründe C vitamini, renk ve tekstür kayıplarının azaldığı bildirilmektedir. Diğer bir yaygın ön işlem olan haşlamanın da bu kimyasal ön işlemler ile kombine edilmesi sonucu özellikle konserve sanayiinde fizikokimyasal özellikler ve görüntü itibariyle üstün niteliklere sahip ürün eldesi mümkün olmaktadır. Ön işlemler, ürün özelliklerine olan olumlu etkinin yanında kuruma hızında da artış sağlamaktadır (Sanatombi ve Rajkumari, 2019).

Doymaz ve Kocayiğit (2012) ön işlemlerin kurutma, rehidrasyon ve renk karakteristikleri üzerine etkisini inceledikleri çalışmalarında çarliston çeşidi kırmızı biberleri 2 m/s hava hızında 55 ile 70°C arasında değişen sıcaklıklarda konveksiyonel kurutucularda kurutmuşlardır. Kurutma öncesinde kırmızıbiberler etil oleat ve sitrik asit çözeltilerine bandırılarak ön işleme tabi tutulmuşlardır. Etil oleat çözeltisi ile muamele edilen örneklerin renk değerlerinin, diğer örneklerle kıyasla daha iyi olduğu belirtilmektedir. Kuruma hızı için indikatör olan efektif nem difüzyon katsayıları da, ön işleme tabi tutulan örneklerde daha yüksek bulunmuştur. Başka bir deyişle biberlere kurutma öncesi uygulanan kimyasal ön işlem, kuruma hızını arttırmıştır. 70 °C' de

kurutulan kontrol grubu biberlerin arzu edilen nem içeriğine (0.12 ± 0.2 kg su/kg km) erişmesi için gereken süre 495 dakika iken bu süre etil oleat ve sitrik asit ile ön işleme tabi tutulan biberler için sırasıyla 375 ve 330 dakika olarak ölçülmüştür.

Anoraga vd. (2018) şili biberlerin kurutulması öncesinde uygulanan ön işlemlerin ürün kalitesine olan etkilerini inceledikleri çalışmalarında, kurutma öncesi biberleri 90°C 'deki su banyosunda 3 dakika bekleterek sıcak su ile haşlama; kaynayan su buharında 5 dakika tutarak buhar ile haşlamaya tabi tutmuşlardır. Ön işleme tabi tutulmayan kontrol grubu ile ön işleme tabi tutulan örnekler, laboratuvar tipi sıcak hava fırınında 60°C sıcaklıktaki 2 m/s hava akımı ile kurutulmuştur. Suda haşlama ön işlemine tabi tutulan biberlerin kuruma süresi en yüksek bulunmuş olup sebebinin haşlama sırasındaki su absorpsiyonu olabileceği bildirilmiştir. Buharla haşlama ön işlemine tabi tutulan biberler ise, sıcak su ile haşlama ön işlemine tabi tutulan biberlerden daha hızlı kurumuştur. Renk üzerindeki etkilere gelince sıcak su ile haşlama ön işlemine tabi tutulan örneklerin parlaklık değerleri taze örneklerle kıyasla daha yüksek bulunmuştur. Ancak genel olarak termal ön işlemler, son ürünün renk ve C vitamini içeriğine olumsuz etki etmiştir.

Yeni bir ön işlem olarak soğuk plazmanın uygulandığı bir çalışmada (Zhang vd., 2019), şili biberleri kurutma öncesinde farklı sürelerde uygulanan soğuk plazma işleminin kurutma kinetiğine ve renk, kırmızı pigmentlerin korunumu, antioksidan aktivite ve gözenek yapısı gibi ürünün kalite karakteristiklerine olan etkileri incelenmiştir. Kurutma öncesinde kısaca çeşitli iyon ve elektronlar içeren gaz olarak tanımlanabilen soğuk plazmaya 30 saniye boyunca maruz bırakılan biberlerde maksimum kuruma hızı gözlenmiştir.

Kırmızı dolmalık biberlerin kurutulması öncesi uygulanan farklı ön işlemlerin ağırlık kaybı, enzim inaktivasyonu, fitokimyasal içerik, antioksidan aktivite, fiziksel yapı ve kurutma kinetiğine etkileri ile ilgili bir araştırmada (Wang vd., 2017); sıcak su, mikrodalga, kızıl ötesi ve yüksek nemli sıcak hava akımı ile haşlama olmak üzere dört farklı ön işlem uygulanmıştır. Mikrodalga ve kızıl

ötesi haşlama ön işlemleri; sıcak su ve yüksek nemli sıcak hava akımı ile haşlama ön işlemlerine kıyasla daha düşük ağırlık kaybı sağlamıştır. Diğer üç ön işlem ile karşılaştırıldığı zaman, sıcak su ile haşlama ön işlemi kırmızı renk maddeleri, askorbik asit ve toplam antioksidan aktivite bakımından daha düşük değerler göstermiştir. Uygulanan tüm ön işlem metotları, polifenoloksidaz ve peroksidaz enzimlerinin inaktivasyonu için yeterli bulunmuştur.

Şili tipi biberlerin kurutulması öncesinde uygulanan kimyasal ön işlemlerin etkilerinin incelendiği bir araştırmada (Phomkong vd., 2010), tepsili kurutucularda ve güneşte gerçekleştirilen kurutma işlemi öncesinde biberler esmerleşmeyi önleyici çözeltilere (sodyum metabisülfite, sitrik asit, askorbik asit ve kalsiyum klorür kombinasyonları) daldırılmıştır. Ön işleme maruz kalan biberlerin kuruma süreleri, kontrol gruplarına kıyasla daha düşük bulunmuştur. Kuruma hızını yanında, ön işleme tabi tutulan biberlerin kroma değerlerinin uygulamadan olumlu olarak etkilendiği rapor edilmiştir.

2.4. Karbonik Maserasyon Ön İşlemi

Bir önceki bölümde bahsedilen kurutma öncesi uygulanan ön işlemlerin avantajlarının yanında olumsuz yönleri de bulunmaktadır. Haşlama gibi geleneksel ön işlemler, yüksek enerji ihtiyacı sebebiyle maliyetlerde artışa sebep olabilmekte ve ısıya hassas biyoaktif bileşenlerin tahribatına yol açabilmektedir. Öte yandan kimyasal daldırma benzeri ön işlemler de sıvının tazelenmesinin gereksinimi, kalıntı bırakma ve son ürünle etkileşime girebilme gibi riskler içermektedir.

Son yıllarda kurutma öncesi ön işlem olarak araştırılan yeni bir alternatif olarak CM ön işlemi; ilk olarak üzümlerden şarap üretimi öncesinde uygulanmıştır (Patidar vd., 2020). Burada temel amaç, işleme süresini kısaltırken ürünün yapısını ve aromasını iyileştirmektir. (Girma ve Sualeh, 2022). CM ön işlemi ile üretilen kırmızı şaraplar, kendine has meyvemsi ve baharatsı aroma notaları ile ayırt edilen bir karakteristiğe sahiptir (Guzzon vd., 2019). CM ön işlemli şarapların uçucu madde içeriklerinin ön işlemsiz olanlara kıyasla daha yüksek

olmasının yanında, renginin de daha kırmızı ve doymuş tonda olduğu bildirilmektedir (Zhang vd., 2019). Klasik üretim yöntemlerine kıyasla gerek etil alkol gerekse biyoaktif bileşenlerin miktarları da CM işleminden olumlu şekilde etkilenmektedir (Shmigelskaya vd., 2021).

CM ön işlemi, kahve işleme proseslerinde de yeni bir teknik olarak aroma geliştirme amacıyla fermentasyonda kullanılma potansiyeli araştırılan bir işlemdir (Girma ve Sualeh, 2022).

Meyve ve sebze kurutmada kimyasal ön işlem olarak son yıllarda uygulanan yeni bir teknik olan CM ön işlemi, henüz laboratuvar ölçeğindeki kurutma işlemlerinde denenmekte olup (Çizelge 2.11); kalıntı riskinin olmaması ve oksidasyonu engelleme potansiyeli ile endüstride kullanım için umut vaat etmektedir.

Çizelge 2.11. Ön işlem olarak karbonik maserasyon uygulanan kurutma işlemleri

Ürün	Gözlenen değişimler	Kaynak
Üzüm	Kuruma süresinde azalma, toplam fenolik madde miktarında artış, rehidrasyon oranında yükselme, renk değişiminde azalma	Wang vd., 2014
Çilek	Kuruma süresinde azalma, askorbik asit, antioksidan aktivite ve yüzey rengi korunumunda artış	Ozcelik vd., 2022
Domates	Kuruma süresinde azalma, toplam fenolik madde, likopen ve beta-karoten içeriği ve antioksidan aktivitede artış	Turgut vd., 2017, 2018
Erik	Kuruma süresinde azalma, toplam fenolik madde miktarı, antosiyanin içeriği ve antioksidan aktivitede artış	An vd., 2018
Şili biberi	Kuruma süresinde azalma, askorbik asit, toplam fenolik madde, renk ve antioksidan aktivite korunumunda artış	Liu vd., 2014
Tatlı patates	Kuruma süresinde azalma, askorbik asit, toplam fenolik madde, flavonoid içeriği ve antioksidan aktivite korunumunda artış	Zhao vd., 2016

An vd. (2018), Çin’de yetiştirilen önemli bir tropik meyve olan Sanhua eriğinin yoğun etli yapısı ve kabukta bulunan mumsu tabaka nedeniyle kurutma ve şekerleme üretimi sırasında dehidrasyon ve şeker penetrasyonunun zor olduğunu bildirmişlerdir. Bu zorlukları aşmak için karbonik maserasyon

uygulamasý denenmiřtir. Karbonik maserasyon uygulamasý 30°C sıcaklıkta; 10, 30, 50 ve 70 bar basınç altında gerekleřtirilmiřtir. Sonulara gre karbonik maserasyon iřlemi mumsu tabakayı daėıtmıř, gzenekli bir yapı oluřmasını saėlamıř ve hcre duvarı geirgenliėini arttırmıřtır. řeker difzyon hızı %82.52 oranında artarken, toplam kuruma sresi yaklařık %39 azalma gstermiřtir. Karbonik maserasyon iřlemi dřk pH ortamı saėlamasının yanında polifenoloksidaz ve peroksidaz gibi enzimlerin inaktivasyonu sayesinde fenolik maddelerin azami dzeyde korunumunu ve rnn antioksidan aktivitesinin artmasını saėlamıřtır.

Wang vd. (2014) kırmızı zmleri kurutma ncesinde karbonik maserasyon ve diėer bazı alternatif n iřlemlere (etil oleat alkali zltisine daldırma ve takiben dondurma) tabi tutmuřlar ve kızıltesi ıřın yardımıyla kurutmuřlardır. Kurutma ncesi zmler 0.3 MPa basınç ve 40°C sıcaklık altında 12 saat boyunca karbonik maserasyona tabi tutulmuřtur. Karbonik maserasyona tabi tutulmayan kontrol grubu rneklerin kuruma sresi 50 saat olarak belirlenirken, karbonik maserasyona tabi tutulan grubun kuruma sresi 34.5 saat olarak bulunmuř; kuruma sresinde %31'lik bir avantaj saėladıėı tespit edilmiřtir. zm kurutmada n iřlem olarak CM, gıdanın ana yapısını bozmamak kaydıyla dokularda gevřeme ve suyun bulunduėu gzeneklerde byme saėlaması sonucunda dokudan suyun kolay bir řekilde ayırımına katkı vermektedir.

Mikrodalga kurutma ncesinde CM ne iřlemine tabi tutulan řili biberi ile ilgili yapılan bir arařtırmada (Liu vd., 2014), halka řeklinde doėranan biberler 100, 150 ve 200 W g deėerlerinde mikrodalga tekniėi ile kurutulmuřtur. CM n iřlem kořulları da optimize edilmiřtir. CM n iřlemi sonrasında kurutulan biber halkaları iin llen kurutma hızının, n iřleme tabi tutulmayan rneklerle kıyasla %150 ile 185 arasında daha yksek olduėu tespit edilmiřtir. Aynı zamanda toplam fenolik madde miktarı, askorbik asit ieriėi ve antioksidan aktivite de (DPPH ve FRAP) CM n iřleminden olumlu ynde etkilenmiřtir.

Aralıklı ve sürekli mikrodalga ile kurutma öncesi uygulanan CM ön işlemi ile ilgili bir çalışmada (Zhao vd., 2016), aralıklı mikrodalga uygulaması ile kombine edilmiş CM ön işlemi ile kurutulan tatlı patatesler için kontrol grubuna kıyasla daha kısa kuruma süresi elde edildiği bildirilmiştir. Bahsedilen başka çalışmalarla da uyumlu olarak, kurutma öncesi uygulanan CM ön işlemi kuruma süresini kısaltmakla kalmamış; askorbik asit ile fenolik, flavonoid ve antosiyanin maddelerin ısı işlem sırasındaki korunumunu arttırmak ve antioksidan aktiviteyi yükseltmek suretiyle olumlu etki göstermiştir.

Turgut vd. (2017, 2018) domateslere konveksiyonel kurutma öncesi uyguladıkları CM ön işleminin etkilerini araştırmışlardır. Dörde bölünerek 60°C sıcaklık ve 1.3 m/s hava akış hızı şartları altında konveksiyonel fırında kurutulan domates dilimlerinin kuruma süresi CM ön işlemi ile %30 azalma göstermiştir. Taze domatesler ile kıyaslandığında CM ön işlemine tabi tutulduktan sonra kurutulan domateslerin toplam flavonoid madde miktarı, ön işlem görmeden kurutulanlara kıyasla 2,5 kat daha fazla bulunmuştur. Antioksidan aktivite, toplam fenolik madde miktarı ve karoteonit içeriği de ön işlemle kurutulan örneklerde daha yüksek bulunmuştur.

Özçelik vd. (2022) organik çileklere kurutma öncesinde CM ön işlemi uygulamışlardır. Konveksiyonel kurutma öncesi uygulanan CM işlemi için süre, sıcaklık ve basınç değerlerinin yanında kurutma sıcaklığı da optimize edilmiştir. Kontrol grubu ile kıyaslandığında CM ön işlemine tabi tutulan çileklerin kuruma süreleri %30 civarında azalmıştır. Askorbik asit korunumu, antioksidan aktivite ve yüzey renk değerleri de CM ön işleminden olumlu yönde etkilenmiştir.

2.5. Proses Optimizasyonu

Kelime anlamıyla en uygun hale getirme olarak tanımlanabilen optimizasyon olgusu, gıda proseslerinin verimli hale getirilmesinde önemli bir yer tutmakta ve uygulamaları gün geçtikçe artmaktadır. Proses optimizasyonunda öne çıkan yanıtlar genellikle sistem performansı ve ürün kalitesi ile ilgili olup, çoğu zaman farklı yanıtlara eş zamanlı olarak etki eden faktörler belirlenmeye çalışılır.

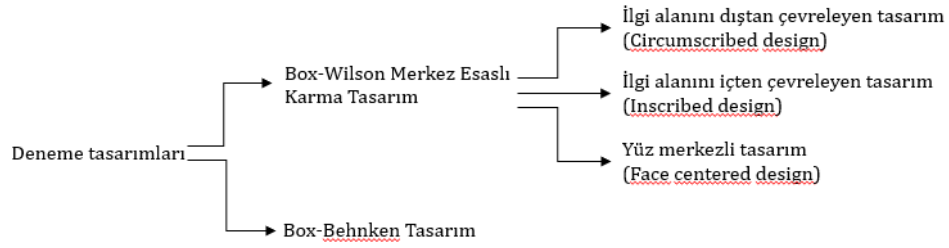
Optimizasyonun temel amaçları ise zamanı etkin kullanma, iş gücünden tasarruf ve maliyetleri azaltma olarak sıralanabilir.

Yanıt yüzey yöntemi ise optimizasyon süreçlerinde yararlanılan istatistiksel ve matematiksel bir metottur. Bağımsız değişkenler olarak adlandırılan proses parametrelerinin, yanıt olan bağımlı değişkenlere olan etkileri incelenerek optimum yanıtları verecek proses koşulları elde edilmektedir (Koç ve Kaymak-Ertekin, 2009). Bu proses koşulları ile cevap olan değeri maksimum veya minimuma ulaştırma amaçlanır. Bu amaca ulaşmak için kullanılan matematiksel ve istatistiksel teknikler, bağımsız değişkenlerin bireysel veya bileşik olarak cevap üzerinde gösterdikleri etkileri irdeler (Baş, 2010).

Yanıt yüzey yöntemi ile gerçekleştirilecek olan optimizasyon işlemi için aşağıdaki aşamaların takip edilmesi uygun olacaktır (Değirmencioğlu ve Yazgı, 2006).

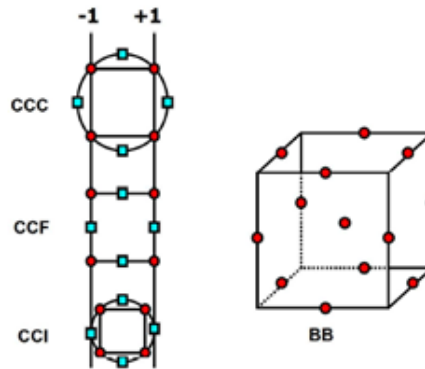
- Bağımsız değişkenlerin seçimi
- Deneme deseninin belirlenmesi
- Değişken formunun belirlenmesi (kodlu/kodsuz)
- Cevap ölçüm tekniği
- Model denklemi belirlenmesi
- Model denklemine ait uygunluk testi
- Denemenin yanıt yüzeyler şeklinde ifadesi

Deneme kurulumunun başlangıcında dikkat edilecek ilk husus, doğru bağımsız değişkenin denemeye dahil edilmesidir. Bu aşamadan sonra deneme deseni oluşturulmalıdır. Yanıt yüzeyi yönteminde iki ana başlık altında dört farklı tipte deneme deseni kullanmak mümkündür (Değirmencioğlu ve Yazgı, 2006). Bu desenler Şekil 2.5' de gösterilmektedir.



Şekil 2.5. Proses optimizasyonunda uygulanan deneme tasarımları

Karma tasarım tiplerinden yüz merkezli tasarım da (CCF) her faktör için 3 seviye istenirken, dıştan çevreleyen (CCC) ve içten çevreleyen (CCI) tasarımlar her faktör için 5 seviye gerektirmektedir. Merkez esaslı karma tasarımın (Central Composite Design) (CCD) orijinal hali olan CCC, deneme alanında yüksek tahminleme yapılmasına imkan verir. CCI tasarımı tam veya kısmi faktöriyel tasarım oluşturulmasını sağlar. CCC ve CCI tasarımlarının döndürülebilirlik (rotatable) özelliği var iken yüz merkezli tasarımın böyle bir özelliği yoktur. Box-Behnken (BB) tasarımı ise faktöriyel tasarım içermemekte olup, bağımsız karesel bir tasarım tipidir. İşlem gereksinimi en az olup her faktör için 3 seviye gerektirmektedir. BB tasarımda toplam deney sayısı CCD'a göre gereken deney sayısından daha azdır. Örnek vermek gerekirse, beş seviye içeren 3 bağımsız değişken için toplam deneme sayısı CCD için 20 iken BB için 15'tir. Bahsedilen tüm tasarımlar Şekil 2.6' da geometrik olarak gösterilmiştir (Değirmencioğlu ve Yazgı, 2006).



Şekil 2.6. Deneme tasarımlarındaki noktaların geometrik gösterimi

Şekil 2.5'te de görüldüğü üzere, CCC ve CCI tasarımlarda en yüksek ve en düşük seviyelerin belli oranda arttırılması veya azaltılması suretiyle elde edilen yeni noktalar tasarıma dahil edilmektedir. Bu durum, polinomial etkilerin ortaya konmasına yardımcı olmaktadır. CCF tasarımı ise çalışma aralığı deneme deseni için belirlenen alt ve üst limitleri aşmamaktadır.

Yukarıda bahsedilen döndürülebilirlik kavramı, tahmini varyansı minimize edecek merkeze belli mesafedeki noktaların denemeye dahil edilmesini ve bu noktaların üç boyutlu bir sistemde küresel bir görüntü vermesinden kaynaklanmaktadır. Tasarımlarda döndürülebilir yapının istenmesinin temel amacı, varyans tutarlılığı elde edilmesidir (Baş, 2010).



3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

Çalışmada kullanılan kapy biberler (*Capsicum annuum* L.) materyalden kaynaklanabilecek heterojenitenin deneme hatası üzerindeki etkisini minimize etmek amacıyla sürekli olarak tek bir kaynaktan temin edilmiştir. Bu amaçla Antalya ili Serik ilçesi Kürüş mahallesinde örtüaltı kapy biber üretimi yapan bir üretici ile materyal temini konusunda anlaşma yapılmıştır. Eylül ayında ekimi yapılan Semerkand ticari markalı (Nunhems Tohumculuk A.Ş.) kapy biberlerin Kasım ayında başlayan hasadı Haziran ayı sonuna kadar devam etmiştir. Bu periyotta belli aralıklarla yaklaşık 30 kilogramlık partiler halinde alınan meyveler iki saat içinde laboratuvara getirilerek, kurutma çalışmaları boyunca +4°C’ de saklanmıştır.

Kurutma işlemi öncesi renk, şekil ve boyut olarak hasarlı meyveler ayrılmıştır. Ayıklanarak mümkün olduğunca homojen özelliklere sahip olacak şekilde ayrılan meyveler, saf su ile yıkanarak bir peçete ile yüzeydeki ıslaklığı giderilmiştir. Meyvelerin sap ve uç kısımları kesilerek çekirdek evleri çıkarılmıştır (Şekil 3.1). Böylece meyveler karbonik maserasyon ön işlemi ve kurutmaya hazır hale getirilmiştir.



Şekil 3.1. Kurutma öncesi hazırlanan biberler

Analizler için örnek hazırlığı aşamasında tam kuru örnekler havanda ezilmiş, elek yardımı ile boyutlandırılmıştır. Analizlerde 2 mm' nin altında, 1 mm' nin üzerine kalan örnekler kullanılmıştır. Taze biberler homojenizatörden geçirilerek püre haline getirilmiş, yarı kuru örnekler ise keskin bir bıçak yardımıyla tam kuru örneklerin boyut büyüklüğünde parçalara ayrılmıştır.

3.2. Yöntem

3.2.1. Kuru kapa biber üretimi

Kuru kapa biber üretimi iki farklı ürün için gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla yaklaşık 0.2-0.3 su aktivitesi ve yaş baz olarak yaklaşık %10 civarında nem içerecek şekilde tam kuru ürün (TK); yaklaşık 0.5-0.6 su aktivitesi ve yaş baz olarak ortalama %25 nem içerecek şekilde yarı kuru ürün (YK) üretilmiştir. Biberlere ön işlem olarak karbonik maserasyon uygulanarak kurutma süresinin kısaltılması amaçlanmıştır. Kurutma işlemi konveksiyonel sıcak hava fırınında gerçekleştirilmiştir. Kurutma sıcaklığı ve karbonik maserasyon ön işlem parametrelerinin optimize edilmesi için yanıt yüzey yöntemi kullanılmıştır.

3.2.1.1. Yanıt yüzey yöntemi ile deneme tasarımı

Yanıt yüzeyi yöntemi ile kurutma sıcaklığı ile karbonik maserasyon basıncı, süresi ve sıcaklığının optimize edilmesi amaçlanmıştır. Biber kurutma ile ilgili yapılan literatür araştırmaları sonucunda kurutma sıcaklık aralığı olarak 60 ve 80 dereceler seçilmiştir (Anoraga vd., 2018; Kaur vd., 2020; Speranza vd., 2019; Wang vd., 2017). Karbonik maserasyon parametreleri ise gerek literatür çalışmaları gerekse Süleyman Demirel Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümü laboratuvarında mevcut olan cihazın özellikleri ve emniyetli çalışma aralıkları baz alınarak belirlenmiş ve basınç değerleri 1-4 bar ve sıcaklık değerleri de 4 ile 40°C arasında seçilmiştir. Değişken seviyeleri Çizelge 3.1 de özetlenmiştir.

Çizelge 3.1. Kurutma işlem parametreleri için kodlanmış faktör seviyeleri

Bağımsız değişkenler	Faktör seviyeleri		
	-1	0	+1
Kurutma sıcaklığı (°C)	60	70	80
Maserasyon sıcaklığı (°C)	4	22	40
Maserasyon basıncı (Bar)	1	2,5	4
Maserasyon süresi (saat)	4	14	24

Bu parametreler doğrultusunda Minitab paket programı kullanılarak yanıt yüzey yöntemi ile merkezi kompozit tasarım uygulanmış ve Çizelge 3.2' de açıklanan deneme deseni oluşturulmuştur.

Çizelge 3.2. CM ve kurutma koşullarının yanıt yüzey yöntemi ile optimizasyonu için oluşturulan deneme tasarımı

Uygulama numarası	Kurutma sıcaklığı (°C)	Karbonik maserasyon uygulama koşulları		
		Kabin sıcaklığı (°C)	Kabin basıncı (bar)	Uygulama süresi (saat)
1	70	22	2.5	14
2	65	31	1.75	19
3	65	13	1.75	9
4	75	13	1.75	19
5	70	22	2.5	14
6	65	31	3.25	9
7	75	13	3.25	9
8	65	13	3.25	19
9	75	31	1.75	9
10	75	31	3.25	19
11	75	31	1.75	19
12	70	22	2.5	14
13	65	13	3.25	9
14	75	13	1.75	9
15	75	13	3.25	19
16	65	31	1.75	9
17	65	13	1.75	19
18	65	31	3.25	19
19	75	31	3.25	9
20	70	22	2.5	14
21	70	40	2.5	14
22	70	22	2.5	14
23	70	22	2.5	4
24	70	22	4	14
25	60	22	2.5	14
26	70	22	2.5	24
27	70	22	1	14
28	70	4	2.5	14
29	70	22	2.5	14
30	80	22	2,5	14

Yukarıdaki çizelgede yer alan uygulama numaralarındaki proses şartlarına uygun olarak 30 farklı ürün aşağıda açıklanan şekilde üretilerek optimizasyon aşamasına geçilmiştir. Toplam 30 adet olan deneysel noktanın 6 adedi merkez noktaadır.

3.2.1.2. Karbonik maserasyon ön işlemleri

Biberlere kurutma öncesi kabuk dokusunun gözenekli hale gelmesi ve hücre duvarlarının parçalanması suretiyle kurutma performanslarının artırılması amacıyla karbonik maserasyon ön işlemleri uygulanmıştır. Kullanılan düzenek Süleyman Demirel Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümü laboratuvarında kurulu olup Şekil 3.2’de gösterildiği üzere kabin, vakum pompası ve CO₂ tüpünden oluşmaktadır. Kabinin yaklaşık hacmi 130 litre olup her yüklemede 10 kg biber için deneme deseninde yer alan basınç değerine ulaşılan kadar sisteme CO₂ gazı doldurulmuştur. Ayrıca düzenekte kabin içi sıcaklığını ayarlamak üzere ısıtma/soğutma tertibatı da mevcuttur.



Şekil 3.2. Karbonik maserasyon tankının görünüşü

Kurutmaya hazır haldeki meyveler, karbonik maserasyon tankının raflarına rastgele yerleştirilmiştir. Rafların kabine yerleştirilmesini takiben kapağı sıkıca

kapatılmış ve ısıtma/soğutma düzeneği açılarak ortam sıcaklığı istenen değere getirilmiştir. Bu esnada kabin içine gaz transferinin asgari sürede gerçekleşmesi için vakum uygulanmıştır. İstenen sıcaklık değerine ulaşıldığı esnada vakum pompası kapatılarak kabin içine CO₂ gazı gönderilmeye başlanmıştır. Manometrede hedeflenen basınç değeri okunduğu anda gaz akışı kesilmiş ve kabin içi basıncı sabitlenmiştir. Bu andan itibaren süre tutularak deneme deseninde yer alan süre başlatılmıştır. Süre bitiminde tankın tahliye vanası açılarak kabin içindeki gaz boşaltılmış ve kabin kapakları açılmıştır. Tankdan alınan biberler önceden istenen sıcaklık değerine göre ısıtılarak hazır hale getirilen kurutma fırınına bekletmeden alınmış ve kurutma işlemine tabi tutulmuştur.

3.2.1.3. Kurutma denemeleri

Kuru kapa biber üretimi için Şekil 3.3'de gösterilen konveksiyonel sıcak hava fırını kullanılmıştır. Eksis Endüstriyel Kurutma Sistemleri Ltd. Şti. (Isparta) tarafından üretilen bu fırın laboratuvar ölçekli, 10 adet raf içeren tepsili tip bir kurutucudur. Raflara 45x45 cm ebatlı tepsiler yerleştirilebilmekte olup; kurutma sırasında hava akımının homojen dağılımı ve kütle transferinin hızlandırılması için raf sistemi kendi ekseninde dönebilmektedir. Hava sirkülasyon fan hızı ayarlanabilir özelliğe sahiptir ve kurutma işlemlerinde hava hızı 1,5 m/s değerinde sabitlenmiştir (Swain vd., 2012; Yang vd., 2018; Kaur vd., 2020). Kurutma işlemleri deneme deseninde belirlenen sıcaklık derecelerinde (60 ve 80°C aralığında) hedef nem oranına karşılık gelen ağırlık değerine ulaşılan dek gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.3. Kurutma fırınının görünümü

3.2.2. Optimizasyon

Kuru kapyra biber üretiminin kurutma sıcaklığı ve CM ön işlem koşulları açısından optimizasyonu için bağımlı değişkenler seçilmiştir. Bağımlı değişken seçiminin sağlıklı bir şekilde yapılması için, gıda ürünlerinin kurutma optimizasyonu ile ilgili mevcut literatürler taranmıştır. Yapılan literatür araştırması sonucunda kurutma çalışmalarında genellikle kuruma performansı ve ürün kalitesine ait bazı parametrelerin yanıt olarak seçildiği görülmüştür. Buna istinaden optimizasyon için seçilen yanıtlar kuruma hızı, renk parametreleri (toplam renk değişimi, esmerleşme indeksi, L* değerindeki yüzde azalma, a* değerindeki yüzde azalma, Chroma değerindeki yüzde azalma ve Hue açısı değerindeki yüzde azalma), askorbik asit içeriği, toplam fenolik madde miktarı, toplam karotenoit miktarı ve antioksidan aktivite (ABTS) olarak seçilmiştir.

Her bir yanıt için proses parametrelerinin etkisi incelenmiş; istatistiksel olarak önemli bulunanlar modele dahil edilmiştir. Elde edilen verilerin çoklu regresyon analizi ile önemli bulunan her bir yanıtın bağımsız değişkenlere bağlı olarak tahminini sağlayan ikinci dereceden polinomial denklem (3.1) aşağıda verilmiştir.

$$y_i = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} x_i^2 + \sum_{i=1}^{k-1} \sum_{j=i+1}^k \beta_{ij} x_i x_j \quad (3.1)$$

Burada, y_i bağımlı değişken için elde edilen değeri, x_i ve x_{ij} bağımsız değişkenleri, β_0 sabit katsayıyı, β_i , β_{ii} , ve β_{ij} , doğrusal, kuadratik ve interaksiyon terim katsayılarını, k ise bağımsız değişken sayısını ifade etmektedir.

Her bir yanıt için belirlenen modeller kullanılarak “istenilirlik fonksiyonu” yöntemi uygulanmıştır (Koç ve Kaymak-Ertekin, 2010). Optimizasyon aşamasında yanıtlar üzerinde istatistiksel olarak önemli etki gösteren bağımsız değişkenlerin tespiti için F ve p (olasılık değeri) parametreleri baz alınmıştır. Geriye doğru çıkarma (backward elimination) yöntemli ile p değerleri 0.05’ ten büyük tespit edilen değişkenlerin modele önemli düzeyde etkisinin olmadığı kabul edilerek modelden çıkarılarak istatistiksel olarak önemli bulunan ($p \leq 0.05$) proses yanıtları modele dahil edilmiştir. Modelin kabul edilebilirliği için uyum eksikliği (lack of fit) teriminin önemsiz ($p > 0.05$) ve regresyon kaynaklı varyans analizinin önemli çıkması ($p < 0.05$) gözönüne alınmıştır. Burada uyum eksikliği terimi ile ifade edilmek istenen husus, oluşturulan matematiksel modelin, denemeler ile elde edilen verileri temsil etme kabiliyetidir. Oluşturulan modelin deneme yoluyla elde edilen sonuçları ne derecede karşıladığının (doğrulama) tespitinde R^2 ve R^2_{adj} katsayıları; modelin tahmin gücünün ölçülmesinde ise tahminsel regresyon katsayısı (R^2_{pred}) değerlerinden yararlanılmıştır. Yanıtın doğası ve özelliğine dikkate alınarak maksimum, minimum veya ulaşılmak istenen hedef değere göre optimizasyon gerçekleştirilmiştir. Azami seviyede istenilirlik kriterine göre optimum kurutma ve ön işlem koşulları belirlenmiştir.

Optimizasyon işleminde belirlenen optimum koşullar altında ön işlemleri ve ön işlemsiz (kontrol) olmak üzere iki ana gruba ayrılarak iki farklı nem içeriğine sahip kuru karpas biber üretimi gerçekleştirilmiştir. Tam kuru ürünler için hedef nem değeri %10; yarı kuru ürünler için ise %25 olacak şekilde başlangıçtaki taze meyve miktarı ve nem değeri bazı alınarak, kurutma fırınına hedef ağırlık değeri girilerek fırın içindeki ürün ağırlığı bu değere ulaştığında kurutma işlemine son verilecek şekilde fırında programlama yapılmıştır. Her kurutma

işlemi öncesinde fırın sıcaklığı optimum kurutma sıcaklığı olan 79.9°C' ye ayarlanarak çalıştırılmış ve ürün yüklemesi öncesinde fırının sıcak hale gelmesi sağlanmıştır. Her bir partide 10 kg yaş meyve yüklemesi yapılmıştır.

Tam kuru-optimum, tam kuru-kontrol, yarı kuru-optimum ve yarı kuru-kontrol olmak üzere dört farklı tip ana ürün üretilmiştir. Üretilen ürünler poliamid/polietilen poşetler (ortalama kalınlık: 110 mikron, oksijen geçirgenliği <50 mL/m²/24h, su buharı geçirgenliği <15 g/m²/24h) içine yerleştirilip 3 farklı yöntemle (vakum, azot ve normal) ambalajlanarak 6 ay süreyle 4 ve 20°C sıcaklığa sahip ortamlarda depolanmış ve her iki ayda bir fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik analizlere tabi tutulmuştur.

Depolama analizlerinde kullanılacak örneklerin ambalajlamaları yapılırken diğer yandan depolama analizleri için referans teşkil eden fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik olmak üzere başlangıç analizleri de yapılmıştır. Bu başlangıç analizlerinin sonuçları, depolama analizleri bölümünde sıfıncı gün veya referans olarak verilecektir.

3.2.3. Fiziksel analizler

3.2.3.1. Toplam kuru madde miktarı tayini

Kuru örneklerin toplam kuru madde miktarı, yaklaşık 2 gram örnek tartılarak nem analiz cihazı (Kern, DBS 60-3, Kern & Sohn GmbH, Almanya) ile belirlenerek % kuru madde olarak verilmiştir.

3.2.3.2. Suda çözünür kuru madde miktarı tayini

Taze ve kuru biber örneklerinin suda çözünür kuru madde miktarları Cemeroğlu'na (2013) göre belirlenmiştir. Yaklaşık 5 gram örnek 50 mL saf su ile homojenize edilerek 100 mL'lik cam balona aktarılmıştır. Balon çizgisine kadar saf su tamamlanarak elde edilen homojenizat filtre kağıdından süzümüştür. Süzüntüden pipet yardımıyla dijital refraktometrenin (Hanna

HI96801, ABD) haznesine damlatılan örneklerin suda çözünür kuru madde miktarları oda sıcaklığında okunmuştur. Sonuçlar seyreltme faktörü de gözönüne alınarak Briks derecesi olarak ifade edilmiştir.

3.2.3.3. pH değeri tayini

Taze ve kuru biber örneklerinin pH değerinin belirlenmesi için yaklaşık 5 g örnek 100 mL saf su ile homojenize edilmiştir. Homojenizatın filtre kâğıdından süzülmesi ile elde edilen süzüntü içine pH metre (S210-K, Mettler Toledo, İsviçre) probu daldırılarak cihaz ekranından örneklerin pH değeri oda sıcaklığında okunmuştur (Cemeroğlu, 2013).

3.2.3.4. Su aktivitesi tayini

Taze ve kuru kapa biberlerin su aktivitesi değerleri, oda sıcaklığında su aktivitesi tayin cihazı (LabSwift, Novasina GmbH, Almanya) ile tespit edilmiştir.

3.2.3.5. Rehidrasyon oranının belirlenmesi

Kurutulmuş kapa biberlerin rehidrasyonu Demiray ve Tülek (2016) tarafından kullanılan yöntemle gerçekleştirilmiştir. Yaklaşık 5 g kuru örnek, 250 mL kapasiteli cam beher içerisinde yer alan 150 mL 20°C sıcaklığa sahip saf su içine daldırılmıştır. Örnekler oda sıcaklığında sabit ağırlığa ulaşılana kadar 30 dk aralıklarla tartılmıştır. Tartım öncesi sudan çıkarılan örneklerin yüzeyindeki fazla su, bir peçete yardımıyla uzaklaştırılmış ve 0.0001 gram hassasiyete sahip terazi (Ohaus PR224, ABD) ile ağırlıklar kaydedilmiştir. Rehidrasyon oranı denklem (3.2) yardımıyla hesaplanmıştır (Lewicki, 1998).

$$RO = \frac{W_r}{W_d} \quad (3.2)$$

Denklemden, RO rehidrasyon oranını, W_r rehidrasyon sonrası ağırlığı ve W_d ise kuru örneğin rehidrasyon öncesi ağırlığını temsil etmektedir.

3.2.3.6. Kolorimetrik renk tayini

Kurutulmuş biberlerin yüzey renklerinin ölçümü Feng vd. (2022) tarafından önerilen yöntemle belirlenmiştir. CIE Lab renk parametreleri olan L^* , a^* ve b^* değerleri kolorimetre (3NH YS 3010, Çin) ile en az üç farklı noktadan ölçülmüştür. Deneysel hataları azaltmak adına her bir gruptan en az beş farklı meyveden ölçüm yapılarak ortalamaları alınmıştır. L^* parametresi renkteki açıklığın veya beyazlığın bir ölçütü olup sıfır (siyah) ile yüz (beyaz) aralığında değerlere sahip olabilmektedir. Kırmızılık a^* değerinin (+) bölgesine karşılık gelirken (-) değerler yeşil rengi ifade etmektedir. Benzer şekilde b^* değerinin (+) bölgesi sarılık; (-) bölgesi ise maviliğin bir göstergesidir. Ölçülen L^* , a^* ve b^* değerlerinden ise aşağıdaki denklemler (3.3 ve 3.4) yardımı ile kroma ve Hue açısı değerleri elde edilmiştir.

$$\text{Kroma} = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad (3.3)$$

$$\text{Hue açısı} = \arctan \frac{b^*}{a^*} \quad (3.4)$$

Denklemlerde, a^* kırmızı renk değeri, b^* ise mavi renk değeridir.

Ayrıca kurutma işlemi sonrası renkteki değişimi ifade eden toplam renk farkı (Topuz, 2008) aşağıdaki denkleme (3.5) göre hesaplanmıştır.

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}} \quad (3.5)$$

Burada, ΔE toplam renk farkı, ΔL^* beyazlık değerleri farkı, Δa^* kırmızı renk değerleri farkı, Δb^* ise mavi renk değerleri farkıdır.

Kurutma optimizasyonu için taze biber; depolama örnekleri için ise üretimden çıkmış ve paketlenmeye hazır olan kuru örnekler (sıfırıncı gün) referans olarak alınmıştır.

Renkteki koyulaşmanın ifadesi olan esmerleşme indeksi (BI) değeri, L^* , a^* ve b^* değerlerinden aşağıdaki denklem (3.6) ile türetilmiştir (Ding ve Ling, 2014).

$$\text{Esmerleşme indeksi} = \frac{100(x-0,31)}{0,17}; x = \frac{a^*+1,75L^*}{5,645L^*+a^*-0,3012b^*} \quad (3.6)$$

Yukarıdaki denklemde L^* beyazlık değeridir.

3.2.3.7. Tekstür analizi

Kuru biber örneklerinin tekstür özelliklerinin belirlenmesi için tekstür analiz cihazı (TA.XT.Plus, Stable Micro Systems, Godaming, Surrey, UK) ile delme testi uygulanmıştır. Test için cihazın P/2 numaralı ucu (2 mm çaplı) 1mm/s hız ile örnek yüzeyine gönderilmiştir. Ölçümler en az 5 farklı biber örneğinin 3 değişik noktasından yapılmıştır. Test ile kabuk direnci ve elastikiyet değerleri belirlenmiştir. Kabuk direnci g, elastikiyet ise mm olarak cihaz tarafından otomatik şekilde belirlenmiştir.

3.2.3.8. Kuruma hızı

Kapya biberlerin kurutulması sırasında kurutma fırınında otomatik olarak kaydedilen kuruma süreleri ve ölçülen nem içeriklerine göre kuruma hızları aşağıdaki denklem (3.7) ile g su/kg km.h cinsinden hesaplanmıştır (Kömüş, 2018).

$$\text{Kuruma hızı} = \frac{M_{t+dt}-M_t}{dt} \quad (3.7)$$

Denklemdeki, M_t başlangıç nem içeriği (g su/kg km), M_{t+dt} kuruma sonundaki nem içeriği (g su/kg km), dt ise saat cinsinden kuruma süresidir.

3.2.4. Kimyasal analizler

3.2.4.1. Titrasyon asitliğinin belirlenmesi

Taze ve kuru biber örneklerinin titre edilebilir asitlik değerinin belirlenmesi için yaklaşık 5 g örnek 100 mL saf su ile homojenize edilmiştir. Homojenizatın filtre kâğıdından süzülmesi ile elde edilen süzüntüden bir behere 25 mL alınarak pH metre (S210-K, Mettler Toledo, İsviçre) yardımıyla beher içeriğinin pH değeri 8.1 olana kadar 0,1 N NaOH ile titrasyon gerçekleştirilmiştir (Cemeroğlu, 2013). Harcanan NaOH çözeltisi miktarı kaydedilerek aşağıdaki denklem (3.8) yardımıyla sitrik asit cinsinden toplam titre edilebilir asitlik hesaplanmıştır.

$$\text{Titrasyon asitliği (\%)} = \frac{V \times N \times M_{eq} \times S_f}{M \times 1000} \times 100 \quad (3.8)$$

Yukarıdaki denklemde, V harcanan NaOH miktarı (mL), N NaOH çözeltisinin normalitesi, M_{eq} asidin eşdeğer ağırlığı (g), S_f seyreltme faktörü, M ise g olarak örnek ağırlığıdır. Sonuçlar yüzde sitrik asit eş değeri olarak ifade edilmiştir.

3.2.4.2. Askorbik asit içeriğinin belirlenmesi

Örneklerin askorbik asit içeriği Demiray vd. (2013) tarafından modifiye edilmiş olan yöntemle göre yüksek performans sıvı kromatografisi (HPLC) ile tayin edilmiştir. Örnekler %3'lük meta-fosforik asit çözeltisi ile 1:10 oranında karıştırılmış ve homojenize edilmiştir. Takiben 4000×g 4°C'de 20 dak. santrifüj edilerek süpernatant kısmı 0.45 µm gözenek çapına sahip membran filtreden geçirilerek viallere aktarılmış ve enjeksiyona hazır hale getirilmiştir. HPLC çalışma koşulları Çizelge 3.3' te belirtildiği şekilde uygulanmıştır.

Çizelge 3.3. L-askorbik asit analizi için HPLC çalışma koşulları

Özellik	Değer
Marka	Agilent
Model	1260 Infinity
Kolon	ACE 5C18 (250*4.6 mm, ID: 5 µm)
Kolon Fırını	1260 TCC
Dedektör	1260 MWV DL
Pompa	1260 Quat Pump VL
Mobil Faz	Ultra saf su (pH=3, fosforik asit ile)
Kolon Sıcaklığı	35°C
Dedeksiyon	254 nm
Akış Hızı	0.5 mL/dakika
Analiz Süresi	30 dakika
Enjeksiyon Miktarı	20 µL

Örneklerin L-askorbik asit miktarı, L-askorbik asit standardı ile hazırlanan çözeltisinin bilinen konsantrasyonlarının sisteme verilmesi ile elde edilen piklerden hesaplanan alanlara göre hazırlanmış olan standart kurve yardımı ile belirlenmiştir.

3.2.4.3. Toplam fenolik içeriğinin belirlenmesi

Kuru biber örneklerinin toplam fenolik madde içeriğinin belirlenmesi için (Toor ve Savage, 2006; Özçelik vd., 2022) 1 gram örnek tartılarak üzerine 20 mL metanol (%1 HCl içeren) eklenmiş ve 2 dakika boyunca vorteks cihazı ile karıştırılmıştır. Karıştırma işlemi biten örnekler oda sıcaklığında karanlık ortamda 4 saat boyunca bekletilmiştir. Süre bitiminde örnekler +4°C'de 4000 devir/dakika hızında 10 dakika santrifüjlenmiştir. Süpernatant kısmından alınan ekstrakt, ekstraksiyon çözeltisi ile 2 kat seyreltilmiştir. Test tüpüne alınan 40 mikrolitre seyreltilmiş ekstrakt üzerine 2.4 mL saf su eklenerek vorteks ile karıştırılmıştır. Ardından tüpe 0.2 mL folin çözeltisi eklenerek vorteks ile karıştırılmıştır. 0.6 mL sodyum karbonat ilavesini takiben 2 saatlik inkübasyon başlangıç süresi kaydedilmiştir. Takiben 0.76 mL saf su ilave edilmiş ve tekrar vorteks ile karıştırılmıştır. 2 saatlik karanlıkta bekletme süresinin sonunda spektrofotometrede 765 nm'de şahit çözeltiye karşı absorbans değeri okunarak kaydedilmiştir. Gallik asidin bilinen

konsantrasyonlarda hazırlanan standart eğrisi ile toplam fenolik madde miktarı hesaplanmıştır. Sonuçlar mg GAE/g km olarak ifade edilmiştir.

3.2.4.4. Antioksidan aktivitenin belirlenmesi

Kuru biber örneklerinin antioksidan aktivitesinin ABTS radikal katyonu renginin giderilme yöntemiyle belirlenmesi için, toplam fenolik madde tayini için hazırlanan metanolik ekstraktlar kullanılmıştır. Ekstraktlar, analiz öncesi yapılan ön denemeler sonucunda belirlenen en uygun seyreltme oranı dikkate alınarak, ekstraksiyon çözeltisi ile 4 kat seyreltilmiştir. ABTS radikal katyonunun analiz öncesi aktifleşip hazır olması için analizlerden 12-16 saat önce 7 mM ABTS çözeltisi hazırlanmıştır. Bu çözelti ayrıca 2.45 mM potasyum persülfat içermektedir. Uygun süre bekleyerek aktifleşmiş olan ABTS çözeltisinin absorbansının 734 nm dalga boyunda 0.700 olacak şekilde seyreltilmesi yapılmıştır. Yukarıda anlatılan şekilde hazırlanan 10 µL ekstrakt üzerine 990 µL ABTS çözeltisi eklenerek absorbans kaydedilmiş ve süre tutulmaya başlanmıştır. 6. dakikanın sonunda aynı örnekten tekrar absorbans okuması yapılarak aşağıdaki denkleme (3.9) göre yüzde inhibisyon değeri elde edilmiştir (Re vd., 1999).

$$\text{Radikal indirgeme aktivitesi (\%)} = \frac{\text{BAD} - \text{AD}}{\text{BAD}} \times 100 \quad (3.9)$$

Burada, BAD başlangıç (sıfırıncı dakika) absorbans değeri, AD ise altıncı dakika sonundaki absorbans değeridir.

