

T1431

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

+

FARKLI GAMMA IŞINLAMA DOZLARININ VE DEPOLAMANIN
KIRMIZI PUL BİBERİN (*Capsicum annuum* L.) BAZI KİMYASAL,
MİKROBİYOLOJİK VE DUYUSAL KALİTESİ ÜZERİNE ETKİLERİ

AYHAN TOPUZ

T1431 1-1

DOKTORA TEZİ

AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
REKTÖRLÜĞÜ KÜTÜPHANESİ

GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

2002

**FARKLI GAMMA IŞINLAMA DOZLARININ VE DEPOLAMANIN
KIRMIZI PUL BİBERİN (*Capsicum annuum* L.) BAZI KİMYASAL,
MİKROBİYOLOJİK VE DUYUSAL KALİTESİ ÜZERİNE ETKİLERİ**

Ayhan TOPUZ

DOKTORA TEZİ

GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu tez 20.02.0121.04 proje numarasıyla, Akdeniz Üniversitesi
Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından desteklenmiştir.

2002

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FARKLI GAMMA IŞINLAMA DOZLARININ VE DEPOLAMANIN
KIRMIZI PUL BİBERİN (*Capsicum annuum* L.) BAZI KİMYASAL,
MİKROBİYOLOJİK VE DUYUSAL KALİTESİ ÜZERİNE ETKİLERİ

AYHAN TOPUZ

DOKTORA TEZİ

GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu tez 11/12/2002 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği / Oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

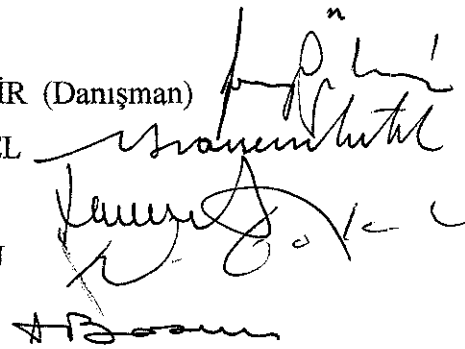
Doç. Dr. Feramuz ÖZDEMİR (Danışman)

Prof. Dr. Muharrem CERTEL

Prof. Dr. Nevzat ARTIK

Prof. Dr. Nalan GÖKOĞLU

Doç. Dr. Hüseyin BASIM



ÖZ

FARKLI GAMMA IŞINLAMA DOZLARININ VE DEPOLAMANIN KIRMIZI PUL BİBERİN (*Capsicum annuum* L.) BAZI KİMYASAL, MİKROBİYOLOJİK VE DUYUSAL KALİTESİ ÜZERİNE ETKİLERİ

Ayhan TOPUZ

Danışman: Doç. Dr. Feramuz ÖZDEMİR

Doktora Tezi, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı
Kasım 2002, 149 sayfa

Bu çalışmada, ülkemiz ekonomisine önemli ölçüde katkı sağlayan Kahramanmaraş yöresine has kırmızı pul biberin mikrobiyolojik, kimyasal ve duyuşal kalitesi üzerine kurutma yöntemi, ışınlama dozu ve depolama süresinin etkileri araştırılmıştır. Bu amaçla güneşte ve fırında kurutularak üretilen kırmızı pul biberler, 5 farklı dozda (0, 2.5, 5, 7.5 ve 10 kGy) ışınlanarak, 10 ay süresince, her iki ayda bir bazı mikrobiyolojik, kimyasal ve duyuşal analizlere tabi tutulmuştur.

Örneklerin mikrobiyolojik özelliklerini belirlemek için toplam aerobik mezofil bakteri, maya ve küf sayısı; kimyasal özelliklerini belirlemek için nem miktarı, ASTA renk değeri, karotenoid ve kapsaisinoid kompozisyonu; duyuşal özelliklerini belirlemek için de Scoville Acılık Birimi analizleri yapılmıştır. Örneklerin karotenoid ve kapsaisinoid bileşenleri HPLC tekniğı ile analiz edilmiştir. Ayrıca güneşte ve fırında kurutularak üretilen kırmızı pul biberlerin aflatoksin düzeylerini ve en yüksek dozda ışınlamanın aflatoksinler üzerine olan etkisini belirlemek amacıyla da HPLC analiz tekniğı kullanılmıştır.