Troluks eşdeğeri olarak antioksidan aktivitenin (TEAC) belirlenmesi için ise ilk olarak bilinen konsantrasyonlarda hazırlanmış Trolox çözeltisinin absorbans değerlerine göre kalibrasyon eğrisi oluşturulmuştur. Grafik denklemi (3.10) aşağıdaki gibidir.

$$y = ax + b \quad (3.10)$$

Yukarıdaki denklemde y, absorbans, x, mL örnek için elde edilen mikromol Troloks eşdeğeri, a ve b ise katsayıları ifade etmektedir. Elde edilen y değerlerini kuru madde cinsinden ifade etmek için ise denklem (3.11) kullanılmıştır.

$$\text{Troloks eşdeğeri } (\mu\text{mol TE/g örnek}) = \frac{C \times V}{M} \quad (3.11)$$

Denklemdeki, C mL örnek için ölçülen mikromol Troloks eşdeğeri, V ekstraksiyon için kullanılan sıvı hacmi (mL), M ise ekstraksiyon için kullanılan g olarak örnek miktarıdır. Yaş baz olarak elde edilen sonuçlar, örneklerin kuru madde miktarları dikkate alınarak kuru maddedeki miktar olarak ifade edilmiştir.

3.2.4.5. Toplam karotenoit miktarı tayini

Örneklerdeki toplam karotenoit madde miktarları, Başünal (2016) tarafından uygulanan yöntemle göre belirlenmiştir. Bu amaçla 0.5 gram örneğe 5 mL aseton:su (9:1, v/v) karışımı ilave edilmiştir. Ardından 3000 devir/dakika hızında +4°C sıcaklıkta 10 dak santrifüjlenen örneklerin berrak kısımları başka bir tüpe aktarılarak toplanmış ve bu işleme ekstrakt renksizleşene kadar devam edilmiştir. Bilinen hacme tamamlanan örneklerin absorbansları, UV-VIS spektrofotometrede 472 nm dalga boyunda asetona karşı okunarak aşağıdaki formüle göre örneklerdeki toplam karotenoit madde miktarı, aşağıdaki eşitliğe göre (3.12) hesaplanmıştır.

$$\text{Toplam karotenoid (mg/100 g)} = \frac{\text{Abs}_{\text{max}} \times 50 \text{ mL aseton} \times 100}{\text{Örnek ağırlığı}} \quad (3.12)$$

Yukardaki denklemde, Abs_{max} 472 nm'de okunan absorbans değeridir.

Yaş baz olarak elde edilen sonuçlar, örneklerin kuru madde miktarları göz önüne alınarak kuru maddedeki miktarlar olarak ifade edilmiştir.

3.2.4.6. Karotenoit kompozisyonunun HPLC ile belirlenmesi

Toplam karotenoit madde miktarının yanında karotenoit kompozisyonun belirlenmesi için Shim vd. (2013) tarafından önerilen metot uygulanmıştır. Kuru örneklerden karotenoitlerin ekstraksiyonu için öncelikle örnekler bir havanda ezilerek toz hale getirilmiştir. Amber renkli santrifüj tüplerine 0.5 gram toz örnek tartılmış ve üzerine 2 mL dimetil sülfoksit eklenerek tüpün kapağı sıkı şekilde kapatılmıştır. Vorteks cihazında 5 dakika boyunca çalkalanan tüpler, süre sonunda 5 dakika boyunca karanlık ortamda bekletilmiştir. Daha sonra tüplere 5 mL %95 etil alkol eklenerek 10 dakika süre ile vorteks cihazında çalkalanmıştır. Çalkalanan tüpler 1300 devir/dakika hızında 10 dakika santrifüj edilmiştir. Berrak kısım 0,2 µm gözenek çapına sahip polivinilidin florür membran filtreden süzülerek cam viyallere aktarılmış ve HPLC sistemine enjekte edilmiştir. HPLC sistemi için çalışma koşulları aşağıdaki çizelgede (Çizelge 3.4) verilmiştir.

Çizelge 3.4. Karotenoit analizi için HPLC çalışma koşulları

Özellik	Değer
Marka	Agilent
Model	1260 Infinity
Kolon	ACE 5C18 (250*4,6 mm, ID: 5 µm)
Kolon Fırını	1260 TCC
Dedektör	1260 MWV DL
Pompa	1260 Quat Pump VL
Mobil Faz	Asetonitril/ultra saf su (80:20), (0.02 M BHT)
Kolon Sıcaklığı	30°C
Dedeksiyon	450 nm
Akış Hızı	1.5 mL/dakika
Akış Süresi	45 dakika

Piklerin tanımlanması için kırmızı biberde hakim karotenoit olduğu bilinen kapsantin standardının bilinen konsantrasyonlarda çözeltileri hazırlanarak pik alanları elde edilmiştir. Pik alanlarına karşılık gelen konsantrasyonlar ile oluşturulan regresyon denklemi ile örneklerden elde edilen alanlardan konsantrasyonlar hesaplanmıştır. Sonuçlar kuru madde bazlı olarak ifade edilmiştir.

3.2.5. Mikrobiyolojik analizler

3.2.5.1. Örnek hazırlama

İlk dilüsyonların hazırlanması için 90 mL seyreltme sıvısı (peptonlu su) içeren erlenlere 10 gram örnek tartılmış ve 1 dakika boyunca çalkalanarak 10^{-1} dilüsyon elde edilmiştir. Önceden steril hale getirilen 9 mL peptonlu su içeren tüplere 1'er mL aktarma yoluyla 10^{-5} 'e kadar seri dilüsyonlar hazırlanmıştır. Dilüsyonlardan iki farklı besiyerine ekim yapılmak suretiyle mikrobiyolojik analizler gerçekleştirilmiştir.

3.2.5.2. Toplam aerobik mezofil bakteri sayısının belirlenmesi

Örneklerdeki toplam aerobik mezofil bakteri sayısının belirlenmesi için Plate Count Agar besiyeri kullanılarak dökme plak yöntemiyle ekim yapılmıştır. Ekimler steril petri kutularına 2 paralel olarak yapılmıştır. Ekim yapılan petri kutuları 30°C sıcaklıktaki inkübatörde 24-48 saat süre ile inkübe edilmiş ve oluşan koloniler sayılmıştır. Sayımlarda 15-150 arası koloniler dikkate alınmıştır (Halkman, 2019).

3.2.5.3. Toplam maya ve küf sayısının belirlenmesi

Toplam maya ve küf sayımı için besiyeri olarak patates dekstrozu agar kullanılmıştır. Dökme plak yöntemi ile ekim yapılmıştır. Hazırlanan besiyerleri otoklav ile steril edildikten sonra olası bakteri gelişimini engellemek amacıyla laktik asit ilave edilmiştir. Ekimler steril petri kutularına 2 paralel olarak yapılmıştır. Ekim yapılan petri kutuları 25°C sıcaklıktaki inkübatörde 5-7 gün süre ile inkübe edilmiş ve oluşan koloniler sayılmıştır. Sayımlarda 15-150 arası koloniler dikkate alınmıştır. Maya kolonileri 3. gün; küf kolonileri ise 5. günden itibaren izlenmiştir. Maya ve küf sayıları ayrı olarak kaydedilmiştir.

Sayılan kolonilere göre örneklerde bulunan mikroorganizma sayıları aşağıdaki denkleme (3.13) göre hesaplanmıştır (Halkman, 2019).

$$N = \frac{C}{[V(n_1+0,1 \times n_2) \times d]} \quad (3.13)$$

Yukarıdaki denklemde N, gıda örneğinin 1 g'ındaki mikroorganizma sayısı (KOB/g), C, sayımı yapılan tüm petri kutularındaki koloni sayısı toplamı, V, sayımı yapılan petri kutularına aktarılan hacim (mL), n₁, ilk seyreltiden yapılan sayımlarda sayım yapılan petri kutusu adedi, n₂, ikinci seyreltiden yapılan sayımlarda sayım yapılan petri kutusu adedi ve d ise sayımın yapıldığı ardışık 2 seyreltiden daha konsantre olanın seyreltme oranıdır.

3.2.6. İstatistiksel değerlendirmeler

Taze ve kuru örneklerde gerçekleştirilen analizlerin sonuçları, üç paralelin ortalaması ± standart hata olarak ifade edilmiştir. Ortalamaların ve aralarındaki istatistiksel farkların belirlenmesi için Tukey çoklu karşılaştırma testi uygulanmıştır (p≤0.05). Optimizasyon ve yukarıda anlatılan diğer tüm değerlendirmeler için Minitab paket programı (18.1, Minitab Inc., State College, PA, ABD) kullanılmıştır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

4.1. Taze Kapy Biberlerin Bazı Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Taze kapy biberlerin boyut, ağırlık, renk ve su içeriği değerlerini kapsayan fiziksel özelliklerine ait değerler Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çalışmada materyal olarak kullanılan taze kapy biberlerin ortalama ağırlığı 69.33 ± 12.25 g, ortalama boyu 142.76 ± 16.50 mm ve ortalama çapı 39.74 ± 3.70 mm olarak tespit edilmiştir. Nem içerikleri ortalama %92 ve su aktivitesi değeri ortalama 0.91 olarak ölçülmüştür. Renk değerleri ise parlak kırmızı kapy biberin rengini ifade etmektedir. Elde edilen bulguların literatür ile karşılaştırmasında, bulgularımıza benzer sonuçlar rapor edildiği anlaşılmıştır (Kuşçu ve Pazır, 2018; Ateş, 2023).

Çizelge 4.1. Taze kapy biberlerin bazı fiziksel özellikleri

Fiziksel özellik	Değer*
Ortalama meyve ağırlığı (g), (n:45)	69.33 ± 12.25
Ortalama meyve uzunluğu (mm), (n:45)	142.76 ± 16.50
Ortalama çap (mm), (n:45)	39.74 ± 3.70
Su aktivitesi	0.909 ± 0.011
Nem içeriği (%)	91.72 ± 0.31
L*	30.64 ± 1.11
a*	20.12 ± 1.76
b*	5.54 ± 0.71
Chroma	20.92 ± 1.97
Hue angle	15.31 ± 0.56

*Sonuçlar ortalama $\pm$ standart hatayı ifade etmektedir (n=3).

Taze kapy biberlerin bazı kimyasal özelliklerine ait analiz sonuçları ise Çizelge 4.2’de verilmiştir. Kapy biberlerin ortalama pH değerleri 5.03 iken titre edilebilir asit miktarı sitik asit cinsinden % 0.27 olarak tespit edilmiştir. Toplam fenolik madde içeriği 29.24 mg GAE/g km olan taze kapy biberlerin askorbik asit miktarı 1260.76 mg/100 g km toplam karotenoit madde içeriği 5.15 g/kg

(km) ve antioksidan aktivitesi 121.61 $\mu\text{mol TE/g km}$ olarak bulunmuştur. Sonuçların literatür ile kıyaslanması neticesinde, önceki çalışmalara benzer sonuçlar elde edildiği görülmüştür (Turhan vd., 2014; Albayrak, 2021; Özcan ve Uslu, 2022).

Çizelge 4.2. Taze kapyra biberlerin bazı kimyasal özellikleri

Kimyasal özellik	Değer*
pH	5.03±0.03
Titre edilebilir asit miktarı (%)	0.27±0.05
Toplam fenolik madde miktarı (mg GAE/g km)	29.24±0.46
L-askorbik asit miktarı (mg/100g km)	1260.76±13.44
Toplam karotenoit madde miktarı (g doğal pigment/kg km)	5.15±0.06
Trolox eşdeğeri antioksidan aktivite ($\mu\text{mol TE/g km}$)	121.61±3.13

*Sonuçlar ortalama $\pm$ standart hatayı ifade etmektedir (n=3).

Özellikle boyut, renk gibi fiziksel özellikler ile kimyasal özelliklerin; varyete, kültürel şartlar, iklimsel koşullar vb birçok değişkenden kolay bir şekilde etkilendiği ve bu değişkenlerin meyve özellikleri üzerine gösterdiği farklılık, canlı bitkisel materyallere dayalı çalışmalarda beklenen bir sonuçtur. Örnek vermek gerekirse aynı materyalin farklı hasat zamanlarında dahi standart bir a* yakalamak mümkün değildir. Bu nedenle her bir analizde referans değeri olarak ilgili partinin üretildiği taze biberin değerleri alınarak bu hatanın en aza indirgenmesi hedeflenmiştir.

4.2. Optimizasyon Sonuçları

Kurutma optimizasyonu ile ilgili yapılan çalışmalar incelendiği zaman özellikle iki nokta üzerinde durulduğu görülmüştür. Bunlardan biri kuruma performansı iken diğeri ise ürün çeşidine göre değişkenlik göstermekle birlikte fiziksel veya kimyasal kalite kriterleridir (Koç, 2015; Başüenal, 2016; Gül, 2018, Tekgül, 2019; Bodruk, 2020).

Optimizasyon için seçilen fiziksel parametreler açısından kuruma hızına ilave olarak renk ile ilgili CIE Lab değerleri (L^* , a^* ve b^*) ve bu değerlerden türetilen

parametrelerin (Chroma, Hue, toplam renk farkı, esmerleşme indeksi) değişimleri dikkate alınmıştır. Kimyasal kalite kriterleri açısından ise askorbik asit, toplam fenolik madde ve toplam karotenoit madde miktarlarına ilave olarak antioksidan aktivite de hedef olarak seçilmiştir.

Optimizasyon için seçilen yanıtlara ait fiziksel analiz sonuçları Çizelge 4.3'te özetlenmiş olup, 30 deneme grubuna ait kapy biberlerin kuruma hızları 727.23-1724.8 g su/kg km.h aralığında değişim göstermiştir. Renk göstergelerinden olan toplam renk farkı (ΔE) değerleri 3.72 ile 10.95 arasında bulunurken esmerleşme indeksi (BI) 51.66-88.71 aralığında tespit edilmiştir. Kuru ürünlerin renk değerlerinden taze meyveye kıyasla oluşan % azalmalar L^* değeri için 2.28-10.19, a^* değeri için 0.03-6.60, kroma değeri için 0.04-7.35 ve hue değeri için 0.12-7.93 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 4.4'te verilen kimyasal analiz sonuçlarına göre, denemedeki desenlere göre kurutulan kapy biberlerin askorbik asit içeriklerinin taze meyvedeki içerik ile kıyaslanması sonucunda yaklaşık %57 ile 93 arasında kayıp meydana gelmiştir. Toplam fenolik madde miktarları 6.284-15.281 mg GAE/g km aralığında tespit edilirken toplam karotenoit madde içerikleri 3.798-3.987 g/kg km olarak bulunmuştur. Kuru kapy biberlerin ABTS yöntemine göre hesaplanan % inhibisyon gücü olarak antioksidan aktiviteleri ise 13.59-52.60 arasında değişkenlik göstermiştir. Bulgular, literatürde verilen değerlere yakın aralıklarda bulunmuştur (Gupta vd., 2002).

Çizelge 4.3. Deneme desenindeki şartlara göre üretilen kuru kopya biberlerin bazı fiziksel özellikleri

Desen	Kuruma hızı (g su/kg km.h)	Toplam renk farkı (ΔE)	Esmerleşme indeksi (BI)	ΔL^* (% azalma)	Δa^* (% azalma)	Δ kroma (% azalma)	Δ Hue (% azalma)
1	973.23	10.04	65.30	6.55	6.60	7.35	5.94
2	727.23	10.18	80.94	9.92	0.80	2.48	5.10
3	793.40	10.28	75.65	9.74	2.62	3.02	3.60
4	1231.64	5.81	65.39	5.29	2.21	2.12	0.21
5	1059.00	9.12	77.07	8.44	3.26	3.44	0.66
6	896.66	12.04	68.98	9.88	5.66	6.45	6.49
7	1389.51	7.34	88.71	6.86	2.37	2.59	0.83
8	829.65	7.07	63.99	5.39	4.25	4.54	1.72
9	1557.41	6.59	68.51	6.60	0.03	0.04	0.12
10	1531.47	10.95	73.59	10.29	3.33	3.61	2.40
11	1240.09	3.72	67.09	3.70	0.25	0.87	0.15
12	1181.51	5.07	69.65	4.64	1.64	1.89	2.03
13	954.77	7.86	59.04	7.07	2.71	3.14	4.46
14	1465.01	7.95	69.02	7.70	1.43	1.70	2.95
15	1414.05	7.57	65.06	7.27	1.29	1.63	4.18
16	963.89	7.69	57.81	7.16	2.49	2.70	2.40
17	1009.37	5.96	61.20	4.80	2.97	3.34	3.57
18	911.29	5.73	55.46	4.30	3.34	3.67	3.00
19	1328.64	6.02	70.61	5.86	0.97	1.18	1.96
20	1197.94	5.24	62.68	4.92	0.67	1.04	4.41
21	1257.31	10.48	51.66	7.14	6.77	7.33	7.93
22	1330.10	4.77	60.34	4.68	0.31	0.50	2.55
23	1311.35	4.38	53.94	3.82	1.85	2.04	2.16
24	1348.39	5.51	52.37	3.93	3.28	3.66	4.22
25	894.79	6.77	52.49	4.78	4.19	4.62	4.16
26	1329.13	7.77	54.33	5.92	4.31	4.79	4.90
27	1350.67	7.28	54.49	5.49	3.89	4.62	5.78
28	1309.62	4.56	53.02	2.28	3.26	3.69	4.65
29	1207.06	6.13	62.40	5.82	0.74	1.10	5.09
30	1724.18	7.89	60.96	6.80	3.13	3.60	5.36

Çizelge 4.4. Deneme desenindeki şartlara göre üretilen kuru kapy biberlerin bazı kimyasal özellikleri

Desen	AA	TFM	TKM	ABTS
1	74.11	13.73	3.98	14.34
2	78.32	14.23	3.93	31.33
3	87.42	8.68	3.90	19.17
4	84.85	12.82	3.97	26.19
5	67.25	10.66	3.85	30.50
6	73.45	13.01	3.91	21.33
7	71.29	9.90	3.86	25.43
8	87.18	6.28	3.92	23.24
9	74.73	13.14	3.90	22.52
10	76.50	14.53	3.89	43.75
11	72.34	11.04	3.80	33.61
12	65.86	9.53	3.98	44.62
13	75.03	10.09	3.86	31.94
14	75.38	12.31	3.85	37.76
15	62.67	10.98	3.90	40.22
16	67.50	13.92	3.89	38.84
17	65.21	11.79	3.87	50.61
18	72.41	10.81	3.99	46.34
19	72.39	14.25	3.90	33.73
20	68.36	15.28	3.95	52.60
21	92.89	14.38	3.86	13.59
22	66.37	13.70	3.83	20.36
23	69.92	11.65	3.83	22.59
24	74.46	11.99	3.86	45.52
25	67.26	14.82	3.87	28.59
26	71.54	13.81	3.88	22.33
27	60.52	7.63	3.81	40.80
28	56.97	9.55	3.88	25.50
29	69.57	11.75	3.90	21.40
30	77.02	10.49	3.85	35.74

AA: Askorbik asit kaybı (%), TFM: Toplam fenolik madde (mg GAE/g km), TKM: Toplam karotenoit madde (g/kg km), ABTS: % inhibisyon olarak antioksidan aktivite.

Yanıt olarak seçilen bağımlı değişkenlere (kuruma hızı, renk parametreleri, askorbik asit içeriği, toplam fenolik madde miktarı, toplam karotenoit miktarı ve antioksidan aktivite (ABTS) göre modelleme iki aşamalı olarak gerçekleştirilmiştir. Birinci aşamada bağımsız değişkenlerin cevaplar üzerindeki etkisi Minitab programı

yardımıyla test edilerek bağımsız değişkenlerden istatistiksel olarak önemli seviyede etkilenen yanıtlar regresyon katsayısı (R^2), ayarlanmış regresyon katsayısı (R^2_{adj}) ve model uyumsuzluğu (lack of fit) tespit edilmiştir. İkinci aşamada ise istatistiksel olarak önemli bulunan cevaplar kullanılarak farklı modellerin oluşturulmuş ve oluşturulan modellerin doğrulaması yapılmıştır. Her bir bağımlı değişken için doğrusal etki, üssel etki ve interaksiyonu gösteren terimler sıra ile eklenmiş ve model uyumsuzluğu (lack of fit) sonuçları da incelenmiştir.

4.2.1. Modele dahil edilecek yanıtların tespiti

Modellerde varyasyonların büyük bir oranda model tarafından açıklanması beklenmiştir. Model seçimi için test edilen terimlerin regresyon katsayılarına ait değerler Çizelge 4.5'te verilmiştir.

Çizelge 4.5. Model için test edilen bağımlı değişkenlere ait katsayılar

Test edilen yanıt	R^2 (%)	R^2_{adj} (%)	R^2_{pred} (%)
Kuruma hızı	90.38	87.87	82.42
a* değeri (başlangıç değerine yakınlık)	89.03	84.09	74.26
Esmerleşme indeksi	84.77	77.92	67.46
Antioksidan aktivite (ABTS, %)	80.34	76.24	70.76
Toplam renk değişimi	39.06	32.02	15.90
ΔL^* (% azalma)	51.20	51.20	51.20
Δa^* (% azalma)	10.44	10.44	10.44
Δ Chroma (% azalma)	65.81	58.68	49.65
Δ Hue (% azalma)	28.38	20.11	4.08
Askorbik asit kaybı (%)	19.75	13.81	0.93
Toplam fenolik madde	37.13	29.88	0.00
Toplam karotenoit madde	24.34	12.23	0.00

R^2 : Regresyon katsayısı, R^2_{adj} : Ayarlanmış regresyon katsayısı, R^2_{pred} : Tahminsel regresyon katsayısı

Bağımlı değişkenlerden R^2 değeri görece yüksek, model uyumsuzluğu değeri (lack of fit) istatistiksel olarak önemsiz ($p \leq 0.05$) olan yanıtlardan kuruma hızı, esmerleşme indeksi, a* değeri ve antioksidan

aktivitenin model için uygun yanıtlar olarak seçilmesi için varyans analizi de uygulanmıştır. Çizelge 4.6'da modele dahil edilmesine karar verilen yanıtlara ait varyans analiz tablosu özetlenmiştir. Çizelgeden de anlaşılacağı üzere, kuruma hızı üzerine fırın sıcaklığının etkisi istatistiksel olarak önemli bulunurken; a* değeri ve esmerleşme indeksi üzerinde hem fırın sıcaklığının hem de maserasyon parametrelerinin tümünün etkisi önemli tespit edilmiştir. Antioksidan aktivite değişimlerine ise maserasyon süresi ve basıncının önemli etkisi olduğu görülmektedir.



Çizelge 4.6. Modele dahil olan yanıtlara ait varyans analiz tablosu

Yanıt	Varyasyon kaynağı	SD	F değeri	P değeri
Kuruma Hızı	Model	6	36.00	0.000
	Bloklar	2	14.80	0.000
	Doğrusal ilişki	3	60.82	0.000
	MT	1	0.97	0.335
	MB	1	0.38	0.542
	FS	1	181.12	0.000*
	İkili interaksiyon	1	3.92	0.060
	MT*MB	1	3.92	0.060
	Hata	23		
	LoF	20	2.14	0.292
Esmerleşme indeksi	Saf hata	3		
	Model	9	12.37	0.000
	Bloklar	2	39.70	0.000
	Doğrusal ilişki	4	2.52	0.073
	MS	1	0.14	0.716
	MT	1	1.38	0.254
	MB	1	0.04	0.837
	FS	1	8.54	0.008*
	İkili interaksiyon	3	7.28	0.002
	MS*MT	1	7.70	0.012*
a*	MT*MB	1	3.62	0.072
	MB*FS	1	10.53	0.004*
	Hata	20		
	LoF	17	0.51	0.840
	Saf hata	3		
	Model	9	18.03	0.000
	Bloklar	2	60.63	0.000
	Doğrusal ilişki	4	3.93	0.016
	MS	1	0.52	0.480
	MT	1	1.22	0.282
a*	MB	1	0.00	0.997
	FS	1	13.97	0.001*
	Karesel ilişki	1	4.30	0.051
	MB* MB	1	4.30	0.051
	İkili interaksiyon	2	10.51	0.001
	MS* MT	1	9.34	0.006*
	MT* FS	1	11.68	0.003*
	Hata	20		
	LoF	17	1.79	0.351
	Saf hata	3		
Antioksidan aktivite	Model	5	19.61	0.000
	Bloklar	2	21.88	0.000
	Doğrusal ilişki	2	3.09	0.064
	MT	1	5.67	0.026*
	MB	1	0.50	0.484
	Karesel ilişki	1	36.12	0.000
	MB*MB	1	36.12	0.000*
	Hata	24		
	LoF	21	3.26	0.180
	Saf hata	3		
Toplam		29		

SD: Serbestlik derecesi, MT: Maserasyon süresi, MB: Maserasyon basıncı, MS: Maserasyon sıcaklığı, FS:Fırın sıcaklığı, LoF: Lack of fit, *: %5 seviyesinde önemli.

Kuruma hızı ile ilgili varyans analiz tablosu incelendiğinde fırın sıcaklığı (FS) ile kuruma hızı arasında istatistiksel olarak anlamlı bir korelasyon olduğu anlaşılmaktadır. Kuruma hızı üzerinde CM süresi (MT) ve basıncı (MB) istatistiksel olarak önemli seviyede etki göstermemiştir. Bu bağlamda kuruma hızı için en etkili parametre FS olarak tespit edilmiştir. İkinci dereceden interaksiyonlarda kuruma hızı üzerine MT*MB doğrusal etkilerinden daha fazla etki göstermiş olsa da bu etki istatistiksel olarak önemi seviyede değildir. Fırın sıcaklığının artması ile kuruma hızının arttığı literatürde de rapor edilmiştir (Doymaz, 2007; Tajudin vd., 2019; Jiang vd., 2022). Kuruma hızı ile CM parametreleri arasındaki ilişki ile ilgili olarak; Liu vd. (2014) MT ve MB artışının kuruma hızını arttırıcı etki gösterdiğini bildirilmiş; Özçelik vd. (2022) ise sadece MT artışının kuruma hızının artmasını sağladığını raporlamışlardır.

4.2.2. Optimum modelin oluşturulması ve doğrulanması

Seçilen yanıtların en iyi şekilde tahminine imkân sağlayan modelin ikinci derece polinomial model olduğu tespit edilmiş ve matematiksel ifadesi aşağıdaki denklemde (4.1) sunulmuştur.

$$Z = \beta_0 + \sum_{i=1}^3 \beta_i X_i + \sum_{i=1}^3 \beta_{ii} X_i^2 + \sum_{i=1}^2 \sum_{j=i+1}^3 \beta_{ij} X_i X_j \quad (4.1)$$

Yukarıdaki denklemde Z bağımlı değişkeni, X bağımsız değişkeni, β_0 sabit katsayıyı, β_i birinci derece katsayıyı, β_{ii} ikinci derece katsayıyı, β_{ij} ise etkileşim (interaksiyon) katsayısını temsil etmektedir.

Optimizasyon için kuruma hızının azami, esmerleşme indeksinin asgari, a^* değerinin taze biberin kurutma öncesi değerine yakın ve antioksidan aktivitenin azami olacak şekilde hedefler belirlenerek model oluşturulmuştur. Bu şartlara göre oluşturulan model denklemlerine ait katsayılar Çizelge 4.7’de verilmiştir.

Çizelge 4.7. Optimum model için belirlenen denklem katsayıları

Katsayı tipi		Kuruma hızı	a*	BI	ABTS
Sabit (β_0)		-1738	-8.78	+197.20	+71.65
Birinci derece katsayı (β_i)	FS	+47.75	+0.3904	-1.821	öd
	MS	Öd	-0.1369	-0.969	öd
	MT	-32.2	+1.221	-0.303	+0.420
	MB	-146.0	+2.13	-58.0	-42.22
İkinci derece katsayı (β_{ii})	MBxMB	öd	-0.425	öd	+8.61
	MSxMT	öd	+0.01050	+0.0666	öd
Etkileşim katsayısı (β_{ij})	MTxFS	öd	-0.02114	öd	öd
	MTxMB	+11.47	öd	-0.548	öd
	MBxFS	öd	öd	+0.935	öd

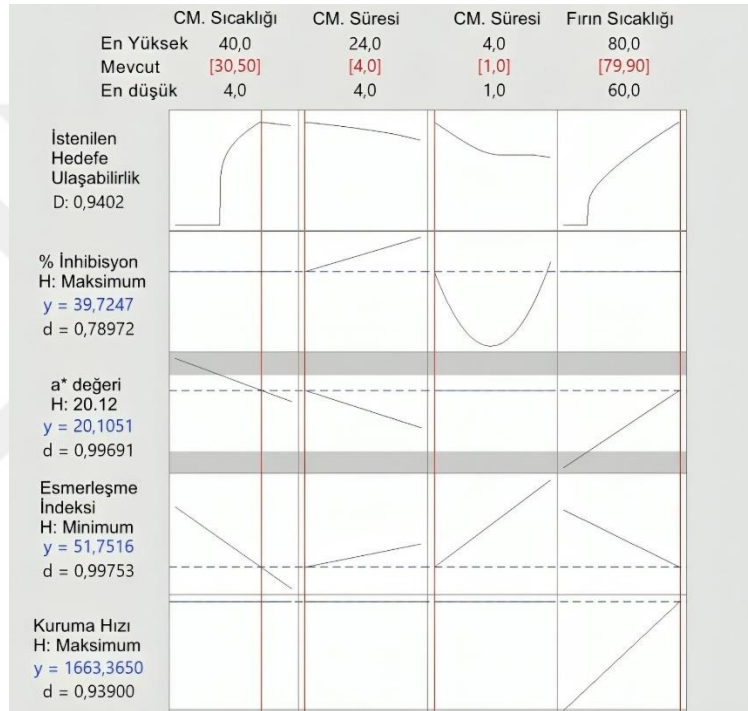
FS: Fırın sıcaklığı, MS: Maserasyon sıcaklığı, MT: Maserasyon süresi, MB: Maserasyon basıncı, öd: istatistiksel olarak önemli değil ($p>0.05$).

Karbonik maserasyon ön işlemi ile kuru kopya biber üretimi için en yüksek kuruma hızı, en düşük esmerleşme indeksi, en yüksek antioksidan aktivite ve başlangıç değerine en yakın a^* değerine ulaşmayı sağlayan optimum karbonik maserasyon parametreleri ve kurutma fırın sıcaklığının tespitinde istenebilirlik fonksiyonu yaklaşımından yararlanılmıştır. Birden fazla yanıt içeren proses koşullarının optimizasyonu için sıkça uygulanan metotlardan biri olan istenebilirlik fonksiyonunun bir ifadesi olarak bileşik istenebilirlik değeri, optimum noktaların tespitinde dikkate alınmıştır. Bileşik istenebilirlik (compozite desirability) parametresi (d), 0 ile 1 arasında değer almakta olup, hedef değere ulaşmadaki başarı arttıkça d değeri 1'e yaklaşmakta; tersi olarak başarı azaldıkça değer sıfıra yaklaşmaktadır. İstenebilirlik fonksiyonuna göre belirlenen optimum proses şartları Çizelge 4.8'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.8. Kurutma ve CM için optimum değerler

Parametre	Optimum değer
Maserasyon sıcaklığı (°C)	30.5
Maserasyon süresi (saat)	4
Maserasyon basıncı (bar)	1
Fırın sıcaklığı (°C)	79.9
d (compozite desirability)	0.94

Yanıtların bireysel ulaşılabilirlik değerleri Şekil 4.1’de gösterilmiştir.



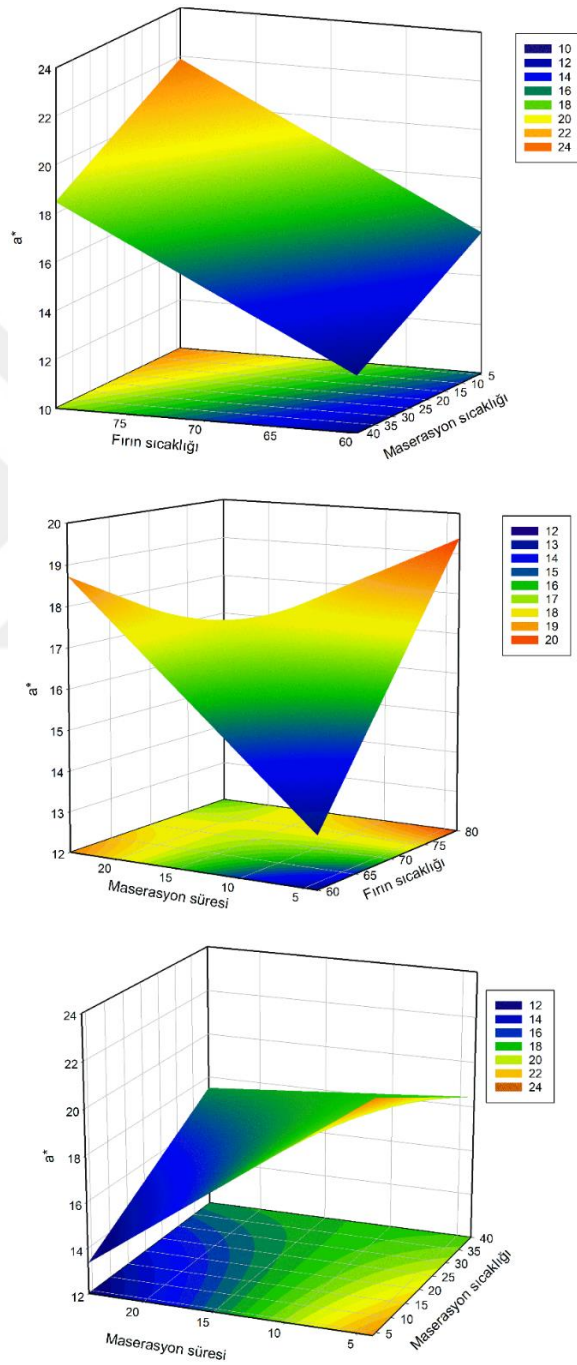
Şekil 4.1. Yanıtların optimum noktaları ve ulaşılabilirlik değerleri

İstenen hedefe ulaşılabilirlik değeri 0.94 olarak bulunmuş olup; proses koşullarının hedeflenen değeri karşılamadaki başarısının yaklaşık %94 düzeyinde olduğunun bir ifadesidir.

Optimizasyon işlemleri tam kuru ürünlere göre gerçekleştirilmiştir. Yarı kuru ürünler için ayrı bir optimizasyon işlemine, zaman ve işgücü kaybına neden olmasının yanında aynı kuruma evrelerine denk gelmesi

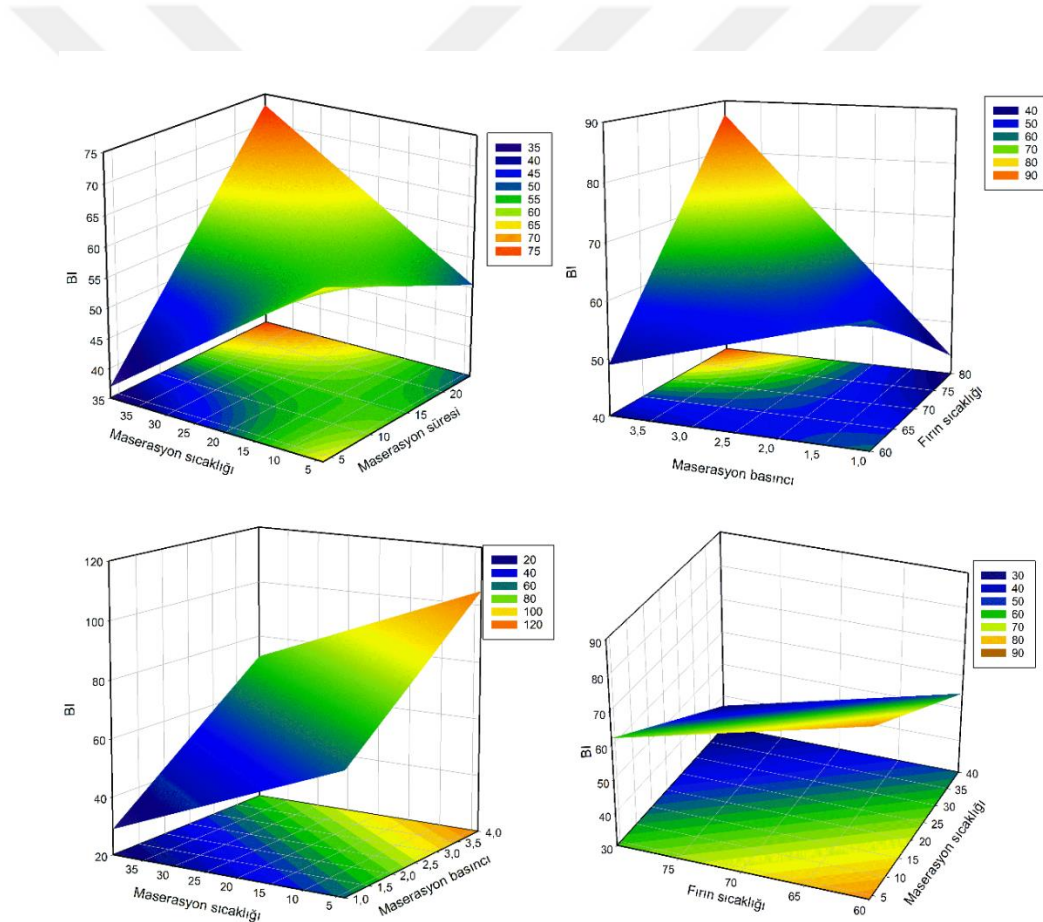
ve yaklaşık olarak aynı sonuçların alınmasının öngörülmesi sebebiyle gerek olmadığı kanaatine varılmıştır.

Çizelge 4.7'deki katsayı ağırlıkları da dikkate alınarak hazırlanan RSM grafikleri Şekil 4.2, Şekil 4.3 ve Şekil 4.4'te gösterilmektedir.



Şekil 4.2. Fırın sıcaklığı ve maserasyon koşullarının a^* değerine etkisine ait yanıt yüzey grafiği

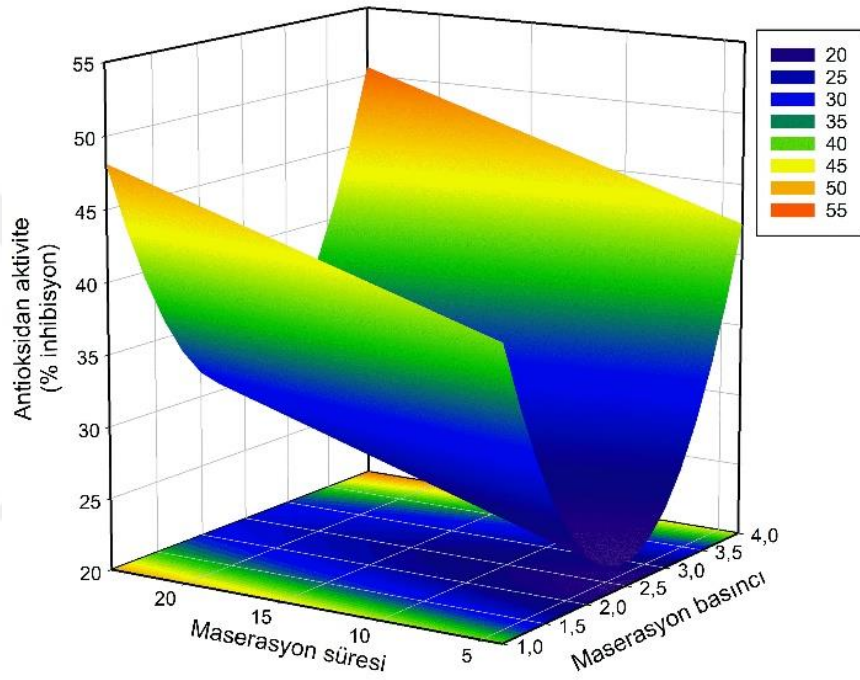
Şekil 4.2' de yer alan grafikler incelendiğinde fırın sıcaklığı sabit tutulup maserasyon sıcaklığı artırıldığında a^* değerinin hedef seçilen noktaya daha çok yaklaştığı; maserasyon sıcaklığı artarken fırın sıcaklığının artışının da a^* değerinin istenen hedefe ulaşmasını sağladığı görülmektedir. CM süresi artarken fırın sıcaklığının artması durumunda a^* değeri hedef noktaya yaklaşmaktadır. Ancak optimum fırın sıcaklığı değerinde düşük süreli maserasyon ile aynı etki sağlanabilmektedir. CM süre ve sıcaklığının birlikte arttığı durumlarda a^* hedef değerinden uzaklaşmakta; optimum CM sıcaklığında sürenin kısılması ile hedef a^* değerini elde etmek mümkün olmaktadır.



Şekil 4.3. Fırın sıcaklığı ve maserasyon koşullarının esmerleşme indeksine etkisine ait yanıt yüzey grafiği

Şekil 4.3' ten anlaşıldığı üzere, maserasyon sıcaklığı ve maserasyon süresinin aynı anda artması BI değerini yükseltmektedir. Optimum CM

sıcaklığında sürenin artması olumsuz etki göstererek BI değerinde artışa neden olmaktadır. Optimum fırın sıcaklığında CM basıncının artışı BI değerini yükseltmektedir. CM sıcaklığı için de benzer durum geçerli olup optimum CM sıcaklığında CM basıncının artması ile BI değerinde artış meydana gelmektedir. Fırın sıcaklığı ve CM sıcaklığının eşzamanlı yükselmesi ise BI değerini düşürücü etki göstermektedir.



Şekil 4.4. Maserasyon koşullarının antioksidan aktiviteye etkisine ait yanıt yüzey grafiği

Yukarıdaki grafiğe göre (Şekil 4.4) antioksidan aktiviteye CM süre ve basıncının birlikte etksi incelendiğinde; sabit maserasyon süresinde basıncın alt ve üst sınır değerlerinde en iyi antioksidan aktivite değerlerinin elde edildiği anlaşılmaktadır. CM basıncı sabit iken CM süresinin uzaması antioksidan aktiviteye olumlu etki göstererek artmasını sağlamaktadır.

Optimum model ile tahmin edilen sonuçlara göre deneysel sonuçların olması gereken sınır değerlerini gösterir güven ve tahmin aralıkları

Minitab paket programı kullanılarak hesaplanmış olup Çizelge 4.9'da verilmiştir.

Çizelge 4.9. Model parameterlerinin güven ve tahmin aralıkları

Parametre	Deneysel değer	%95 güven aralığı	%95 tahmin aralığı
% ABTS inhibisyon	39.72±3.68	32.14-47.31	28.01- 51.44
a* değeri	20.12±0.83	18.40-21.85	17.93-22.31
Esmerleşme indeksi (BI)	51.56±6.16	38.76-64.35	35.60-67.51
Kuruma hızı	1668.4±40.5	1584.8-1751.4	1464.1-1872.2

Belirlenen optimum proses koşullarına göre karbonik maserasyon ön işlemi uygulanarak dört ayrı kurutma işlemi tekrarlanmıştır. Bu dört optimum doğrulama kurutmasının referansı olarak kontrol kurutması da gerçekleştirilmiştir. Bu kurutmalara ait sonuçlar Çizelge 4.10'da verilmiştir.

Çizelge 4.10. Doğrulama kurutmalarına ait sonuçlar

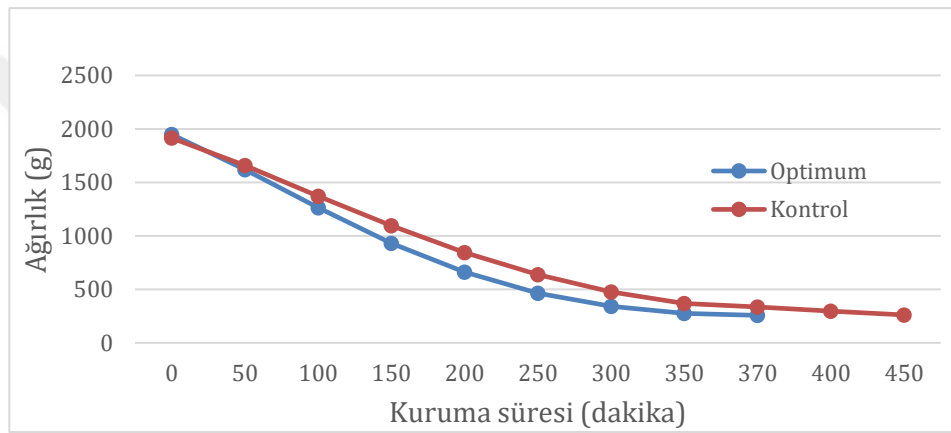
Yanıt	Optimum	Kontrol
Kuruma süresi (dk)	372±12 ^b	450±19 ^a
Kuruma hızı (g su/kg km.h)	1358.3±28.7 ^a	1212.3±36.4 ^b
a* değeri	20.28±0.82 ^a	20.16±0.96 ^a
Esmerleşme indeksi	89.39±2.56 ^a	72.38±3.94 ^b
Antioksidan aktivite (ABTS, % inhibisyon)	42.05±1.56 ^a	30.32±1.87 ^b

Aynı satırda farklı harfle gösterilen ortalamalar birbirinden farklıdır (p≤0.05).

Doğrulama aşamasında üretilen ürünlerde gerçekleştirilen analiz sonuçlarından elde edilen değerler, tahmin değerlerine yakın olup kuruma hızı ve esmerleşme indeksi harici değerler, güven aralığında kalmıştır. Kuruma hızı ile ilgili olarak biberin canlı bir materyal olması; aynı çeşit ve sera koşullarında örnek alınmasına rağmen anlık iklim (güneşli gün sayısı, hava nemi, gece/gündüz sıcaklık farkı vb.) ve kültürel (sulama, gübreleme vb.) koşullar sebebiyle farklılık bulunmuş;

ancak yine de karbonik maserasyon ön işleminin kontrol grubuna kıyasla kuruma hızını arttırıcı etki gösterdiği net olarak görülmüştür.

Çalışmamızda optimum kurutma sıcaklığı olan 79.9°C'de bütün halde kurutulan kontrol grubu kapy biberlerin kuruma süresi 450 dakika olarak tespit edilirken, CM ön işlemini takiben kurutulanlar için ise bu süre 372 dakika olarak bulunmuştur. Diğer bir deyişle; CM ön işlemi kapy biberlerin kuruma süresinde %17,3 seviyesinde azalma sağlamıştır (Şekil 4.5).



Şekil 4.5. Optimum ve kontrol kurutmalarına ait kuruma eğrileri

Kapy biberlerin 1.5x1.5 cm doğrandıktan sonra %0.5 sodyum hidroksit ve %4 zeytinyağı+%5 potasyum karbonat içeren çözeltilere daldırma ön işlemi ile kurutuldukları bir çalışmada (Kılıç ve Calam, 2020), 50 ve 60°C sıcaklıkta kurutulan kontrol grubu biberlerin kuruma süreleri sırasıyla 420 ve 330 dakika olarak bulunmuştur. Boyut küçültme işleminin kurumayı hızlandırıcı etkisi dikkate alındığında; tez çalışmasında boyut küçültme olmaksızın elde edilen sürelerin makul olduğu düşünülmektedir.

Kapy bibere şekil itibariyle benzerlik gösteren macar tipi biberlerin şerit olarak doğranarak kurutulduğu bir çalışmada (Vega-Gálvez vd., 2008), 80°C sıcaklıkta konvektif fırınlarda kurutulan biberlerin kuruma

süreleri 380 dakika olarak tespit edilmiştir. Boyut küçültmenin kuruma süresini azaltıcı etkisi de gözönüne alındığında çalışmamızda elde edilen kuruma süreleri makul düzeydedir. Kırmızı şili biberlerin bütün halde 70°C sıcak hava fırınında kurutulduğu bir başka çalışmada (Anjaneyulu vd., 2022), kuruma süresi 480 dakika olarak belirlenmiştir. Benzer şekilde, Bhut jolokia tipi bütün biberlerin 70°C'deki kuruma süresi 810 dakika olarak bulunmuştur (Kennao vd., 2020).