Her iki kurutma yöntemi ile üretilen kırmızı pul biberde belirlenen toplam aerobik mezofil bakteri sayısının ışınlamayla logaritmik olarak azaldığı, depolama ile değışmediğı görülmüştür. Işınlama ile meydana gelen toplam aerobik mezofil bakteri sayısına ait D₁₀ değeri 0.67 kGy olduğı belirlenmiştir. Güneşte ve fırında kurutularak üretilen kırmızı pul biberlerin ışınlamayla sterilizasyon dozlarının sırasıyla 10 ve 7.5 kGy olduğı saptanmıştır.

Güneşte kurutularak elde edilen kırmızı pul biberde düşük düzeyde maya ve küf belirlenmiştir. Bu örneklerdeki maya ve küfün 2.5 kGy dozda ışınlanma veya yüksek yoğunluklu polietilen ambalajda 2 ay süreyle depolama sonucu yok olduğı saptanmıştır. Fırında kurutularak üretilen kırmızı pul biberde ise maya ve küfe rastlanmamıştır. Bu sonuçlarla ilişkili olarak kırmızı pul biberlerin aflatoksin miktarı da analiz hassasiyetinin altında kalmıştır.

Kurutma sırasında devam eden biyokimyasal reaksiyonlar nedeniyle güneşte kurutularak üretilen kırmızı pul biberin renk kalitesinin arttığı belirlenmiştir. Ancak

kırmızı pul bibere uygulanan ışınlama işlemi ve depolamanın, ürünün renk kalitesini olumsuz yönde etkilediği anlaşılmıştır. Depolamada meydana gelen renk kaybı ışınlamaya kıyasla daha fazla olmuştur. Bulgular, kırmızı biberdeki renk bileşenlerinin oksidasyonunun daha çok zamana bağlı olduğunu göstermiştir. Nem ve sıcaklığın artmasının da bu tepkimeyi hızlandırdığı tespit edilmiştir.

HPLC ile belirlenen acılık bileşenlerinin miktarı fırında kurutulan kırmızı pul biberlerde diğer kurutma yöntemine kıyasla daha yüksek bulunmuştur. İzodihidro kapsaisin dışındaki tüm acılık bileşenleri, kırmızı pul bibere yapılan uygulamalardan benzer şekilde etkilenmiştir. İzodihidro kapsaisinin depolamanın 6. ayından itibaren depolama süresinin uzamasıyla konsantrasyonunun arttığı tespit edilmiştir. Kapsaisinoidlerin miktarı ışınlama dozuna bağlı olarak artmış, ancak depolama süresinin uzaması ile bu bileşiklerin miktarı azalmıştır. Kırmızı pul biberin acılık özelliğinin belirlenmesinde uygulanan HPLC analiz tekniği, duyu analizi tekniğine (Scoville Acılık Birimi) göre daha hassas bulunmuştur.

Araştırma sonuçları, kaliteli bir ürün elde etmek için kırmızı biberin renk ve acılık özelliği bakımından optimum olgunlukta hasat edildikten sonra, hijyenik şartlarda uzun sürede kurutulmuş kırmızı pul bibere işlenmesi ve elde edilen ürünün 10 kGy dozda ışınlanması gerektiğini göstermiştir. Bu kırmızı pul biberin daha kaliteli bir şekilde muhafaza edilebilmesi için de kontrollü şartlarda depolamanın daha uygun olacağı sonucuna varılmıştır.