Nuroğlu (2016), manyetik alan düzeneği yerleştirdiği etüvlerde 60-70°C sıcaklıklarda kırmızıbiber kurutma işlemi gerçekleştirmiştir. Başlangıçta %90 nem içeriğine sahip kırmızıbiberlerin nem oranının %8,5'e düşürülmesi için gereken kuruma süresini 15 saat olarak belirlemiştir. Bu yönden bakıldığında çalışma kapsamında hem kontrol hem de CM ön işlemi uygulanarak kurutulan kırmızıbiberlerin kuruma süresi bariz şekilde düşük ve avantajlıdır.

Kırmızı dolmalık biberlerin 50°C'de konvektif fırında kurutulduğu bir çalışmada; kontrol grubu meyvelerin kurutulması için geçen süre 810 dakika olarak kaydedilirken, ultrases ön işlemine tabi tutulduktan sonra kurutulanlar için süre 666 dakika bulunmuştur (Rybak vd., 2022). Ultrases ön işleminin kurutma süresinde sağladığı azalma yaklaşık %18 iken bizim çalışmamızda yaklaşık %17 olarak tespit edilmiştir. Kurutma süresinde CM ön işlemi ile elde edilen azalma, ultrases ile sağlanan azalmaya eşdeğer düzeydedir.

Phomkong vd. (2010) kapyra biber ile benzer morfolojik özelliklere sahip bir biber çeşidinin (Huarou Yon) kurutulması ile yapmış oldukları çalışmada; esmerleşme önleyici çözeltilere daldırma şeklinde ön işleme tabi tuttıkları meyveleri 70°C'de tepsili kurutucuda kurutmuşlardır. Kontrol grubu biberlerin kurutulması 504 dakika sürer iken, en avantajlı süre 426 dakika ile sodyum metabisülfid ve kalsiyum klorürün birlikte uygulandığı daldırma çözeltisi uygulandıktan sonra kurutulan meyvelerde elde edilmiştir. Kuruma süresinin azalması yönünden

sağlanan avantaj yaklaşık %15 olup, her ne kadar farklı bir ön işlem olsa da çalışmamızda benzer avantajlar yakalanmıştır.

Ön işlem olarak çözeltiye daldırma metodunun uygulandığı bir diğer çalışmada (Doymaz ve Kocayığit, 2012), etil oleat ve sitrik asit çözeltilerine daldırılmalarını takiben çarliston tipi kırmızıbiberler kabin tipi kurutucularda kurutulmuştur. Çalışılan en yüksek sıcaklık olan 70°C’de kurutulan kırmızı biberlerin kuruma süreleri kontrol grubu için 495 dakika olarak hesaplanırken; etil oleat ve sitrik asit çözeltilerine daldırıldıktan sonra kurutulanlar için ise sırasıyla 375 ve 330 dakika olarak bulunmuştur.

Modeldeki antioksidan aktivite ve başlangıç a^* değerlerinin güven aralığında kalması; kuruma hızının da kontrol grubuna göre yüksek çıkması ($p<0.05$) ile modelin geçerliliği doğrulanmış olup; optimum şartlarda CM ön işlemi uygulanarak ve kontrol grubu (CM uygulanmaksızın) olmak üzere iki farklı nem düzeyine sahip ürünler üretilerek depolama dönemi başlatılmıştır.

4.3. CM Ön İşleminin Kuru Ürün Özelliklerine Etkileri

4.3.1. Renk değerleri ve fiziksel özellikler

Depolama için üretilen ürünlerin ve taze meyvenin bazı renk parametrelerine ait değerler, Çizelge 4.11’de özetlenmiştir. Bu değerler aynı zamanda depolama analizinde ölçülmüş olan değerler için referans teşkil etmektedir. Toplam renk farkı ve esmerleşme indeksi değerleri L^* , a^* ve b^* değerlerinin ortalamalarından tek bir değer olarak türetilmiştir. Tam ve yarı kuru ürünlerin üretimi için kullanılan biberlerin başlangıç renk değerleri farklı olduğu için sonuçlar ayrı olarak verilmiştir.

Çizelge 4.11. Taze, tam ve yarı kuru kapy biberlere ait renk değerleri

Ürün tipi	Parametre	Taze meyve	Optimum	Kontrol
Tam kuru	L*	40.92±0.46 ^a	31.56±0.65 ^b	26.29±0.40 ^c
	a*	28.19±0.42 ^a	26.27±1.01 ^a	22.62±1.19 ^b
	b*	11.78±0.76 ^{ab}	13.09±0.29 ^a	10.71±0.62 ^b
	Kroma	30.27±0.46 ^a	29.37±0.81 ^a	25.03±1.34 ^b
	Hue	22.95±1.17 ^b	26.58±1.32 ^a	25.32±0.11 ^{ab}
	ΔE	-	9.06 ^b	16.07 ^a
	BI	-	106.20 ^b	108.55 ^a
Yarı kuru	L*	31.56±0.42 ^a	26.57±0.29 ^b	25.97±0.82 ^b
	a*	25.26±0.03 ^a	20.49±0.36 ^b	19.21±0.44 ^c
	b*	12.01±0.05 ^a	8.59±0.59 ^b	10.82±0.70 ^a
	Kroma	27.99±0.04 ^a	22.23±0.46 ^b	22.07±0.54 ^b
	Hue	25.55±0.01 ^b	22.70±1.33 ^c	29.33±1.64 ^a
	ΔE	-	7.40 ^b	8.69 ^a
	BI	-	90.13 ^b	103.13 ^a

ΔE: Toplam renk farkı, BI: Esmerleşme indeksi, aynı satırda farklı harfle gösterilen ortalamalar birbirinden farklıdır (p≤0.05).

Siyah (0) ve beyaz (100) arasında renkteki açıklık/koyuluğun bir göstergesi olan L* değeri hem tam hem de yarı kuru ürünler için CM uygulanan gruplarda kontrol gruplarına kıyasen daha yüksek bulunmuştur. CM uygulanması takiben kurutulan tam kuru kapy biberlerin L* değeri 31.56±0.65 iken, kontrol grubu için aynı değer 26.29±0.40 olarak bulunmuştur. Taze meyve ile karşılaştırıldığında L* değerinde CM grubu için yaklaşık %23 azalma görülürken, kontrol grubunda bu azalma yaklaşık %36'dır. Yarı kuru ürünler için ise azalma her iki grupta da aynı seviyede olup %15 civarındadır. Bu durum kurutma işleminin erken bitmesi sebebiyle yarı kuru ürünlerin ısıya daha az maruz kalması ile açıklanabilir. Kapy biberin orijinal L* değerine en yakın değer CM ön işlemine tabi tutulan biberlerde

bulunmuştur. Şeker içeriği görece yüksek olan kapy biber için L^* değerinin esmerleşmeye bağlı olarak azalması beklenen bir sonuçtur. Isıl hassasiyeti düşük pigmentlerin koyu renkli bileşiklere dönüşümü, askorbik asit degradasyonu ve enzimatik olmayan esmerleşme reaksiyonları ürünlerinin oluşumu ile oluşan renk kayıpları, L^* değerinde azalmaları beraberinde getirmektedir (Alamu vd., 2024).

Farklı sıcaklıklarda ön işlemsiz olarak konveksiyonel fırınlarda (Vega-Gálvez vd., 2009; Arslan ve Özcan, 2011; Yang vd., 2018; Pınar vd., 2021) ve güneşte (Ergüneş ve Tarhan, 2006) kurutulan kırmızı biberlerde de L^* değerinin taze meyveye kıyasla daha düşük bulunması bu sonucu doğrulamaktadır. Tam tersi olarak taze halde iken L^* değeri 37.22 olan yeşil biberlerin 70°C'de kurutulması ile L^* değeri 40.59'a yükselmiş olup (Guiné ve Marroca, 2012) başlangıç rengine kıyasla bir renk açılmasından söz etmek mümkündür.

Uzun kurutma süreleri L^* değerini düşürerek renkte koyulaşmaya neden olurken, ısı ön işlemler renkte aşırı açılmaya yol açarak arzu edilmeyen şekilde L^* değerini yükseltmektedir. Nitekim taze halde L^* değeri 33.1 olarak tespit edilen kırmızı biberlerin suda ve buharda haşlandıktan sonra kurutulması sonrasında L^* değerleri 38.1-43.6 aralığında bulunmuştur (Krzykowski vd., 2018). Bu yönüyle CM ön işlemi, ısı ön işlem sonucu renkte açılma probleminin çözümüne bir alternatif olma potansiyeline sahiptir.

Kapya gibi tatlı biber çeşitlerinin nispeten yüksek şeker içeriği sebebiyle enzimatik olmayan esmerleşme reaksiyonuna diğer biber çeşitlerine kıyasla daha hassas olduğu varsayımıyla, kurutma sırasında zaten yoğun ısıya maruz kalacak olan biberlerin CM ön işlemi sayesinde ikinci bir ısı yüküne maruz kalmasının önüne geçilmesi mümkün görünmektedir.

Kırmızılığın bir ifadesi olup benzer meyvelerde önemli bir kalite göstergesi olan a^* değeri açısından durum irdelendiğinde, taze biberlerin 28.19 ± 0.42 olarak ölçülen değeri, kontrol grubu tam kuru kopya biberler için 22.62 ± 1.19 iken CM ön işlemine tabi tutularak kurutulan tam kuru biberler için 26.27 ± 1.01 'dir. Kırmızıbiberlerde renkten sorumlu baskın karotenoitlerin kurutma sırasındaki ısı etkisiyle parçalanması ve kırmızı renk değerinde azalma meydana gelmesi beklenen bir durum olup, literatürde bu olguyu kanıtlayan çalışmalar mevcuttur (Kaleemullah ve Kailappan, 2006). Nitekim karotenoit madde miktarı ile a^* değeri arasında güçlü bir korelasyon olduğunu kanıtlayan araştırmalara da rastlanmıştır (Itle ve Kabelka, 2009; Yang vd., 2018). Kırmızılıktaki azalmanın görsel ifadesi olan a^* değerindeki başlangıç değerine göre azalma kontrol grubu biberlerde %19.7 iken CM ön işlemine tabi tutulduktan sonra kurutulanlarda %6.8 olarak belirlenmiştir. CM ön işlemi, kopya biberlerin a^* değerinin taze meyveye kıyasla korunmasına önemli ölçüde etki göstermiştir. Bu durum CM ön işlemi ile sağlanan kısa kuruma süresi ile karotenoit madde yıkımının azalması ile açıklanabilir. Ortamdaki karbondioksitin, oksijenin nispi oranını düşürücü etkisi ile oksidatif yıkımı yavaşlatıcı etki sağlaması da muhtemeldir. Alamu vd. (2024) güneşte kuruttukların kırmızıbiberlerin a^* değerinin, taze meyveye kıyasla %21 ile 32 arasında değişen oranlarda azaldığını raporlamıştır.

Çalışmamız kapsamında CM ön işlemi ile kırmızı rengin korunumunda sağlanan başarıya benzer sonuçlar, vurgulu elektrik alan ön işleminin uygulandığı kurutma çalışmalarında da elde edilmiştir (Wiktor vd., 2016; Rybak vd., 2022).

Kırmızı biberde ön işlem uygulamaksızın yapılan kurutmalarda (Pınar vd., 2021), 60 ve 80°C sıcaklıklarda konveksiyonel fırınlarda kurutulan meyvelerin başlangıç a^* değerlerine göre azalış sırasıyla %63.1 ve 74.2 gibi oldukça yüksek düzeyde gerçekleşmiştir. Başka bir çalışmada (Arslan ve Özcan, 2011) yine kırmızı biber için 50 ve 70°C'de

gerçekleşen konveksiyonel kurutmalarda a^* değeri azalışları %25.9 ve 44.4 olarak bulunmuştur. Diğer bir araştırma sonucu da (Yang vd., 2018) 60, 70 ve 80°C sıcaklıklar için % 44-53 azalış olduğu yönündedir. Bu çerçeveden bakıldığında zaman CM ön işlemi ile a^* değerinde sağlanan azalış; kabul edilebilir hatta başarılı seviyededir.

Taze biber ile karşılaştırıldığı zaman kontrol grubu biberlerin b^* değerlerinin gerek tam kuru gerekse yarı kuru ürün için azalış gösterdiği anlaşılmaktadır. Optimum koşullarda kurutulan biberler için tam kuru ürünlerin b^* değeri (13.09 ± 0.29) ise taze biberin sahip olduğu değerden (11.78 ± 0.76) daha yüksek bulunmuştur. Yarı kuru ürünler için ise taze biberde 12.01 ± 0.05 olarak ölçülen b^* değeri, CM ön işlemi sonrası kurutulan ürünler için 8.59 ± 0.59 ve kontrol grubu ürünler için 10.82 ± 0.70 olarak tespit edilmiştir. CM ön işlemi b^* değeri açısından tam ve yarı kuru ürünlerde farklı etki göstermiştir.

CM ön işlemi uygulanan tam ve yarı kuru örneklerde b^* değerinin kontrole göre yüksek olmasının muhtemel sebebinin, CM işleminin pigment oluşumunu sağlayan bazı reaksiyonları tetiklemesi olduğu düşünülmektedir. Literatürde ise kuru kırmızıbiberlerin b^* değerlerinin taze biberin b^* değerleri ile olan ilişkisi konusunda farklı görüşler mevcuttur. Isıl ön işlem uygulamasını takiben kurutulan kırmızıbiberlerin b^* değerinin taze biber göre yükseldiğini bildiren çalışmalar vardır (Krzykowski vd., 2018). Ön işlem görmeksizin konveksiyonel fırınlarda kurutulan kırmızıbiberlerin b^* değerleri, taze biberin b^* değerlerine yakın bulunduğu çalışmaların yanında (Vega-Gálvez vd., 2009; Arslan ve Özcan, 2011) yükselme gösterdiğini rapor eden çalışmalar da mevcuttur (Khetov vd., 2021). Pınar vd. (2021) ise farklı tekniklerle ön işlemsiz kuruttukları kırmızıbiberlerin b^* değerlerinin tüm teknikler için taze biberin sahip olduğu b^* değerinden düşük olduğunu rapor etmişlerdir. Tüm bu çalışmalar ve tez kapsamında elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde kurutma ve CM ön işleminin b^* değerlerinde tutarlı sonuçlar vermediği; kuru kırmızıbiber

ile ilgili çalışmalarda görsel rengin kalitesi açısından en çok ele alınan esas parametrenin kırmızılık ile ilişkili olan a^* olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Kroma değerleri incelendiğinde tam kuru ürünler için taze kopya biberde 30.27 ± 0.46 olan değer CM ön işleminden sonra kurutulan biberlerde 29.37 ± 0.81 ve kontrol grubu için 25.03 ± 1.34 olduğu tespit edilmiştir. Yarı kuru ürünlerde taze, CM ön işlemlili ve kontrol grubu kuru kopya biber için ölçülen değerler sırasıyla 27.99 ± 0.04 , 22.23 ± 0.46 ve 22.07 ± 0.54 ' dir. Yarı kuru ürünler için CM ön işleminin kontrol grubu ile kıyaslandığında kroma değeri üzerine istatistiksel anlamda önemli bir etkisi bulunmamıştır. Tam kuru ürünlerde ise CM ön işleminden sonra kurutulan biberlerin kroma değerleri kontrol grubuna göre istatistiksel olarak önemli düzeyde yüksektir. Literatürde kurutma işleminin kırmızı biberlerde kroma değerini azalttığını destekleyen bulgular mevcuttur (Alamu vd., 2024). İlgili çalışmadaki kroma değerindeki azalma %31-38 aralığında olup, tez çalışmasındaki bulgular bu değerlerin altında kalmıştır.

Her iki nem düzeyi için kuru ürünlerin kroma değerleri, taze biberin sahip olduğu değerden düşüktür. Ancak tam kuru ürünlerde CM ön işlemine sahip ürün ile taze biberin kroma değeri ile olan fark istatistiksel olarak önemsizdir.

Hue açısı a^* ve b^* değerlerine göre çizilen bir koordinat ekseninden hesaplanan bir değer olup 0 ile 360 arasında değer almaktadır. Kırmızı renk 0°'lik açıyı ifade ederken 90° açı değeri sarı rengi temsil etmektedir. Taze biberde 22.95 olarak ölçülen Hue açısı, CM ön işlemlili kuru biberlerde 26.58 ve kontrol grubu kuru biberde 25.32 olarak ölçülmüştür. Yarı kuru ürünlerde ise bu değerler sırası ile 25.55, 22.70 ve 29.33 olarak tespit edilmiştir. Yarı kuru ve CM ön işlemi ile kurutulan biberler hariç tüm grupların Hue değeri taze meyveye göre yüksek bulunmuştur. Bu durum, ısı etkisi ile oluşan karotenoid madde

degradasyonu ve Maillard reaksiyonu ile açıklanabilir. Kırmızı biber ile ilgili benzer bir çalışma da bu bulguyu desteklemektedir (Vega-Gálvez vd., 2009). Alamu vd. (2024) de, kabin kurutucuda kuruttukları kırmızıbiberlerin Hue açısı değerlerinin %6-15 arasında; güneşte kurutulanların ise %2-12 arasında arttığını bildirmiştir.

Toplam renk farkı (ΔE), kromatik koordinatlara göre yüzey rengindeki değişimin ifadesi olup; düşük bulunması, rengin ilk haline olan yakınlığı ifade etmektedir. Değişikliğin farkedilme sınırlarının sayısal değerleri olarak; 0-0.5 aralığının hissedilemeyen, 0.5-1.5 aralığının hafif bir farka, 1.5-3.0 gözle farkedilebilen farkı, 3.0-6.0 belirgin farkı, 6.0-12.0 son derece belirgin farkı ve 12.0 farklı bir renk tonunu ifade ettiği bildirilmiştir (Alamu vd., 2024).

Tam kuru ürünlerde CM ön işlemlili grubun ΔE değeri 9.06 iken kontrol grubunda bu değer 16.07 olarak hesaplanmıştır. Yarı kuru ürünler için bu değerler sırasıyla 7.40 ve 8.69 olarak bulunmuştur. CM ön işlemi, kapa biberin L^* , a^* ve b^* olmak üzere her üç parametreye göre belirlenen renginin, orijinal değerine yakın kalmasını sağlamış olup kontrol grupları ile aralarında önemli farklılıklar bulunmaktadır ($p \leq 0.05$). Yarı kuru ürünlerin ΔE değerleri, ısıya daha az süre ile maruz kalmanın bir avantajı olarak tam kuru ürünlerden daha düşük bulunmuştur. Literatürde uzayan kuruma sürelerinin kuru ürünlerin ΔE değerini yükselttiğinden bahsedilmesi (Alamu vd., 2024), bulguları doğrulamaktadır.

Pınar vd. (2021) 80°C' de konveksiyonel fırınlarda ön işlemsiz olarak kuruttukları iki farklı kırmızıbiber çeşidinin ΔE değerlerini sırasıyla 22.78 ve 29.68 olarak tespit etmişlerdir. Şekil itibariyle kapa bibere oldukça benzer olan kırmızı biberlerle ilgili başka bir çalışmada da (Kowalski ve Mierzwa, 2011) 55°C'de fırında kurutma sonucu elde edilen ürünlerin ΔE değeri 24.61 olarak tespit edilmiştir. Yine başka bir araştırmada 60°C'de sıcak hava fırınında kurutulan kırmızı dolmalık

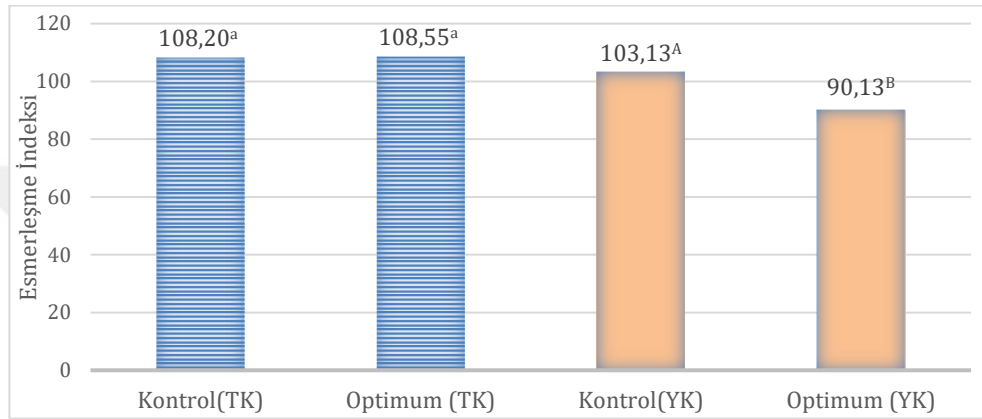
biberler için 52.01 değeri bulunmuştur (Khetov vd., 2021). Tez kapsamında elde edilen değerler bu değerlerin oldukça altında kalmıştır. Liu vd. (2014) şili tipi acı biberleri CM ön işlemi sonrası kuruttukları çalışmalarında, CM ön işlemi sonrası kurutulan şili biberlerin ΔE değerlerinin kontrol gruplarından daha düşük kaldığını tespit etmişlerdir. Tez sonuçları, bu bulgu ile uyum içindedir.

Mikrodalga fırınlarda kurutulan kırmızıbiberlerin ΔE değerleri 150, 300 ve 450 watt fırın gücü için sırasıyla 29.27-32.86, 26.03-31.86 ve 22.48-24.10 olarak bulunmuştur (Arslan vd., 2020). Tez kapsamında konveksiyonel fırınla yapılan kurutma, rengin korunumu açısından mikrodalga kurutmada daha üstün sonuçlar vermiştir.

Krzykowski vd. (2018) tarafından kırmızıbiberlerin kurutulduğu bir çalışmada ısı ön işlemlere tabi tutularak kurutulan biberlerin ΔE değerleri, kontrol gruplarına kıyasla daha yüksek bulunmuştur. Benzer şekilde dondurarak kurutma tekniği ile kurutulan kırmızı dolmalık biberlerde toplam renk farkı (ΔE) değerine sıcak su ve buharla haşlama, ultrases, vurgulu elektrik alan olmak üzere farklı ön işlemlerin etkisinin incelendiği bir çalışmada (Rybak vd., 2021), kontrol gruplarının ΔE değerleri, muamele gruplarından daha düşük tespit edilmiştir. Başka bir deyişle bahsedilen ön işlemler, taze ile kuru ürün arasındaki renk farkının artmasına neden olmuştur. Tez çalışması kapsamında uygulanan CM ön işlemi bahsedilen çalışmadaki ön işlemlerin etkisinin aksine, ΔE değeri üzerine olumlu etki göstermiş; CM uygulandıktan sonra kurutulan kapa biberlerin ΔE değerleri, kontrol gruplarından daha düşük bulunmuştur. Başka bir ifadeyle CM ön işlemi, elde edilen kuru ürünün renginin orijinal meyve rengine daha yakın olmasına katkı sağlamıştır. Bunun en önemli nedeninin CM ön işlemi ile karoteonit degradasyonunda sağlanan azalma olduğu düşünülmektedir.

Esmerleşme indeksi (BI) analizi sonuçlarına göre CM ön işlemi sonrası tam kuru olarak kurutulan kapa biberlerin BI değeri 108.20 iken

kontrol grubu için 108.55 olarak hesaplanmıştır. Bu bağlamda CM ön işlemi tam kuru ürünler için BI üzerine önemli bir etki göstermemiştir ($p>0.05$). Yarı kuru ürünler için ise ön işlem gören grubun BI değeri 90.13 iken kontrol grubunun BI değeri 103.13 olarak bulunmuştur (Şekil 4.6). CM ön işlemi, tam kuru ürünlerin aksi olarak yarı kuru ürünlerin BI değerlerinde istatistiksel olarak önemli bir düşüş sağlamıştır ($p\leq 0.05$).



TK: Tam kuru, YK: Yarı kuru

Farklı harflere sahip ortalamalar istatistiksel olarak birbirinden farklıdır ($p\leq 0.05$).

Şekil 4.6. Kuru kapa biberlerin esmerleşme indeksi değerleri

Yarı kuru ürünlerde esmerleşme indeksi üzerinde CM ön işleminin sağladığı başarının tam kuru ürünlerde görülememesinin sebebinin, uzayan kuruma sürelerinin neden olduğu karotenoit madde yıkımı gibi kimyasal reaksiyonlar olduğu düşünülmektedir. Çalışmamızda BI için elde edilen değerlerin, kırmızı biber ile ilgili literatüre uyum gösterdiği tespit edilmiştir (Alamu vd., 2023).

CM ön işleminin taze ve kuru kapa biberlerin pH değeri, nem içeriği ve su aktivitesi (a_w) değerleri üzerindeki etkileri Çizelge 4.12' de özetlenmiştir. Çizelgeden de görüleceği üzere CM ön işlemi pH değerlerinde istatistiksel olarak bir fark oluşturmuş ($p\leq 0.05$), nem ve su aktivitesi değerlerinde ise önemli düzeyde bir fark meydana getirmemiştir ($p>0.05$).

Çizelge 4.12. Taze ve kuru kapy biberlerin bazı fiziksel özellikleri

Ürün	pH	Nem (%)	a _w
Taze meyve	5.03±0.03 ^a	91.72±0.31 ^a	0.909±0.018 ^a
Optimum tam kuru	4.84±0.01 ^c	7.91±0.08 ^c	0.253±0.026 ^c
Kontrol tam kuru	4.92±0.02 ^{bc}	8.60±0.24 ^c	0.266±0.015 ^c
Optimum yarı kuru	4.89±0.01 ^c	22.61±1.09 ^b	0.547±0.014 ^b
Kontrol yarı kuru	4.97±0.03 ^{ab}	21.38±0.90 ^b	0.573±0.010 ^b

Aynı sütunda farklı harflere sahip ortalamalar, istatistiksel olarak birbirinden farklıdır (p≤0.05).

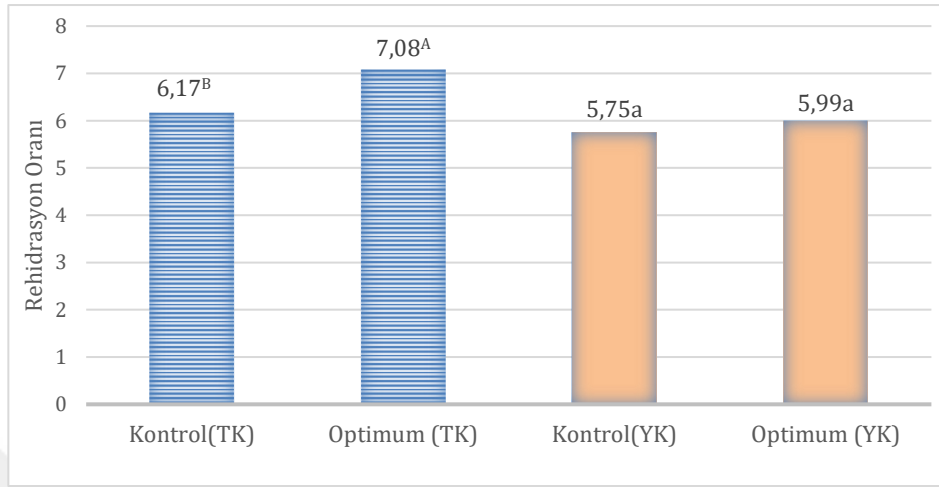
CM ön işlemi gördükten sonra kurutulan tam ve yarı kuru ürünlerin pH değerleri, kontrol grubu ürünlerden daha düşük bulunmuştur. Bu durumun CM ön işlemi sırasında ortamdaki karbondioksitin karbonik aside dönüşmesi neticesinde asit miktarındaki artışın bir sonucu olduğu muhtemeldir. Literatürde de benzer sonuçların bulunduğu çalışmalar mevcuttur (Liu vd., 2014; Zhao vd., 2016).

4.3.2. Rehidrasyon analizi

Kurutulmuş ürünlerin nem kazanarak ağırlıklarının artışı ifade eden rehidrasyon olgusu, kuru ürünlerin kalitesini değerlendirmede önemli bir kriterdir. Rehidrasyon şartları, kurutma yöntemi ve ön işlemler, doku yapısını etkilemek suretiyle kurutulmuş meyve ve sebzelerin eski haline yaklaşma performansı üzerine etki etmektedir (Wang vd., 2023). Kuru ürünlerin rehidre olabilme kapasitelerinin tespitinde kullanılan en önemli indikatörlerden biri rehidrasyon oranı olup, rehidre olmuş ağırlığın kuru ağırlığa bölünmesi ile tespit edilmektedir.

Rehidrasyon analizi sonuçlarına göre (Şekil 4.7) tam kuru kontrol grubu kuru biberlerin rehidrasyon oranı 6.17 iken CM ön işlemi ile kurutulan biberler için bu değer 7.08 olarak bulunmuştur. CM ön işlemi tam kuru biberlerin rehidrasyon oranı istatistiksel olarak önemli düzeyde arttırmıştır (p≤0.05). Yarı kuru ürünler için ise kontrol ve CM ön işlemleri grupların rehidrasyon oranları sırasıyla 5.75 ve 5.99 olarak

tespit edilmiş olup her iki grup arasındaki fark istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur ($p>0.05$)



TK: Tam kuru, YK: Yarı kuru,
Farklı harflere sahip ortalamalar istatistiksel olarak birbirinden farklıdır ($p\leq 0.05$).

Şekil 4.7. Kuru kopya biberlerin rehidrasyon oranları

CM ön işleminin tam kuru kopya biberlerde rehidrasyon oranını artırıcı etkisi, biberlerin maserasyon işlemi sırasında maruz kaldıkları yüksek gaz basıncı etkisi ile yeni oluşan porlar sayesinde daha gözenekli bir yapı kazanmaları ve rehidrasyon sırasında oluşan bu yeni porlar ve kanallar ile su taşınımının kolaylaşması ile açıklanabilir. Benzer sonuçlar Wang vd. (2014) tarafından da bildirilmiştir. Tam kuru ürünlerde rehidrasyon oranının yarı kuru ürünlerden daha yüksek bulunması ise nem gradyeninin yarı kuru ürünlere kıyasla tam kuru ürünlerde daha yüksek olmasının bir sonucudur.

Farklı yöntemlerle kurutulan kırmızıbiberlerin rehidrasyon oranlarının karşılaştırıldığı bir çalışmada (Deng vd., 2018), herhangi bir ön işlem uygulanmaksızın vurgulu vakum, kızılötesi destekli sıcak hava ve normal sıcak hava olmak üzere üç farklı şekilde kurutulan örneklerde en yüksek rehidrasyon oranı değeri 4.48 olarak bulunmuştur. Pınar vd. (2021) mikrodalga, dondurarak kurutma, sıcak hava, sera, gölge ve güneşte gerçekleştirilen kurutmalar sonucu elde ettikleri kuru kırmızıbiberlerin rehidrasyon oranlarını incelemiş olup;

çalışmamız ile aynı sıcaklık derecesi olan 80°C'deki sıcak hava fırınında gerçekleşen kurutmalar sonucunda rehidrasyon oranları 1.63-3.14 arasında tespit edilmiştir. En yüksek rehidrasyon oranı ise dondurarak kurutma yönteminde 7.49 olarak belirlenmiş olup, çalışmamız ile uyum göstermektedir. Bu bulguya göre, tez çalışması kapsamında CM ön işlemine tabi tutulmuş kırmızıbiberlerin rehidrasyon oranı, dondurarak kurutma yöntemine eş değerdir.

Haşlama, ultrases ve vurgulu elektrik alan olmak üzere üç farklı ön işleme tabi tutularak konvektif fırınlarda kurutulan kırmızı dolmalık biberlerin rehidrasyon oranlarının incelendiği bir çalışmada (Rybak vd., 2022), ısıl olmayan yöntemler olan ultrases ve vurgulu elektrik alan ön işlemleri rehidrasyon oranına istatistiksel olarak önemli bir etkide bulunmaz iken sıcak su ile haşlama ön işlemi, rehidrasyon oranını istatistiksel açıdan anlamlı bir şekilde arttırmıştır. Kontrol grubu kırmızı biberlerin rehidrasyon oranı 2.64 iken sıcak su ile haşlandıktan sonra kurutulanların rehidrasyon oranı ise 4.21 olarak bulunmuştur. Ultrases ve vurgulu alan için sırasıyla 2.60 ve 2.87 değerleri elde edilmiştir. Isıl olmayan bir ön işlem olmasına rağmen kontrol grubuna kıyasla rehidrasyon oranını istatistiksel olarak önemli düzeyde arttırması, karbonik maserasyonun diğer ısıl olmayan ön işlemlere nazaran başarılı olduğunu ortaya koymaktadır.

Kurutulmuş kırmızıbiberlerin rehidrasyon performansları ile ilgili literatür araştırmalarında tez çalışmasına kıyasla daha düşük değerlere rastlanmıştır. Konveksiyonel fırında 90°C'de kurutulan tam kuru kırmızıbiberler için rehidrasyon oranı değeri 4.24 olarak bulunmuştur (Vega-Gálvez vd., 2009). Zahoor vd. (2023) ise doğranmış kırmızıbiberleri mikrodalga ile hibrit olarak 50, 60 ve 70°C sıcaklıklarda kuruttukları çalışmalarında rehidrasyon oranlarını 3.50 ile 4.36 aralığında hesaplamışlardır. Wang vd. (2017) yüksek nemli sıcak hava ile haşlama tekniğini ön işlem olarak uyguladıkları bir çalışmada, 65°C'de kuruttukları kırmızıbiberlerin rehidrasyon

oranlarını 1.4 ile 2.5 arasında tespit etmişlerdir. Lechtanska vd. (2015) mikrodalga ve kızılötesi ile ön işlem gördükten sonra kurutulan parça haldeki yeşil biberlerin rehidrasyon oranlarını 2.10 ile 3.20 arasında bulmuşlardır.

Literatür ile kıyaslandığında tez kapsamında elde edilen yüksek rehidrasyon oranları, CM ön işlemi ile oluşturulan doku tahribatının rehidrasyon sırasında suyun bünyeye daha iyi tutunmasını sağlaması ile açıklanabilir. Ayrıca bütün olarak yapılan kurutmanın rehidre ürünün bütünlüğüne olan katkısı ile oluşan pozitif etkiden bahsetmek mümkündür. Başka bir deyişle, taze meyveye uygulanan boyut küçültme işlemlerinin kurutulmuş meyvelerin rehidrasyon performansına bütün olarak kurutulan ürünlere kıyasla negatif etkisinin olduğundan bahsetmek mümkündür. Zira literatürde kesilerek kurutulan ürünlerin kesme şekillerinin dahi rehidrasyon oranlarını değiştirici etkisinin bulunduğu bahsedilmiştir (Wang vd., 2023).

4.3.3. Tekstür analizi

Tam ve yarı kuru kapy biberlerde tekstür analizi kapsamında gerçekleştirilen kabuk direnci ve elastikiyet analizlerine ait sonuçlar Çizelge 4.12’de verilmektedir.

Çizelge 4.13. Kuru kapy biberlerin bazı tekstür değerleri

Ürün tipi	Kabuk direnci (g)	Elastikiyet (mm)
Ön işlemlili tam kuru	2090.2±158.5 ^A	6.56 ±0.63 ^A
Kontrol tam kuru	2428.7±186.1 ^A	4.75±0.85 ^A
Ön işlemlili yarı kuru	946.9±59.7 ^b	6.19±0.73 ^a
Kontrol yarı kuru	1394.1±84.6 ^a	5.29±0.48 ^a

Aynı sütunda farklı harflere sahip ortalamalar, istatistiksel olarak birbirinden farklıdır (p≤0.05).

Tam kuru ürünlerde CM ön işlemi sonrası ürünlerin kabuk direnci 2090.2 g iken kontrol grubu ürünler için aynı özellik 2428.7 g olarak

hesaplanmıştır. Elastikiyet değerleri ise CM işlemine tabi tutulan ürünlerde 6.56 mm iken kontrol grubu için 4.75 mm olarak tespit edilmiştir. CM ön işlemi tam kuru kapy biberlerin kabuk direnci ve elastikiyet değerlerine istatistiksel olarak önemli bir etki göstermemiştir ($p>0.05$). Benzer koşullarda kurutulan kabak meyvesi için 3.99 mm olarak bulunan elastikiyet değeri ile sonuçlar benzerlik göstermektedir. (Grassino vd., 2024)

Yarı kuru ürünler için ise kabuk direnci değerleri ön işlemli ve kontrol grubu ürünlerde sırasıyla 946.9 ve 1394.1 g olarak belirlenmiş olup, iki grup arasındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p\leq 0.05$). Elastikiyet değerleri ise ön işlem gören grup için 6.19 mm iken ve kontrol grubu için 5.29 mm olarak tespit edilmiştir. CM ön işlemi yarı kuru ürünlerin elastikiyet değerleri üzerine istatistiksel olarak anlamlı bir etki göstermemiştir ($p>0.05$).

Farklı tekniklerle kurutulan longan meyvesinin tekstürel özellikleri ile ilgili bir çalışmada (Li vd., 2021) mikrodalga, konvektif ve vakum yöntemi ile kurutulan ürünlerin kabuk dirençleri sırasıyla 4657.57, 3654 ve 4107.50 g olarak ölçülürken elastikiyet değerleri 2.32, 2.54 ve 3.01 olarak hesaplanmıştır.

Literatürde bazı biber kurutma çalışmalarındaki çoğu tekstürel değerler, tekstür profil analizleri ile belirlenmiştir (Wang vd., 2017). Oysa tekstür profil analizi ağızdaki çiğneme işlemini simüle eden iki döngü içermekte olup, çiğnenebilir ürünler için uygulanabilir olan sertlik, esneklik, yapışkanlık, çiğnenebilirlik, sakızımsılık gibi parametreleri içermektedir. Kuru biber gibi rehidre edilmeden çiğnenmesi zor olan ürünler için kabuk direnci, elastikiyet gibi tekil parametrelerin değerlendirmesinin daha uygun olacağı düşünülmektedir. Özçelik vd. (2022) CM ön işleminden sonra ile kurutulan çileklerin kabuk direncini 390.32 ile 1463.77 g arasında tespit etmiştir. Domates ile ilgili başka bir çalışmada, kontrol grubu

kuru domateslerin kabuk direnci 2387 g iken CM ön işlemleri sonrası kurutulan domatesler için 1437 g bulunmuştur (Turgut vd., 2017). Kapsa biber için de CM ön işlemleri gruplarının kabuk dirençleri kontrol gruplarına kıyasla daha düşük bulunmuş olup sonuç literatür ile uyum göstermektedir. Aynı araştırmacılar (Turgut vd., 2018) elastikiyet için ise CM uygulanan domatesler için 5.05 mm değerini bulurken kontrol grubu domatesler için 6.06 mm olarak tespit etmişlerdir. Kapsa biber için bulunan sonuçlar ise CM uygulanan örneklerin elastikiyet değerinin kontrol gruplarından yüksek olduğunu göstermekte olup, aradaki karşıtlığın kapsa biber kabuğunun domatese kıyasla daha kalın olmasından kaynaklı yüksek elastikiyet göstermesi ile ilişkili olabileceği düşünülmektedir.

4.3.4. Kimyasal özellikler

CM ön işleminin kuru kapsa biberlerin kimyasal özelliklerine olan etkilerini belirlemek için tam ve yarı kuru ürünlerin toplam fenolik, askorbik asit, toplam karotenoid miktarları ve antioksidan aktivite değerleri tespit edilerek Çizelge 4.13' te özetlenmiştir.

Çizelge 4.14. Taze ve kuru kapsa biberlerin bazı kimyasal özellikleri

Ürün	TFM	AA	KAR	ABTS
Taze meyve	29.24±0.46 ^a	1261.62±7.22 ^a	3674.23±87.79 ^a	121.61±1.90 ^a
Ön işlemleri tam kuru	11.85±0.04 ^b	130.69±0.60 ^d	3152.45±45.90 ^{bc}	66.84±4.45 ^b
Kontrol tam kuru	8.44±0.16 ^d	78.95±0.49 ^e	2754.49±72.45 ^d	51.03±1.09 ^c
Ön işlemleri yarı kuru	9.66±0.18 ^c	194.77±0.76 ^b	3352.74±56.01 ^b	48.26±1.54 ^c
Kontrol yarı kuru	8.51±0.24 ^d	167.36±0.46 ^c	2942.16±62.25 ^{cd}	45.74±2.11 ^c

TFM: Toplam fenolik miktarı (mg galik asit eşdeğeri/g km), AA: Askorbik asit (mg/100 g km), KAR: Toplam karotenoid miktarı (mg/kg, km), ABTS: Antioksidan aktivite (μmolTE/g km). Aynı sütunda farklı harflere sahip ortalamalar, istatistiksel olarak birbirinden farklıdır (p≤0.05).

Kuru bazda 29.24 mg GAE/g olarak ölçülen taze kapsa biberlerin toplam fenolik (TFM) içeriği, tam kuruluk düzeyindeki ön işlemleri grup için 11.85, kontrol grubu için ise 8.44 mg GAE/g seviyesine düşmüştür.

Yarı kuru ürünler için ise ön işlemlili ve kontrol gruplarının TFM içerikleri sırasıyla 9.66 ve 8.51 mg GAE/g olarak belirlenmiştir. Tam ve yarı kuru ürünlerin her ikisinde de CM ön işlemlili grupların TFM içeriği kontrol gruplarına kıyasla istatistiksel olarak önemli düzeyde yüksek bulunmuştur ($p \leq 0.05$). Kontrol grubunda tam ve yarı kuru ürünler arasında TFM miktarı açısından önemli bir fark tespit edilmemiştir ($p > 0.05$). Bu bağlamda CM ön işlemi, kuru ürünlerin TFM içeriklerinin korunmasına olumlu katkıda bulunmuştur. Bu olumlu etkinin CM ön işlemi ile yapıda oluşan deformasyon ve düşük pH sayesinde ekstrakte edilebilir TFM miktarının artmasını sağlaması ile mümkün olabileceği değerlendirilmektedir.

CM ön işlemlili ürünlerde taze meyveye kıyasla TFM içeriğinde %59 düzeyinde bir azalma meydana gelmiştir. Krzykowski vd. (2018) taze halde iken 14.30 mg GAE/g kurumadde toplam fenolik madde içeren kırmızı dolmalık biberlerin suda haşlama ön işlemini takiben 60°C sıcaklıkta kurutulması ile bu miktarın 10.2 mg GAE/g kurumadde düzeyine indiğini tespit etmişlerdir. Tez çalışmasındaki yüzdesel azalmanın yüksek olmasının nedeninin nispeten yüksek olan kurutma sıcaklığı olduğu düşünülmektedir. Şili biberlerin kurutulduğu bir araştırmada (Orozco vd., 2021) ise taze biberlerin TFM içeriği 131 mg GAE/g iken, 40 ve 60°C sıcaklıklarda kurutulan biberlerin 27 ve 62 mg GAE/g TFM içerdikleri tespit edilmiştir. Bu çalışmadaki azalmanın, tez sonuçları ile uyumlu olduğu görülmektedir. Başka bir çalışmada 60 ve 80°C sıcaklıklarda kurutulan kırmızıbiberler için toplam fenolik madde miktarları 39.19 ve 32.80 mg GAE/g olarak tespit edilmiştir (Pınar vd., 2021). Yine farklı araştırmacılar (Khetto vd., 2021) 60°C sıcaklıkta kurutulan kırmızıbiberler için toplam fenolik madde miktarlarını 14.99 mg GAE/g olarak tespit etmişlerdir. Hernandez vd. (2010) yaptıkları çalışmada kuru kırmızıbiberler için toplam fenolik madde miktarını 23.25-28.44 mg/g kurumadde olarak bulmuştur. Tüm bu verilere göre, tez çalışması sonuçlarının literatür ile uyum içinde olduğu anlaşılmaktadır.

Taze halde iken 1261.22 mg/100g kurumadde olan kapy biberlerin askorbik asit ierięi, CM n iřleminden sonra tam kuru dzeye kadar kurutulan rnler iin 130.69, kontrol grubu tam kuru rnler iin ise 78.95 mg/100g kurumadde olarak belirlenmiřtir. Yarı kuru rnler ise ısıya daha az maruz kalmaları sayesinde n iřlemlili ve kontrol grupları iin sırasıyla 194.77 ve 167.36 mg/100g kurumadde askorbik asit iermektedirler. CM n iřlemi hem tam hem de yarı kuru rnlerin askorbik asit ieriklerinde kontrol gruplarına kıyasla istatistiksel olarak nemli dzeyde korunum saęlamıřtır ($p \leq 0.05$). Bununla birlikte, yzdesel olarak irdelendięinde, n iřlemlili tam kuru rnler iin yaklaşık %90, yarı kuru rnler iin ise yaklaşık %85 dzeyinde bir kayıp szkonusudur. Bu durumun modelin oluřturulması sırasında nemli bulunan proses parametrelerini optimum hale getiren kurutma sıcaklıęının ykseklięinden kaynaklandıęı dřnlmektedir.

Askorbik asit ısıya hassas bir madde olması sebebiyle kurutma proseslerinde miktarı en ok azalan bileřenlerin bařında gelmektedir. Meyve ve sebzelerin ısıya en az maruz kaldıęı kurutma yntemlerinden biri olan dondurarak kurutma iřleminde dahi taze meyveye kıyasla askorbik asit ierięinde %20 ile 40 arasında deęiřen oranlarda kayıplar meydana geldięi rapor edilmiřtir (Rybak vd., 2021). Sıcak hava fırınında yapılan kırmızıbiber kurutmalarında askorbik asit miktarında %50-60 dzeyinde kayıplar bildirilmiřtir (Famurewa vd., 2006; Krzykowski vd., 2018; Pınar vd., 2021). Tez alıřmasında tespit edilen yksek yzdesel azalmanın nedenin muhtemel sebebi, yksek kurutma sıcaklıęıdır.

Taze kapy biberlerde 3674.23 mg/kg kurumadde olan toplam karotenoit miktarı CM n iřlemi sonrası kurutulan tam kuru kapy biberlerde 3152.45 mg/kg km iken n iřlemsiz kurutulan kapy biberlerde 2754.49 mg/kg km olarak bulunmuřtur. Yarı kuru kapy biberler iin CM n iřlemlili ve n iřlemsiz gruplar iin toplam karotenoit

miktarları sırasıyla 3352.74 ve 2942.16 mg/kg km olarak tespit edilmiştir. Toplam karotenoit miktarları gerek tam gerekse yarı kuru kapy biberlerde CM ön işlemi ile daha yüksek oranda korunmuştur ($p \leq 0.05$). Kurutma sonrasında yarı kuru kapy biberlerin hem ön işlemli hem de kontrol grupları için aynı özellikteki tam kuru kapy biberlerden daha yüksek toplam karotenoit miktarına sahip olduğu belirlenmiş olup, bu sonucun yarı kuru ürünlerin sıcaklığa daha kısa süre ile maruz kalması sayesinde meydana geldiği düşünülmektedir. CM ön işlemi ise daha önce bahsedildiği üzere düşük pH, hücre duvarı tahribatı ile ekstraksiyon etkinliğinin artması gibi sebeplerle toplam karotenoit miktarının yüksek bulunmasını sağlamıştır. Benzer bulgular farklı araştırmalarda da (Zhao vd., 2016; Turgut vd., 2018) rapor edilmiştir.

Tam kuru ürünlerin antioksidan aktiviteleri CM ön işlemli ve kontrol grupları için sırasıyla 66.84 ve 51.03 $\mu\text{molTE/g km}$ olarak tespit edilmiş olup, ön işlemi ürünlerin antioksidan aktivitesi, kontrol grubuna kıyasla istatistiksel olarak önemli düzeyde yüksektir ($p \leq 0.05$). Yarı kuruluk düzeyi için ise ön işlemli ve kontrol grubu ürünlerin antioksidan aktiviteleri sırasıyla 48.26 ve 45.74 $\mu\text{molTE/g km}$ olarak hesaplanmıştır. Yarı kuru ürünler için CM ön işlemi antioksidan aktivite üzerine önemli bir etkide bulunmamıştır ($p > 0.05$).