ANAHTAR KELİMELER: Kurutma yöntemi, Işınlama, Depolama, Kırmızı pul biber, Karotenoidler, Kapsaisinoidler

JÜRİ : Doç. Dr. Feramuz ÖZDEMİR (Danışman)

Prof. Dr. Muharrem CERTEL

Prof. Dr. Nevzat ARTIK

Prof. Dr. Nalan GÖKOĞLU

Doç. Dr. Hüseyin BASIM

ABSTRACT

THE EFFECTS OF DIFFERENT GAMMA IRRADIATION DOSES AND STORAGE ON SOME CHEMICAL, MICROBIOLOGICAL AND SENSORY QUALITIES OF PAPRIKA (*Capsicum annum L.*)

Ayhan TOPUZ

Ph.D in Food Engineering
Adviser: Assoc. Prof. Dr. Feramuz ÖZDEMİR
November, 2002, 149 pages

In this research, the effects of drying methods, irradiation doses and storage period were investigated on microbiological, chemical and sensory qualities of paprika which contribute our economy. In order to determine the effect of each treatment on quality parameters of both the sun dried and dehydrated samples, irradiated at five different doses (0, 2.5, 5, 7.5 and 10 kGy) and stored for 10 months were analyzed. The experimental methods were applied to the samples in every two months period.

Each sample was subjected to the total aerobic mesophilic bacteria, mold and yeast count for microbiological evaluation; moisture, ASTA extractable colour, carotenoids and capsaicinoids analysis for chemical evaluation and Scoville heat unit organoleptic test for sensory evaluation, respectively. HPLC technique was used to analyze the carotenoids and capsaicinoids of samples. Furthermore, aflatoxins contents of paprika, obtained by sun drying and dehydration process, and the samples, irradiated at the highest dose (10 kGy), were determined by HPLC.

Sun dried paprika was found highly contaminated with total aerobic mesophilic bacteria. Dehydrated paprika was also found moderately contaminated. The number of total aerobic mesophilic bacteria of both paprikas had a logarithmic decrease, whereas the same count had not changed by storing. The D_{10} value of these bacteria was determined as 0.67 kGy. Actually 7.5 kGy and 10 kGy irradiation doses were sufficient to sterilize the sample of dehydrated and sun dried paprika, respectively.

Low level of mold and yeast were able to determine only in sun-dried paprika. However these microorganisms could not be detected in the other product. The mold and yeast of sun-dried paprika were eliminated by 2.5 kGy irradiation dose or two months storage in HDPE bag. Concerning in the low level of mold and yeast, there was no detectable aflatoxins in both samples.

The colour of paprika, produced by sun drying, was intensified owing to biochemical reactions, accompanied by drying period. However, it was seen that irradiation and storage negatively affected the colour quality of the samples. Each constituent of paprika pigment was affected more or less in every treatment. Losing of paprika pigments due to the storage was higher than irradiation effect. According to the results, the oxidation of paprika pigment depends on time. Additionally, the moisture

content of paprika and ambient temperature also made pigment sensitive to oxidative reaction.

The capsaicinoids content of sun dried paprika, analyzed by HPLC, was found to be higher than dehydrated paprika's. The amount of these compounds was increased by irradiation doses. On the other hand, capsaicinoids were decreased by the way of storage. Each constituent of capsaicinoid was similarly affected by drying method, irradiation process and duration of storage, but isodihydrocapsaicin was not similar. At the beginning of the storage period the compound was detected neither in sun dried nor in dehydrated paprika however, it could be determined as rising amount in each samples after 6 months storage. It is concluded that the HPLC method was more sensitive than Scoville heat unit test to evaluate the pungency components of paprika.

In conclusion, after harvesting the red pepper in fully mature, it should be dried under hygienic condition in a long period of time, then process into the paprika and decontaminate by irradiation application at 10 kGy dose give the best quality product. In case of storage under controlled condition, the initial quality of paprika can be preserved in a certain extend.

KEYWORDS: Drying method, Gamma irradiation, Storage, Paprika, Carotenoids,
Capsaicinoids