Arslan ve Özcan (2011) kırmızı dolmalık biberlerin taze halde iken sahip oldukları 1733 $\mu\text{mol TE/100g}$ kurumadde antioksidan aktivitenin 50 ve 70°C sıcaklıktaki fırınlarda kurutma sonucu 4431 ve 5000 $\mu\text{mol TE/100g}$ kurumadde değerine yükseldiğini raporlamışlardır.

Hernandez vd. (2010) kuru kırmızı biber çeşitlerinde ABTS olarak antioksidan aktiviteyi 26.6-44.4 $\mu\text{mol TE/g}$ kurumadde olarak tespit etmişlerdir. Tez kapsamındaki sonuçlar bu değerlerden daha yüksek

bulunmakla birlikte biber türleri arasındaki varyasyonun da bu farkı oluşturabileceği düşünülmektedir.

Orozco vd. (2021) 60 ve 70°C sıcaklıklarda kurutulan kırmızı şili biberlerin antioksidan aktivitesinin (ABTS) taze örneğe kıyasla sırasıyla %60 ile 92 oranında azaldığını bildirmişlerdir. Taze biberin antioksidan aktivitesi 124 mg TE/g iken 60 ve 70°C'lerde kurutulan biberlerin değerleri 50 ve 10 mg TE/g olarak tespit edilmiştir.

4.4. Depolama Analizleri

4.4.1. Renk değerlerindeki değişimler

Tam kuru kopya biberlerin oda ve buzdolabı sıcaklığında vakum, azot gazı ve normal ambalajlama ile 6 ay boyunca depolanması süresince, ikişer aylık periyotlarla gerçekleştirilen renk ölçümlerine ait sonuçlar Çizelge 4.14' te, yarı kuru kopya biberler için aynı değerler Çizelge 4.15' te özetlenmiştir. Tam kuru kopya biberler için toplam renk farkı; ön işlem gören gruplar için 6 aylık depolama sürecinde 0.67 ile 3.99 arasında değişim gösterirken kontrol grubu ürünlerde 4.91 ile 11.33 değer aralığında tespit edilmiştir. Yarı kuru biberler için ise CM ön işlemi sonrası kurutulan ürünler için 1.34-8.96 arasında tespit edilen toplam renk farkı, kontrol grubu ürünlerde 0.67-6.92 aralığında bulunmuştur.

Çizelge 4.15. Tam kuru kapyra biber örneklerinin depolama sürecindeki renk değeri

ÜRÜN TİPİ	DS	AMB	SÜRE	ΔE	BI	Hue
Ön işlemli	20	Vakum	0	-	100.20±3.30	23.80±0.92
			60	3.12±0.16	119.10±3.90	26.30±0.70
			120	3.91±0.28	114.86±5.14	26.78±0.55
			180	3.99±0.12	106.60±4.40	26.64±0.86
		Azot	60	2.03±0.22	106.60±3.40	23.39±0.39
			120	2.29±0.12	114.16±4.16	28.77±1.18
			180	3.93±0.13	90.75±4.25	24.94±0.51
		Normal	60	2.27±0.16	103.73±4.28	24.66±0.47
			120	3.26±0.12	121.73±6.73	26.57±0.63
			180	3.91±0.13	88.69±2.31	24.76±0.88
	4	Vakum	60	0.67±0.03	101.15±2.86	23.84±1.09
			120	1.97±0.13	105.48±2.53	25.37±0.76
			180	2.56±0.14	85.78±3.23	27.64±0.56
		Azot	60	2.18±0.07	115.42±4.59	26.20±0.90
			120	3.24±0.15	105.20±2.70	29.41±1.16
			180	3.73±0.13	83.55±3.45	25.13±0.52
		Normal	60	1.77±0.06	106.02±3.98	24.85±0.90
			120	1.73±0.08	110.45±3.95	27.36±0.74
			180	3.78±0.13	98.65±4.15	29.50±1.15
Kontrol	20	Vakum	0	-	98.07±2.94	23.84±1.19
			60	5.84±0.38	115.14±3.87	26.12±0.78
			120	7.71±0.51	113.88±5.13	25.56±0.74
			180	9.14±0.48	85.46±1.54	22.59±0.54
		Azot	60	7.19±0.47	115.67±4.33	25.21±0.69
			120	7.50±0.58	112.13±5.88	27.23±0.76
			180	9.74±0.44	100.05±4.45	26.70±0.95
		Normal	60	6.03±0.39	116.85±4.15	24.92±1.02
			120	7.92±0.62	111.37±6.63	24.64±0.66
			180	10.72±0.46	95.41±2.60	26.82±1.18
	4	Vakum	60	4.91±0.34	118.42±3.58	28.45±0.79
			120	7.54±0.19	117.59±4.42	28.10±1.20
			180	8.60±0.16	98.57±4.43	26.69±0.81
		Azot	60	7.23±0.19	116.70±2.30	25.72±0.92
			120	11.16±0.48	115.72±3.87	27.18±0.73
			180	11.33±0.39	95.08±2.93	25.72±0.68
		Normal	60	3.45±0.17	109.77±3.23	24.97±1.43
			120	9.56±0.20	108.15±2.85	26.08±0.68
			180	10.97±0.56	93.90±4.10	25.77±1.03

DS: Depolama sıcaklığı (°C), AMB: Ambalajlama yöntemi, SÜRE: Depolama süresi (gün), ΔE: Toplam renk farkı, BI: esmerleşme indeksi.

Çizelge 4.16. Yarı kuru kopya biber örneklerinin depolama sürecindeki renk değerleri

ÜRÜN TİPİ	DS	AMB	SÜRE	ΔE	BI	Hue
Ön işlemli	20	Vakum	0	-	96.05±3.95	24.44±0.76
			60	2.62±0.30	90.52±2.98	27.01±0.93
			120	3.20±0.33	117.10±3.40	27.82±0.82
			180	5.89±0.56	83.70±2.30	27.34±1.10
		Azot	60	2.91±0.32	103.96±3.04	27.98±0.88
			120	2.08±0.19	111.34±3.46	25.30±0.83
			180	6.45±0.36	93.56±3.94	29.20±1.04
		Normal	60	2.71±0.16	113.93±3.93	27.08±0.69
			120	2.94±0.23	116.54±3.86	26.21±0.91
			180	5.38±0.41	100.53±3.78	30.61±1.50
		Vakum	60	1.78±0.13	88.74±3.27	24.64±0.82
			120	2.13±0.24	94.73±3.28	25.58±0.88
			180	4.45±0.58	97.46±2.54	21.51±1.13
	4	Azot	60	1.95±0.14	101.47±3.53	26.14±1.37
			120	1.96±0.23	95.92±2.08	25.70±1.07
			180	7.62±0.89	88.03±2.93	23.60±0.97
		Normal	60	1.34±0.06	105.71±4.29	25.95±0.73
			120	4.13±0.68	126.59±5.41	30.98±1.13
			180	8.96±0.87	97.34±2.66	25.78±1.12
Kontrol	20	Vakum	0	-	106.12±4.88	26.85±1.16
			60	2.50±0.09	122.85±7.15	30.36±1.06
			120	3.36±0.45	104.00±2.10	26.42±0.80
			180	5.24±0.27	106.88±4.53	29.88±1.02
		Azot	60	2.23±0.17	93.03±3.48	26.64±0.80
			120	5.87±0.68	102.13±3.68	28.59±1.05
			180	6.92±0.46	104.74±3.64	27.00±0.85
		Normal	60	2.77±0.12	91.74±2.56	26.64±0.89
			120	5.67±0.42	97.97±2.53	30.68±0.58
			180	5.74±0.27	95.36±3.86	30.69±0.75
	4	Vakum	60	0.67±0.08	101.11±2.11	25.78±0.85
			120	4.06±0.60	83.20±2.80	26.77±0.73
			180	6.00±0.71	121.43±4.58	28.02±0.77
		Azot	60	1.31±0.12	102.65±3.65	28.35±0.90
			120	1.97±0.30	99.80±3.20	26.81±1.31
			180	5.00±0.52	79.51±2.51	26.27±1.28
		Normal	60	2.48±0.23	100.15±3.85	25.23±0.77
			120	2.09±0.35	103.54±4.64	26.85±1.11
			180	3.40±0.21	92.55±3.45	27.81±0.69

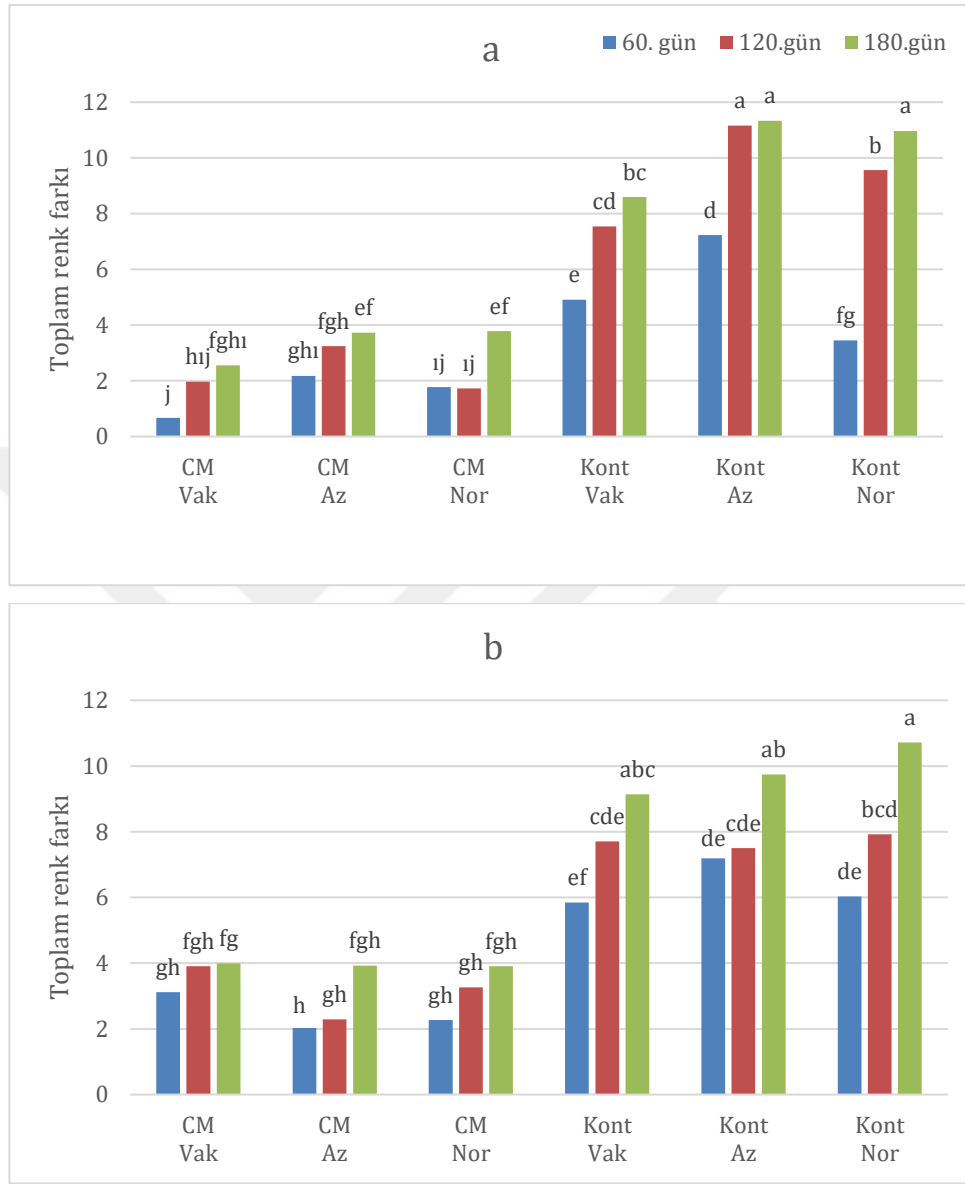
DS: Depolama sıcaklığı (°C), AMB: Ambalajlama yöntemi, SÜRE: Depolama süresi (gün), ΔE: Toplam renk farkı, BI: esmerleşme indeksi.

CM ön işlemleri, tam kuru ürünlerin 6 aylık depolanması sürecinde bütün depolama sıcaklıkları ve ambalaj tipleri için kontrol grubuna kıyasla rengin daha iyi korunmasını sağlamıştır. Ön işlemleri gruplar ortalama 2.97 toplam renk farkı değerine sahipken kontrol grupları için bu değer 8.14 olarak tespit edilmiş olup; aradaki fark istatistiksel olarak önemli düzeydedir ($p \leq 0.05$). CM ön işlemleri gören gruplar karşılaştırıldığında, 4°C’de muhafaza edilen örneklerin toplam renk farkı 20°C’de muhafaza edilenlerden daha düşüktür. Farklı ambalaj tipleri için ise 4°C’de depolanan örneklerden en az renk farkı vakum ambalajlı ürünlerde görülürken en fazla renk farkı ise azot gazı ile ambalajlanan ürünlerde ölçülmüştür. Ancak grupların kendi içerilerindeki farklılıklar istatistiksel olarak önemsizdir ($p > 0.05$). Toplam renk farkının ön işlemleri ürünlerde daha düşük çıkması, CM ön işleminin karotenit yıkımının gecikmesi ve istenmeyen pigment oluşumunun azalması şeklinde etki gösterdiğine işaret etmektedir. Tam kuru ürünlere ait toplam renk farkı değerlerinin depolama sürecindeki değişimi Şekil 4.8’de gösterilmiştir.

Depolamanın kırmızı Jalapeno türü kuru biberlerinin renk değerlerine etkisinin araştırıldığı bir çalışmada (El-Hamzy ve Ashour, 2016), oda sıcaklığında 12 aylık muhafaza süresince L^* , a^* ve b^* değerlerindeki değişim incelenmiştir. Depolama süresi ilerledikçe L^* ve a^* değerleri azalış gösterirken b^* değeri artış göstermiştir. Buna bağlı olarak da toplam renk farkı değerleri depolama süresinin ilerlemesi ile artış göstermiştir. Ong vd. (2012) çeşitli yöntemlerle kuruttukları yılan meyvesinin 6 aylık depolama periyodu sırasında ΔE değerlerinin artış gösterdiğini bildirmiştir. Kurutma sıcaklığının yükselmesi de depolama esnasında toplam renk farkını arttırıcı etki göstermiştir.

Kurutmadan farklı bir meyve işleme tekniği olan reçel üretiminde, depolama süresinin uzaması ve depolama sıcaklığının artışının toplam renk farkını arttırdığı bilinmektedir (Aslanova vd., 2010; Patras vd., 2011). Benzer şekilde depolama sıcaklığının artmasının meyve sularında renk

farkını arttırdığı da bildirilmektedir (Buve vd., 2018; Wibowo vd., 2018).

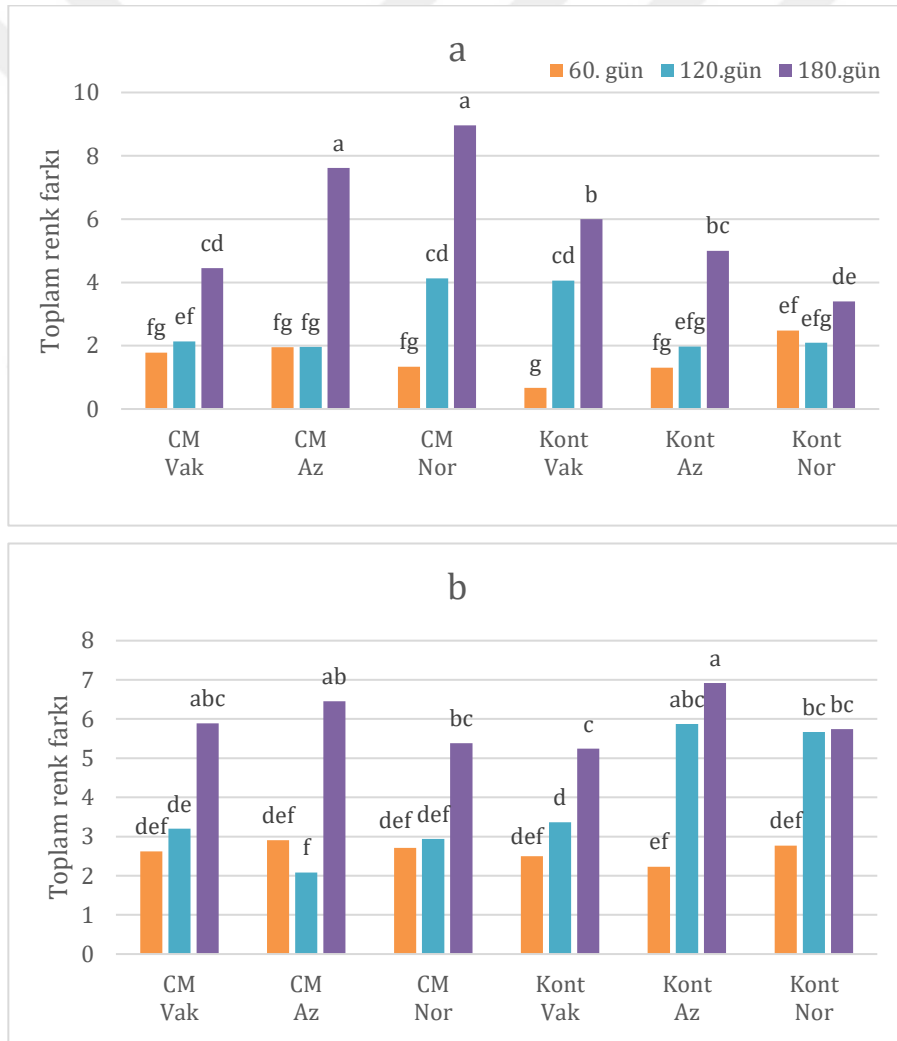


CM: ön işlemlenmiş, Kont: ön işlemlenmemiş, Vak: vakum ambalaj, Az: azotlu ambalaj, Nor: normal ambalaj, a: 4°C depolama sıcaklığı, b: 20°C depolama sıcaklığı. Farklı harflere sahip ortalamalar, istatistiksel olarak birbirinden farklıdır ($p \leq 0.05$).

Şekil 4.8. Depolama sürecinde tam kuru kapa biberlerin toplam renk farkı değerleri

Yarı kuru ürünler için depolama sürecindeki renk değerleri incelendiğinde, tam kuru ürünlerde görülen rengi koruyucu etkinin tersi olarak, CM ön işleminden sonra ve hiçbir işlem görmeden kurutulan grupların ΔE değerleri arasında istatistiksel olarak önemli

bir fark tespit edilememiştir ($p>0.05$). Depolama sıcaklığı ve ambalaj tipi içinde istatistiksel olarak anlamlı bir değişim göstermeyen ΔE değerleri, yalnızca depolamanın 6. ayı için istatistiksel olarak önemli bir yükseliş sergilemiştir ($p\leq 0.05$). Toplam renk farkı için 4. ay sonunda ölçülen değerler ön işlemlili ve kontrol grupları için sırasıyla 1.34-4.13 ve 1.31-5.87' dir. Yarı kuru ürünlerde 6. aya ait ΔE değerleri ilk 4 aya kıyasla oldukça fazla artış göstermiş olup ön işlemlili ürünler için 5.38-8.96, kontrol ürünleri için 3.40-6.92 aralığındadır. Şekil 4.9' da yarı kuru kapa biberlerin depolama periyordundaki ΔE değerleri özetlenmiştir.



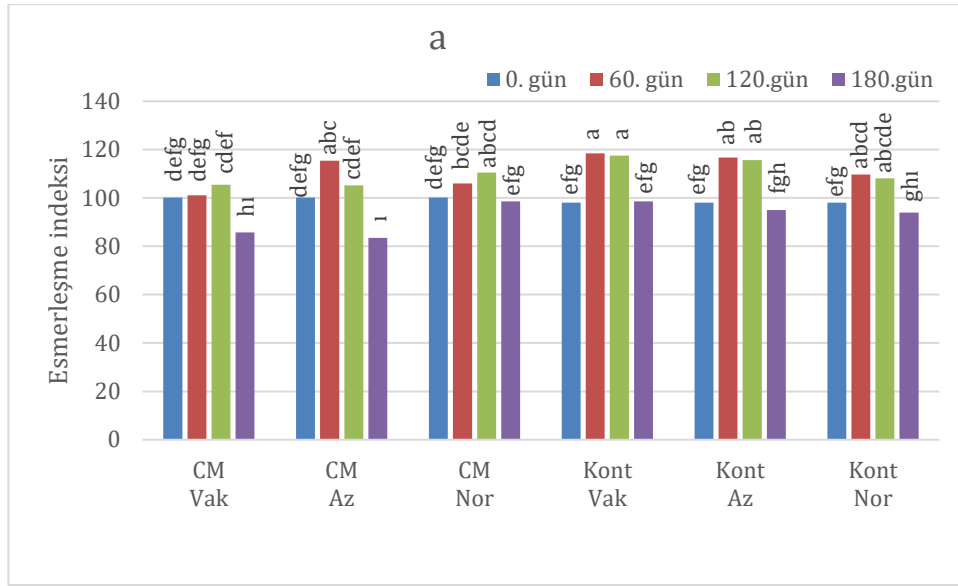
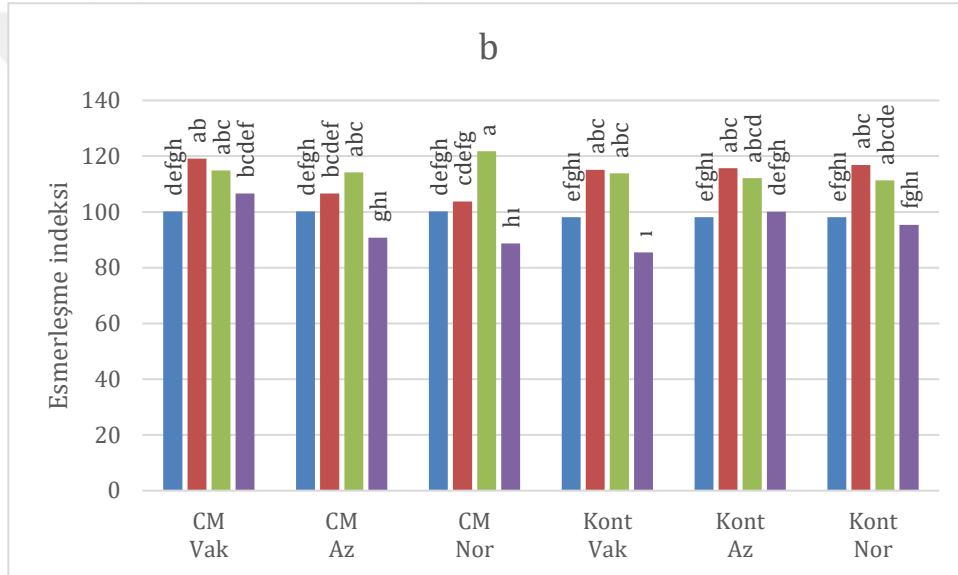
CM: ön işlemlili, Kont: ön işlemsiz, Vak: vakum ambalaj, Az: azotlu ambalaj, Nor: normal ambalaj, a: 4°C depolama sıcaklığı, b: 20°C depolama sıcaklığı.

Farklı harflere sahip ortalamalar, istatistiksel olarak birbirinden farklıdır ($p\leq 0.05$).

Şekil 4.9. Depolama sürecinde yarı kuru kapa biberlerin toplam renk farkı değerleri

Yarı kuru domateslerin depolanmaları sırasında ürünün nem miktarı, depolama sıcaklığı ve depolama süresinin toplam renk farkı değerini etkilediğini bildiren bir araştırmada (Hossain ve Gottschalk, 2009), 5 aylık depolama periyodunda soğuk koşulların, oda sıcaklığı koşullarına kıyasla renkte daha az değişim sağladığı, depolama süresi arttıkça rengin de doğrusal biçimde azaldığı ve ürünlerdeki nem miktarının artması ile toplam renk farkı değerlerinde yükselme meydana geldiği raporlanmıştır. Tez çalışması sonuçları, bu bulgularla paralellik göstermektedir.

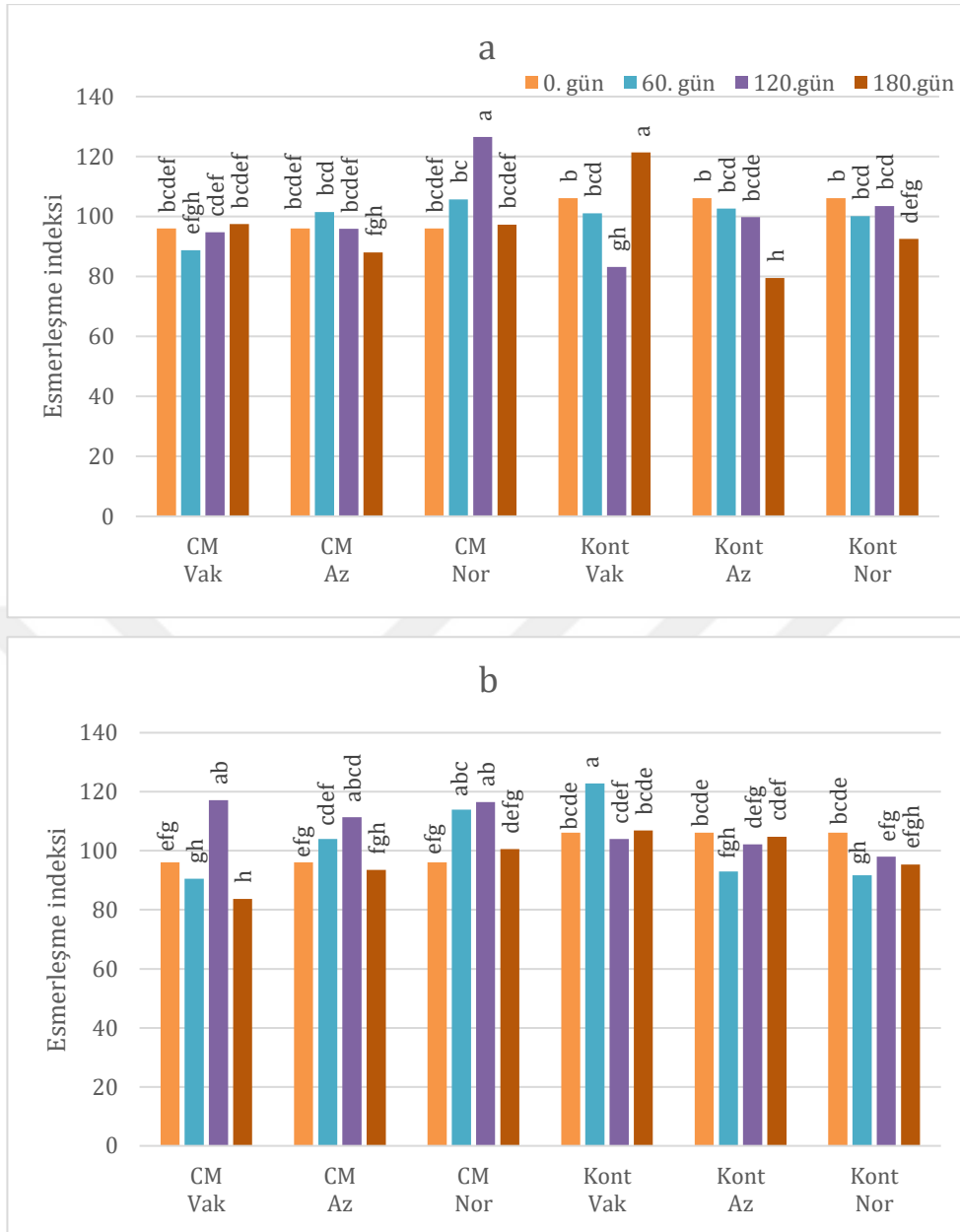
Depolama sürecinde tam kuru ürünlerin esmerleşme indeksi (BI) değerleri tam kuru ürünler için ön işlem, depolama sıcaklığı ve ambalaj tipi açısından anlamlı farklılık göstermemiştir. Sadece depolamanın 6. ayındaki grupların BI değerlerinde istatistiksel olarak anlamlı bir düşüş gözlenmiş olup ($p \leq 0.05$), bu düşüşün renkteki açılmadan kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca depolama sürecinde askorbik asit miktarlarında tespit edilen azalışlar, askorbik asit degradasyonu sonucunda oluşan ürünlerin renkteki esmerleşmeye katkısı ile ilişkilendirilebilir. Yarı kuru ürünlerin BI değerleri depolama boyunca sadece depolama süresinin 120 ve 180 günleri arasında anlamlı bir farklılık göstermiş olup; diğer değişkenler BI değerlerine önemli bir etkide bulunmamıştır. Depolamanın 120. gününde 104.39 olan BI ortalaması, 180. günde 91.79'a düşmüştür. Esmerleşme indeksinin düşmesi esmerleşmenin azalması gibi algılansa da, renkteki açılmaya da işaret etmektedir. Eltoum ve Babiker (2013), kurutarak 6 ay süreyle 24°C'de depoladıkları domateslerin BI değerlerinin depolama süreci boyunca düşüş gösterdiğini bildirmiştir. Tam ve yarı kuru kapya biberlerin BI değerleri sırasıyla Şekil 4.10 ve 4.11' de görsel olarak ifade edilmiştir.



CM: ön işlemlili, Kont: ön işlemsiz, Vak: vakum ambalaj, Az: azotlu ambalaj, Nor: normal ambalaj, a: 4°C depolama sıcaklığı, b: 20°C depolama sıcaklığı.

Farklı harflere sahip ortalamalar, istatistiksel olarak birbirinden farklıdır ($p \leq 0.05$).

Şekil 4.10. Depolama sürecinde tam kuru kopya biberlerin esmerleşme indeksi değerleri



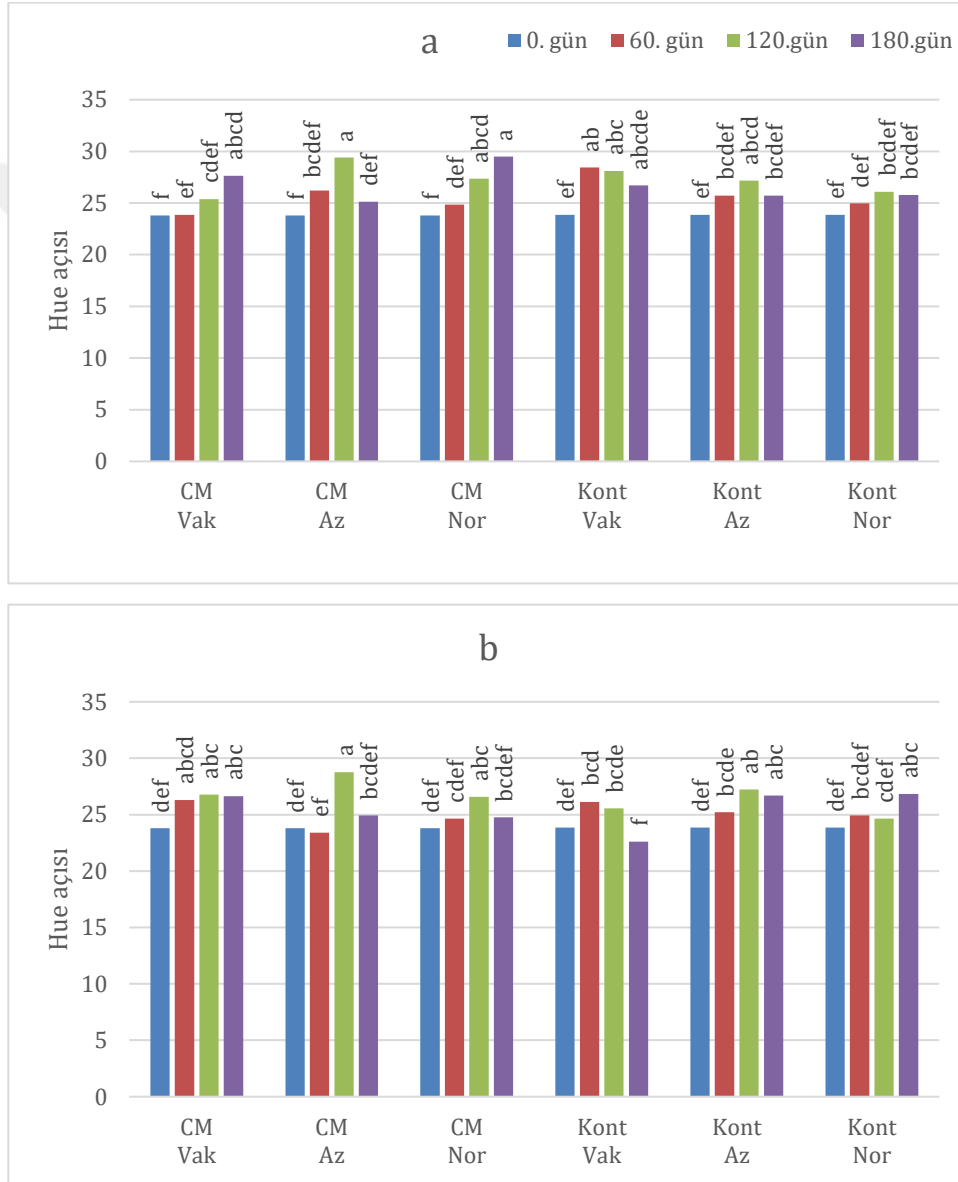
CM: ön işlemlili, Kont: ön işlemsiz, Vak: vakum ambalaj, Az: azotlu ambalaj, Nor: normal ambalaj, a: 4°C depolama sıcaklığı, b: 20°C depolama sıcaklığı.

Farklı harflere sahip ortalamalar, istatistiksel olarak birbirinden farklıdır ($p \leq 0.05$).

Şekil 4.11. Depolama sürecinde yarı kuru kapya biberlerin esmerleşme indeksi değerleri

Hue açısı değerinde 0 ile +60° arasındaki artışlar, rengin kırmızıdan sarıya dönmesinin bir göstergesidir. Bu bağlamda depolamanın sıfırinci günündeki Hue açısı değerlerine yakın değerlere sahip ürünlerin başarılı olduğundan söz etmek mümkündür. Hue açısı değeri yükselmesi, kapya biberin kırmızı renginin açılarak sarıya doğru dönmesini işaret etmektedir. Tam kuru ürünlerin Hue açısı değerleri,

depolama süresinden önemli derecede etkilenmiştir ($p \leq 0.05$). Ön işlem, depolama sıcaklığı ve ambalaj çeşidi, Hue derecesinde önemli bir fark etkisi oluşturmamıştır. Başlangıç (sıfırıncı gün) değerine en yakın değerler 25.38 ortalama ile 60. günde gözlemlenmiştir. Kappa biberlerin Hue açıları depolama sürecindeki değişimi tam kuru ürünler için Şekil 4.12, yarı kuru ürünler için Şekil 4.13’ te özetlenmiştir.

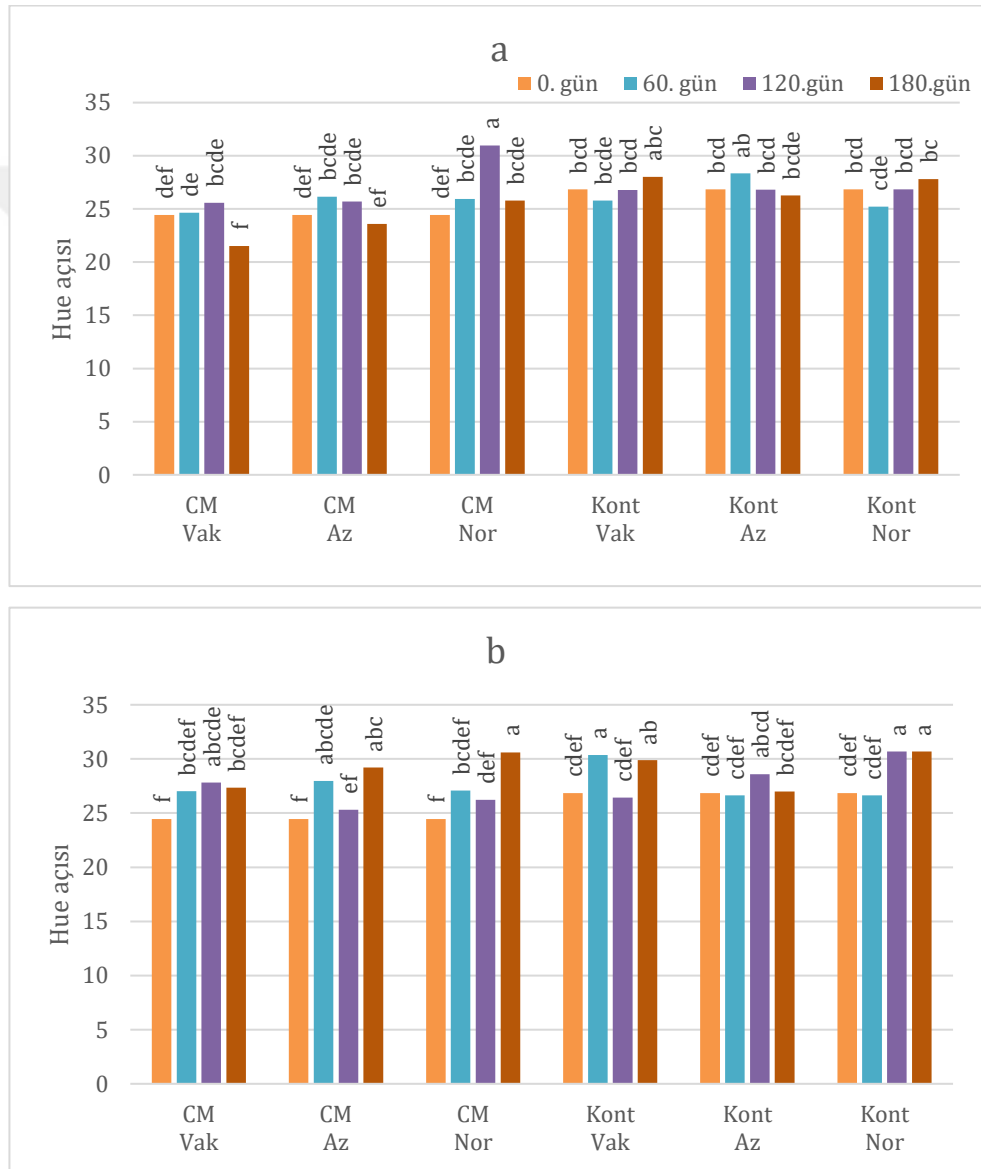


CM: ön işlemlili, Kont: ön işlemlisiz, Vak: vakum ambalaj, Az: azotlu ambalaj, Nor: normal ambalaj, a: 4°C depolama sıcaklığı, b: 20°C depolama sıcaklığı.

Farklı harflere sahip ortalamalar, istatistiksel olarak birbirinden farklıdır ($p \leq 0.05$).

Şekil 4.12. Depolama sürecinde tam kuru kappa biberlerin Hue açısı değerleri

Topuz vd. (2009) çeşitli yöntemlerle kuruttukları kırmızı toz biberleri oda sıcaklığında 3 ay süreyle depolamışlar, Hue değerlerinde istatistiksel olarak önemli bir değişim tespit etmemişlerdir. Toz kırmızı biber depolama ile başka bir çalışmada da (Tepic ve Vujicic, 2004) benzer sonuçlar tespit edilmiş; oda sıcaklığında 4 aylık depolama sırasında Hue açısı önce azalmış, sonra artmıştır. Bu bulgular, tez sonuçlarını teyit etmektedir.



CM: ön işlemlisiz, Kont: ön işlemsiz, Vak: vakum ambalaj, Az: azotlu ambalaj, Nor: normal ambalaj, a: 4°C depolama sıcaklığı, b: 20°C depolama sıcaklığı.

Farklı harflere sahip ortalamalar, istatistiksel olarak birbirinden farklıdır ($p \leq 0.05$).

Şekil 4.13. Depolama sürecinde yarı kuru kapya biberlerin Hue açısı değerleri

Hue açısı değerleri yarı kuru ürünlerde sadece depolama sıcaklığından etkilenmiştir. Pratikte buzdolabı sıcaklığı olarak da bilinen 4°C sıcaklıkta depolanan yarı kuru kapy biberlerin Hue açısı ortalaması 26.21 iken oda sıcaklığında muhafaza edilen grupların ortalaması 27.75 olup, istatistiksel olarak farklıdır ($p \leq 0.05$). Başka bir deyişle 4°C sıcaklıkta muhafaza, yarı kuru kapy biberlerin kurutma öncesindeki kırmızılığına daha yakın kalmalarını sağlamıştır.

Duman (2010) %10 nem içeriğine kadar kuruttuğu acı kırmızı biberleri 6 ay boyunca depoladığı çalışmasında, L^* , a^* , b^* ve Hue açısı değerlerinde sıfıncı güne kıyasla istatistiksel olarak önemli değişimlerin meydana geldiğini raporlamıştır. Kaur vd. (2020) domates ve tatlı yeşil biberleri kuruttuktan sonra depoladıkları çalışmalarında, L^* , a^* ve b^* parametrelerindeki değişimleri incelemiş; depolama periyodunun 6. ayında kuru domatesler için L^* , a^* ve b^* değerlerinde istatistiksel olarak önemli azalışlar tespit etmiş; tatlı yeşil biberler için ise L^* değerinde renk açılmasından kaynaklı önemli artışlar meydana gelirken a^* ve b^* değerlerinde anlamlı azalışlar olduğunu tespit etmişlerdir. Tez çalışması bulguları depolama sürecindeki renk değişimleri açısından literatür ile uyum içerisindedir.

4.4.2. Fiziksel özelliklerdeki değişimler

Depolanan ürünlerin kuru gıdalar için rehidrasyon oranı, önemli bir parametredir. Kuru ürünün su tutarak rehidre olması ile orijinal haline yaklaşmasını ifade eden rehidrasyon oranı, kuruma performansı hakkında yorum yapmayı mümkün kılmaktadır. Rehidrasyon oranı yanında tekstürel özelliklerden kabuk direnci ve elastikiyet değerleri de depolama süreci boyunca ölçülmüştür. Tam ve yarı kuru kapy biberlerin rehidrasyon oranları, kabuk direnci ve elastikiyet değerleri sırasıyla Çizelge 4.16 ve 4.17' de verilmiştir.

Çizelge 4.17. Tam kuru kapyra biber örneklerinin depolama sürecindeki bazı fiziksel özellikleri

ÜRÜN TİPİ	DS	AMB	SÜRE	RO	KD (g)	E (mm)
Ön işlemlili	20	Vakum	0	7.08±0.04	2090.2±159.8	6.56±0.09
			60	7.00±0.05	1917.4±104.8	6.88±0.07
			120	6.76±0.10	2000.1±89.3	7.67±0.13
			180	6.64±0.13	1557.5±88.0	6.84±0.06
		Azot	0	7.08±0.04	2090.2±159.8	6.56±0.09
			60	6.93±0.07	1884.1±99.2	6.52±0.09
			120	6.78±0.14	1896.7±79.0	6.74±0.10
			180	6.52±0.13	1693.4±86.4	7.23±0.13
		Normal	0	7.08±0.04	2090.2±159.8	6.56±0.09
			60	6.94±0.10	1995.2±87.6	7.01±0.08
			120	6.50±0.08	1986.2±108.1	7.11±0.05
			180	6.40±0.10	1701.6±85.6	7.16±0.14
	4	Vakum	0	7.08±0.04	2090.2±159.8	6.56±0.09
			60	7.06±0.04	2010.3±90.8	6.67±0.07
			120	6.98±0.08	1974.9±79.2	6.71±0.08
			180	7.10±0.05	1656.7±122.8	7.13±0.11
		Azot	0	7.08±0.04	2090.2±159.8	6.56±0.09
			60	7.01±0.06	1995.8±77.7	6.42±0.03
			120	6.92±0.07	2005.7±112.2	6.64±0.04
			180	6.95±0.10	1799.3±87.0	7.54±0.13
		Normal	0	7.08±0.04	2090.2±159.8	6.56±0.09
			60	6.95±0.07	2024.5±113.2	7.54±0.20
			120	6.81±0.08	2010.3±138.4	7.32±0.10
			180	6.80±0.09	1812.3±100.9	6.98±0.14
Kontrol	20	Vakum	0	6.17±0.05	2428.7±226.2	4.75±0.07
			60	6.01±0.10	2339.7±123.7	5.11±0.05
			120	5.84±0.08	2323.5±95.6	5.12±0.07
			180	5.64±0.13	2144.3±126.9	5.02±0.05
		Azot	0	6.17±0.05	2428.7±226.2	4.75±0.07
			60	5.99±0.10	2355.3±110.7	5.32±0.08
			120	5.85±0.14	2364.8±52.7	5.44±0.09
			180	5.59±0.12	2167.4±120.5	5.08±0.06
		Normal	0	6.17±0.05	2428.7±226.2	4.75±0.07
			60	5.95±0.14	2394.7±118.5	4.94±0.07
			120	5.74±0.11	2400.3±111.9	4.99±0.05
			180	5.49±0.14	2058.3±108.4	5.11±0.08
	4	Vakum	0	6.17±0.05	2428.7±226.2	4.75±0.07
			60	6.12±0.09	2400.3±97.7	4.88±0.04
			120	6.00±0.09	2430.9±128.8	4.76±0.07
			180	5.89±0.06	2274.3±101.5	5.20±0.07
		Azot	0	6.17±0.05	2428.7±226.2	4.75±0.07
			60	6.15±0.12	2387.9±92.6	4.66±0.07
			120	6.02±0.10	2377.6±171.1	4.55±0.03
			180	5.88±0.10	2150.0±136.3	5.34±0.09
		Normal	0	6.17±0.05	2428.7±226.2	4.75±0.07
			60	6.02±0.04	2410.2±158.1	5.01±0.09
			120	5.85±0.06	2444.7±89.1	5.31±0.08
			180	5.64±0.07	2220.21±46.5	4.99±0.11

DS: Depolama sıcaklığı (°C), AMB: Ambalajlama yöntemi, SÜRE: Depolama süresi (gün), RO: rehidrasyon oranı, KD: kabuk direnci, E: elastikiyet.