COMMITTEE: Assoc. Prof. Dr. Feramuz ÖZDEMİR

Prof. Dr. Muharrem CERTEL

Prof. Dr. Nevzat ARTIK

Prof. Dr. Nalan GÖKOĞLU

Assoc. Prof. Dr. Hüseyin BASIM

ÖNSÖZ

Kırmızı pul biber ülkemizin belirli bölgelerinde yoğun olarak üretilen, ekonomik potansiyeli yüksek, önemli ihraç ürünlerimizden birisidir. Diğer baharatlarda olduğu gibi kırmızı biber de halen çoğunlukla geleneksel usullerle hijyenik olmayan şartlarda üretilmektedir. Pek çok gıdanın formülasyonuna renk ve lezzet unsuru olarak giren bu üründe mikroorganizma yükü, fungal kaynaklı toksinler ve haşere ciddi sağlık sorunlarına ve önemli ölçüde ürün kayıplarına neden olmaktadır. Son yıllara kadar bu tip ürünler tüm dünyada kimyasal fümigasyon yöntemi ile sterilize edilmekteydi. Ancak bu yöntemde kullanılan fümigantların dünya genelinde yasaklanması alternatif sterilizasyon tekniklerini zorunlu hale getirmiştir. Pek çok gıdaya farklı amaçlarla uygulanan ışınlama yönteminin en etkili alternatif sterilizasyon tekniği olarak zamanla fümigasyonun ve diğer sterilizasyon tekniklerinin yerini alacağı düşünülmektedir. 20. yüzyılda her yönüyle en yoğun araştırılan, binlerce organize çalışmalardan sonra etkili ve güvenli gıda işleme yöntemlerinden biri olduğu kabul edilen gıda ışınlama ile ilgili pek çok ülkede yasal düzenlemeler oluşturulmuş, baharatlar başta olmak üzere ışınlanan pek çok gıda maddesinin ulusal ve uluslararası ticareti yasal hale gelmiştir.

Bu araştırmada geleneksel yöntemle ve suni kurutma yöntemiyle üretilen kırmızı pul biberin bazı önemli kimyasal, duyuusal ve mikrobiyolojik özellikleri karşılaştırmalı olarak çalışılmış, ışınlamanın ve depolamanın bu özellikler üzerine etkisi belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar, kırmızı pul biberin en uygun üretim koşullarını belirlemek, yasal düzenlemelerine yön vermek, standardizasyonunu sağlamak, ulusal ve uluslararası ticaretini, tüketici sağlığını kontrol altına almak bakımından önemlidir. Ayrıca araştırma bazı yönleriyle ülkemizde ilk yapılan çalışma olup devam edecek benzer çalışmalara temel veriler teşkil etmektedir. Bu çalışma sonuçlarının gıda bilimi ve sanayisine faydalı olmasını dilerim.

Bu araştırmanın gerçekleşmesinde beni yönlendiren, her türlü imkanı sağlayan, bilgi ve tecrübesi ile bana destek veren sayın hocam Doç. Dr. Feramuz ÖZDEMİR'e, beni bu çalışmaya teşvik ederek araştırma imkanlarını bana açan Ankara Nükleer Tarım ve Hayvancılık Araştırma Merkezi müdür yardımcısı sayın Doç. Dr. Nurcan

ÇETİNKAYA ve Gıda İşnlama Bölümü başkanı sayın Galip SİYAKUŞ'a, aflatoksin analizleri konusunda yardımcı olan Ankara Tarım İl Kontrol Laboratuvar müdürü sayın Hasan Hüseyin BAYRAM'a, araştırmaya maddi, manevi destek sağlayan ve ihtiyacımız olduğunda her zaman yanımızda hissettiğimiz Narenciye ve Seracılık Araştırma Enstitüsü müdürü sayın Dr. Ali ÖZTÜRK'e, mikrobiyolojik analizlerinde yardımcı olan Arş. Gör. Sinan UZUNLU'ya, karotenoid analizlerinde yardımcı olan Nedim TEİİK'e, tezin her aşamasında desteğini gördüğüm Arş. Gör. Hilal ŞAHİN ve Arş. Gör. Muammer DEMİR'e, Prof. Dr. Tevfik AKSOY Merkezi Laboratuvarı çalışanları Nalan SİĞİNDERE, Levent TUĞCU ve Erhan KARADAŞ'a, kırmızı pul biber üretim koşullarını inceleme ve araştırmaya materyal sağlama konusunda destek veren Müsan Gıda San. ve Tic. A.Ş. ve Gödeler Tic. A.Ş. yetkililerine, araştırmaya maddi destek sağlayan Akdeniz Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Birimi ve Türkiye Atom Enerjisi Kurumu'na, Gıda Mühendisliği Bölümü öğretim üyeleri ve araştırma görevlilerine ve çalışmamın her aşamasında bana manevi destek sağlayan eşim Emine TOPUZ'a teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZ.....	i
ABSTRACT.....	iii
ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER.....	vii
SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL BİLGİLER VE KAYNAK TARAMALARI.....	5
3. MATERYAL VE METOT.....	44
3.1. Materyal.....	44
3.2. Metot.....	48
3.2.1. Kırmızı pul biberin ışınlanması.....	48
3.2.2. Işınlama dozunun belirlenmesi.....	49
3.2.3. Mikrobiyolojik analiz metotları.....	49
3.2.3.1. Örneğin seyreltilmesi.....	50
3.2.3.2. Toplam aerobik mezofil bakteri sayısının belirlenmesi.....	50
3.2.3.3. Maya ve küf sayısının belirlenmesi.....	50
3.2.4. Fiziksel, kimyasal ve duyuşsal analiz metotları.....	50
3.2.4.1. Yağ miktarının belirlenmesi.....	51
3.2.4.2. Protein miktarının belirlenmesi.....	51
3.2.4.3. Selüloz miktarının belirlenmesi.....	52
3.2.4.4. Kül miktarının belirlenmesi.....	52
3.2.4.5. Asitte çözünmeyen kül miktarının belirlenmesi.....	52
3.2.4.6. Tuz miktarının belirlenmesi.....	53
3.2.4.7. Mineral kompozisyonunun belirlenmesi.....	53
3.2.4.8. Yağ asiti kompozisyonunun belirlenmesi.....	54
3.2.4.9. Aflatoksin miktarının belirlenmesi.....	55
3.2.4.10. Nem miktarının belirlenmesi.....	56
3.2.4.11. Ekstrakte olabilen renk indeksinin (ASTA) belirlenmesi.....	56
3.2.4.12. Karotenoidlerin belirlenmesi.....	57
3.2.4.13. Acılık bileşenlerinin (Kapsaisinoidler) belirlenmesi.....	60

3.2.4.14. Scoville acılık biriminin belirlenmesi.....	62
3.2.7. İstatistiksel metot.....	62
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	63
4.1. Kırmızı Pul Biberin Bazı Kimyasal Özelliklerine Ait Analiz Sonuçları..	63
4.2. Kırmızı Pul Biberin Toplam Aerobik Mezofil Bakteri Sayısı Üzerine Kurutma Yöntemi, Işınlama Dozu ve Depolama Süresinin Etkisi.....	67
4.3. Kırmızı Pul Biberin Maya ve Küf Sayısı Üzerine Kurutma Yöntemi, Işınlama Dozu ve Depolama Süresinin Etkisi.....	70
4.4. Kırmızı Pul Biberde Bulunan Aflatoksinler Üzerine Kurutma Yöntemi, Işınlama Dozu ve Depolama Süresinin Etkisi.....	71
4.5. Kırmızı Pul Biberin Nem Miktarı Üzerine Kurutma Yöntemi, Işınlama Dozu ve Depolama Süresinin Etkisi.....	71
4.6. Kırmızı Pul Biberin Ekstrakte Olabilen Renk Değeri (ASTA) Üzerine Kurutma Yöntemi, Işınlama Dozu ve Depolama Süresinin Etkisi.....	76
4.7. Kırmızı Pul Biberin Kırmızı Renk Bileşenleri Üzerine Kurutma Yöntemi, Işınlama Dozu ve Depolama Süresinin Etkisi.....	82
4.8. Kırmızı Pul Biberin Sarı Renk Bileşenleri Üzerine Kurutma Yöntemi, Işınlama Dozu ve Depolama Süresinin Etkisi.....	90
4.9. Kırmızı Pul Biberin Acılık Bileşenleri Üzerine Kurutma Yöntemi, Işınlama Dozu ve Depolama Süresinin Etkisi.....	102
4.10. Kırmızı Pul Biberin Scoville Acılık Birimi Üzerine Kurutma Yöntemi, Işınlama Dozu ve Depolama Süresinin Etkisi.....	113
5. SONUÇ.....	118
6. KAYNAKLAR.....	122
7. EKLER.....	135
EK-1 Taze kırmızı biberin karotenoid analizine ait HPLC kromatogramı.....	135
EK-2 Kırmızı pul biberlerin karotenoid analizine ait HPLC kromatogramları	136
EK-3 Taze kırmızı biberin kapsaisinoid analizine ait HPLC kromatogramı.....	142
EK-4 Kırmızı pul biberlerin kapsaisinoid analizine ait HPLC kromatogramları.....	143
8. ÖZGEÇMİŞ.....	149