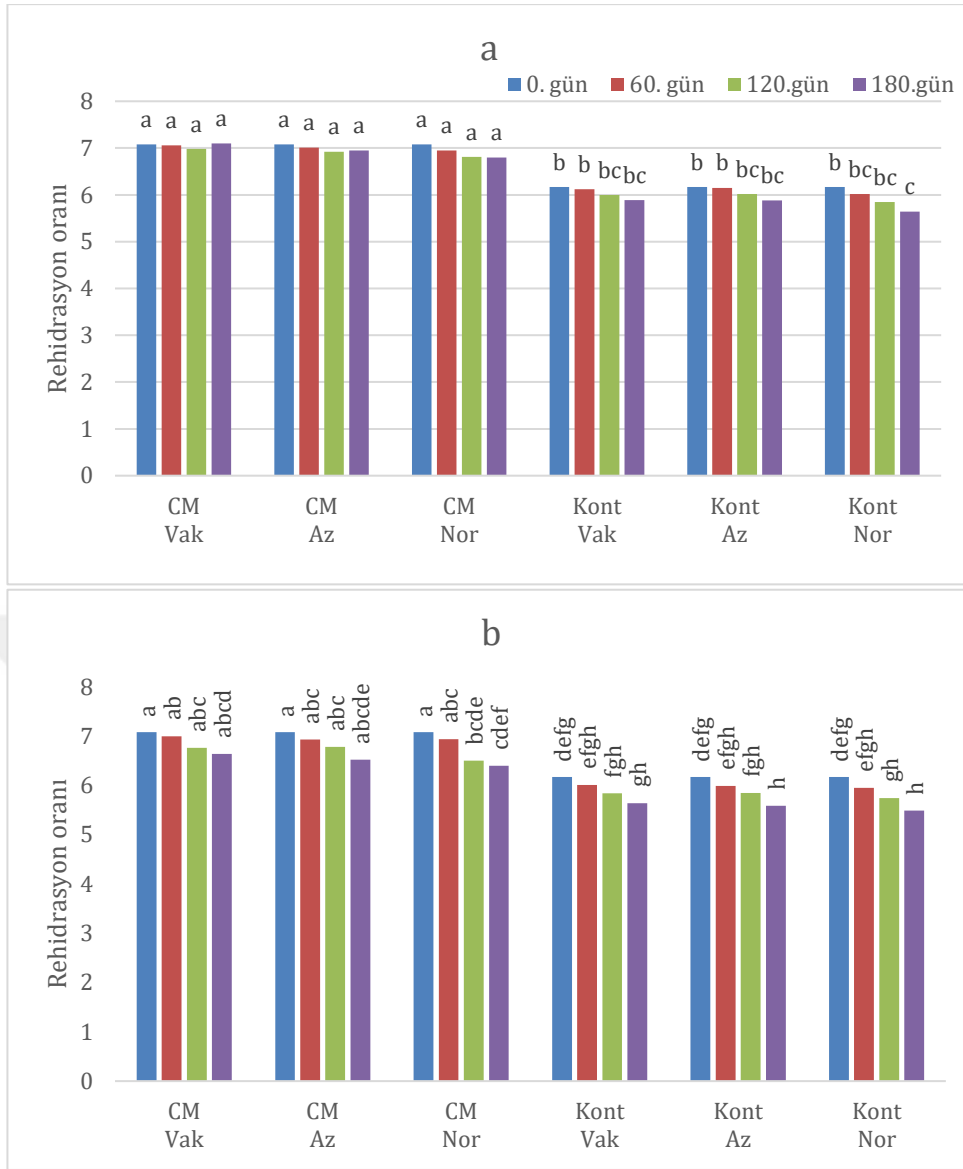
Çizelge 4.18. Yarı kuru kapyra biber örneklerinin depolama sürecindeki bazı fiziksel özellikleri

ÜRÜN TİPİ	DS	AMB	SÜRE	RO	KD (g)	E (mm)
Ön işlemli	20	Vakum	0	5.99±0.09	946.9±97.1	6.19±0.07
			60	5.85±0.07	952.3±62.8	6.32±0.05
			120	5.80±0.09	961.2±80.1	5.99±0.05
			180	5.63±0.09	899.9±78.4	6.29±0.07
		Azot	0	5.99±0.09	946.9±97.1	6.19±0.07
			60	5.81±0.04	936.9±94.2	6.44±0.07
			120	5.77±0.11	910.2±80.7	6.07±0.05
			180	5.57±0.08	921.7±77.2	6.18±0.12
		Normal	0	5.99±0.09	946.9±97.1	6.19±0.07
			60	5.69±0.07	945.8±83.3	6.21±0.11
			120	5.62±0.12	928.4±92.1	6.11±0.04
			180	5.42±0.08	902.9±72.7	6.56±0.06
	4	Vakum	0	5.99±0.09	946.9±97.1	6.19±0.07
			60	5.91±0.05	941.3±84.7	6.22±0.05
			120	5.89±0.06	935.5±86.3	6.23±0.04
			180	5.81±0.09	922.2±70.6	6.32±0.10
		Azot	0	5.99±0.09	946.9±97.1	6.19±0.07
			60	5.92±0.07	939.9±92.5	6.01±0.04
			120	5.87±0.08	932.1±96.9	6.25±0.04
			180	5.79±0.05	912.7±90.5	6.41±0.07
		Normal	0	5.99±0.09	946.9±97.1	6.19±0.07
			60	5.75±0.10	950.7±72.3	6.11±0.05
			120	5.71±0.12	928.7±99.4	6.14±0.05
			180	5.50±0.14	905.5±90.4	6.50±0.08
Kontrol	20	Vakum	0	5.75±0.11	1394.1±127.9	5.29±0.05
			60	5.70±0.09	1372.6±105.9	5.11±0.07
			120	5.50±0.06	1379.8±86.7	5.01±0.05
			180	5.35±0.10	1254.5±85.2	5.71±0.10
		Azot	0	5.75±0.11	1394.1±127.9	5.29±0.05
			60	5.64±0.07	1389.3±92.8	5.38±0.07
			120	5.56±0.04	1399.1±101.0	5.05±0.05
			180	5.57±0.07	1289.5±123.3	5.82±0.07
		Normal	0	5.75±0.11	1394.1±127.9	5.29±0.05
			60	5.52±0.07	1400.1±98.1	5.50±0.06
			120	5.21±0.08	1372.4±110.6	5.33±0.05
			180	5.07±0.05	1301.3±114.2	5.79±0.07
	4	Vakum	0	5.75±0.11	1394.1±127.9	5.29±0.05
			60	5.75±0.11	1403.5±74.2	5.30±0.06
			120	5.67±0.10	1415.3±107.8	5.22±0.09
			180	5.58±0.07	1298.5±90.4	5.42±0.08
		Azot	0	5.75±0.11	1394.1±127.9	5.29±0.05
			60	5.74±0.12	1414.7±99.4	5.15±0.04
			120	5.66±0.12	1365.2±97.5	5.41±0.08
			180	5.54±0.03	1313.5±62.6	5.66±0.08
		Normal	0	5.75±0.11	1394.1±127.9	5.29±0.05
			60	5.66±0.13	1388.2±58.2	5.41±0.06
			120	5.43±0.08	1388.7±98.3	4.99±0.05
			180	5.32±0.12	1256.2±94.5	5.62±0.04

DS: Depolama sıcaklığı (°C), AMB: Ambalajlama yöntemi, SÜRE: Depolama süresi (gün), RO: rehidrasyon oranı, KD: kabuk direnci, E: elastikiyet.

Tam kuru ürünlerin rehidrasyon oranları karşılaştırıldığında, ön işlem, ambalaj tipi, depolama sıcaklığı ve depolama süresinin her biri, istatistiksel olarak önemli azalışlara neden olmuştur ($p \leq 0.05$). CM ön işlemlili tam kuru kopya biberlerin depolama sürecindeki ortalama rehidrasyon oranı 6.84 iken ön işlemsiz grupların ortalaması 5.87 olarak tespit edilmiştir. Depolama sıcaklığı açısından da her iki grup için ortalamalar önemli düzeyde farklı bulunmuş olup ($p \leq 0.05$) 4°C’de depolanan grupların rehidrasyon oranı 6.45 iken 20°C’de depolananların değeri 6.25’tir. Ambalaj tipleri karşılaştırıldığında vakum ve azot gazı ile paketlenen örneklerin rehidrasyon oranları arasındaki fark önemsiz olup, normal paketlenen örneklerden daha yüksek rehidrasyon oranına sahiptirler. Depolama süreleri yönünden karşılaştırıldığında, tüm ayların ortalamaları arasında önemli düzeyde azalışlar tespit edilmiştir ($p \leq 0.05$).

Kırmızıbiberlerin kurutularak depolandığı bir çalışmada (Zahoor vd., 2023), depolama başlangıcında rehidrasyon oranı 4.0 olan kuru kırmızı biberlerin oda sıcaklığında 6 ay depolanmaları neticesinde rehidrasyon oranları 2.12 değerine düşmüştür. Benzer şekilde domateslerin kurutularak 6 ay boyunca oda sıcaklığında muhafaza edildiği bir araştırmada (Eltoum ve Babiker, 2013), kuru domateslerin rehidrasyon oranlarının depolama süreci boyunca önemli düzeyde azalış gösterdiği raporlanmıştır. Hizaji vd. (2011), küp halinde kuruttukları patatesleri iki ay süreyle süreyle muhafaza ettikten sonra 23 ve 100°C sıcaklıklarda rehidrasyona tabi tuttukları çalışmalarında, her iki rehidrasyon sıcaklığında da depolama süresinin ilerlemesi ile rehidrasyon oranlarında önemli düşüş tespit etmişlerdir. Tez çalışmasında tespit edilen ve literatürde tespit edilen rehidrasyon oranı düşüşlerine, hücre duvarındaki tahribatların ve hücre içi yapıda yer alan pektin vb. yapısal moleküllerin parçalanmasının sebep olabileceği düşünülmektedir. Tam kuru kopya biberlerin rehidrasyon oranlarının depolama sürecindeki değişimi Şekil 4.14’de gösterilmiştir.

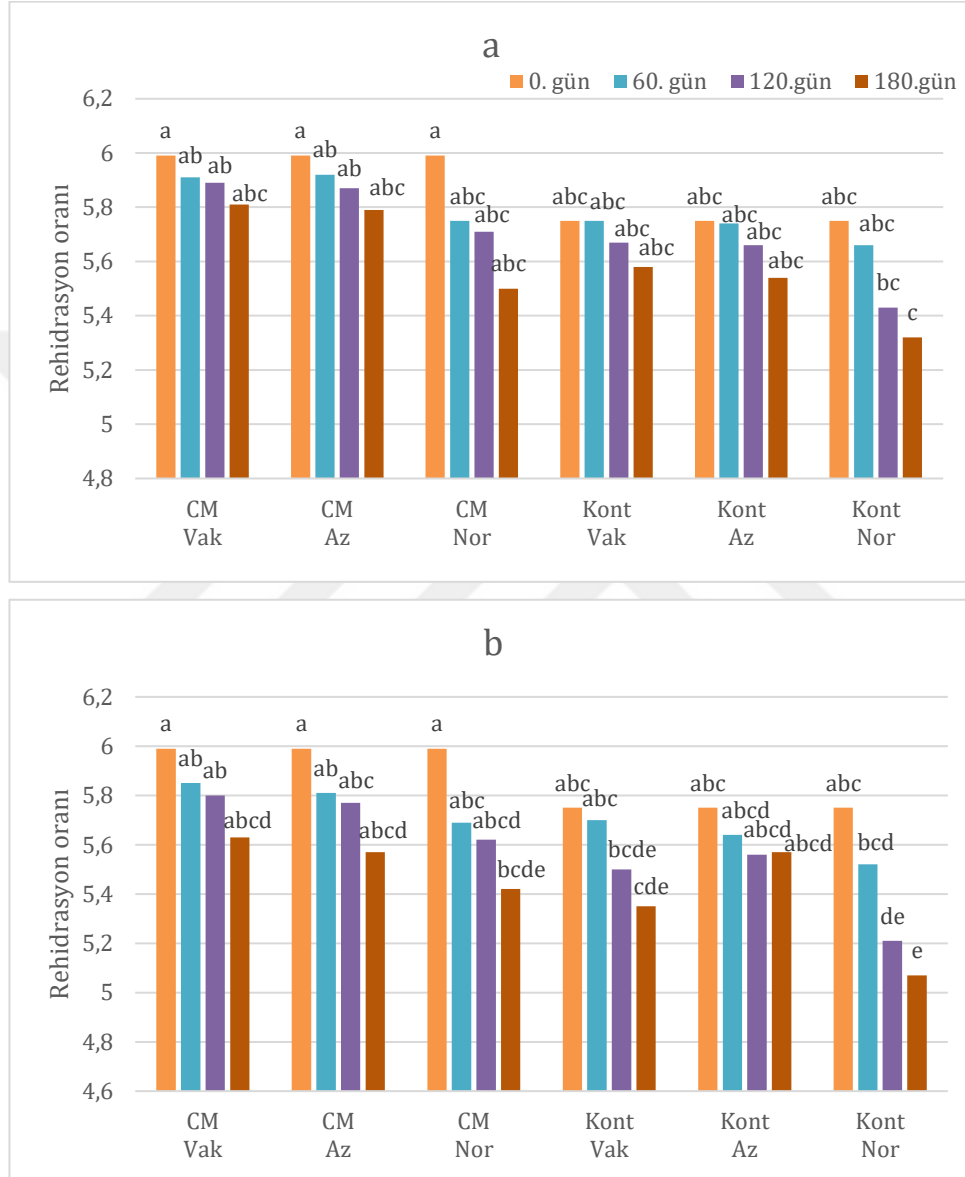


CM: ön işlemleri, Kont: ön işlemsiz, Vak: vakum ambalaj, Az: azotlu ambalaj, Nor: normal ambalaj, a: 4°C depolama sıcaklığı, b: 20°C depolama sıcaklığı. Farklı harflere sahip ortalamalar, istatistiksel olarak birbirinden farklıdır ($p \leq 0.05$).

Şekil 4.14. Depolama sürecinde tam kuru kapya biberlerin rehidrasyon oranlarındaki değişimler

Yarı kuru ürünlerin rehidrasyon oranlarının depolama sürecindeki değişimleri incelendiğinde (Şekil 4.15) tam kuru ürünler için önemli bulunan faktörlerin aynı şekilde etki gösterdiği anlaşılmıştır. Yani, yarı kuru ürünlerin depolanması sürecinde rehidrasyon oranları CM ön işleminden, muhafaza sıcaklığından, ambalaj çeşidinden ve muhafaza süresinden önemli düzeyde etkilenmiştir ($p \leq 0.05$). CM ön işlemleri grupların rehidrasyon oranları, kontrol grubundan; 4°C’de depolanan ürünlerin rehidrasyon oranları, 20°C’de muhafaza edilenlerden daha

yüksek bulunmuştur. Vakum ve azotla paketlenen örneklerin rehidrasyon oranları, normal paketlenen örneklerden daha yüksek iken; depolamanın 2, 4 ve 6. ayındaki rehidrasyon oranları her grup için önemli düzeyde azalış göstermiştir.



CM: ön işlemlili, Kont: ön işlemsiz, Vak: vakum ambalaj, Az: azotlu ambalaj, Nor: normal ambalaj, a: 4°C depolama sıcaklığı, b: 20°C depolama sıcaklığı.

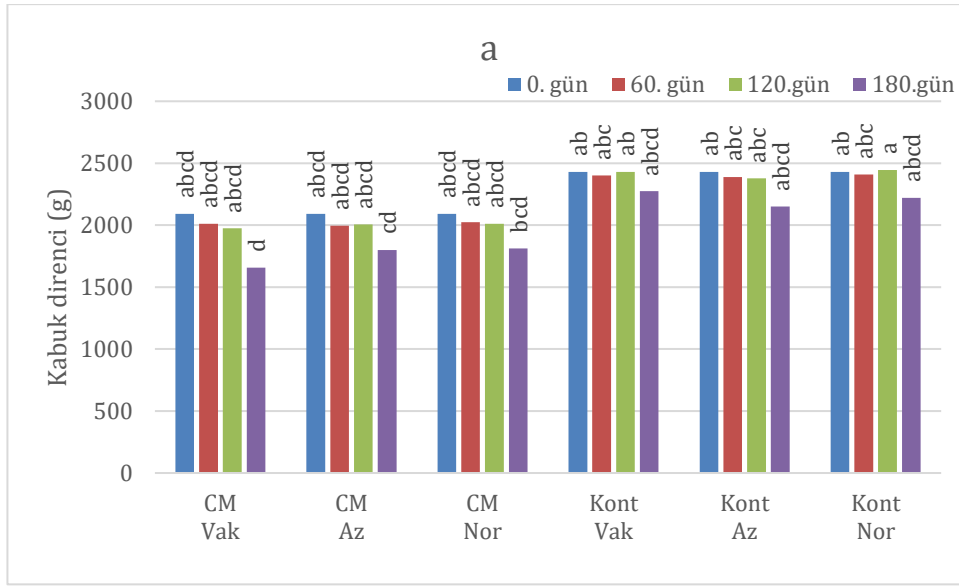
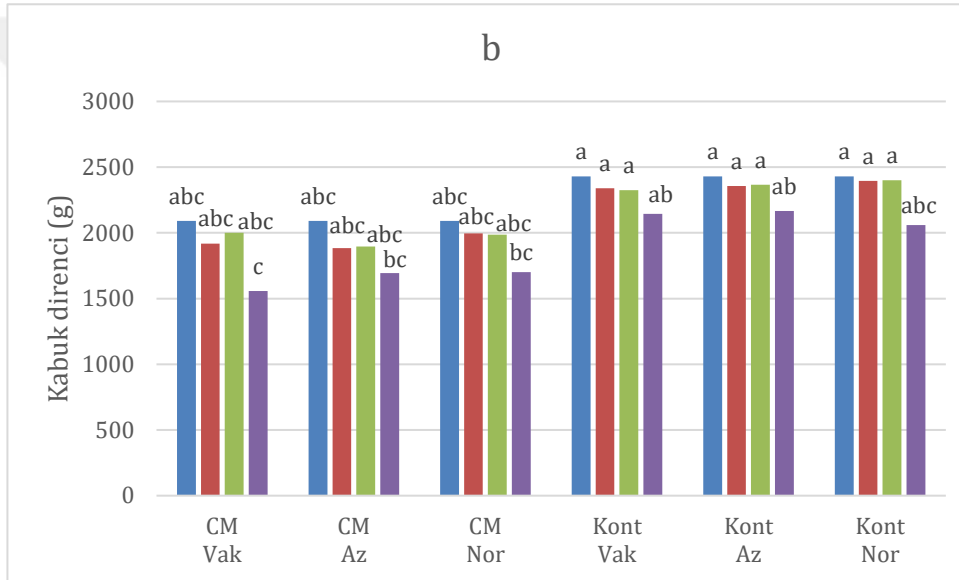
Farklı harflere sahip ortalamalar, istatistiksel olarak birbirinden farklıdır ($p \leq 0.05$).

Şekil 4.15. Depolama sürecinde yarı kuru kapya biberlerin rehidrasyon oranlarındaki değişimler

Yarı kuru domateslerin depolandığı bir çalışmada (Hossain ve Gottschalk, 2009), 5 aylık depolama sürecinde rehidrasyon oranlarında

doğrusala yakın azalışlar tespit edilmiştir. Soğukta depolanan örneklerin rehidrasyon oranları, oda sıcaklığında depolananlardan daha yüksek bulunmuştur. Ürünün nem içeriğinin artması, rehidrasyon oranını düşürücü etki göstermiştir. Bulguların tamamı değerlendirildiğinde, tez çalışması verilerini desteklemektedir.

Tam kuru kapy biberlerin depolama sürecindeki kabuk direnci değerleri (Şekil 4.16), CM ön işleminden ve depolama sıcaklığından istatistiksel olarak önemli düzeyde ($p \leq 0.05$) etkilenirken, ambalaj tipinin önemli bir etkisi tespit edilememiştir. Depolamanın 2 .ve 4. ay ortalama değerleri arasında önemi bir fark görülmez iken 6. ay örneklerinin kabuk direnci değerleri, ilk 4 aya kıyasla önemli derecede düşüş göstermiştir ($p \leq 0.05$).



CM: ön işlemlili, Kont: ön işlemsiz, Vak: vakum ambalaj, Az: azotlu ambalaj, Nor: normal ambalaj, a: 4°C depolama sıcaklığı, b: 20°C depolama sıcaklığı.

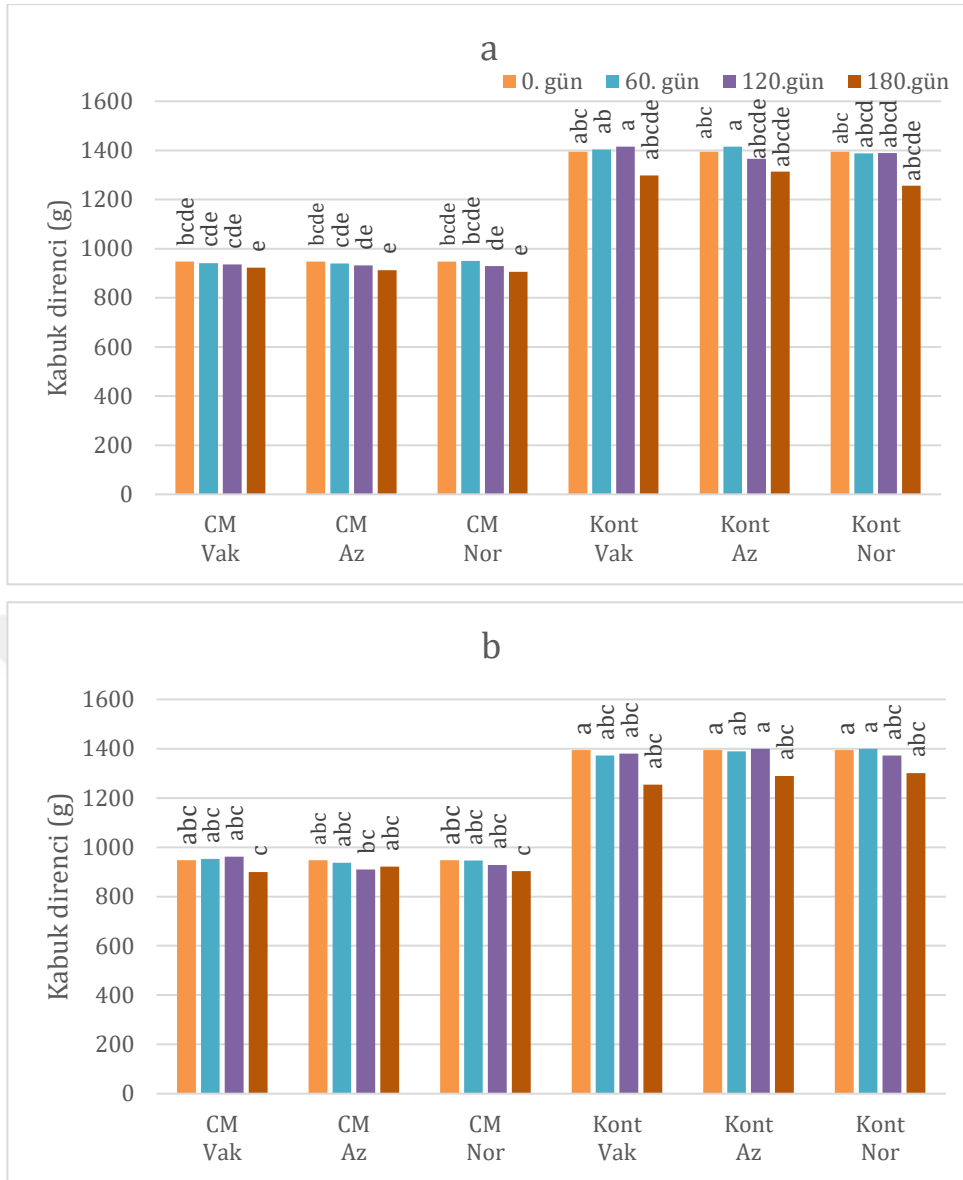
Farklı harflere sahip ortalamalar, istatistiksel olarak birbirinden farklıdır ($p \leq 0.05$).

Şekil 4.16. Depolama sürecinde tam kuru kopya biberlerin kabuk direncindeki değişimler

Yarı kuru kopya biberlerin kabuk direnci değerleri (Şekil 4.17), depolama sürecinde sadece CM ön işleminden etkilenmiş, depolama sıcaklığı ve ambalaj çeşidinin önemli bir etkisi görülmemiştir. CM ön işlemi görerek depolanan yarı kuru kopya biberlerin kabuk direnci ortalaması 929.3 g iken, kontrol grubunun ortalaması 1355.69 g olarak hesaplanmış aralarındaki fark önemli bulunmuştur ($p \leq 0.05$). Sıfırıncı gün değerleri ile kıyaslandığında istatistiksel olarak fark bulunmasa da

bir azalma meydana gelmiştir. Depolama süreleri açısından sadece 6. aya ait kabuk direnci ortalamaları, ilk 4 aydan daha düşük bulunmuştur ($p \leq 0.05$). Benzer etkiler elastikiyet değerleri için de sözkonusudur. Elastikiyet değerleri, sadece ön işlemlili ve depolamanın 6. ayına ait gruplar için farklı bulunmuş ($p \leq 0.05$), diğer faktörlere ait ortalamalar arasında istatistiksel bir farka rastlanmamıştır.

Kuru kırmızıbiberlerin depolanmaları sırasındaki kabuk dirençlerindeki değişimlere dair bir araştırmada (Zahoor vd., 2023), depolama başlangıcında 1.33 N/mm kabuk direncine sahip olan kuru biberlerin oda sıcaklığında 6 ay sonunda bu değer istatistiksel olarak anlamlı bir düşüş göstererek 0.86 N/mm seviyesine düşmüştür.

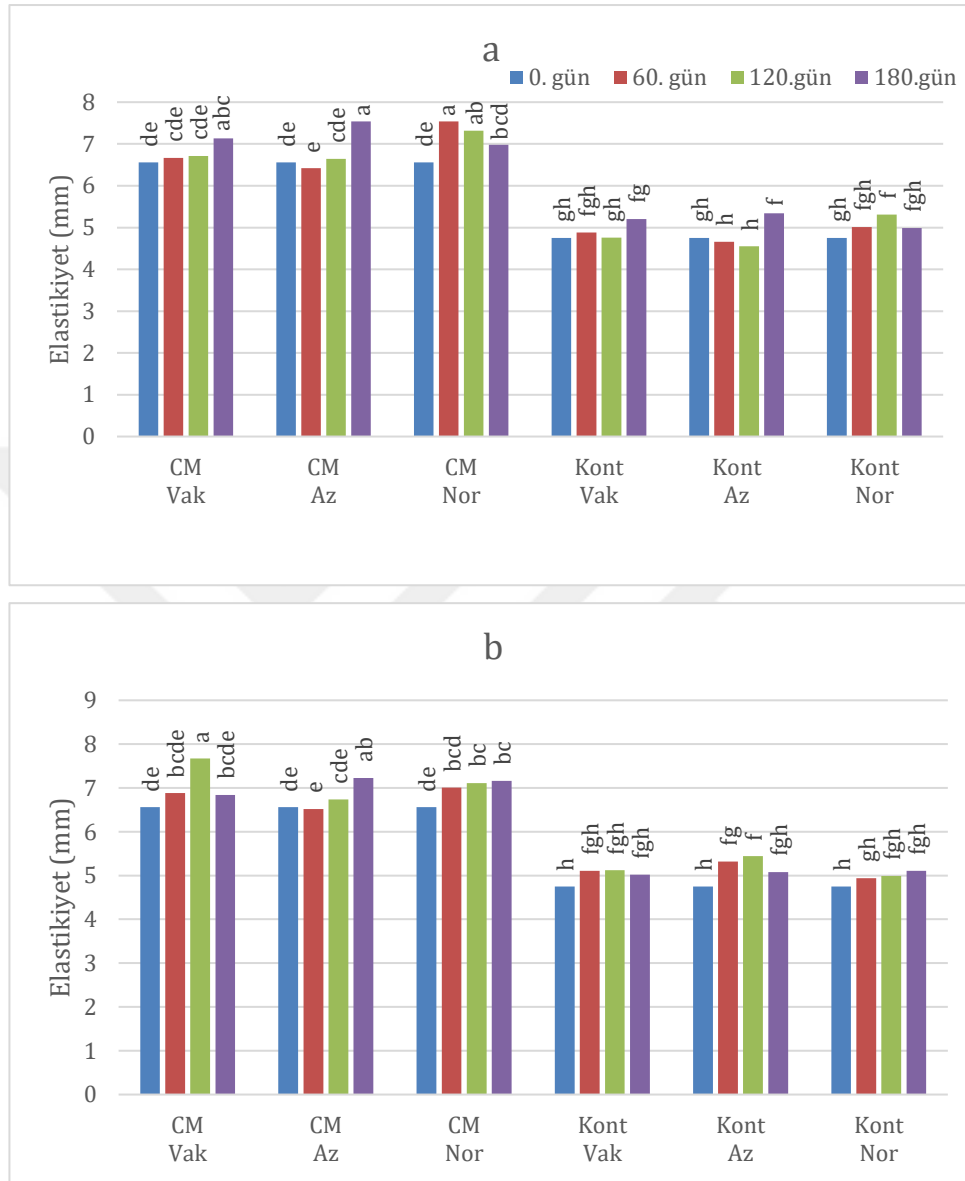


CM: ön işlemlili, Kont: ön işlemsiz, Vak: vakum ambalaj, Az: azotlu ambalaj, Nor: normal ambalaj, a: 4°C depolama sıcaklığı, b: 20°C depolama sıcaklığı. Farklı harflere sahip ortalamalar, istatistiksel olarak birbirinden farklıdır ($p \leq 0.05$).

Şekil 4.17. Depolama sürecinde yarı kuru karpas biberlerin kabuk direncindeki değişimler

Depolanan tam kuru karpas biberlerin elastikiyet bulguları değerlendirildiğinde (Şekil 4.18), depolama sıcaklığı, ambalaj tipi ve depolama süresinin önemli bir değişime neden olmadığı anlaşılmaktadır. Yalnızca CM ön işlemi gören ve kontrol gruplarına ait elastikiyet değerleri ortalamalarının istatistiksel olarak birbirinden farklılık gösterdiği tespit edilmiş olup ($p \leq 0.05$), ön işlemlili grupların

elastikiyet ortalamaları 7.01 mm iken kontrol gruplarının ortalama değerleri 5.05 mm olarak belirlenmiştir.

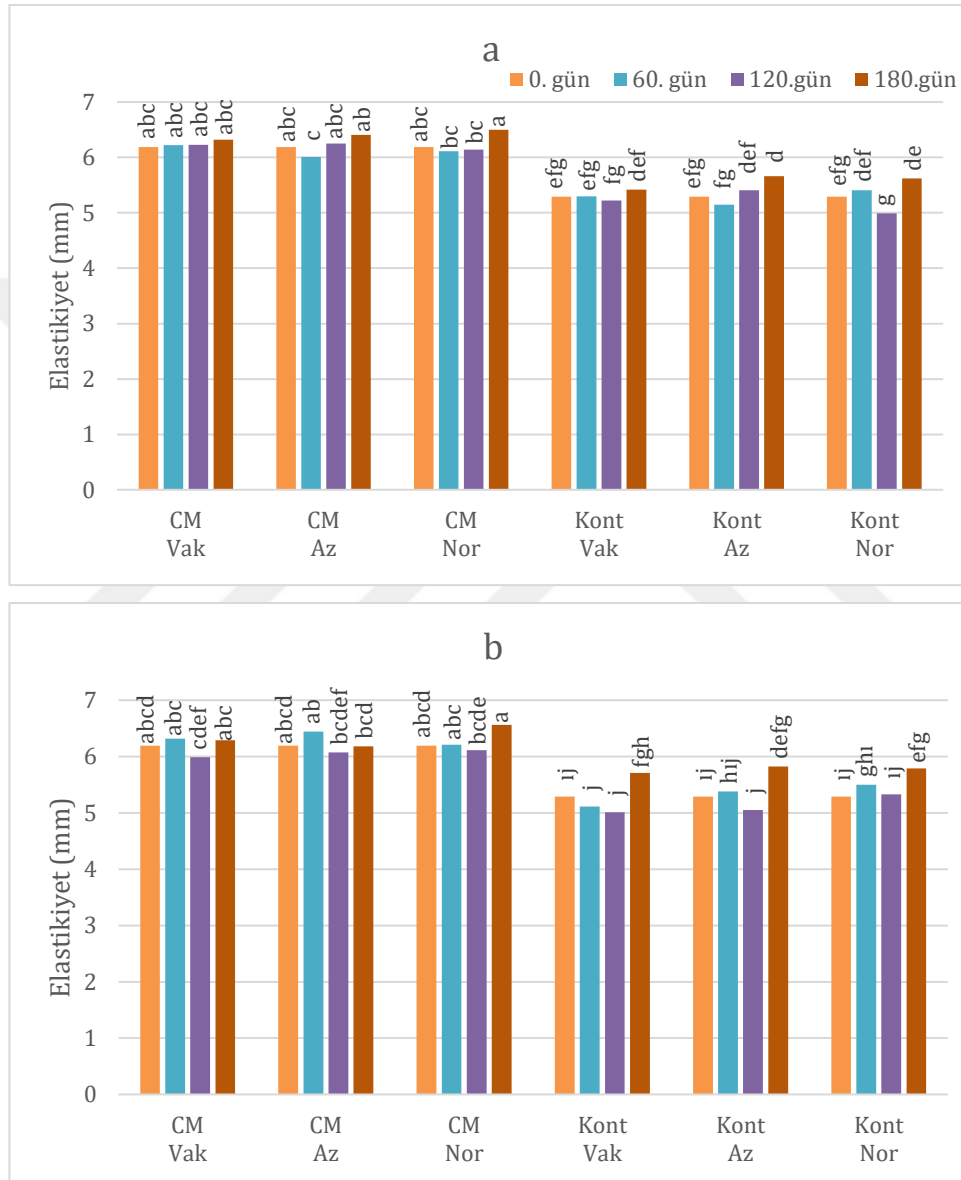


CM: ön işlemlili, Kont: ön işlemsiz, Vak: vakum ambalaj, Az: azotlu ambalaj, Nor: normal ambalaj, a: 4°C depolama sıcaklığı, b: 20°C depolama sıcaklığı. Farklı harflere sahip ortalamalar, istatistiksel olarak birbirinden farklıdır ($p \leq 0.05$).

Şekil 4.18. Depolama sürecinde tam kuru kopya biberlerin elastikiyet değerlerindeki değişimler

Yarı kuru kopya biberlerin depolama sürecindeki elastikiyet değerleri incelendiğinde (Şekil 4.19), CM ön işlemlili grupların elastikiyet ortalamaları 6.24 mm iken kontrol gruplarının ortalaması 5.38 mm olarak tespit edilmiş olup, CM ön işlemlili elastikiyet değerlerini önemli

derecede etkilemiştir ($p \leq 0.05$). Depolama sıcaklığı ve ambalajlama şekli elastikiyet üzerine etki göstermemiştir. Depolamanın 2. ve 4. ay ortalamaları arasında elastikiyet değerleri bakımından istatistiksel fark olmayıp ($p > 0.05$), 6. ayında önemli bir artış ($p \leq 0.05$) meydana gelmiştir.



CM: ön işlemlili, Kont: ön işlemsiz, Vak: vakum ambalaj, Az: azotlu ambalaj, Nor: normal ambalaj, a: 4°C depolama sıcaklığı, b: 20°C depolama sıcaklığı.

Farklı harflere sahip ortalamalar, istatistiksel olarak birbirinden farklıdır ($p \leq 0.05$).

Şekil 4.19. Depolama sürecinde yarı kuru karpas biberlerin elastikiyet değerlerindeki değişimler

Karaca ve Kurşun (2019), yarı kurutulmuş Trabzon hurması meyvelerini normal şekilde ve azot gazı ile paketleyerek soğukta (4°C)

4 ay süreyle depoladıkları araştırmalarında, kabuk direnci değerlerinde artış olduğunu tespit etmişlerdir. Bu artışın araştırmada kurutulan meyvelerin nem içeriğinin (%30), tez çalışmasındaki nem değerlerinden daha yüksek olmasından dolayı kurumanın depolama sırasında kısmen de olsa devam etmesinden kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

Şen vd. (2015) 9 ay boyunca oda sıcaklığı ve soğuk koşullarda muhafaza ettikleri yarı kuru kayısıların kabuk direnci değerlerini incelemişler; her iki depolama sıcaklığı için de depolama süresinin ilerlemesi ile kabuk direncinin azaldığını tespit etmişlerdir.

4.4.3. Kimyasal özelliklerdeki değişimler

Depolama sürecinde kopya biberlerin önemli kimyasal bileşenlerinden olan askorbik asit, toplam fenolik, toplam karotenoit ve kapsantin miktarları ile antioksidan aktivite değerleri tam kuru ürünler için Çizelge 4.18’de, yarı kuru ürünler için Çizelge 4.19’da verilmiştir.

Çizelge 4.19. Tam kuru kapy a biber örneklerinin depolama sürecindeki bazı kimyasal özellikleri

ÜRÜN TİPİ	DS	AMB	SÜRE	AA	TFM	KAP	KAR	ANT
Ön işleml i	20	Vakum	0	130.91±2.36	11.85±0.32	1954.74±83.58	3152.45±114.06	66.84±2.50
			60	26.25±0.81	6.90±0.13	1262.97±30.04	2006.86±62.43	39.45±1.40
			120	16.94±0.61	5.47±0.12	1023.67±31.36	1636.85±43.14	30.35±2.40
			180	4.47±0.14	3.68±0.04	768.22±13.46	1230.69±34.21	30.39±1.09
		Azot	60	18.85±0.66	9.28±0.09	1284.51±38.32	2034.66±76.85	44.67±1.29
			120	15.69±0.44	6.30±0.12	1075.39±39.47	1718.47±47.47	28.97±2.64
			180	14.75±0.27	3.50±0.08	708.34±24.51	1135.47±34.18	24.59±0.87
		Normal	60	17.39±0.64	8.89±0.09	1113.11±61.71	1762.05±48.78	46.95±1.18
			120	10.15±0.20	7.79±0.15	957.74±37.68	1539.09±61.01	30.91±2.20
			180	4.19±0.18	2.41±0.05	646.74±27.19	1037.37±35.52	24.15±0.78
	4	Vakum	60	63.63±1.78	10.88±0.39	1740.16±41.80	2765.11±49.01	63.33±1.38
			120	35.49±0.94	9.14±0.31	1410.40±63.53	2259.46±61.51	39.30±1.11
			180	32.89±0.35	6.72±0.09	1333.74±50.96	2132.65±82.19	38.78±0.68
		Azot	60	48.84±1.63	9.96±0.47	1510.26±80.97	2417.92±76.25	50.38±1.17
			120	34.59±1.01	6.98±0.15	1121.44±45.36	1802.15±55.92	39.45±0.64
			180	26.11±0.35	6.79±0.09	1188.36±64.71	1901.38±56.36	39.09±1.39
		Normal	60	40.38±1.38	9.38±0.48	1187.08±61.73	1868.46±75.94	42.70±0.55
			120	31.53±0.85	8.27±0.23	1070.70±60.79	1723.83±75.16	33.75±0.60
			180	20.59±0.47	7.79±0.12	952.60±50.84	1514.63±48.71	31.91±0.70

Çizelge 4.19. Tam kuru kapa biber örneklerinin depolama sürecindeki bazı kimyasal özellikleri (devam)									
Kontrol	20	Vakum	0	79.06±1.30	8.44±0.13	1526.32±76.28	2754.49±78.24	51.03±1.28	
			60	20.21±0.45	8.08±0.08	1046.51±53.08	1653.49±33.21	43.34±1.83	
			120	19.64±0.46	6.37±0.13	831.99±18.47	1326.19±42.31	33.76±1.25	
			180	13.75±0.26	3.17±0.08	665.80±20.48	1073.27±36.64	28.84±0.70	
		Azot	60	18.96±0.54	8.01±0.07	960.58±66.60	1531.16±46.99	51.00±1.58	
			120	5.99±0.14	4.66±0.10	882.12±23.13	1403.45±56.76	42.36±0.98	
			180	5.96±0.15	3.92±0.08	573.27±32.14	905.19±34.81	26.25±0.97	
		Normal	60	16.59±0.47	7.63±0.13	940.62±57.23	1493.70±48.10	53.18±2.17	
			120	5.64±0.15	4.19±0.08	791.87±43.51	1263.03±34.37	34.27±1.32	
			180	4.09±0.14	3.33±0.14	538.36±28.95	864.07±19.90	15.79±0.77	
		4	Vakum	60	49.86±0.94	8.28±0.42	1262.78±85.58	2036.86±75.14	46.78±0.76
				120	39.58±0.95	8.16±0.23	1001.10±50.72	1603.76±61.33	47.40±1.05
	180			17.18±0.36	7.43±0.12	898.52±70.13	1439.43±47.67	26.60±0.57	
	Azot		60	55.36±0.97	8.33±0.18	1051.38±54.37	1675.90±62.54	49.70±1.00	
			120	46.62±0.79	7.46±0.22	945.70±43.47	1519.74±45.76	36.66±1.03	
			180	22.02±0.48	7.04±0.18	665.85±28.56	1063.36±54.00	34.75±1.59	
	Normal		60	60.21±1.28	8.09±0.23	1138.82±72.34	1813.00±62.93	38.64±0.76	
		120	34.90±0.69	6.50±0.10	965.01±46.18	1544.02±43.86	38.15±0.88		
		180	15.17±0.47	6.00±0.20	716.68±41.75	1154.57±77.03	26.40±1.27		

DS: Depolama sıcaklığı (°C), AMB: Ambalajlama yöntemi, SÜRE: depolama süresi (gün), AA: mg askorbik asit/100g kurumadde, TFM: mg gallik asit eşdeğeri toplam fenolik madde/ g kurumadde, KAP: mg/kg kurumadde kapsantin, KAR: mg/kg kurumadde kapsantin eşdeğeri toplam karotenoid, ANT: Mikromol Trolox eşdeğeri antioksidan aktivite/g kurumadde

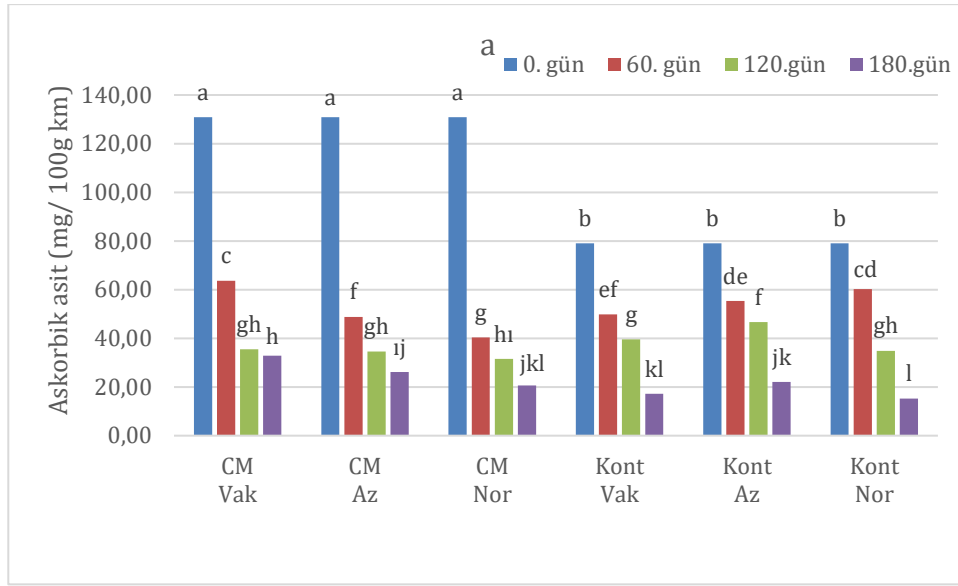
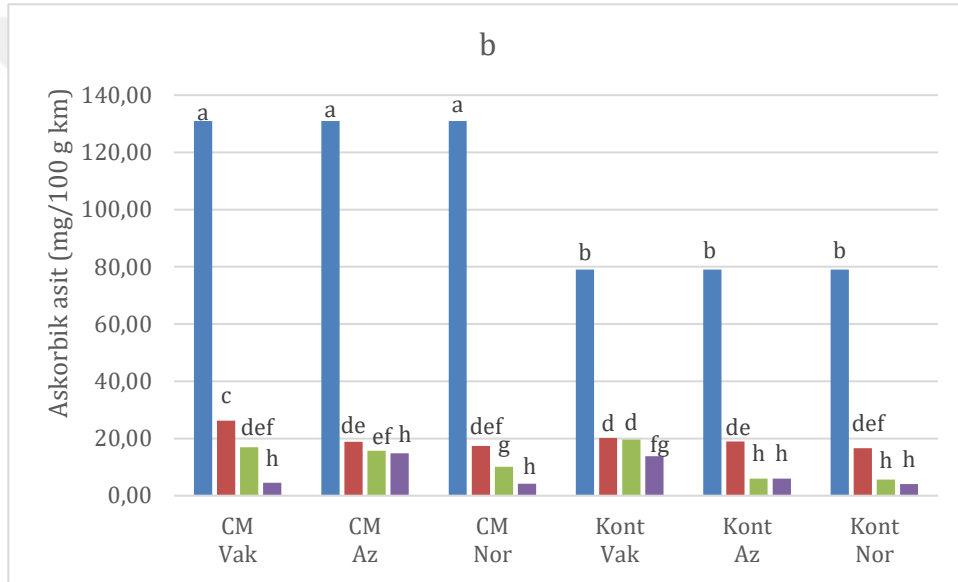
Çizelge 4.20. Yarı kuru kapya biber örneklerinin depolama sürecindeki bazı kimyasal özellikleri

ÜRÜN TİPİ	DT	AMB	DS	AA	TFM	KAP	KAR	ANT
Ön işlemlili	20	Vakum	0	193.53±2.38	9.66±0.10	2168.56±57.68	3352.74±79.04	48.26±0.75
			60	16.84±0.79	6.59±0.09	1277.30±41.97	2030.14±41.78	38.47±1.26
			120	13.71±0.41	3.52±0.05	947.61±24.84	1505.85±41.34	21.47±0.95
			180	9.57±0.13	3.00±0.06	554.76±13.96	887.28±20.43	15.15±0.87
		Azot	60	59.87±0.46	6.26±0.09	1206.29±41.69	1916.43±47.77	41.59±1.78
			120	19.63±0.72	3.92±0.07	632.59±27.09	1019.10±33.68	33.64±1.36
			180	13.81±0.11	3.52±0.07	410.56±12.95	655.46±13.80	28.65±0.91
		Normal	60	38.69±0.75	7.70±0.12	816.05±19.60	1305.19±46.47	31.16±1.61
			120	16.66±0.48	3.49±0.09	799.37±25.76	1270.72±40.92	31.21±1.49
			180	7.78±0.04	4.01±0.06	419.21±14.89	669.65±12.55	24.93±0.81
	4	Vakum	60	131.08±1.40	7.98±0.11	1395.31±54.46	2217.15±38.40	52.94±1.06
			120	25.98±0.46	3.32±0.10	845.82±33.34	1342.32±20.93	25.86±1.49
			180	17.73±0.42	2.59±0.07	711.79±48.22	1138.86±32.05	17.87±0.98
		Azot	60	144.77±1.52	10.64±0.34	1465.51±62.83	2319.90±68.15	64.48±1.34
			120	18.21±0.26	3.65±0.09	804.54±41.80	1274.39±27.94	22.51±0.93
			180	12.78±0.26	1.84±0.09	668.70±44.86	1069.25±26.38	20.03±1.06
		Normal	60	61.85±0.92	8.44±0.25	1307.31±46.59	2083.85±53.49	53.57±1.69
			120	49.90±1.04	4.90±0.07	746.06±31.14	1190.71±26.59	40.61±1.79
			180	16.49±0.70	2.13±0.12	698.35±26.93	1115.96±48.23	25.05±1.38