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

Ci	Curie
kGy	Kilogray
D ₁₀	1 logaritma ünitelik azalış sağlayan ışınlama dozu

Kısaltmalar

ANTHAM	Ankara Nükleer Tarım ve Hayvancılık Merkezi
ASTA	Amerikan Baharat Ticaret Birliği
BHT	Bütillenmiş Hidroksi Toluen
DHKap	Dihidro kapsaisin
DS	Dedektör Sinyali
EPR	Elektron Promagnetik Rezonans
F	Fırında Kurutularak Üretilmiş Kırmızı Pul Biber
FAO	Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü
G	Güneşte Kurutularak Üretilmiş Kırmızı Pul Biber
HDHKap	Homodihidro kapsaisin
HDPE	Yüksek Yoğunluklu Polietilen
HPLC	Yüksek Performanslı Sıvı Kromatografisi
IAEA	Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı
IDHKap	İzodihidro kapsaisin
IFIP	Uluslararası Gıda Işınlama Projesi
IU	Uluslararası Ünite
Kap	Kapsaisin
KO	Kareler Ortalaması
Kob	Koloni Oluşturan Birim
LINAC	Elektron Hızlandırıcı Makina
MeV	Milyon Elektron Volt
MIT	Massachusetts Teknoloji Enstitüsü

N	Canlı Mikroorganizma Sayısı
OECD	Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü
PVC	Polivinil Klorit
SAB	Scoville Acılık Birimi
SD	Serbestlik Derecesi
SE	Standart Hata
t.e.	Tespit Edilememiştir
TLC	İnce Tabaka Kromatografisi
$X \pm SE$	Ortalama \pm Standart Hata
UV	Morötesi Işın
WHO	Dünya Sağlık Örgütü

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Elektromanyetik spektrum	11
Şekil 2.2. Elektron hızlandırıcı (LINAC)	12
Şekil 2.3. Co ⁶⁰ kaynağı ile çalışan bir Işınlama tesisi	13
Şekil 2.4. Gıda ışınlama sembolü	22
Şekil 2.5. Biberde bulunan karotenoidlerin yapıları	29
Şekil 2.6. <i>Capsicum</i> türlerinin kapsaisinoid yapıları	35
Şekil 3.1. <i>Capsicum annuum</i> L. türü biberin (Maraş Biberi) olgun meyveleri	44
Şekil 3.2. Güneşte kurutularak üretilen kırmızı pul biberin işlem akış şeması	45
Şekil 3.3. Fırında kurutularak üretilen kırmızı pul biberin işlem akış şeması	46
Şekil 3.4. Kırmızı biberin güneşte kurutulması	47
Şekil 3.5. Fırında kurutma yöntemiyle kırmızı pul ve toz biber işleyen işletme... ..	47
Şekil 3.6. Gamma Cell deneysel ışınlama ünitesi	48
Şekil 3.7. Farklı dozlarda ışınlanan Harwell Amber Perspex Dozimetresinin (Bach N 3042) birim kalınlıktaki absorbans değişimi	49
Şekil 3.8. Taze kırmızı biber (<i>Capsicum annuum</i> L.) karotenoidlerinin ince tabakada (TLC) ayrılmış görüntüleri ve RF değerleri	59
Şekil 3.9. Kapsaisin standardının “konsantrasyon α pik alanı” doğrusu	61
Şekil 3.10. Dihidro-kapsaisin standardının “konsantrasyon α pik alanı” doğrusu ..	61
Şekil 4.1. Kırmızı pul biberin toplam aerobik mezofil bakteri sayısının (log N) kurutma yöntemi ve ışınlama dozuna göre değişimi	70
Şekil 4.2. Kırmızı pul biberin nem içeriğinin kurutma yöntemi, ışınlama dozu ve depolama süresine göre değişimi	74
Şekil 4.3. Kırmızı pul biberin ekstrakte olabilen renk (ASTA) değerinin kurutma yöntemi, ışınlama dozu ve depolama süresine göre değişimi	80
Şekil 4.4. Kırmızı pul biberin kapsantin ve kapsorubin miktarının kurutma yöntemi, ışınlama dozu ve depolama süresine göre değişimi	88
Şekil 4.5. Kırmızı pul biberdeki zeaksantin, kapsolutein, violaksantin, β -karoten ve β -kriptoksantin miktarının kurutma yöntemi, ışınlama dozu ve depolama süresine göre değişimi	100