Çizelge 4.20. Yarı kuru kapya biber örneklerinin depolama sürecindeki bazı kimyasal özellikleri (devam)									
Kontrol	20		0	168.44±2.26	8.51±0.07	1745.26±52.95	2942.16±72.36	45.74±1.09	
		Vakum	60	17.54±0.38	6.69±0.07	929.46±20.41	1486.76±56.47	32.50±0.93	
			120	13.35±0.18	5.97±0.09	656.76±18.04	1044.05±29.81	30.23±1.59	
			180	11.04±0.18	3.02±0.06	325.94±13.31	521.86±13.47	24.44±0.97	
			60	16.13±0.37	7.07±0.14	954.64±26.19	1518.83±47.18	36.90±1.75	
		Azot	120	6.36±0.11	4.43±0.08	415.97±16.69	660.31±19.53	34.98±2.06	
			180	6.30±0.07	2.54±0.08	319.21±11.31	511.02±17.66	22.42±0.95	
			60	12.39±0.07	9.31±0.14	668.59±14.85	1069.41±31.50	48.48±2.28	
		Normal	120	6.67±0.05	2.38±0.07	438.59±15.71	697.18±21.63	36.67±1.09	
			180	3.91±0.04	0.88±0.06	307.24±12.56	491.55±23.64	24.76±1.09	
			4	Vakum	60	54.95±0.68	5.01±0.12	1200.90±50.26	1896.22±46.52
		120			34.04±0.52	5.22±0.11	847.14±43.22	1364.74±27.48	40.84±1.82
	180	12.44±0.32			3.35±0.09	489.25±32.07	784.27±18.10	21.43±0.87	
	Azot	60		22.02±0.45	7.59±0.05	1156.93±24.00	1838.82±49.46	42.81±1.33	
		120		13.57±0.31	4.26±0.08	724.75±35.05	1150.83±30.53	24.50±0.93	
		180		13.14±0.21	2.98±0.06	467.86±30.87	749.14±15.72	18.81±0.48	
	Normal	60	19.35±0.63	7.72±0.16	886.56±9.24	1408.83±51.10	37.64±1.34		
		120	12.28±0.21	3.29±0.08	631.06±32.87	1001.11±32.22	22.29±0.91		
		180	10.00±0.32	2.28±0.07	469.03±38.78	752.84±16.36	14.39±0.69		

DS: Depolama sıcaklığı (°C), AMB: Ambalajlama yöntemi, SÜRE: depolama süresi (gün), AA: mg askorbik asit/100g kurumadde, TFM: mg gallik asit eşdeğeri toplam fenolik madde/ g kurumadde, KAP: mg/kg kurumadde kapsantin, KAR: mg/kg kurumadde kapsantin eşdeğeri toplam karotenoid, ANT: Mikromol Trolox eşdeğeri antioksidan aktivite/g kurumadde

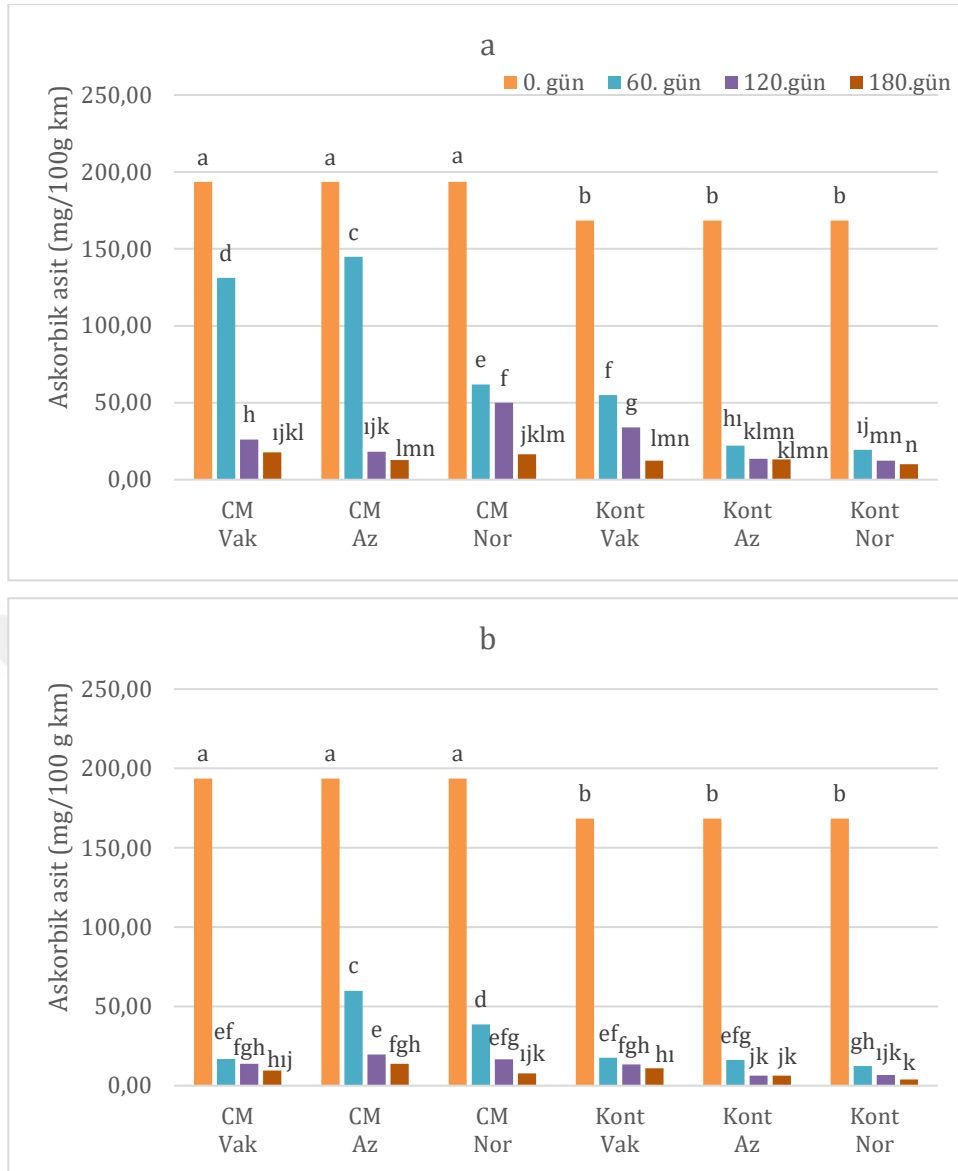
Tam kuru kopya biberlerin depolama periyodundaki askorbik asit miktarlarındaki değişim, depolama sıcaklığından önemli düzeyde etkilenmiş olup ($p \leq 0.05$), 4°C ' de muhafaza edilen ürünlerin askorbik asit içerikleri, 20°C 'de muhafaza edilenlerden daha yüksektir. Ön işlemin ve ambalajlama türünün askorbik asit içeriğine etkisi, istatistiksel yönden önemsiz ($p > 0.05$) bulunmuştur. Muhafaza süreleri açısından ise 2, 4 ve 6. ay gruplarının her birinde azalma yönünde istatistiksel olarak anlamlı ($p \leq 0.05$) farklar görülmüştür. Tam kuru ve ön işlemlili gruplarda 6 aylık muhafaza sonunda en yüksek askorbik asit korunumu $35.49 \text{ mg}/100 \text{ g km}$ içerik ile 4°C sıcaklıkta vakum ambalaj ile saklanan örneklerde tespit edilmiştir. En yüksek tahribat ise $4.19 \text{ mg}/100 \text{ g km}$ içerik ile 4°C sıcaklıkta vakum ambalaj ile saklanan ürünlerde görülmüştür. Kontrol gruplarında 6 aylık süreçteki azalmalar kıyaslandığında, en yüksek korunum $46.62 \text{ mg}/100 \text{ g km}$ askorbik asit miktarına sahip olan 4°C sıcaklıkta ve azotlu ambalaj ile saklanan ürünlerde gözlemlenirken, en yüksek kayıp $4.09 \text{ mg}/100 \text{ g km}$ içerik ile 20°C 'de normal paketlenme ile muhafaza edilen gruplarda meydana gelmiştir. Yarı kuru kopya biberlerin depolama sürecindeki askorbik asit miktarları da tam kuru ürünlerde meydana geldiği üzere; depolama sıcaklığından önemli düzeyde etkilenmiş olup ($p \leq 0.05$), 4°C ' de muhafaza edilen ürünler askorbik asit korunumu açısından 20°C 'de muhafaza edilenlerden daha iyi performans göstermiştir. Ambalaj tipinin askorbik asit içeriğine etkisi de tam kuru ürünlerdeki gibi önemsiz bulunmuştur. Depolamanın 4 ve 6. ayında analiz edilen yarı kuru biberlerdeki askorbik asit kayıpları, 2. aya kıyasla daha yüksek bulunmuştur ($p \leq 0.05$). Depolama sürecinin 6. ayında yarı kuru kopya biberler için en yüksek askorbik asit içeriği $17.54 \text{ mg}/100 \text{ g km}$ ile CM ön işlemlisi sonrası kurutularak 4°C sıcaklıkta vakum ambalaj ile saklanan örneklerde tespit edilmiştir. Ön işlemlili yarı kuru ürünler için en düşük askorbik asit içeriği ise 20°C 'de normal ambalaj ile muhafaza edilen ürünlerde $7.78 \text{ mg}/100 \text{ g km}$ olarak belirlenmiştir. Şekil 4.20'de tam kuru, Şekil 4.21'de ise yarı kuru kopya biberlerin depolama sırasındaki askorbik asit içerikleri grafik olarak gösterilmiştir.



CM: ön işlemlili, Kont: ön işlemsiz, Vak: vakum ambalaj, Az: azotlu ambalaj, Nor: normal ambalaj, a: 4°C depolama sıcaklığı, b: 20°C depolama sıcaklığı.

Farklı harflere sahip ortalamalar, istatistiksel olarak birbirinden farklıdır ($p \leq 0.05$).

Şekil 4.20. Depolama sürecinde tam kuru kopya biberlerin askorbik asit miktarındaki değişimler



CM: ön işlemlili, Kont: ön işlemsiz, Vak: vakum ambalaj, Az: azotlu ambalaj, Nor: normal ambalaj, a: 4°C depolama sıcaklığı, b: 20°C depolama sıcaklığı. Farklı harflere sahip ortalamalar, istatistiksel olarak birbirinden farklıdır ($p \leq 0.05$).

Şekil 4.21. Depolama sürecinde yarı kuru kapya biberlerin askorbik asit miktarındaki değişimler

Literatürde tam kuru meyve ve sebzelerin depolanmaları sırasında askorbik asit içeriklerine dair çeşitli çalışmalar mevcuttur. Genellikle depolama sıcaklığının artışı, askorbik asit içeriğini olumsuz etkilemektedir (Uddin vd., 2002, Hossain ve Gottschalk, 2009). Dondurularak kurutulan tam kuru yeşil biberlerin buzdolabı sıcaklığında depolanmaları sırasında başlangıçtaki 110 mg/100 g olan askorbik asit miktarı 5. ay sonunda 55 mg/100 g seviyesine düşmüştür (Rahman vd., 2015). Kuru meyvelerle ilgili yapılan bir çalışmada

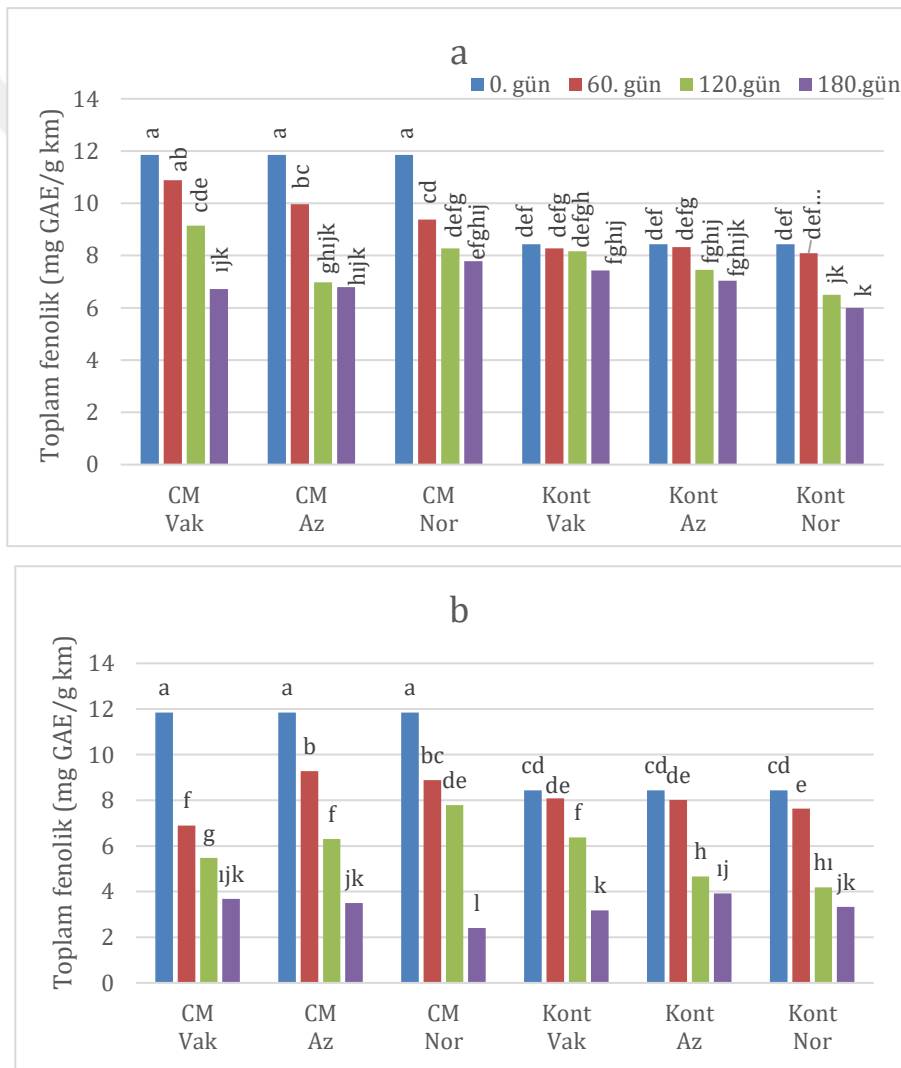
(Piasecka vd., 2013) siyah frenk üzümelerini kurutarak 12 ay süreyle oda sıcaklığında depoladıkları çalışmalarında, depolama sürecinin ilerlemesi ile askorbik asit içeriğinde doğrusal azalış tespit etmişlerdir. Dondurarak kurutma tekniği ile kurutulan meyvelerde dahi 12. ayda %30 kayıp tespit etmişlerdir. Ozmotik ön işleme tabi tutulup 60°C sıcaklığa sahip konvektif fırınlarda kurutulduktan sonra depolanan örneklerde 12. ay sonundaki askorbik asit kaybı ise %82'ye ulaşmıştır.

Eltoum ve Babiker (2013) güneş ve 80°C sıcaklıktaki fırında kurutulan domates dilimlerinin 6 aylık depolanması süresince askorbik asit içeriklerinde azalış meydana geldiğini bildirmiştir. Depolama başlangıcında güneşte kurutulan domateslerin 53 mg/100g olan askorbik asit içeriği 6 ay sonunda 38 mg/100g seviyesine; fırında kurutulanların 45 mg/100g olan içeriği 35 mg/100g düzeyine düşmüştür.

Yarı kuru domateslerin depolandığı bir araştırmada (Hossain ve Gottschalk, 2009), ürünlerdeki son nem oranı yükseldikçe askorbik asit korunumu da artmıştır. Örnek vermek gerekirse depolamanın başlangıcında 180 mg/100 g (km) Askorbik asit içeren domates kurularının 5 aylık depolama süresinin sonunda %18 nem içerenlerin askorbik asit miktarı 120 mg/100g iken %30 nemli ürünlerde 140 mg/100g olarak tespit edilmiştir.

Toplam fenolik madde (TFM) miktarında depolama sırasında meydana gelen değişimler incelendiğinde; tam kuru ürünler için paketleme tipi haricindeki tüm değişkenler TFM miktarlarına önemli düzeyde etki göstermiştir ($p \leq 0.05$). TFM miktarları depolama süreci boyunca azalma yönünde değişim göstermiştir. CM ön işlemlili gruplar kontrol gruplarından daha yüksek TFM içeriğine sahiptir. Depolama sıcaklığı 4°C olan ürünlerin TFM miktarı, 20°C sıcaklıkta muhafaza edilenlerden daha yüksektir. Depolama süresi boyunca TFM miktarları 2, 4 ve 6 aylık dönemler arasında önemli azalışlar sergilemiştir ($p \leq 0.05$). Yarı kuru

ürünler için, TFM miktarına depolama süresi haricinde diğer faktörlerin (ön işlem, depolama sıcaklığı ve ambalajlama şekli) etkisi görülmemiştir. Depolama periyodunun 2, 4 ve 6. ayındaki TFM miktarları, birbirlerinden önemli düzeyde fark gösterecek şekilde azalmıştır ($p \leq 0.05$). Acı ve kuru kırmızıbiberlerin 20°C sıcaklıkta depolandığı bir araştırmada (Iqbal vd., 2015), TFM miktarı 5. ay sonunda %14 azalma göstermiştir. Tam ve yarı kuru kapa biberlerin depolama süresince tespit edilen TFM miktarları sırasıyla Şekil 4.22 ve Şekil 4.23’ te gösterilmiştir.



CM: ön işlemlili, Kont: ön işlemlisiz, Vak: vakum ambalaj, Az: azotlu ambalaj, Nor: normal ambalaj, a: 4°C depolama sıcaklığı, b: 20°C depolama sıcaklığı.

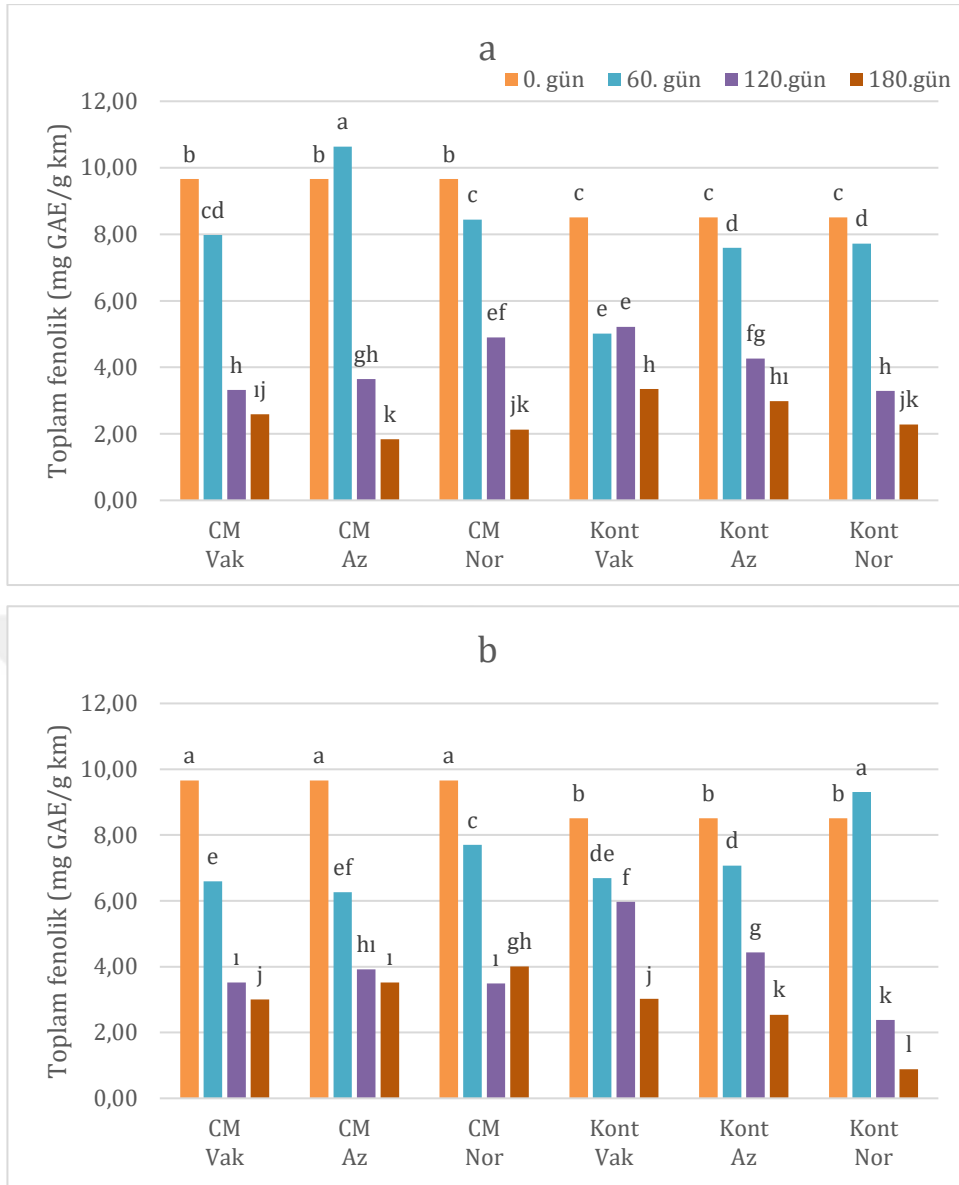
Farklı harflere sahip ortalamalar, istatistiksel olarak birbirinden farklıdır ($p \leq 0.05$).

Şekil 4.22. Depolama sürecinde tam kuru kapa biberlerin toplam fenolik miktarındaki değişimler

Kapya biberlerin k p ve halka  eklinde dođranarak fırında kurutulduđu ve 14 boyunca depolandıđı bir ara tırmada (Cemal ve Yıldız, 2022) depolama s resi ilerledik e  rneklerin TFM miktarında azalma kaydedilmi tir. Ayrıca sođukta muhafaza edilen kapy biberlerin TFM i eriđi, oda sıcaklıđında depolanan  rneklerden y ksek bulunmu tur. Tez  alı ması, bulgular ile uyum g stermi tir.

Iqbal vd. (2015) g ne te kuruttukları acı kırmızı biberlerin TFM i eriđine muhafaza ko ullarının etkisini incelemi lerdir. Be  aylık muhafaza s resinin ilerlemesi sırasında TFM miktarlarında azalı lar meydana gelmi tir. Tam kuru tatlı kırmızı biber tozlarının depolandıđı ba ka bir  alı mada (Pavel vd., 2019), ba langı ta 789 ppm olan TFM miktarı 6 aylık depolama sonunda 705 ppm, 15. ay sonunda ise 595 ppm seviyesine inmi tir. Eltoum ve Babiker (2013) d rde b lerek g ne te ve 80 C sıcaklıktaki fırında kuruttukları domateslerin 6 aylık oda sıcaklıđında depolama s recinde toplam fenolik madde i eriđinin azalı  g sterdiđini bildirmi lerdir.

Elma, vi ne ve siyah frenk  z m n n kurutularak depolandıđı bir ara tırmada (Piasecka vd., 2013), 12 aylık depolama sonunda toplam fenolik madde i eriklerinin depolama s resi ilerledik e azalma eđiliminde olduđu tespit edilmi tir.



CM: ön işlemlili, Kont: ön işlemlisiz, Vak: vakum ambalaj, Az: azotlu ambalaj, Nor: normal ambalaj, a: 4°C depolama sıcaklığı, b: 20°C depolama sıcaklığı.

Farklı harflere sahip ortalamalar, istatistiksel olarak birbirinden farklıdır ($p \leq 0.05$).

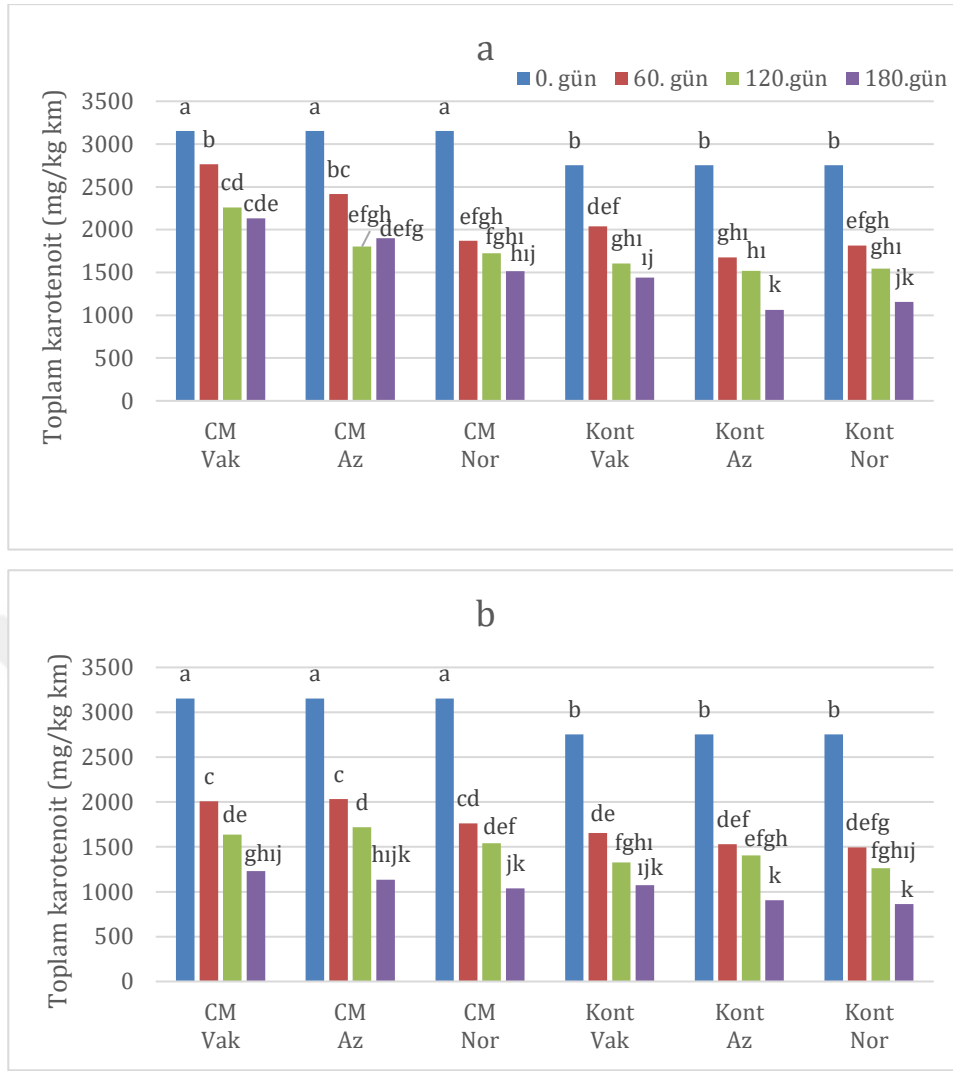
Şekil 4.23. Depolama sürecinde yarı kuru kapa biberlerin toplam fenolik miktarındaki değişimler

Tam kuru kapa biberlerin sıfırıncı gün için toplam karotenit miktarları (kapsantin cinsinden) CM ön işlemlili ve kontrol grupları için sırasıyla 3152.45 ve 2754.49 ppm (km) olarak tespit edilmiştir. Yarı kuru ürünler için bu miktarlar sırasıyla 3352.74 ve 2942.16 ppm (km)'dir. Toplam karotenit miktarları, tam kuru kapa biberler için ön işlem, depolama sıcaklığı ve depolama süresinden önemli düzeyde etkilenmiştir ($p \leq 0.05$). Paketleme çeşitleri açısından en yüksek toplam

karotenoit miktarı vakum paketli ürünlerde tespit edilirken, azotlu ve normal ambalajlar arasında istatistiksel fark tespit edilememiştir ($p>0.05$). Oda sıcaklığında depolanan örneklerdeki toplam karotenoit miktarları buzdolabı sıcaklığında saklanan örneklerden daha düşük bulunmuştur. Yüksek depolama sıcaklıklarının parçalanma ve oksidatif türü reaksiyonların hızlı seyretmesine neden olarak karotenoit yıkımını hızlandırdığı düşünülmektedir. Benzer sonuçlar, saf karoten fraksiyonlarının 4 ve 25°C sıcaklıklarda depolanması sırasında 4°C depolama sıcaklığının daha iyi karotenoit korunumu sağladığı ve depolama süresinin uzamasının toplam karotenoit miktarını azalttığını şeklinde raporlanmıştır (Tang ve Chen, 2000). Song vd. (2018) de depolanan ürünler için en iyi karotenoit korunumunun 4°C'de sağlandığını bildirmiştir.

Depolama süresinin ilerlemesi de toplam karotenoit miktarında azalışlara neden olmuştur. Bu durum ise oksidasyon reaksiyonlarının zaman ilerledikçe devam etmesinin bir sonucudur. Dondurarak kurutma yöntemi ile üretilen kırmızıbiber tozlarının 4 ay boyunca oda sıcaklığında depolandığı bir çalışmada, toplam karotenoit içeriklerinde karanlıkta muhafaza edilenler için %38.8, ışığa maruz kalanlar için %39.7 kayıp olduğu raporlanmıştır (Schweiggert vd., 2007). Tam kuru kapa biberler için belirlenen karotenoit madde kayıpları, bu değerler ile uyum içindedir.

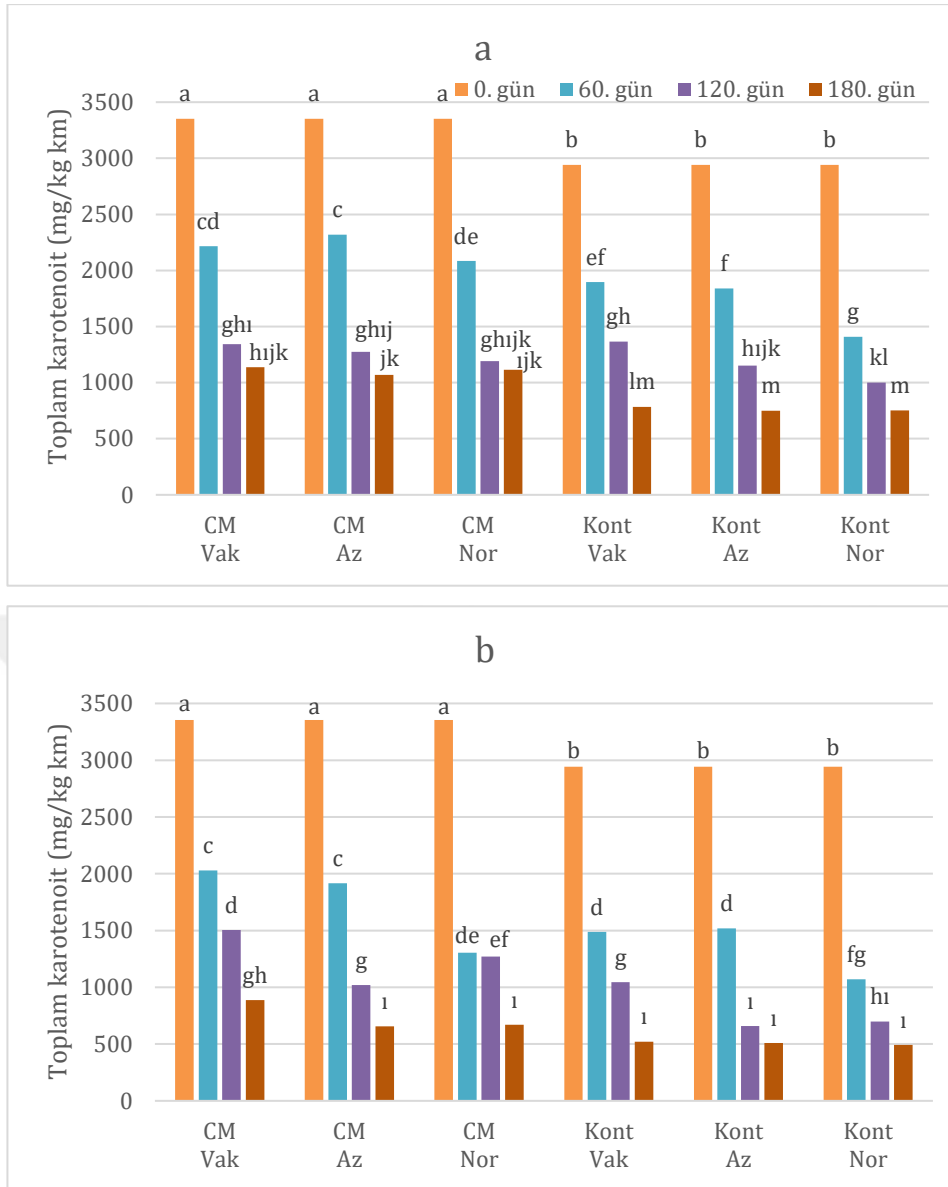
Tam ve yarı kuru kapa biberlerin depolama sürecindeki toplam karotenoit madde miktarındaki değişimler sırasıyla Şekil 4.24 ve Şekil 4.25'te gösterilmiştir.



CM: ön işlemlili, Kont: ön işlemsiz, Vak: vakum ambalaj, Az: azotlu ambalaj, Nor: normal ambalaj, a: 4°C depolama sıcaklığı, b: 20°C depolama sıcaklığı.
Farklı harflere sahip ortalamalar, istatistiksel olarak birbirinden farklıdır ($p \leq 0.05$).

Şekil 4.24. Depolama sürecinde tam kuru kapa biberlerin toplam karotenoit miktarındaki değişimler

Vakum paketlemenin depolama sürecinde kuru papaya cipslerinin depolanması sırasında karotenoit maddeleri daha iyi koruduğundan bahsedilmiştir (Soto vd., 2020). Gouveia ve Empis (2003), mikroalg kaynaklı karotenoit biyokütlelerinin uzun süreli depolanmalarında vakum ambalajlamanın üstün koruma sağladığını raporlamıştır. Bu bulgular, tez çalışmasındaki depolama süresince en iyi kapsantin ve karotenoit madde korunumunu sağlayan ambalaj şeklinin vakum ambalaj olmasını doğrulamaktadır.



CM: ön işlemlili, Kont: ön işlemsiz, Vak: vakum ambalaj, Az: azotlu ambalaj, Nor: normal ambalaj, a: 4°C depolama sıcaklığı, b: 20°C depolama sıcaklığı.

Farklı harflere sahip ortalamalar, istatistiksel olarak birbirinden farklıdır ($p \leq 0.05$).

Şekil 4.25. Depolama sürecinde yarı kuru kopya biberlerin toplam karotenoid miktarındaki değişimler

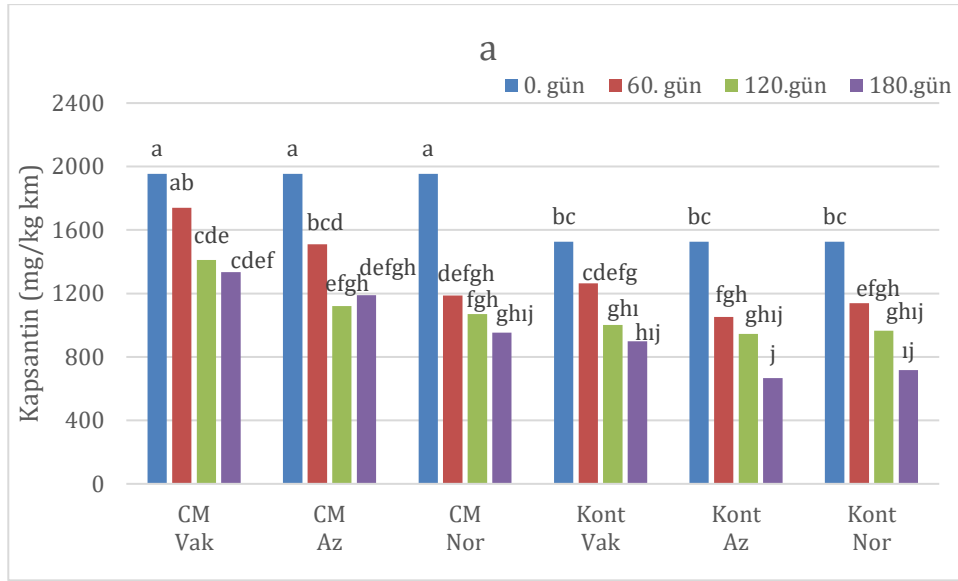
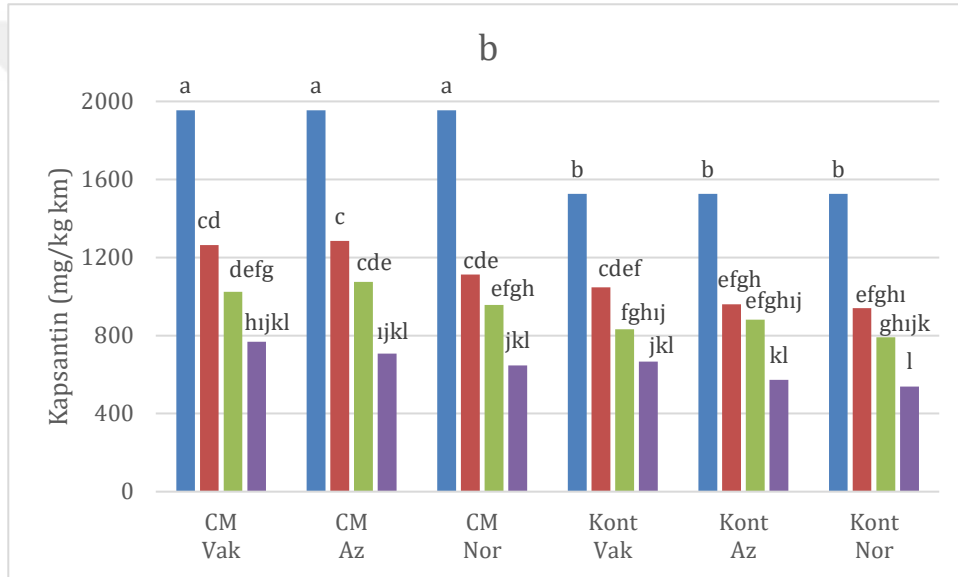
Yarı kuru kopya biberlerin toplam karotenoid miktarlarına CM ön işlemlili ve paketleme tipinin istatistiksel olarak önemli bir etkisi bulunmamıştır ($p > 0.05$). Depolama sıcaklığı ve süresi ise önemli etki göstermiştir ($p \leq 0.05$). Buzdolabı sıcaklığında depolanan yarı kuru örneklerin toplam karotenoid madde miktarları (1372.18 ppm), oda sıcaklığında depolananlardan (901.19 ppm) yüksek bulunmuştur. Depolamanın 2, 4 ve 6. ayındaki karotenoid madde miktarları da giderek

azalmış olup sırasıyla 1504.35, 1126.78 ve 778.93 ppm olarak tespit edilmiştir.

Kapsantin kırmızıbiberlerde bulunan toplam karotenoit pigmentlerin %50' sinden fazlasını oluşturmaktadır (Rhim ve Hong, 2011). Tez çalışmasında taze kapy biberlerin kapsantin içeriği 3674.23 ppm olarak tespit edilmiştir. Taze kırmızıbiberlerin kapsantin içerikleri ile ilgili literatür taramalarında 2211 ile 4006 ppm (Arimboor vd., 2015), 3121 ppm (Ko vd., 2022), 4005.8 ppm (Topuz ve Özdemir, 2003) gibi değişken miktarlardan bahsedilmiştir.

Tam kuru ve ön işlemlili kuru kapy biberlerin kapsantin miktarı kuru maddede 1954.74 ppm iken kontrol grubundaki içerik 1526.32 ppm olarak tespit edilmiştir. Meyvelerin kurutulması sırasında karotenoit madde içerikleri %50'ye varan oranlarda kayba uğrayabilmektedir (Fratianni vd., 2013). Topuz vd. (2011) çeşitli yöntemlerle kurutulan Jalapeno türü kırmızıbiberlerdeki kapsantin miktarını 837.1-1494.4 ppm (km) olarak raporlamıştır. Kim vd. (2004) ise 60 ve 80°C sıcaklıklardaki fırınlarda kurutulan kırmızıbiberlerin 1014.4-1047.4 ppm (km) kapsantin içerdiğini bildirmiştir. Bulgular literatür ile uyum içindedir.

Tam kuru ürünlerin depolama sırasındaki kapsantin miktarları, depolama faktörlerinden toplam karotenoit madde miktarındaki gibi etkilenmiştir. Azotlu ve normal paketleme dışındaki tüm faktörler, istatistiksel olarak önemli etki göstermiştir ($p \leq 0.05$). Depolama sürecinde tam kuru kapy biberlerin kapsantin miktarlarına ait değişimler Şekil 4.26' de özetlenmiştir.



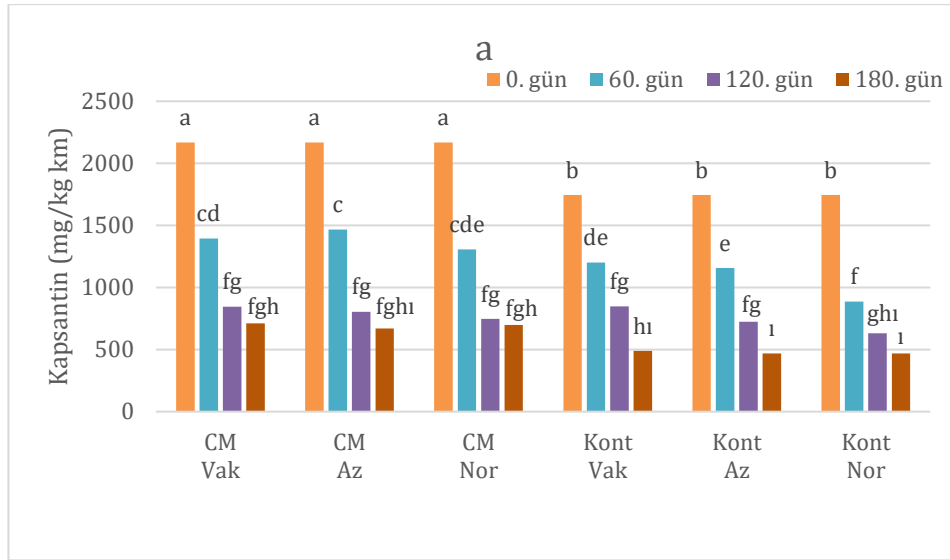
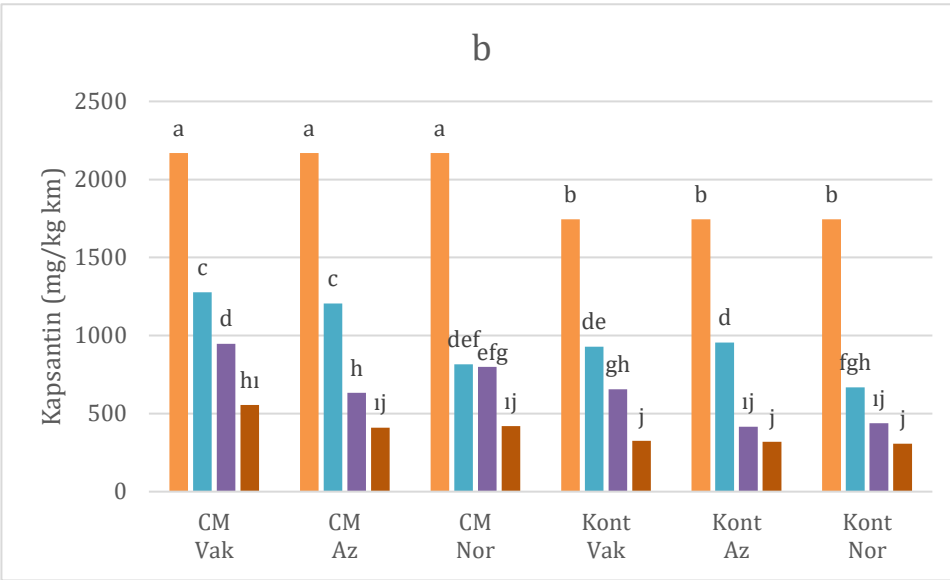
CM: ön işlemlili, Kont: ön işlemsiz, Vak: vakum ambalaj, Az: azotlu ambalaj, Nor: normal ambalaj,
a: 4°C depolama sıcaklığı, b: 20°C depolama sıcaklığı.
Farklı harflere sahip ortalamalar, istatistiksel olarak birbirinden farklıdır ($p \leq 0.05$).

Şekil 4.26. Depolama sürecinde tam kuru kapa biberlerin kapsantin miktarındaki değişimler

Ön işlemlili yarı kuru kapa biberlerin sıfırıncı gün kapsantin içeriği 2168.56 ppm (km) iken kontrol grubu için bu değer 1745.26 ppm (km) olarak bulunmuştur. CM ön işlemlili ve paketlenme türü yarı kuru ürünlerin kapsantin içeriğine etki göstermemiştir ($p > 0.05$). Depolama sıcaklığı ve süresi ise istatistiksel olarak önemli farklılıklara neden olmuştur. Buzdolabı ve oda sıcaklığında depolanan yarı kuru kapa biberlerin kapsantin miktarları kurumaddede sırasıyla 862.05 ve

564.72 ppm olarak tespit edilmiştir. Depolamanın 2. ayında tespit edilen kapsantin miktarı kurumaddede 945.81 ppm iken, bu miktar 4. ayda 707.52 ppm'e ve 6. ayda 486.83 ppm'e düşmüştür ($p \leq 0.05$). Yarı kuru ürünlerin kapsantin içeriklerindeki değişim, tam kuru kopya biberlere benzer eğilim göstermiştir.

Depolama sürecinde yarı kuru ürünlerin kapsantin içerikleri Şekil 4.27' de gösterilmiştir. Yarı kuru ürünlerdeki yüksek orandaki azalışların, tam kuru ürünlere kıyasla yüksek su aktivitesine sahip olmalarının bir sonucu olduğu ve bu durumun kapsantini etkileyen parçalanma veya oksidasyon reaksiyonlarının daha hızlı seyretmesine neden olduğu düşünülmektedir. Nitekim, Lezama vd. (2014), şili biberlerden elde ettikleri ekstraktlardaki karotenoit kayıplarını inceledikleri çalışmalarında, 25°C sıcaklıkta 8 hafta depolama süresi için 0.237 su aktivitesine sahip ortamdaki karotenoit kaybı %20 civarında iken 0.654 su aktivitesindeki kayıplar %70 düzeyini aşmıştır. Tez çalışması bulguları bu sonuçlar ile su aktivitesi değerlerinin tam ve yarı kuru ürünlerin değerlerine çok yakın olması sebebiyle uyum göstermektedir.



CM: ön işlemlili, Kont: ön işlemsiz, Vak: vakum ambalaj, Az: azotlu ambalaj, Nor: normal ambalaj, a: 4°C depolama sıcaklığı, b: 20°C depolama sıcaklığı. Farklı harflere sahip ortalamalar, istatistiksel olarak birbirinden farklıdır ($p \leq 0.05$).