Şekil 4.6. Kırmızı pul biberdeki kapsaisin ve dihidrokapsaisin miktarının kurutma yöntemi, ışınlama dozu ve depolama süresine göre değişimi	110
Şekil 4.7. Kırmızı pul biberdeki homodihidro-kapsaisin ve izodihidro-kapsaisin miktarının kurutma yöntemi, ışınlama dozu ve depolama süresine göre değişimi	112
Şekil 4.8. Kırmızı pul biberin Scoville Acılık Birimi değerinin kurutma yöntemi, ışınlama dozu ve depolama süresine göre değişimi	116

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1.	Bazı gıda kaynaklı patojenlerin D_{10} değerleri	17
Çizelge 2.2.	Farklı cins ve türde canlı mikroorganizmaları öldürmek için etkin ışınlama dozları.....	18
Çizelge 2.3.	Gıda gruplarında belirli teknolojik amaçlara göre uygulanmasına izin verilen ışınlama dozları	23
Çizelge 2.4.	100 g kuru kırmızı biberin bileşimi	28
Çizelge 2.5.	Farklı kurutma yöntemi ile üretilen kırmızı biberlerin karotenoid değişimleri	32
Çizelge 2.6.	Bazı Capsicum çeşitlerine ait meyvelerin Scoville Acılık Birimleri	37
Çizelge 2.7.	Genel olarak baharatlarda bulunması gereken mikrobiyolojik özellikler.....	40
Çizelge 4.1.	Güneşte ve fırında kurutularak üretilen kırmızı pul biberin bazı kimyasal özellikleri	63
Çizelge 4.2.	Güneşte ve fırında kurutularak üretilen kırmızı pul biberin mineral madde kompozisyonu	65
Çizelge 4.3.	Güneşte ve fırında kurutularak üretilen kırmızı pul biberin yağ asiti kompozisyonu (%)	66
Çizelge 4.4.	Güneşte ve fırında kurutularak üretilen ve farklı dozlarda ışınlanan kırmızı pul biberin depolama ile toplam bakteri sayısı değişimi (LogN).....	67
Çizelge 4.5.	Kırmızı pul biberin toplam bakteri sayısına ait varyans analizi sonuçları.....	68
Çizelge 4.6.	Güneşte ve fırında kurutma yöntemi ile üretilen kırmızı pul biberin toplam bakteri sayısına (log N) ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları	68
Çizelge 4.7.	Farklı dozlarda ışınlanan kırmızı pul biberin toplam aerobik mezofil bakteri sayısına (log N) ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları	69