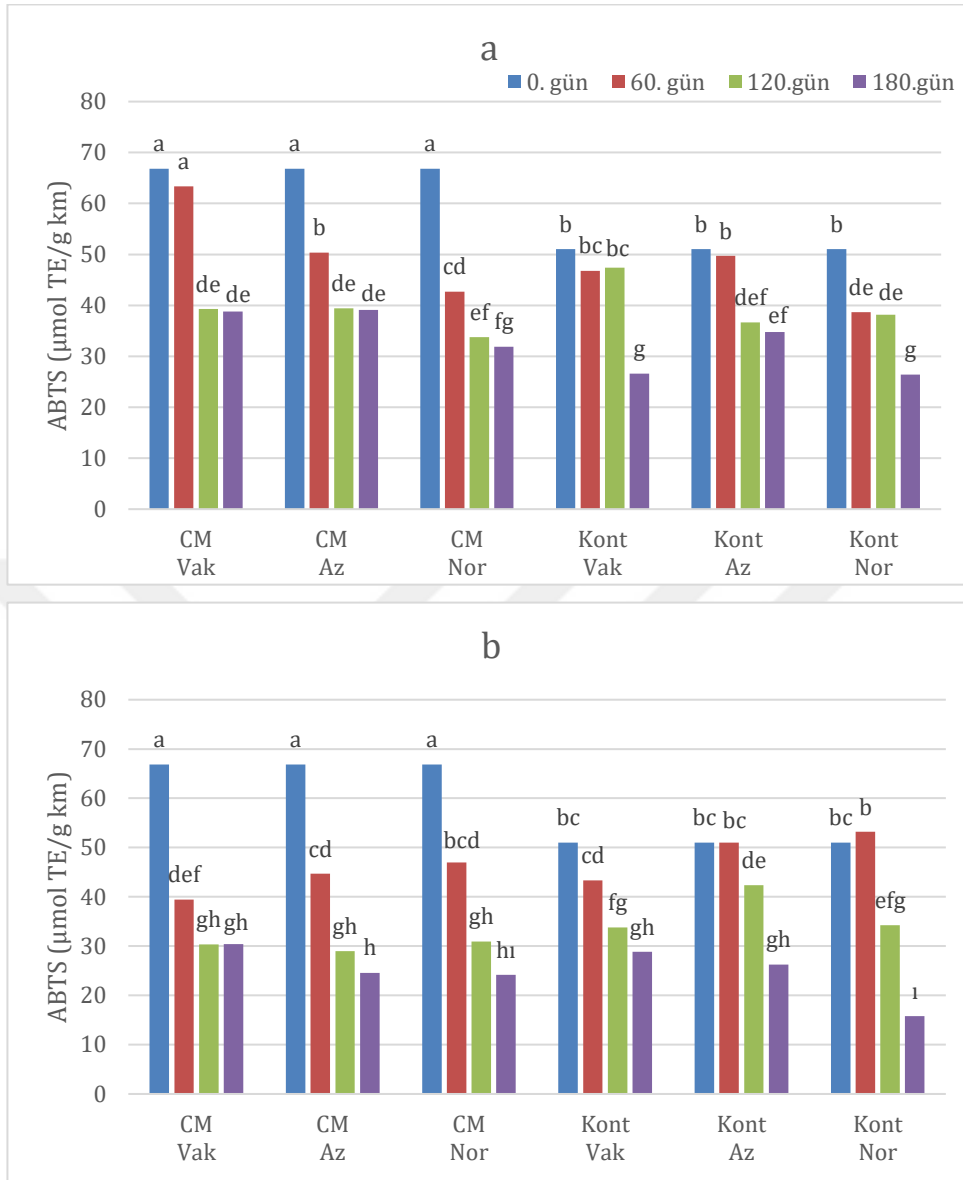
Şekil 4.27. Depolama sürecinde yarı kuru kopya biberlerin kapsantin miktarındaki değişimler

Depolama sıcaklığı ve süresinin kuru kırmızıbiberlerin kapsantin içeriği üzerindeki etkisinin incelendiği bir çalışmada (Kim vd., 2004), 0 ve 20°C sıcaklıklarda 6 aylık depolama periyodunda kapsantin içeriğinde önemli azalışlar meydana geldiği raporlanmıştır. Depolama sıcaklığının kapsantin içeriğine istatistiksel olarak önemli etkisi tespit edilmiş olup, 20°C sıcaklıkta depolanan kuru kırmızıbiberlerdeki kapsantin kaybı, 0°C sıcaklıkta muhafaza edilenlerden daha yüksek bulunmuştur. Kurutma sonrası 1014.4-1047.1 ppm (km) kapsantin

içeren kuru kırmızıbiberlerin 6 ay süreyle 0°C' de depolanması sonrasında bu miktar 730.5-928.40 ppm' e düşerken 20°C' de depolanan örneklerde tespit edilen içerik 513.4-638.1 ppm'dir. Kuru kırmızıbiberin kapsantin içeriğinin depolama sürecinde azaldığını teyit eden başka çalışmalar da mevcuttur (Rico vd., 2010). Oda sıcaklığına yakın derecelerdeki depolama, buzdolabı sıcaklığına kıyasla 6 aylık depolama periyodunda daha yüksek kapsantin kaybına neden olmuştur.

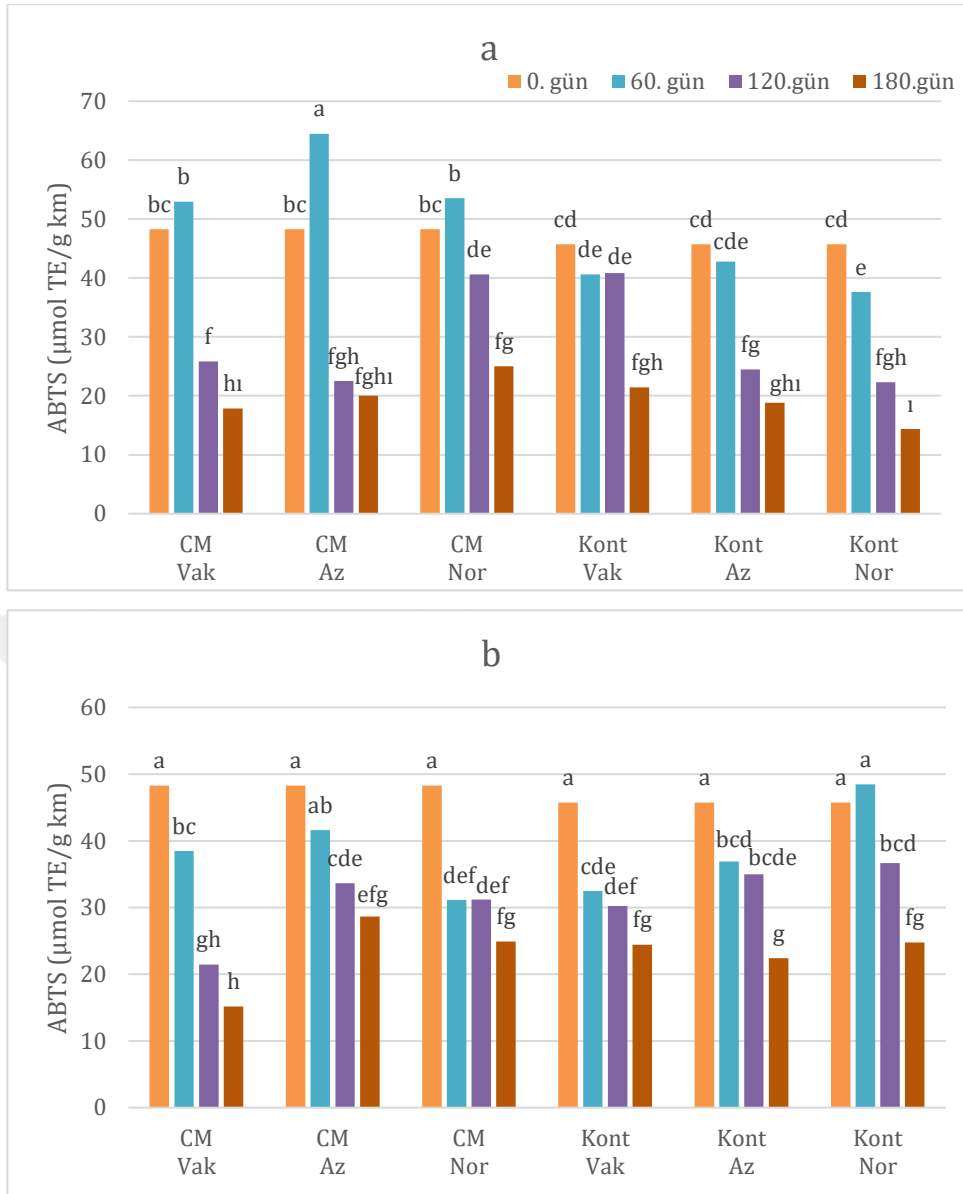
Topuz ve Özdemir (2003), güneşte ve 70°C sıcaklığa sahip konveksiyonel fırında kuruttukları kırmızıbiberlerdeki kapsantin kaybını taze meyveye kıyasla sırasıyla % 79.6 ve 85.7 olarak tespit etmişlerdir. Oda sıcaklığında gerçekleşen depolama sürecinin başlangıcında 951.4 ppm (km) kapsantin içeren kuru kırmızıbiberlerdeki bu içerik 6. ay sonunda 609.7, 10 ay sonunda ise 550.8 ppm değerine düşmüştür. Sırasıyla yaklaşık % 35 ve 58 kayıp meydana gelmiştir. Kuru kırmızıbiberlerin donmuş olarak (-18°C) muhafazasında dahi, kapsantin miktarlarında azalma meydana geldiği bildirilmiştir (Giuffrida vd., 2014). Oda sıcaklığında 6 ay depolanan kırmızıbiberlerin kapsantin miktarındaki kayıp % 63 iken donmuş muhafazanın 12. ayında % 10 kayıp kaydedilmiştir.

Antioksidan aktivitede depolama boyunca gözlemlenen değişimler incelediğinde, tam kuru ürünlerde ön işlem ve ambalajlama şeklinin antioksidan aktivite ortalamalarına etki göstermediği tespit edilmiştir. Buzdolabında 4°C'de saklanan tam kuru kapya biberlerin antioksidan aktivite ortalamaları 40.21 µmol TE/g km iken 20°C'de depolanan örneklerin ortalamaları 34.96 µmol TE/g km olarak tespit edilmiş olup aralarındaki fark önemli bulunmuştur ($p \leq 0.05$). Depolamanın 2., 4. ve 6. aylarındaki antioksidan aktivite ortalamaları sırasıyla 47.51, 36.28 ve 28.96 µmol TE/g km olarak ölçülmüştür ($p \leq 0.05$). Şekil 4.28 ve Şekil 4.29' da sırasıyla tam ve yarı kuru örneklerin antioksidan aktivitelerinin depolama sürecindeki değişimi gösterilmiştir.



CM: ön işlemlenmiş, Kont: ön işlemlenmemiş, Vak: vakum ambalaj, Az: azotlu ambalaj, Nor: normal ambalaj, a: 4°C depolama sıcaklığı, b: 20°C depolama sıcaklığı. Farklı harflere sahip ortalamalar, istatistiksel olarak birbirinden farklıdır ($p \leq 0.05$).

Şekil 4.28. Depolama sürecinde tam kuru kapa biberlerin antioksidan aktivitelerindeki değişimler



CM: ön işlemlili, Kont: ön işlemsiz, Vak: vakum ambalaj, Az: azotlu ambalaj, Nor: normal ambalaj, a: 4°C depolama sıcaklığı, b: 20°C depolama sıcaklığı. Farklı harflere sahip ortalamalar, istatistiksel olarak birbirinden farklıdır ($p \leq 0.05$).

Şekil 4.29. Depolama sürecinde yarı kuru karpas biberlerin antioksidan aktivitelerindeki değişimler

Yarı kuru karpas biberler, depolama sürecinde antioksidan aktivite bakımından sadece depolama süresinden etkilenmiş olup, ön işlem, depolama sıcaklığı ve ambalaj türünün etkisi istatistik olarak önemsiz bulunmuştur ($p > 0.05$). Depolamanın 2, 4 ve 6. ayında tespit edilen antioksidan aktivite değerleri sırasıyla kurumaddede 43.43, 30.40 ve 21.49 $\mu\text{mol TE/g}$ olarak tespit edilmiştir ($p \leq 0.05$).

Kapya biberlerin farklı şekillerde doğranarak kurutulduğu bir çalışmada (Cemal ve Yıldız, 2022), depolama süresinin ve sıcaklığının yükselmesi antioksidan aktiviteyi olumsuz etkilemiştir. 70°C sıcaklıkta kurutulan örnekler depolama başlangıcında 17.10 µmol TE/g km antioksidan aktiviteye sahipken oda sıcaklığında 14 gün muhafaza ile bu değer 9.53 µmol TE/g km' a düşerken, buzdolabı sıcaklığı için 20.38 µmol TE/g km olan başlangıç değeri 14 gün sonra 17.46 µmol TE/g km değerine gerilemiştir.

4.4.4. Mikrobiyolojik özelliklerdeki değişimler

Türk Gıda Kodeksi Mikrobiyolojik Kriterler Yönetmeliğinde gıdalarda mikrobiyolojik açıdan uygun kabul edilen kriterler ve sınırlar tanımlanmıştır. İlgili yönetmeliğe göre kuru meyvelerde bulunabilecek maya ve küf sayısı için belirlenen üst sınır 10^4 - 10^5 arasındadır. Tam ve yarı kuru ürünlerin depolanması sırasında tespit edilen bakteri, maya ve küf sayısını gösteren tablolar incelendiğinde (Çizelge 4.20 ve 4.21), maya ve küf sayısı açısından tüm grupların yönetmelikte belirlenen sınırların altında maya ve küf sayısına sahip olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.21. Tam kuru kapa biber örneklerinin depolama sürecindeki mikrobiyolojik analiz sonuçları

ÜRÜN TİPİ	DS	AMB	SÜRE	TMAB*	Küf*	Maya*
Ön işlemler	20	Vakum	0	1.08±0.07	TE	TE
			60	3.10±0.15	TE	TE
			120	2.37±0.09	TE	TE
			180	2.21±0.11	TE	TE
		Azot	0	1.08±0.07	TE	TE
			60	2.73±0.12	TE	TE
			120	2.53±0.13	TE	TE
			180	2.13±0.12	TE	TE
		Normal	0	1.08±0.07	TE	TE
			60	2.21±0.12	TE	TE
			120	2.73±0.16	TE	TE
			180	2.00±0.06	TE	TE
	4	Vakum	0	1.08±0.07	TE	TE
			60	3.09±0.02	TE	TE
			120	2.37±0.04	1.04±0.02	TE
			180	1.73±0.08	1.04±0.02	TE
		Azot	0	1.08±0.07	TE	TE
			60	2.30±0.03	TE	TE
			120	2.66±0.05	TE	TE
			180	2.86±0.08	TE	TE
		Normal	0	1.08±0.07	TE	TE
			60	1.91±0.03	TE	TE
			120	2.55±0.08	TE	TE
			180	2.73±0.09	TE	TE
Kontrol	20	Vakum	0	1.08±0.07	TE	TE
			60	3.66±0.09	TE	TE
			120	3.55±0.18	TE	TE
			180	3.37±0.15	TE	TE
		Azot	0	1.08±0.07	TE	TE
			60	3.19±0.18	TE	TE
			120	3.42±0.17	TE	TE
			180	3.32±0.12	TE	TE
		Normal	0	1.08±0.07	TE	TE
			60	3.16±0.16	TE	TE
			120	3.75±0.14	TE	TE
			180	3.03±0.11	1.34±0.07	TE
	4	Vakum	0	1.08±0.07	TE	TE
			60	3.13±0.11	TE	TE
			120	3.98±0.08	TE	TE
			180	3.78±0.13	TE	TE
		Azot	0	1.08±0.07	TE	TE
			60	3.61±0.15	TE	TE
			120	3.76±0.07	1.04±0.02	TE
			180	3.15±0.14	TE	TE
		Normal	0	1.08±0.07	TE	TE
			60	3.49±0.14	TE	TE
			120	4.05±0.08	TE	TE
			180	3.34±0.16	TE	TE

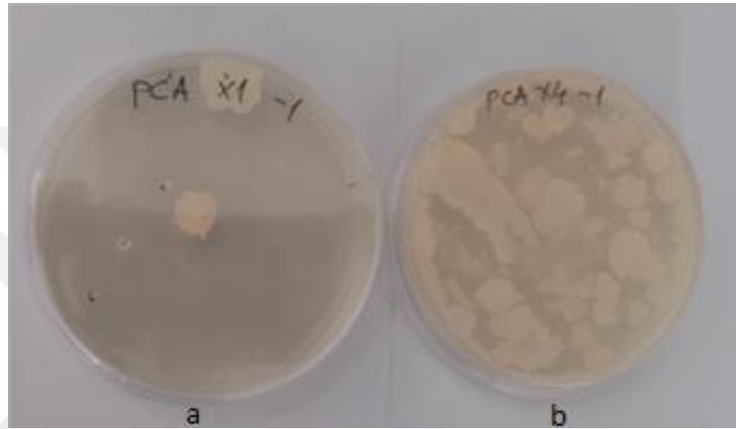
DS: Depolama sıcaklığı (°C), AMB: Ambalaj yöntemi, SÜRE: depolama süresi (gün), TE: tespit edilemedi, DS: depolama süresi (gün), TMAB: toplam mezofil aerob bakteri, *: log KOB/g

Çizelge 4.22. Yarı kuru kopya biber örneklerinin depolama sürecindeki mikrobiyolojik analiz sonuçları

ÜRÜN TİPİ	DS	AMB	SÜRE	TMAB*	Küf*	Maya*
Ön işlemleri	20	Vakum	0	1.18±0.02	TE	TE
			60	2.260.10	TE	TE
			120	2.10±0.14	TE	TE
			180	1.26±0.09	TE	TE
		Azot	0	1.18±0.02	TE	TE
			60	2.26±0.08	TE	TE
			120	1.80±0.11	1.34±0.06	TE
			180	2.10±0.13	TE	TE
		Normal	0	1.18±0.02	TE	TE
			60	2.56±0.08	TE	TE
			120	2.28±0.15	TE	TE
			180	2.37±0.17	TE	TE
	4	Vakum	0	1.18±0.02	TE	TE
			60	1.56±0.07	TE	TE
			120	2.57±0.18	TE	TE
			180	1.65±0.08	1.04±0.02	TE
		Azot	0	1.18±0.02	TE	TE
			60	1.43±0.09	TE	TE
			120	2.28±0.16	TE	TE
			180	1.95±0.12	TE	TE
		Normal	0	1.18±0.02	TE	TE
			60	2.07±0.09	TE	TE
			120	2.61±0.10	1.04±0.02	TE
			180	1.86±0.08	1.04±0.02	TE
Kontrol	20	Vakum	0	1.18±0.02	TE	TE
			60	2.33±0.16	1.52±0.05	TE
			120	1.80±0.14	1.04±0.02	TE
			180	1.43±0.07	1.04±0.02	TE
		Azot	0	1.18±0.02	TE	TE
			60	3.50±0.16	1.04±0.02	TE
			120	2.28±0.22	1.34	TE
			180	2.00±0.19	1.34	TE
		Normal	0	1.18±0.02	TE	TE
			60	2.19±0.14	TE	TE
			120	2.52±0.20	1.34±0.06	TE
			180	2.03±0.15	1.34±0.06	TE
	4	Vakum	0	1.18±0.02	TE	TE
			60	2.26±0.10	TE	TE
			120	1.73±0.15	1.04±0.02	TE
			180	2.10±0.20	1.52±0.05	TE
		Azot	0	1.18±0.02	TE	TE
			60	1.95±0.11	TE	TE
			120	2.70±0.17	1.04±0.02	TE
			180	1.26±0.09	1.04±0.02	TE
		Normal	0	1.18±0.02	TE	TE
			60	1.80±0.11	TE	TE
			120	1.95±0.10	1.82±0.09	TE
			180	2.26±0.17	1.82±0.09	TE

DS: Depolama sıcaklığı (°C), AMB: Ambalaj yöntemi, SÜRE: depolama süresi (gün), TE: tespit edilemedi, DS: depolama süresi (gün), TMAB: toplam mezofil aerob bakteri, *: log KOB/g

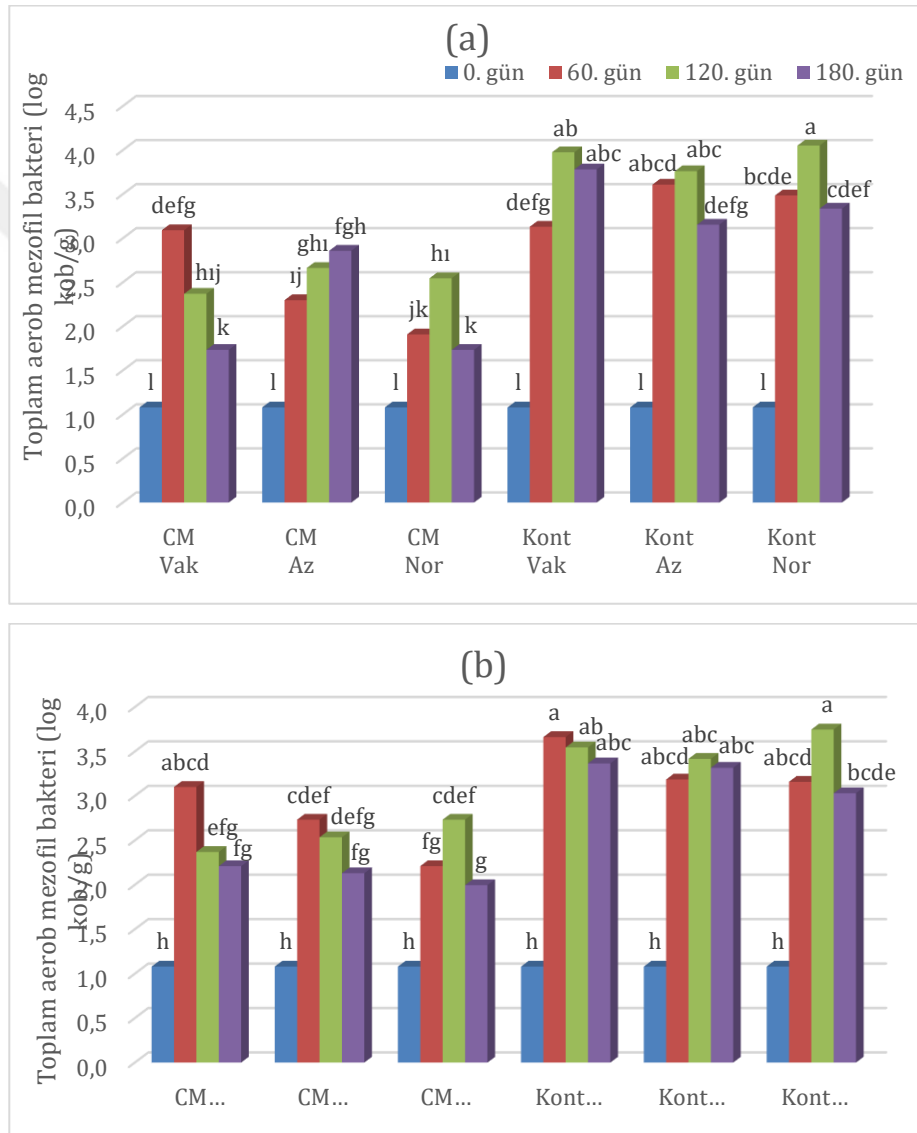
Depolanan örneklerde yapılan mikrobiyolojik analiz sonuçları; CM ön işleminin gerek tam kuru gerekse yarı kuru örneklerin toplam aerob mezofil bakteri sayılarında önemli bir düşüş sağladığını göstermektedir. Vakumlu ambalajda ve 4°C sıcaklıkta 6 ay süreyle saklanan tam kuru kapy biberlerin toplam mezofil aerob bakteri sayıları Şekil 4.30' da görsel olarak ifade edildiği üzere, CM ön işlemlili ve kontrol grubu ürünler için sırasıyla 1.73 ve 3.78 log kob/g olarak tespit edilmiştir.



Şekil 4.30. Tam kuru kapy biberlerde tespit edilen toplam aerob mezofil bakteri kolonileri (a: ön işlemlili, b: kontrol)

Tam kuru kapy biberlerde depolamanın ilk iki aylık periyodu sonunda, CM ön işlemlili sonrası kurutulan ürünlerde küf gelişimi gözlenmez iken, kontrol grubu biberlerde küf gelişimi meydana gelmiştir. Dördüncü ay sonunda, CM ön işlemlili ürünlerden 20°C' de azot gazı ile ve 4°C' de normal şekilde paketlenerek saklanan ürünler hariç, diğer gruplarda küf gelişimi izlenmemiştir. Ancak kontrol grubu ürünlerin tamamında 4. ay sonunda küf gelişimi gözlenmiştir. Depolama periyodunun bitimi olan 6. ay sonunda CM ön işlemlili 6 ürün grubundan sadece ikisinde küf gelişimi gözlenirken, kontrol grubu ürünlerin tamamında küf gelişimi olmuştur. Bu sonuçlar; CM ön işlemlili tam kuru kapy biberlerin toplam bakteri ve küf sayılarının, 6 aylık depolama periyodunda düşük kalmasını sağladığını göstermektedir. Hiçbir ürün grubunda maya tespit edilememiştir.

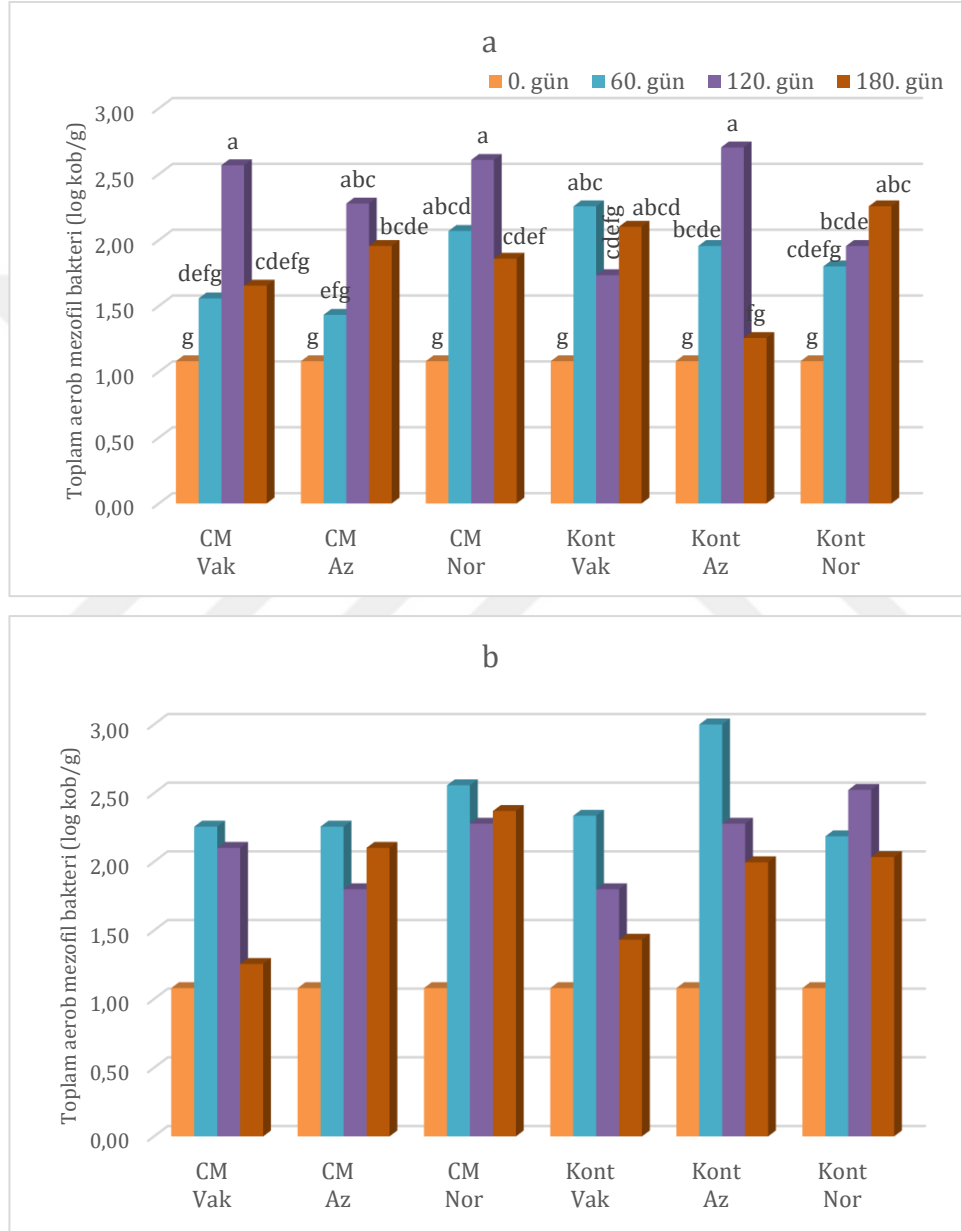
Tam kuru ürünlerin depolama süresince toplam bakteri sayıları incelendiğinde (Şekil 4.31), CM ön işlemlili grupların tümünün, kontrol gruplarından daha düşük bakteri sayısına sahip olduğu görülmektedir. CM ön işlemlili kapy a biberler için oda sıcaklığında depolanan örneklerin toplam bakteri sayıları, buzdolabı sıcaklığında muhafaza edilenlere kıyasla yüksek bulunurken, kontrol grupları için tam tersi durum (vakumlu ambalajlama hariç) söz konusudur.



CM: ön işlemlili, Kont: ön işlemsiz, Vak: vakum ambalaj, Az: azotlu ambalaj, Nor: normal ambalaj, a: 4°C depolama sıcaklığı, b: 20°C depolama sıcaklığı. Farklı harflere sahip ortalamalar, istatistiksel olarak birbirinden farklıdır ($p \leq 0.05$).

Şekil 4.31. Depolama sürecinde tam kuru kapy a biberlerin toplam aerob mezofil bakteri sayılarındaki değişimler

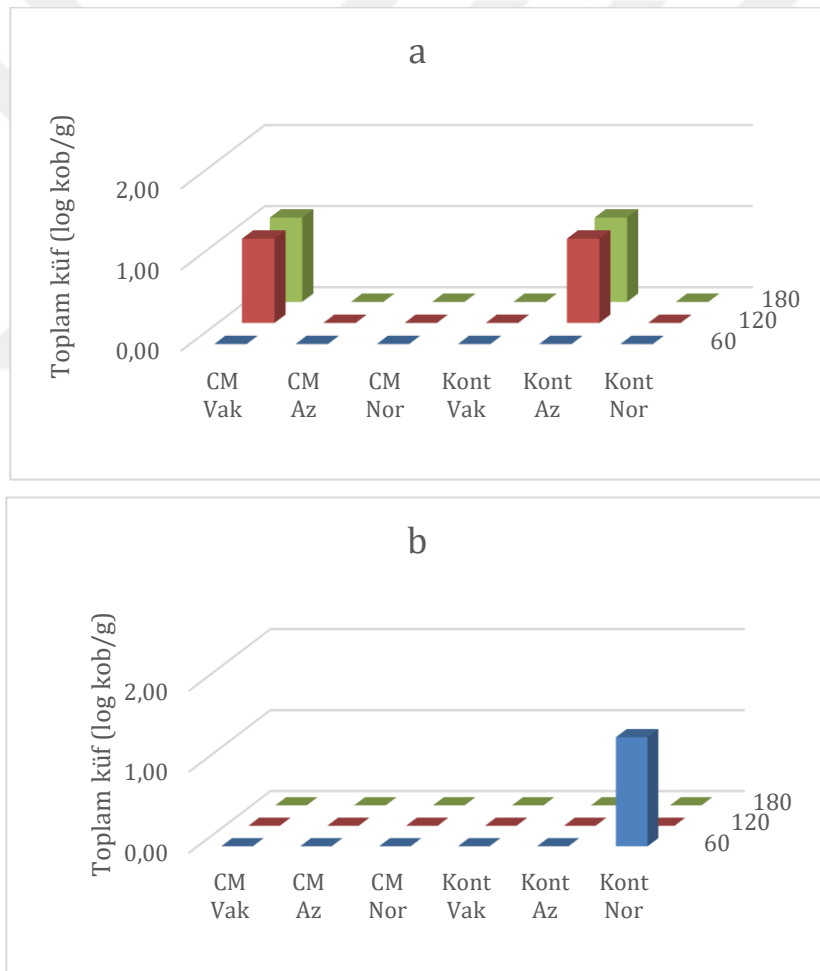
Yarı kuru ürünlerin toplam bakteri sayılarına depolama sıcaklığının etkisi oldukça yüksek bulunmuştur (Şekil 4.32). CM ön işlemi açısından ise buzdolabı sıcaklığında depolama için kontrol gruplarının bakteri sayıları daha yüksek iken, oda sıcaklığı için CM ön işlemlili ve kontrol gruplarının bakteri sayıları birbirlerine yakın seviyededir.



CM: ön işlemlili, Kont: ön işlemsiz, Vak: vakum ambalaj, Az: azotlu ambalaj, Nor: normal ambalaj, a: 4°C depolama sıcaklığı, b: 20°C depolama sıcaklığı. Farklı harflere sahip ortalamalar, istatistiksel olarak birbirinden farklıdır ($p \leq 0.05$).

Şekil 4.32. Depolama sürecinde yarı kuru kopya biberlerin toplam aerob mezofil bakteri sayılarındaki değişimler

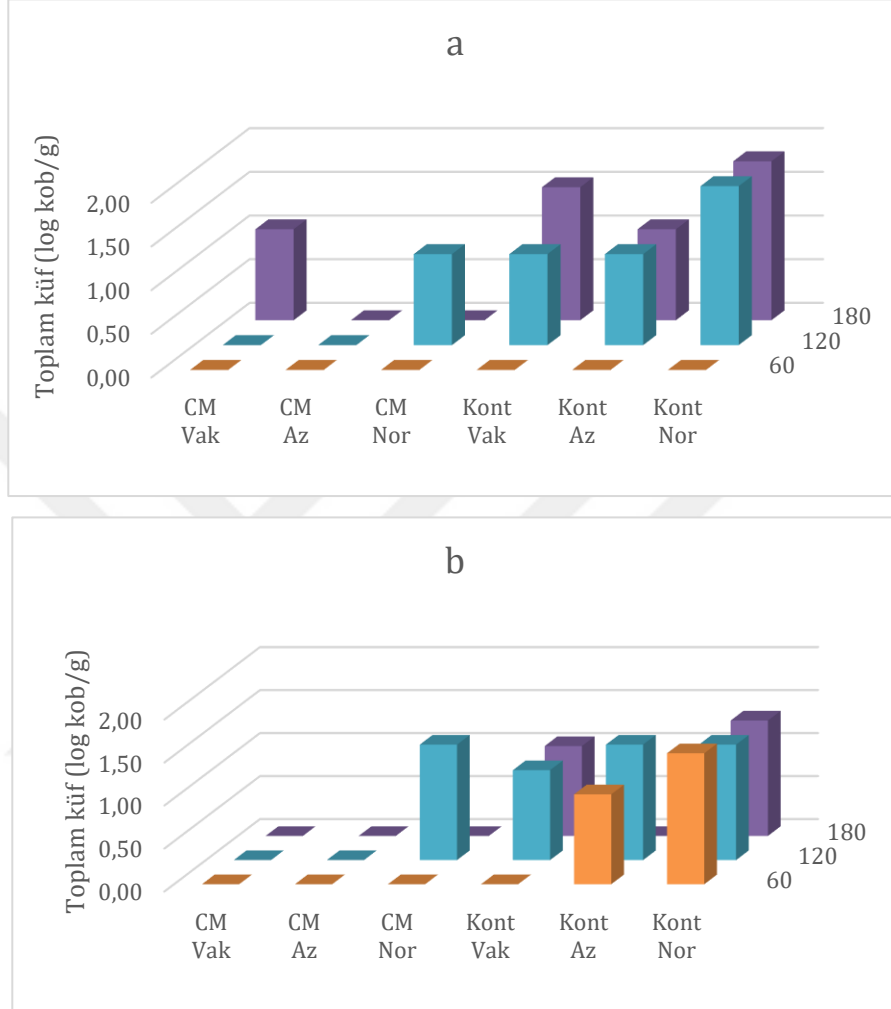
Tam kuru örneklerin buzdolabı sıcaklığında depolanması sırasındaki küf sayıları incelendiğinde (Şekil 4.33), CM ön işlemlili gruplarda vakum ambalaj harici küf gelişimi tespit edilemez iken kontrol gruplarında azotlu ambalajda küf gelişimi gözlemlenmiştir. Tam kuru ürünlerde küf gelişimleri depolamanın 4 ve 6. ayında meydana gelmiştir. Bunun dışında tam kuru ürünlerde küf gelişimi gözlenmemiştir. Genel olarak CM ön işlemlili ile kontrol grupları arasında tam kuru ürünler için küf sayılarında belirgin bir fark gözlenmemiştir. Oda sıcaklığı için ise kontrol ve normal ambalajlı ürünlerin 2. ay periyodu haricinde hiçbir grupta küf gelişimi izlenmemiştir.



CM: ön işlemlili, Kont: ön işlemsiz, Vak: vakum ambalaj, Az: azotlu ambalaj, Nor: normal ambalaj, a: 4°C depolama sıcaklığı, b: 20°C depolama sıcaklığı.

Şekil 4.33. Depolama sürecinde tam kuru kopya biberlerin küf sayılarındaki değişimler

Küf sayısı bakımından yarı kuru ürünler (Şekil 4.34), tam kuru ürünlerden daha yüksek küf sayısına sahiptirler. CM ön işlemi küf sayısında her iki depolama sıcaklığı için önemli azalışlar sağlamıştır.



CM: ön işlemli, Kont: ön işlemsiz, Vak: vakum ambalaj, Az: azotlu ambalaj, Nor: normal ambalaj, a: 4°C depolama sıcaklığı, b: 20°C depolama sıcaklığı.

Şekil 4.34. Depolama sürecinde yarı kuru kapy biberlerin küf sayılarındaki değişimler

Yarı kuru ürünlerde tespit edilen küf sayıları, tam kuru ürünlerden yüksek bulunmuştur. Bu durumun yarı kuru ürünlerin yüksek su aktivitesinden kaynaklı olduğu düşünülmektedir. Ayrıca buzdolabı sıcaklığında muhafaza edilen yarı kuru kapy biberlerin küf sayıları, oda sıcaklığında muhafaza edilenlerden daha yüksek bulunmuştur. Benzer sonuç, kuru kırmızıbiberlerin maya-küf sayılarına depolama

sıcaklığının etkisinin araştırıldığı bir çalışmada da teyit edilmiş olup (Kim vd., 2021), 4°C'de 6 ay boyunca depolanan örneklerin maya-küf sayıları, 20°C'de depolananlardan daha yüksek bulunmuştur.

Tüm bu veriler, ön işlemlili tam kuru kapy biberlerin kontrol gruplarına kıyasla daha düşük mikrobiyolojik yüke sahip olduğunu göstermektedir. Bu olumlu durumun, CM ön işlemlili sonrası kurutulmuş kapy biberlerin nispeten yüksek fenolik içeriğinden kaynakladığı düşünülmektedir. Ayrıca ön işlemlili gruplarda daha yüksek miktarda tespit edilen askorbik asitin de antimikrobiyal etki göstermesi muhtemel bir sonuçtur.

Depolanan kuru meyve ve sebzelerde toplam bakteri ve maya-küf sayısı ile ilgili literatür çalışmaları mevcuttur. Adu-Gyamfi (2006) 12 ay süre ile oda sıcaklığında depolanan kuru biber tozlarının mikrobiyal stabilitesini incelediği araştırmasında depolama başlangıcında 6.8 kob/g olan toplam bakteri sayısının 6. ay sonunda 7.4 kob/g seviyesine yükseldikten sonra, 12. ayda 7.15 kob/g düzeyine gerilediğini; bu üç periyot arasındaki farkın istatistiksel olarak önemsiz ($p \leq 0.05$) olduğunu bildirmiştir. Aynı araştırmacı başlangıçta 1.55 kob/g olarak tespit edilen maya-küf sayısının depolamanın 6. ayında 1.79 kob/g' a çıktığını, ancak 12. aydaki örneklerde herhangi bir maya-küf gelişimi gözlenmediğini raporlamıştır. Kuru biber tozlarında depolama sürecinde hiçbir aşamada maya gelişimi gözlenmemiştir.

Waje vd. (2008), 4 ve 20°C sıcaklıklarda 6 ay süre ile depoladıkları öğütölmüş karabiber tozlarının başlangıçta 2.8×10^6 kob/g olan toplam bakteri sayısının 4°C'de depolama sonunda 6.4×10^6 kob/g düzeyine yükselirken, 20°C'de depolananlar için 3.3×10^6 kob/g olarak tespit etmişlerdir. Tez çalışması sonuçları ile uyumlu olarak depolama periyodunun uzaması toplam bakteri sayılarını artırıcı etki göstermiştir.

Kuru kırmızıbiberlerin maya-küf sayılarına depolama sıcaklığının etkisinin araştırıldığı bir çalışmada (Kim vd., 2021), 4°C'de 6 ay boyunca depolanan örneklerin maya-küf sayıları, 20°C'de depolananlardan daha yüksek bulunmuştur.

Güneşte kurutulan acı kırmızıbiberlerin oda sıcaklığında 90 günlük depolanması ile ilgili bir araştırmada (Iqbal vd., 2012), depolama başlangıcında 4.8×10^3 kob/g toplam bakteri yüküne sahip biberlerin 90. gün sonundaki bakteri sayıları 5.1×10^3 kob/g seviyesine yükselmiştir. Küf sayıları ise 0. ve 90. gün için sırasıyla 4.7×10^2 ve 5.1×10^2 kob/g olarak bulunmuştur. Genel anlamda depolama sürecinin uzaması, bakteri ve maya-küf sayısında artışa neden olmuştur.

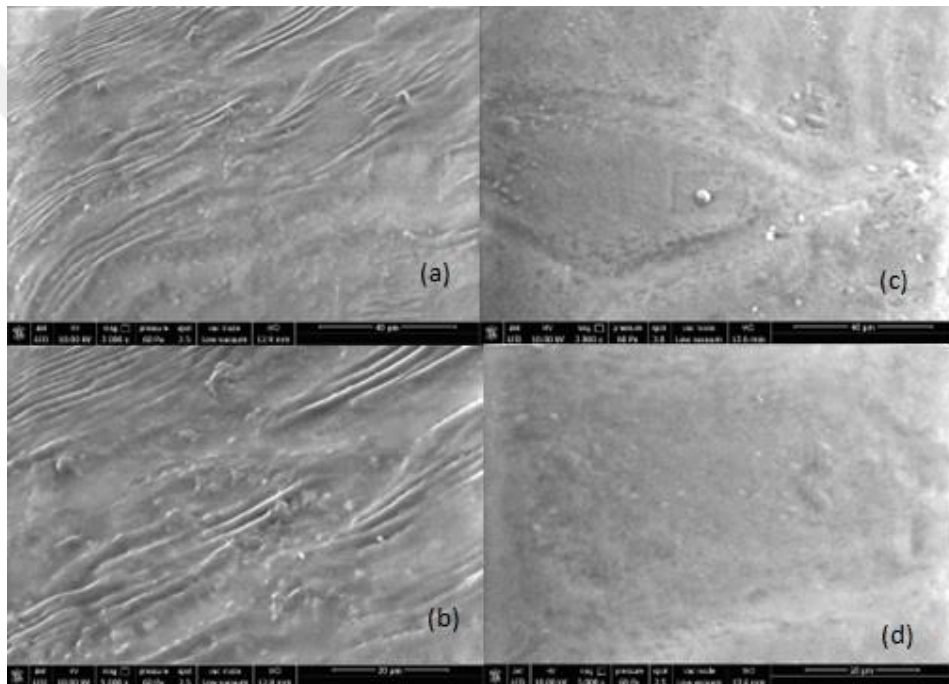
Kuru kırmızıbiberlerin 6 ay süre ile jüt çuvallarla oda sıcaklığında muhafaza edildiği bir araştırmada (Duman, 2010) %10 nem içeriğine sahip örneklerin başlangıçtaki 2.1×10^5 kob/g olan toplam bakteri sayısı 6. ay sonunda 5.2×10^6 kob/g seviyesine yükselmiştir. Maya-küf sayısı ise depolama başlangıcı ve sonu için sırasıyla 3.3×10^4 ve 3.6×10^5 olarak hesaplanmıştır.

Taze meyvelerde ise yukarıdaki durumun tam tersi olarak buzdolabı sıcaklığında muhafaza edilen örneklerin toplam bakteri sayıları kısa süreli depolamalarda, oda sıcaklığına kıyasla daha düşük bulunmuştur. Küf sayılarında ise oda sıcaklığındaki depolamalarda artış görülürken buzdolabı sıcaklığında düşüş seyri izlemektedir (Omorodion ve Oge, 2022).

Kim vd. (2021) nispi rutubeti yüksek koşullarda depolanan kuru kırmızı biberlerin maya-küf sayılarını, düşük koşullara göre oldukça yüksek bulunmuştur.

4.5. Taramalı Elektron Mikroskobu Görüntüleri

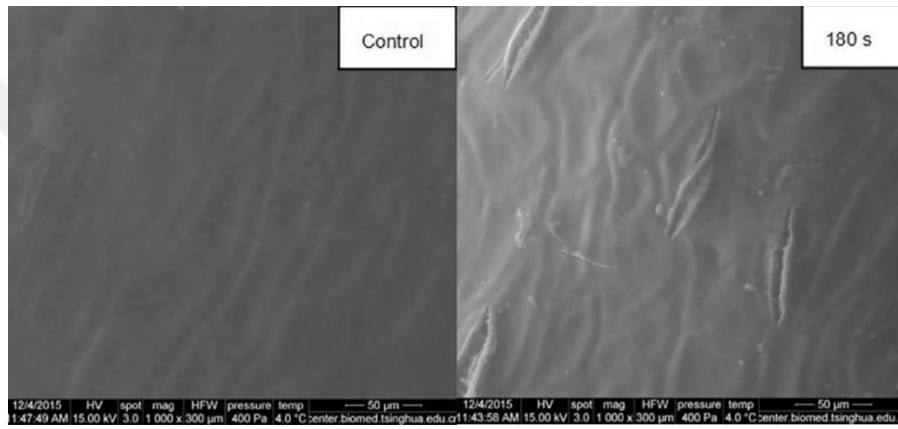
Karbonik maserasyona tabi tutulan ve tutulmayan kuru kapyta biberlere ait taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri Şekil 4.35’ de verilmiştir. CM ön işlemine tabi tutulan kuru kapyta biber görüntülerinden anlaşıldığı üzere, işlem esnasında oluşan yüksek basınç kaynaklı olarak kabukta tahribat meydana gelmiş, kabuk üzerinde belirgin damar ve çatlamlar oluşturmuş, dokudaki tahribat net bir şekilde görülebilmektedir.



Şekil 4.35. CM ön işlemi sonrası (a ve b) ve ön işlemsiz (c ve d) kurutulmuş kapyta biberlerin SEM görüntüleri

Benzer görüntüler Özçelik vd. (2022) tarafından CM ön işlemine tabi tutulan çileklerde de alınmış olup; ön işleme tabi tutulmayan çilekler katı, sıkı yapılı ve daha az gözenekli olarak görüntülenirken, ön işlemlili çileklerde çöküntü ve çukurluklar olduğu gözlemlenmiştir. Tez çalışmasında da benzer sonuçları işaret eden görüntüler elde edilmiştir.

Kırmızıbiberlerin ön işlem olarak yüksek nemli sıcak hava akımı ile haşlamaya tabi tutulduktan sonra kurutuldukları bir çalışmada da (Wang vd., 2017), kontrol grubu biberlerin yüzeylerinde herhangi bir deformasyon yok iken ön işleme tabi tutulan biberlerin yüzeylerinde tez çalışması kapsamında elde edilen görüntülere çok benzer görüntüler elde edilmiştir (Şekil 4.36). CM ön işlemi ile kapyra biber kabuğunda görülen tahribatlar, ısı işlem ile oluşan tahribatlara eşdeğer seviyededir. Başka bir deyişle ısı işlemin olumsuz etkileri olmaksızın aynı deformasyon, CM ön işlemi ile sağlanabilmektedir.



Kaynak: Wang vd., 2017

Şekil 4.36. Yüksek nemli sıcak hava ile haşlama sonrası sonra kurutulan kırmızı biberlerin SEM görüntüleri

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Tez çalışması kapsamında tam ve yarı kuru kapy biber üretimi öncesinde uygulanan karbonik maserasyon (CM) ön işleminin ve kurutma koşullarının optimizasyonu gerçekleştirilerek, ön işlemin ve depolama sırasındaki faktörlerin ürünlerin fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik özelliklerine etkisi araştırılmıştır.

İlk aşamada CM ön işlem koşullarının (sıcaklık, süre ve basınç) ve kurutma sıcaklığının optimizasyonu, merkezi karma tasarıma (CCD) göre oluşturulan deneme tasarımı doğrultusunda yanıt yüzey yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Proses yanıtlarından kuruma hızı, a^* renk değeri, esmerleşme indeksi ve antioksidan aktivitenin modele istatistiksel olarak önemli düzeyde katkısı sağladığı tespit edilerek bu parametrelere göre model oluşturulmuştur. En yüksek kuruma hızını ve antioksidan aktiviteyi, başlangıç a^* değerine en yakın a^* değerini ve en düşük esmerleşme indeksi değerlerini sağlayan optimum proses koşulları; 79.9°C kurutma fırını sıcaklığı, 1 bar CM basıncı, 4 saat CM süresi ve 30.5°C CM sıcaklığı olarak tespit edilmiştir. Belirlenen optimum koşullara göre yaklaşık %10 nem içeriğine sahip tam kuru ve yaklaşık %25 nem içerecek şekilde yarı kuru kapy biberler, CM ön işlemi uygulanarak ve uygulanmadan (kontrol) üretilerek 6 ay boyunca 4 ve 20°C sıcaklığa sahip ortamlarda vakum, azot ile ve normal ambalajlar içinde depolanmıştır.

Tam kuru ürünlerin taze meyve kıyasla renk değerleri incelendiğinde ön işlemlili grup için toplam renk farkı değeri (ΔE) 9.06 iken kontrol grubunda bu değer 16.07 olarak tespit edilmiştir ($p \leq 0.05$). Yarı kuru ürünlerde toplam renk farkı değerleri daha da düşük bulunmuş olup, ön işlemlili ve kontrol grupları için sırasıyla 7.40 ve 8.69 değerleri ölçülmüştür ($p \leq 0.05$). Esmerleşme indeksi (BI) değerleri de yarı kuru ürünlerde tam kuru ürünlere kıyasla daha düşük tespit edilmiş olup; ön işlemlili yarı kuru ürünlerde 90.13, kontrol grubunda 103.13, ön işlemlili

tam kuru ürünlerde 106.20 ve kontrol grubu tam kuru ürünlerde 108.55 olarak tespit edilmiştir. CM ön işlemlili ve yarı kuru ürünler, ön işlemsiz ve tam kuru ürünlere kıyasla renk açısından daha iyi sonuçlar vermiştir.

Kimyasal parametrelerden toplam fenolik (TFM), toplam karotenoit, askorbik asit miktarı ve antioksidan aktiviteye göre değerlendirildiğinde; ön işlemlili tam kuru ürünlerin ön işlemlili yarı kuru ürünlerden daha yüksek TFM miktarına sahip olduğu ($p \leq 0.05$), ön işlemsiz gruplar için tam ve yarı kuru ürünler için TFM miktarı açısından önemli bir fark bulunmadığı ($p > 0.05$) tespit edilmiştir. Toplam karotenoit ve askorbik asit içeriğine nem düzeyi ve CM ön işlemlili önemli derecede etki göstermiştir. Yarı kuru ürünler hem kontrol hem de ön işlemlili gruplar için tam kuru ürünlerden daha yüksek askorbik asit ve toplam karotenoit miktarına sahiptir. CM ön işlemlili ise kontrol gruplarından daha yüksek askorbik asit ve karotenoit korunumu sağlamıştır. Antioksidan aktivite değerleri ise tam kuru ürünler için ön işlemlili gruplarda ($66.84 \mu\text{molTE/g km}$) kontrol grubundan ($51.03 \mu\text{molTE/g km}$) daha yüksek iken ($p \leq 0.05$), yarı kuru ürünlerde ön işlemlili ve kontrol gruplarında antioksidan aktivite değerleri arasında ($45.74\text{-}48.26 \mu\text{molTE/g km}$) önemli fark tespit edilememiştir ($p > 0.05$) ve tam kuru ürünlerden daha düşük bulunmuştur ($p \leq 0.05$).

Depolama boyunca gerçekleştirilen analiz sonuçları, CM ön işlemlilinin tam kuru kapa biberlerde toplam renk farkı, rehidrasyon oranı, kabuk direnci, elastikiyet, toplam fenolik, toplam karotenoit, kapsantin, antioksidan aktivite ve toplam bakteri sayısı değerlerini olumlu şekilde etkilediğini göstermektedir. Yarı kuru kapa biberlerde ise rehidrasyon oranı, kabuk direnci, elastikiyet, askorbik asit miktarı ve küf sayısı, depolama süresi boyunca CM ön işlemlilinden etkilenmiştir. Özetle CM ön işlemlili tam kuru ürünlere, yarı kuru ürünlere kıyasla daha kapsamlı bir etki göstermiştir.

Kuru ürünlerin bünyelerine su alarak orijinal hallerine dönüşmesinin bir göstergesi olan rehidrasyon oranı, kuruma performansının da bir göstergesidir. Rehidrasyon oranının ve depolama sürecindeki değişiminin önemli bulunduğu kuru meyve ve sebzelerin üretimi söz konusu olduğunda, CM ön işlemi rehidrasyon oranı daha yüksek ürün eldesini sağladığı için sanayicilere tavsiye edilebilir. Muhafaza süreci için de ürünlerin 4°C’de vakum veya azot gazı altında depolanması ile rehidrasyon oranında asgari kayıp yaşanacağı öngörülmektedir.

CM ön işleminin maliyetine değinmek gerekirse, her kg taze kapy a biber başına harcanan CO₂ gazı maliyeti güncel fiyatlarla yaklaşık 3 TL olup kg kuru ürün başına maliyet ise 30 TL civarındadır. Sistemin daha büyük kapasitelere çıkarılması sağlanabilir ise kg başına düşen maliyetin daha da aşağı çekilebileceği öngörülmektedir.

Tez çalışması sonuçları, kapy a biber kurutup depolama yapan üreticilere katkı sağlayacaktır. Karbonik maserasyon ön işlemi günümüzde gıda sanayiinde kurutma proseslerinde yaygın olarak kullanılmamakla birlikte; tez sonuçlarındaki avantajları göz önüne alındığında meyve ve sebzelerin kurutulmasında gelecek vaat etmektedir. Ancak CM ön işleminin kesikli sistemden sürekli sisteme evrilmesi ve kapasitelerin arttırılmasının uygulanabilirliği arttıracağı düşünülmektedir.

Yarı kuru kapy a biberlerin kuruma süresinin kısa olması, dolayısıyla ısıya daha az maruz kalması, renk ve besin öğeleri açısından daha nitelikli ürün eldesini mümkün kılmaktadır. Yarı kuru ürünlerin toplam renk farkı ve esmerleşme indeksi değerleri tam kuru ürünlere kıyasla daha düşük ve askorbik asit ile toplam karotenoit miktarları ise daha yüksektir. Bu avantajları nedeniyle yarı kuru kapy a biberler özellikle C vitamini ve antioksidan aktivite bakımından tam kuru ürünlere alternatif olarak olarak değerlendirilebilir.

KAYNAKLAR

- Adu-Gyamfi, A., 2006. Effect of Storage Time on Microbial Quality of Some Spices and Dried Seasonings. *Ghana Journal of Agricultural Science*, 39(1), 93-102.
- Ahmed, J., 2010. Drying of Vegetables: Principles and Dryer Design. In Sinha, N.K. (Ed.), *Handbook of Vegetables and Vegetable Processing* (279-298), Blackwell Publishing Ltd, 772p., Massachusetts.
- Ahmed, N., Singh, J., Chauhan, H., Anjum, P.G.A., Kour, H., 2013. Different Drying Methods: Their Applications and Recent Advances. *International Journal of Food Nutrition and Safety*, 4(1), 34-42.
- Alamu, A.E., Ade-Omowaye, B.I.O., Akinwande, B.A., Dudu, O.E., Obori, F.O., 2023. Pigments and Colour Characteristics: Influence of Drying Methods on Nigerian Pepper (*Capsicum frutescence*). *Journal of Agriculture and Food Research*, 14, 100760.
- Alamu, A.E., Akinwande, B.A., Ade-Omowaye, B.I.O., Dudu, O.E., Odedoyin, R.A., 2024. Colour and Carotenoids Profiles of Fresh and Dried Pepper (*Capsicum annuum* var *abbreviatum* and *Capsicum annuum* var *grossum*). *International Journal of Food Science and Nutrition Engineering*, 14(1), 23-31.
- Albayrak, H.A., 2021. Kırmızı Kypya Biber İçeceği Üretim Olanaklarının Araştırılması ve Ürünün Bazı Özelliklerinin Belirlenmesi. Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 66s, Antalya.
- Alibaş, İ., Köksal, N., 2015. Determination of Physical, Mechanical, and Structural Seed Properties of Pepper Cultivars. *International Agrophysics*, 29, 107-113.
- An, K., Wu, J., Tang, D., Wen, J., Fu, M., Xiao, G., Xu, Y., 2018. Effect of Carbonic Maceration (CM) on Mass Transfer Characteristics and Quality Attributes of Sanhua Plum (*Prunus Salicina* Lindl.). *LWT-Food Science and Technology*, 87, 537-545.
- Andrade, E.T., Figueira, V.G., Teixeira, L.P., Martinazzo, A.P., Kátia, A., 2019. Effect of Drying Kinetics on Color of “Dedo De Moça” Chili Peppers (*Capsicum baccatum*). *Engenharia Agrícola*, 39, 659-667.
- Anjaneyulu, A., Sharangi, A.B., Upadhyay, T.K., Alshammari, N., Saeed, M., Al-Keridis, L.A., 2022. Physico-chemical Properties of Red Pepper (*Capsicum annuum* L.) as Influenced by Different Drying Methods and Temperatures. *Processes*, 10, 484, 1-13.

- Anoraga, S.B., Sabarisman, I., Ainuri, M., 2018. Effect of Different Pretreatments on Dried Chilli (*Capsicum annum* L.) Quality. IOP Conference Series Earth and Environmental Science, 131(1), 012014.
- Aras, D. C., 2022. Kırmızı Kapyra Biberin Fiziksel, Kimyasal ve Fizikokimyasal Özellikleri Üzerine Doğrama Şekli, Kurutma Sıcaklığı, Depolama Süresi ve Sıcaklığının Etkisi. Iğdır Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 60s, Iğdır.
- Arimboor, R. Natarajan, R. B., Chandrasekhar, L. P., Moorkoth, V., 2015. Red Pepper (*Capsicum annum*) Carotenoids as a Source of Natural Food Colors: Analysis and Stability—A Review. Journal of Food Science and Technology, 52(3), 1258–1271.
- Arslan, A., Soysal, Y., Keskin, M., 2020. Mathematical Modeling, Moisture Diffusion and Color Quality in Intermittent Microwave Drying of Organic and Conventional Sweet Red Peppers. AgriEngineering, 2, 393–407.
- Arslan, D., Özcan, M.M., 2011. Dehydration of Red Bell-Pepper (*Capsicum annum* L.): Change in Drying Behavior, Colour and Antioxidant Content. Food and Bioproducts Processing, 89, 504-513.
- Aslanova, D., Bakkalbaşı, E., Artık, N., 2010. Effect of Storage on 5-Hydroxymethylfurfural (HMF) Formation and Color Change in Jams. International Journal of Food Properties, 13, 904-912.
- Ateş, Ş., 2023. Diyarbakır Koşullarında Bazı Kapyra Biber Çeşitlerinin Verim ve Kalite Parametrelerinin Belirlenmesi. Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 51s, Van.
- Aye, K.H., 2012. Dehydration of Selected Vegetables by Different Drying Methods. Dagon University Research Journal, 4, 143-150.
- Baenas, N., Belovic, M., Ilıc, N., Moreno, D.A., Viguera, C.G., 2019. Industrial Use of Pepper (*Capsicum annum* L.) Derived Products: Technological Benefits and Biological Advantages. Food Chemistry, 274, 872–885.
- Baş, C., 2010. Cevap Yüzeyi Tasarımları ve Sinir Ağları Yaklaşımı. Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 140s, Ankara.
- Başüenal, H., 2016. Dilimlenerek Dondurulan Kırmızıbiberin Bazı Fiziksel ve Kimyasal Kalite Özellikleri Üzerine Ön İşlem Olarak

Uygulanan Ozmotik Kurutmanın Etkisi. Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 80s, Antalya.

Bodruk, A., 2020. Puf Kurutma Yöntemi ile Protein İçeriği Yüksek Atıştırmalık Et (Dana Nuarı) Üretimi: Uygun Ön İşlem Koşullarının Belirlenmesi, Puf Kurutma İşlem Koşullarının Optimizasyonu. Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 159s, İzmir.

Buve, C., Kebede, B., Batselier, C., Carrillo, C., Pham, H., Hendrickx, M., Grauwet, T., Loey, A., 2018. Kinetics of Colour Changes in Pasteurised Strawberry Juice During Storage. Journal of Food Engineering, 216, 42-51.

Calín-Sánchez, A., Lipan, L., Cano-Lamadrid, M., Kharaghani, A., Masztalerz, K., Carbonell-Barrachina, A.A., Figiel, A., 2020. Comparison of Traditional and Novel Drying Techniques and Its Effect on Quality of Fruits, Vegetables and Aromatic Herbs. Foods, 9, 1-27.

Cemal, D., Yıldız, G., 2022. The Effect of Drying Temperature, Cutting Types, Storage Degree and Period on Physical, Chemical and Physicochemical Properties of Red Cacia Pepper. Latin American Applied Research, 52(1), 67-72.

Cemeroğlu, B.S., 2013. Gıda Analizleri, Bizim Grup Basımevi, 707 ss, Ankara

Chaturvedi, A., Sujatha, V., Ramesh, C., Dilip Babu, J., 2013. Development of Shelf Stable Intermediate Moisture Carrot (*Daucus carota*) Shreds Using Radiation as Hurdle Technology. International Food Research Journal, 20(2), 775-781.

Dandamrongrak, R., Mason, R., Young, G., 2003. The Effect of Pretreatments on the Drying Rate and Quality of Dried Bananas. International Journal of Food Science and Technology, 38, 877-882.

Değirmencioğlu, A., Yazgı, A., 2006. Tepki Yüzeyleri Metodolojisi "Optimizasyon Esaslı Çalışmalara İlişkin Teorik Esaslar ve Tarımsal Mekanizasyon Uygulamaları". Tarım Makinaları Bilimi Dergisi, 2(2), 111-115.

Demiray, E., Tülek, Y., Yılmaz, Y., 2013. Degradation Kinetics of Lycopene, Carotene and Ascorbic Acid in Tomatoes During Hot Air Drying. LWT-Food Science and Technology, 50(1), 172-176.

Demiray, E., Tülek, Y., 2016. Güneşte Kurutulmuş Bamyaların Rehidrasyon Kinetiği. Akademik Gıda, 14(4), 368-374.

- Deng, L., Yang, X., Mujumdar, A.S., Zhao, J., Wang, D., Zhang, Q., Wang, J., Gao, Z., Xiao, H., 2018. Red Pepper (*Capsicum annuum* L.) Drying: Effects of Different Drying Methods on Drying Kinetics, Physicochemical Properties, Antioxidant Capacity and Microstructure. *Drying Technology*, 36(8), 893-907.
- Deng, L., Mujumdar, A.S., Zhang, Q., Yang, X., Wang, J., Zheng, Z., Gao, Z., Xiao, H., 2019. Chemical And Physical Pretreatments of Fruits and Vegetables: Effects on Drying Characteristics and Quality Attributes– A Comprehensive Review. *Critical Reviews In Food Science and Nutrition*, 59(9), 1408-1432.
- Duman, A.D., 2010. Storage of Red Chili Pepper Under Hermetically Sealed or Vacuum Conditions for Preservation of Its Quality and Prevention of Mycotoxin Occurrence. *Journal of Stored Products Research*, 46, 155-160. *Journal of Stored Products Research*, 46, 155-160.
- Ding, P., Ling, Y.S., 2014. Browning Assessment Methods and Polyphenol Oxidase in UV-C Irradiated Berangan Banana Fruit. *International Food Research Journal*, 21(4), 1667-1674.
- Doymaz, İ., 2007. Air-drying Characteristics of Tomatoes. *Journal of Food Engineering*, 78, 1291-1297.
- Doymaz, İ., Kocayiğit, F., 2012. Effect of Pre-treatment on Drying, Rehydration, and Color Characteristics of Red Pepper ("Charlston" variety). *Food Science and Biotechnology*, 21(4), 1013–1022.
- Duman, A.D., 2010. Storage of Red Chili Pepper Under Hermetically Sealed or Vacuum Conditions for Preservation of Its Quality and Prevention of Mycotoxin Occurrence. *Journal of Stored Products Research*, 46(3), 155-160.
- El-Hamzy, E.M.A., Ashour, M.M.S., 2016. Effect of Different Drying Methods and Storage on Physico-Chemical Properties, Capsaicinoid Content, Rehydration Ability, Color Parameters and Bioactive Compounds of Dried Red Jalapeno Pepper (*Capsicum annuum*) Slices. *Middle East Journal of Applied Sciences*, 6(4), 1012-1037.
- Eltoum, Y.A.I., Babiker, E.E., 2013. Changes in Antioxidant Content, Rehydration Ratio and Browning Index During Storage of Edible Surface Coated and Dehydrated Tomato Slices. *Journal of Food Processing and Preservation*, 38(3), 1135-1144.

- Eren, M.F., 2019. Kilis ve Çevresinde Üretilen Yöresel Biber (*Capsicum annuum*) Kurutmalığının Antimikrobiyal Aktivitesi ve Fitokimyasal, Antioksidan Özelliklerinin Yanıt Yüzey Metodu ile Optimizasyonu. Kilis 7 Aralık Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 49s, Kilis.
- Ergüneş, G., Tarhan, S., 2006. Color Retention of Red Peppers by Chemical Pretreatments During Greenhouse and Open Sun Drying. *Journal of Food Engineering*, 76, 446–452.
- Famurewa, J.A.V., Oluwamukomi, M.O., Adenuga, A.L., 2006. Dehydration of Osmosised Red Bell Pepper (*Capsicum annuum*). *Journal of Food Technology*, 4(4), 249-252.
- Feng, X., Yu, Q., Li, B., Kan, J., 2022. Comparative Analysis of Carotenoids and Metabolite Characteristics in Discolored Red Pepper and Normal Red Pepper Based on Non-Targeted Metabolomics. *LWT - Food Science and Technology*, 153, 112398.
- Feroz, F., Shimizu, H., Nishioka, T., Mori, M., Sakagami, Y., 2016. Bacterial and Fungal Counts of Dried and Semi-Dried Foods Collected From Dhaka, Bangladesh, and Their Reduction Methods. *Biocontrol Science*, 21(4), 243-251.
- Fратиanni, A., Albanese, D., Mignogna, R., Cinquanta, L., Panfili, G., Matteo, M., 2013. Degradation Of Carotenoids in Apricot (*Prunus armeniaca* L.) During Drying Process. *Plant Foods for Human Nutrition*, 68, 241-246.
- Food and Agriculture Organization (FAO), 2024. Faostat Database, Food and Agriculture Data. Erişim Tarihi: 13.04.2024. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/>
- Girma, B., Sualeh, A., 2022. A Review of Coffee Processing Methods and Their Influence on Aroma. *International Journal of Food Engineering and Technology*, 6(1), 7-16.
- Giuffrida, D., Dugo, P., Torre, G., Bignardi, C., Cavazza, A., Corradini, C., Dugo, G., 2014. Evaluation of Carotenoid and Capsaicinoid Contents in Powder of Red Chili Peppers During One Year of Storage. *Food Research International*, 65, 163–170.
- Gouveia, L., Empis, J., 2003. Relative Stabilities of Microalgal Carotenoids in Microalgal Extracts, Biomass and Fish Feed: Effect of Storage Conditions. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 4, 227-233.
- Gómez-García, M.R., Ochoa-Alejo, N., 2013. Biochemistry and Molecular Biology of Carotenoid Biosynthesis in Chili Peppers (*Capsicum*

- spp.). International Journal of Molecular Sciences, 14, 19025-19053.
- Grassino, A.N., Karlović, S., Šošo, L., Dujmić, F., Sabolović, M.B., Marelja, M., Brnčić, M., 2024. Influence of Different Drying Processes on the Chemical and Texture Profile of *Cucurbita maxima* Pulp. Foods, 13(520), 1-24.
- Guiné, R.P.F., Barroca, M.J., 2012. Effect of Drying Treatments on Texture and Color of Vegetables (Pumpkin and Green Pepper). Food and Bioproducts Processing, 90, 58-63.
- Guiné R.P.F., 2018. Variation of Physical Properties of Fruits with Drying and Kinetic Study. Life Science Journal, 1(1), 40-47
- Guiné, R.P.F., 2018. The Drying of Foods and Its Effect on the Physical-Chemical, Sensorial and Nutritional Properties. International Journal of Food Engineering, 4(2),93-100.
- Gupta, P., Ahmed, J., Shivhare, U., Raghavan, G., 2002. Drying Characteristics of Red Chilli. Drying Technology, 20, 1975-1987.
- Guzzon, R., Malacarne, M., Larcher, R., Franciosi, E., Toffanin, A., 2019. The impact of Grape Processing and Carbonic Maceration on the Microbiota of Early Stages of Winemaking. Journal of Applied Microbiology, 128, 209-224.
- Güneş, A., Keçe, Y. M., Beyzi, E. (2023). The Effects of Using Organic and Chemical Fertilizers on Yield and Yield Parameters in Different Pepper (*Capsicum annuum* L.) Varieties. Gesunde Pflanzen, 75, 1945-1952.
- Gül, C., 2018. Mandarin Meyvesinin Dilimlenerek Kurutulması ve Kurutma Kriterlerinin Optimizasyonu. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 56s, Isparta.
- Halkman, A.K., 2019. Sayım Yöntemleri. Halkman, A.K. (Ed.), Gıda Mikrobiyolojisi İçinde (271-305). Başak Matbaacılık ve Tanıtım Hizmetleri Ltd, 648s, Ankara.
- Hernandez, D.H., Ayerdi, S.G.S., Goni, I., 2010. Bioactive Compounds of Four Hot Pepper Varieties (*Capsicum annuum* L.), Antioxidant Capacity, and Intestinal Bioaccessibility. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 58, 3399–3406.
- Hizaji, A.S., Maghsoudlou, Y., Jafari, S.M., 2011. Effect of Water Temperature, Variety and Shelf Life on Rehydrtion Kinetics of

Microwave Dried Potato Cubes. Latin American Applied Research, 41(3), 249-254.

Iqbal, Q., Amjad, M., Asi, M.R., Ariño, A., 2012. Mold and Aflatoxin Reduction by Gamma Radiation of Packed Hot Peppers and Their Evolution During Storage. Journal of Food Protection, 75(8), 1528–1531.

Iqbal, Q., Amjad, M., Asi, M.R., Ariño, A., Ziaf, K., Nawaz, A., Ahmad, T., 2015. Stability of Capsaicinoids and Antioxidants in Dry Hot Peppers Under Different Packaging and Storage Temperatures. Foods, 4, 51-64.

Itle, R.A., Kabelka, E.A., 2009. Correlation Between L*a*b* Color Space Values and Carotenoid Content in Pumpkins and Squash (*Cucurbita* spp.). HortScience, 44(3), 633–637.

Jiang, D., Li, C., Zheng, Z., 2022. Study on Drying Control Strategy of White Radish Slice Based on Monitoring Medium Relative Humidity. Foods, 11(1197), 1-15.

Jomlapelatikul, A., Wiset, L., Duangkhamchan, W., Poomsa-ad, N., 2016. Model-Based Investigation of Heat and Mass Transfer for Selecting Optimum Intermediate Moisture Content in Stepwise Drying. Applied Thermal Engineering, 107, 987–993.

Kaleemullah, S., Kailappan, R., 2006. Modelling of Thin-Layer Drying Kinetics of Red Chillies. Journal of Food Engineering, 76, 531-537.

Karaca, H., Kurşun, E., 2019. Yarı Kurutulmuş Trabzon Hurmalarının Bazı Kalite Özellikleri Üzerine Donmuş Depolamanın ve Modifiye Atmosferde Paketleme Sonrası Soğuk Depolamanın Etkisi. Akademik Gıda, 17(3), 317-328.

Kasım, M.U., Kasım, R., 2018. The Effects of Ultraviolet B (UV-B) Irradiation on Color Quality and Decay Rate of Capia Pepper During Postharvest Storage. Food Science and Technology, 38(2), 363-368.

Kaur, R., Kaur, K., Ahluwalia, P., 2020. Effect of Drying Temperatures and Storage on Chemical and Bioactive Attributes of Dried Tomato and Sweet Pepper. Lebensmittel-Wissenschaft & Technologie, 117, 108604.

Kennao, E., Kumari, A., Singh, M., Hossain, S.A., Das, A., Wasnik, P.K., 2020. Effect of Drying on Physicochemical Characteristics of Bhut Jolokia (Chilli Pepper). Journal of Food Process Technology, 11(823), 1-8.

- Kheto, A., Dhua, S., Nema, P. K., & Sharanagat, V. S., 2021. Influence of Drying Temperature on Quality Attributes of Bell Pepper (*Capsicum annuum* L.): Drying Kinetics and Modeling, Rehydration, Color, and Antioxidant Analysis. *Journal of Food Process Engineering*, 44(11), e13880.
- Kılıç, E.E., Çınar, İ., 2019. Convective Hot Air Drying Characteristics of Selected Vegetables. *International Advanced Researches and Engineering Journal*. 03 (01), 007-013.
- Kılıç, F., Calam, T.T., 2020. Kırmızı Kapa Biberlerinin (*Capsicum annuum* L.) Kurutma ve Rehidrasyon Kinetiklerinin Belirlenmesi, Kurutma İşleminin Termodinamik Analizi. *Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Fen ve Mühendislik Dergisi*, 22(65), 331-342.
- Kim, S., Park, J., Hwang, I.K., 2004. Composition of Main Carotenoids in Korean Red Pepper (*Capsicum annuum* L.) and Changes of Pigment Stability During the Drying and Storage Process. *Journal of Food Science*, 69(1), 39-44.
- Kim, S., Baek, S.G., Hung, N.B., Kim, S-R., Jang, J.Y., Kim, J., Lee, T., 2021. Effects of Temperature and Humidity on Fungal Occurrence in Dried Red Pepper During Storage. *Research in Plant Disease*, 27(4), 155-163.
- Ko, H-C., Haile, M., Lee, S., Hwang, A., Lee, G-A., Choi, Y-M., Hahn, B-S., Ro, N., 2022. Correlation of Carotenoids Content and ASTA Values of Pepper (*Capsicum chinense*) Genetic Resources. *Horticulturae*, 8, 486, 1-13.
- Koç, B., Kaymak-Ertekin F., 2010. Yanıt Yüzey Yöntemi ve Gıda İşleme Uygulamaları. *Gıda*, 35(1), 1-8.
- Koç, M., 2015. Farklı Kurutma Yöntemleri ile Bal Tozu Üretim Koşullarının Optimize Edilmesi ve Depolama Stabilitésinin Belirlenmesi. *Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi*, 202s, İzmir.
- Kowalski, S.J., Mierzwa, D., 2011. Hybrid Drying of Red Bell Pepper: Energy and Quality Issues. *Drying Technology*, 29, 1195-1203.
- Kömüş, E., 2018. Mikrodalga ile Kurutulmuş Kereviz Yapraklarının (*Apium graveolens* L.) Kuruma Hızının ve Bazı Kalite Parametrelerinin Belirlenmesi. *Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, 73s, Sivas.

- Krzykowski, A., Dziki, D., Rudy, S., Gawlik-Dziki, U., Polak, R., Biernacka, B., 2018. Effect of Pre-treatment Conditions and Freeze-Drying Temperature on the Process Kinetics and Physicochemical Properties of Pepper. *LWT - Food Science and Technology*, 98, 25-30.
- Kuşçu, A., Pazır, F., 2018. Determination of Some Physicochemical and Sensorial Differences Between Organic and Conventional Growing Sweet Red Pepper (*Capsicum annuum* L.). *Chemistry Research Journal*, 3(2), 93-101.
- Lavelli, V., Corey, M., Kerr, W., Vantaggi, C., 2011. Stability and Anti-Glycation Properties of Intermediate Moisture Apple Products Fortified with Green Tea. *Food Chemistry*, 127, 589–595.
- Lechtanska, J.M., Szadzinska, J., Kowalski, S.J., 2015. Microwave- and Infrared-Assisted Convective Drying of Green Pepper: Quality and Energy Considerations. *Chemical Engineering and Processing*, 98, 155–164.
- Lewicki, P.P., 1998. Some Remarks on Rehydration of Dried Foods. *Journal of Food Engineering*, 36, 81-87.
- Lezama, A.Y.G., Flores, J.E., López, G.G.F., Alonso, C.P., Álvarez, L.D., Beltrán, A.L., 2014. Effects of Storage Temperature and Water Activity on the Degradation of Carotenoids Contained in Microencapsulated Chili Extract. *Drying Technology*, 32(12), 1435–1447.
- Liu, L., Wang, Y., Zhao, D., An, K., Ding, S., Wang, Z., 2014. Effect of Carbonic Maceration Pre-Treatment on Drying Kinetics of Chilli (*Capsicum annuum* L.) Flesh and Quality of Dried Product. *Food Bioprocess Technology*, 7, 2516–2527.
- Li, Q., Lv, Y., Su, K., Luo, S., Zhao, S., Li, R., Zhong, W., Huang, S. 2021. Effect of Drying Methods on the Texture Properties and Active Ingredients in Longan Flesh. *E3S Web of Conferences*, 251, 02049, 1-4.
- Llavata, B., Garcia-Perez, J.V., Simal, S., Carcel, J.A., 2020. Innovative Pre-treatments to Enhance Food Drying: A Current Review. *Current Opinion in Food Science*, 35, 20–26.
- Lucera, A., Conte, A., Gammariello, D., Nobile, M.A.D., 2016. Ready-to-eat Semi-Dried Tomatoes: Study to Preserve the Product Quality. *Journal of Food Processing Preservation*, e13175, 1-6.

- Maisnam, D., Rasane, P., Dey, A., Kaur, S., Sarma, C., 2017. Recent Advances in Conventional Drying of Foods. *Journal of Food Technology and Preservation*, 1, 25-34.
- Maurya, V.K., Gothandam, K.M., Ranjan, V., Shakya, A., Pareek, S., 2018. Effect of Drying Methods (Microwave Vacuum, Freeze, Hot Air and Sun Drying) on Physical, Chemical and nutritional Attributes of Five Pepper (*Capsicum annuum* var. *annuum*) Cultivars. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 98(9), 3492-3500.
- Mayor, L., Sereno, A., 2004. Modelling Shrinkage During Convective Drying of Food Materials: x. *Journal of Food Engineering*, 61(3), 373-386.
- Mercer, D.G., 2014. An Introduction to the Dehydration and Drying of Fruits and Vegetables. FIAFoST, 166 p. Ontario.
- Nuroğlu, E., 2016. Ses Dalgaları, Manyetik Alan ve Elektrik Alan Etkisinde Kurutulan Gıdalarda Mikotoksinlerin Tayini ve Fiziksel/Kimyasal Parametrelerin İncelenmesi. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 193s, İstanbul.
- Omorodion, N.J.P., Oge, L., 2022. The Influence of Storage Conditions on the Microbial Quality of *Daucus carots* (Carrots) and *Capsicum annuum* (Green Pepper). *NASS Journal of Agricultural Sciences*, 04(02), 36-43.
- Ong, S.P., Law, C.L. Hii, C.L., 2012. Effect of Pre-Treatment and Drying Method on Colour Degradation Kinetics of Dried Salak Fruit During Storage. *Food Bioprocess Technology*, 5, 2331-2341.
- Onwude, D.I., Hashim, N., Janius, R., Abdan, K., Chen, G., Oladejo, A.O., 2017. Non-Thermal Hybrid Drying of Fruits and Vegetables: A Review of Current Technologies. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 43, 223-238.
- Orozco, G.P., Alvarez, C.O., Villeda, A.A.C., Martinez, A.M., Munoz, R.C., 2021. Capsaicin Content in Red Habanero Chilli (*Capsicum chinense* Jacq.) and Its Preservation After Drying Process. *Future Foods*, 4, 100070.
- Ozcelik, M.M., Ozkan, G., Karacabey, E., 2022. Evaluation of carbonic maceration effect as a pre-treatment on the drying process of strawberry. *Agriculture*, 12(2113),1-19.
- Özcan, M.M., Uslu, N., 2022. Quantitative Changes of Bioactive Properties and Phenolic Compounds in Capia Pepper (*Capsicum*

- annuum L.) Fruits Dried by The Air, Conventional Heater, and Microwave. *Journal of Food Processing and Preservation*, 46:e16897, 1-8.
- Patidar, A., Vishwakarma, S., Meena, D., 2020. Traditional and Recent Development of Pretreatment and Drying Process of Grapes During Raisin Production: A Review of Novel Pretreatment and Drying Methods of Grapes. *Food Frontiers*, 2, 46–61.
- Patras, A., Brunton, N.P., Tiwari, B.K., Butler, F., 2011. Stability and Degradation Kinetics of Bioactive Compounds and Colour in Strawberry Jam During Storage. *Food Bioprocess Technology*, 4, 1245–1252.
- Pavel, T., Tomas, J., Stanislav, K., Miroslav, F., 2019. Changes in Phenolic Content in Ground Red Pepper (*Capsicum annuum* L.) During Storage. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, 9(2), 345–348.
- Phomkong, W., Soponronnarit, S., Thammarutwasik, P., 2010. Chemical Pretreatments Affecting Drying Characteristics of Chilli (cv. Huarou Yon). *Drying Technology*, 28(12), 1466-1476.
- Pınar, H., Çetin, N., Ciftci, B., Karaman, K., Kaplan, M., 2021. Biochemical Composition, Drying Kinetics and Chromatic Parameters of Red Pepper as Affected by Cultivars and Drying Methods. *Journal of Food Composition and Analysis*, 102, 103976.
- Piasecka, E., Uczciwek, M., Klewicki, R., Konopacka, D., Mieszczakowska-Frać, M., Szulc, M., Bonazzi, C., 2013. Effect of Long-Time Storage on the Content of Polyphenols and Ascorbic Acid in Osmo-Convectively Dried and Osmo-Freeze-Dried Fruits. *Journal of Food Processing and Preservation*, 37, 198-209.
- Qiu, L., Zhang, M., Tang, J., Adhikari, B., Cao, P., 2019. Innovative Technologies for Producing and Preserving Intermediate Moisture Foods: A Review. *Food Research International*, 116, 90–102.
- Rahman, M.S., Al-Rizeiqi, M.H., Guizani, N., Al-Ruzaiqi, M.S., Al-Aamri, A.H., Zainab, S., 2015. Stability of Vitamin C in Fresh and Freeze-Dried Capsicum Stored at Different Temperature. *Journal of Food Science and Technology*, 52(3), 1691–1697.
- Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., Rice-Evans, C., 1999. Antioxidant Activity Applying An Improved ABTS Radical Cation Decolorization Assay. *Free Radical Biology and Medicine*, 26(9-10), 1231–1237.

- Rhim, J-W., Hong, S.-I., 2011. Effect of Water Activity and Temperature on the Color Change of Red Pepper (*Capsicum annuum* L.) Powder. Food Science and Biotechnology, 20(1), 215-222.
- Rico, C.W., Kim, G., Ahn., J., Kim, H., Furuta, M., Kwon, J., 2010. The Comparative Effect of Steaming and Irradiation on the Physicochemical and Microbiological Properties of Dried Red Pepper (*Capsicum annuum* L.). Food Chemistry, 119(3), 1012-1016.
- Rodriguez, R.E., Prieto, M.S., Alonso, B.O., 2020. Assessment of Carotenoid Concentrations in Red Peppers (*Capsicum annuum*) Under Domestic Refrigeration for Three Weeks as Determined by HPLC-DAD. Food Chemistry, X6, 100092.
- Rybak, K., Wiktor, A., Witrowa-Rajchert, D., Parniakov, O., Nowacka M., 2021. The Quality of Red Bell Pepper Subjected to Freeze-Drying Preceded by Traditional and Novel Pretreatment. Foods, 10(2), 226.
- Rybak, K., Wiktor, A., Kaveh, M., Dadan, M., Witrowa-Rajchert, D., Nowacka, M., 2022. Effect of Thermal and Non-Thermal Technologies on Kinetics and the Main Quality Parameters of Red Bell Pepper Dried with Convective and Microwave-Convective Methods. Molecules, 27(7), 2164.
- Sabarez, H.T., 2018. Thermal Drying of Foods. In Rosenthal, A., Deliza, R., Welti-Chanes, J., Barbosa-Cánovas, G. (eds) Fruit Preservation, Food Engineering Series (181-210). Springer, 532p, New York.
- Sagar, V.R., Kumar, S.P., 2010. Recent Advances in Drying and Dehydration of Fruits and Vegetables: A Review. Journal of Food Science and Technology, 47(1), 15-26.
- Sanatombi, K., Rajkumari, S., 2019. Effect of Processing on Quality of Pepper: A Review. Food Reviews International, 36(6), 626-643.
- Schweiggert, U., Kurz, C., Schieber, A., Carle, R., 2007. Effects of Processing and Storage on the Stability of Free and Esterified Carotenoids of Red Peppers (*Capsicum annuum* L.) and Hot Chilli Peppers (*Capsicum frutescens* L.). European Food Research and Technology, 225, 261-270.
- Sergio, L., Gatto, M.A., Spremulli, L., Pieralice, M., Linsalata, V., Venere, D.D., 2016. Packaging and Storage Conditions to Extend the Shelf Life of Semi-Dried Artichoke Hearts. LWT- Food Science and Technology, 72, 277-284.

- Shim, Y., Kim, K., Seo, D., Ito, M., Nakagawa, H., Arai, S., Ha, J., 2013. Simultaneous Determination of Free Capsorubin and Capsanthin in Red Pepper Powder Using u-HPLC. *Journal of AOAC International*, 96(2), 341-345.
- Shmigelskaya, N., Cherviak, S., Makarov, A., Sivochoub, G., Vesytova, A., 2021. The Influence of Extraction Methods on the Quality Characteristics of Red Wines. 2nd International Conference on Agribusiness and Rural Development, 25-26 August, Yogyakarta, Indonesia, 1-8.
- Song, J., Wei, Q., Wang, X., Li, D., Liu, C., Zhang, M., Meng, L., 2018. Degradation of Carotenoids in Dehydrated Pumpkins as Affected by Different Storage Conditions. *Food Research International*, 107, 130-136.
- Soto, M., Dhuique-Mayer, C., Servent, A., Jiménez, N., Vaillant, F., Achir, N., 2020. A Kinetic Study of Carotenoid Degradation During Storage of Papaya Chips Obtained by Vacuum Frying with Saturated and Unsaturated Oils. *Food Research International*, 128, 108737.
- Speranza, G., Scalzo, R.L., Morelli, C.F., Rabufetti, M., Bianchi, G., 2019. Influence of Drying Techniques and Growing Location on the Chemical Composition of Sweet Pepper (*Capsicum annuum* L., var. Senise). *Journal of Food Biochemistry*, 43, 10.1111/jfbc.13031.
- Sujatha, V., Chaturvedi, A., Manjula, K., 2015. Development of Shelf Stable Intermediate Moisture Cauliflower *Brassica oleracea*, var, botrytis Cabbage *Brassica oleracea*, var, capitata Using Radiation as Hurdle Technology. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 6(2), 317-325.
- Şen, F., Karaçalı, İ., Eroğul, D., 2015. Depo Koşulları ve ambalajların Kuru Kayıpların Su Miktarı, Su Aktivitesi ve Doku Sertliğine Etkileri. *Meyvecilik Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Dergisi*, 2(2), 45-49.
- Tajudin, N., Tasirin, S., Ang, W., Rosli, M., Lim, L., 2019. Comparison of Drying Kinetics and Product Quality from Convective Heat Pump and Solar Drying of *Roselle* Calyx. *Food and Bioproducts Processing*, 118, 40-49.
- Tekgül, Y., 2019. Limon Kabuğunun Farklı Kurutma Yöntemleriyle Optimum Kurutma Koşullarının Belirlenmesi ve Kurutma Yöntemlerinin Bazı Kalite Özellikleri İle Uçucu Bileşenler Üzerine Etkileri. Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 138 s, İzmir.

- Tepic, A., Vujičić, B., 2004. Colour Change In Pepper (*Capsicum annuum*) During Storage. *Acta Periodica Technologica*, 59-64.
- Tang, Y.C., Chen, B.H., 2000. Pigment Change of Freeze-Dried Carotenoid Powder During Storage. *Food Chemistry*, 69(1), 11-17.
- Tesniere, C., Flanzy, C., 2011. Carbonic Maceration Wines: Characteristics and Winemaking Process. *Advances in Food and Nutrition Research*, 63,1-15.
- Toor, R.K., Savage, G.P., 2006. Effect of Semi-Drying on the Antioxidant Components of Tomatoes. *Food Chemistry*, 94, 90-97.
- Topuz, A., 2008. A Novel Approach for Color Degradation Kinetics of Paprika as a Function of Water Activity. *Food Science and Technology*, 41(9), 1672-1677.
- Topuz, A., Feng, H., Kushad, M., 2009. The Effect of Drying Method and Storage on Color Characteristics of Paprika. *LWT - Food Science and Technology*, 42, 1667-1673
- Topuz, A., Özdemir, F., 2003. Influences of γ -Irradiation and Storage on the Carotenoids of Sun-Dried and Dehydrated Paprika. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51, 4972-4977.
- Topuz, A., Özdemir, F., 2007. Assessment of Carotenoids, Capsaicinoids and Ascorbic Acid Composition of Some Selected Pepper Cultivars (*Capsicum annuum* L.) Grown in Turkey. *Journal of Food Composition and Analysis*, 20(7), 596-602.
- Turgut, S.S., Küçüköner, E., Karacabey, E., 2017. Improvements in Drying Characteristics and Quality Parameters of Tomato by Carbonic Maceration Pretreatment. *Journal of Food Processing and Preservation*, 42(2), 1-12.
- Turgut, S.S., Küçüköner, E., Karacabey, E., 2018. Influence of Carbonic Maceration Pre-Treatment on Functional Quality of Dried Tomato Quarters. *Food and Bioprocess Technology*, 11, 1818-1827.
- Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK), 2024. İstatistik Veri Portalı. Erişim Tarihi:13.04.2024.<https://data.tuik.gov.tr/Kategori/GetKategori?p=Tarim-111/>
- Türkcan, O., Ökmen, G., 2012. Mikrobiyal Karotenoidler. *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*, 5(1), 115-122.

- Uddin, M.S., Hawlader, M.N.A., Ding, L., Mujumdar, A.S., 2002. Degradation of Ascorbic Acid in Dried Guava During Storage. *Journal of Food Engineering*, 51(1), 21-26.
- Valle A.D., Dimmito, M.P., Zengin, G., Pieretti, S., Mollica, A., Locatelli, M., Cichelli, A., Novellino, E., Ak, G., Yerlikaya, S., Baloglu, M.C., Altunoglu, Y.Ç., Stefanucci, A., 2020. Exploring the Nutraceutical Potential of Dried Pepper *Capsicum annuum* L. on Market from Altino in Abruzzo Region. *Antioxidants*, 9(5), 1-19.
- Vega-Gálvez, A., Lemus-Mondaca, R., Bilbao-Sáinz, C., Yagnam, F., Rojas, A. 2008. Mass Transfer Kinetics During Convective Drying of Red Pepper var. Hungarian (*Capsicum annuum* L.): Mathematical Modeling and Evaluation of Kinetic Parameters. *Journal of Food Process Engineering*, 31, 120–137.
- Vega-Gálvez, A., Scala, K.D., Rodríguez, K., Lemus-Mondaca, R., Miranda, M., López, J., Perez-Won, M., 2009. Effect of Air-Drying Temperature on Physico-Chemical Properties, Antioxidant Capacity, Colour and Total Phenolic Content of Red Pepper (*Capsicum annuum*, L. var. Hungarian). *Food Chemistry*, 117, 647-653.
- Wang, J., Tao, H., Yang, J., An, K., Ding, S., Zhao, D., Wang, Z., 2014. Effect of Carbonic Maceration on Infrared Drying Kinetics and Raisin Qualities of Red Globe (*Vitis vinifera* L.): A New Pre-Treatment Technology Before Drying. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 26, 462–468.
- Wang, J., Fang, X. M., Mujumdar, A. S., Qian, J. Y., Zhang, Q., Yang, X. H., Liu, Y. H., Gao, Z. J., Xiao, H.W., 2017. Effect of High-Humidity Hot Air Impingement Blanching (HHAIB) on Drying and Quality of Red Pepper (*Capsicum annuum* L.). *Food Chemistry*, 220, 145–152.
- Wang, B., Jia, Y., Li, Y., Wang, Z., Wen, L., He, Y., Xu, X., 2023. Dehydration–Rehydration Vegetables: Evaluation and Future Challenges. *Food Chemistry*, 20, 100935.
- Wernecke, R., Wernecke, J., 2014. Industrial Moisture and Humidity Measurement A Practical Guide. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 522p. Weinheim.
- Wibowo, S., Vervoort, L., Tomic, J., Santiago, J. S., Lemmens, L., Panozzo, A., Grauwet, T., Hendrickx, M., Loey, A., 2015. Colour and Carotenoid Changes of Pasteurised Orange Juice During Storage. *Food Chemistry*, 171, 330-340.

- Wiktor, A., Nowacka, M., Dadan, M., Rybak, K., Lojkowski, W., Chudoba, T., Witrowa-Rajchert, D., 2016. The Effect of Pulsed Electric Field on Drying Kinetics, Color, and Microstructure of Carrot. *Drying Technology*, 34, 1286-1296.
- Yamada, H., Ando, T., Tsutani, K., Amano, S., Yamamoto, Y., 2009. Mechanism of Browning Occurring During the Processing of Semi-Dried Persimmons. *Journal of Japanese Society for Horticultural Science*, 78(1), 124–130.
- Yan, Z., Sousa-Gallagher, M.J., Oliveira, F.A.R., 2008. Sorption Isotherms and Moisture Sorption Hysteresis of Intermediate Moisture Content Banana. *Journal of Food Engineering*, 86, 342–348.
- Yang, X.H., Deng, L.Z., Mujumdar, A.S., Xiao, H.W., Zhang, Q., 2018. Evolution and Modelling of Colour Changes of Red Pepper (*Capsicum annuum* L.) During Hot Air Drying. *Journal of Food Engineering*, 231, 101-108.
- Yılmaz, E., Arsunar, E.S., Aydeniz, B., Güneşer, O., 2015. Cold Pressed Capi Pepperseed (*Capsicum annuum* L.) Oils: Composition, Aroma, and Sensory Properties. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 117, 1016–1026.
- Yılmaz, B.Ö. 2023. Kapyra Biber ve Atıklarının Sıfır Atık Yaklaşımıyla Farklı Koşullarda Kurutulması. Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 87s, İzmir.
- Zhang, M., Tang, J., Mujumdar, A.S., Wang, S., 2006. Trends in Microwave Related Drying of Fruits and Vegetables. *Trends in Food Science & Technology*, 17, 524-534.
- Zhang, Z., Yang, S., Liu, D., 1999. Mechanism and Mathematical Model of Heat and Mass Transfer During Convective Drying of Porous Materials. *Heat Transfer-Asian Research*, 28(5), 337-351.
- Zhang, Y.-S., Du, G., Gao, Y.-T., Wang, L.-W., Meng, D., Li, B.-J., Brennan, C., Wang, M.-Y., Zhao, H., Wang, S.-Y., Guan, W.-Q., 2019. The Effect of Carbonic Maceration During Winemaking on the Color, Aroma and Sensory Properties of ‘Muscat Hamburg’ Wine. *Molecules*, 24, 3120.
- Zhang, X.L., Zhong, C., Mujumdar, A.S., Yang, X., 2019. Cold Plasma Pretreatment Enhances Drying Kinetics and Quality Attributes of Chili Pepper (*Capsicum annuum* L.). *Journal of Food Engineering*, 241(40), 51-57.
- Zhao, D., Wang, Y., Zhu, Y., Ni, Y. 2016. Effect of Carbonic Maceration Pre-Treatment on Drying Behaviour and Physicochemical

Compositions of Sweet Potato Dried with Intermittent or Continuous Microwave. *Drying Technology*, 34(13), 1604-1612.

Zahoor, I., Ganaie, T.A., Wani, S.A., 2023. Effect of Microwave Assisted Convective Drying on Physical Properties, Bioactive Compounds, Antioxidant Potential and Storage Stability of Red Bell Pepper. *Food Chemistry Advances*, 3, 100440.