Çizelge 4.8.	Güneşte ve fırında kurutularak üretilen ve farklı dozlarda ışınlanan kırmızı pul biberin depolama süresince nem değişimi.	72
Çizelge 4.9.	Kırmızı pul biberin nem değerlerine ait varyans analizi sonuçları	73
Çizelge 4.10.	Güneşte ve fırında kurutularak üretilen kırmızı pul biberlerin ortalama nem değerlerine (%) ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları	73
Çizelge 4.11.	Farklı dozlarda ışınlanan kırmızı pul biberin ortalama nem değerine (%) ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları	73
Çizelge 4.12.	Farklı depolama süresinde kırmızı pul biberin ortalama nem değerine (%) ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları	73
Çizelge 4.13.	Güneşte ve fırında kurutularak üretilen ve farklı dozlarda ışınlanan kırmızı pul biberin depolama periyodundaki ASTA renk değeri değişimi	76
Çizelge 4.14.	Kırmızı pul biberin ASTA renk değerlerine ait varyans analizi sonuçları	77
Çizelge 4.15.	Güneşte ve fırında kurutularak üretilen kırmızı pul biberin ASTA renk değeri ortalamalarına ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları	79
Çizelge 4.16.	Farklı dozlarda ışınlanan kırmızı pul biberin ASTA renk değeri ortalamalarına ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları	79
Çizelge 4.17.	Farklı depolama süresinde kırmızı pul biberin ASTA renk değeri ortalamalarına ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları	79
Çizelge 4.18.	Taze kırmızı biberin kapsantin ve kapsorubin miktarı	82
Çizelge 4.19.	Güneşte ve fırında kurutularak üretilen ve farklı dozlarda ışınlanan kırmızı pul biberin depolama süresince kapsantin miktarı değişimi	83
Çizelge 4.20.	Güneşte ve fırında kurutularak üretilen ve farklı dozlarda ışınlanan kırmızı pul biberin depolama süresince kapsorubin miktarı değişimi	84

Çizelge 4.21.	Kırmızı pul biberin kapsantin ve kapsorubin değerlerine ait varyans analizi sonuçları	84
Çizelge 4.22.	Güneşte ve fırında kurutularak üretilen kırmızı pul biberin kapsantin ve kapsorubin değeri ortalamalarına ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları	86
Çizelge 4.23.	Farklı dozlarda ışınlanan kırmızı pul biberin kapsantin değeri ortalamalarına ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları	86
Çizelge 4.24.	Farklı sürelerde depolanan kırmızı pul biberin kapsantin ve kapsorubin değeri ortalamalarına ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları	86
Çizelge 4.25.	Taze kırmızı biberin sarı renkli karotenoid bileşimi miktarı	90
Çizelge 4.26.	Güneşte ve fırında kurutularak üretilen ve farklı dozlarda ışınlanan kırmızı pul biberin depolama süresince violaksantin miktarı değişimi	91
Çizelge 4.27.	Güneşte ve fırında kurutularak üretilen ve farklı dozlarda ışınlanan kırmızı pul biberin depolama süresince kapsolutein miktarı değişimi	91
Çizelge 4.28.	Güneşte ve fırında kurutularak üretilen ve farklı dozlarda ışınlanan kırmızı pul biberin depolama süresince zeaksantin miktarı değişimi	92
Çizelge 4.29.	Güneşte ve fırında kurutularak üretilen ve farklı dozlarda ışınlanan kırmızı pul biberin depolama süresince β -karoten miktarı değişimi	92
Çizelge 4.30.	Güneşte ve fırında kurutularak üretilen ve farklı dozlarda ışınlanan kırmızı pul biberin depolama süresince β -kriptoksantin miktarı değişimi	93
Çizelge 4.31.	Kırmızı pul biberin violaksantin ve kapsolutein değerlerine ait varyans analizi sonuçları	94
Çizelge 4.32.	Güneşte ve fırında kurutularak üretilen kırmızı pul biberin sarı renk bileşenlerinin ortalama değerlerine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları	94

Çizelge 4.33. Farklı dozlarda ışınlanan kırmızı pul biberin sarı renk bileşenlerinin ortalama değerlerine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları.....	96
Çizelge 4.34. Farklı sürelerde depolanan kırmızı pul biberin sarı renk bileşenlerinin ortalama değerlerine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları.....	96
Çizelge 4.35. Taze kırmızı biberin acılık bileşimi miktarı	103
Çizelge 4.36. Güneşte ve fırında kurutulmuş üretilen ve farklı dozlarda ışınlanan kırmızı pul biberin depolama süresince kapsaisin miktarı değişimi	103
Çizelge 4.37. Güneşte ve fırında kurutulmuş üretilen ve farklı dozlarda ışınlanan kırmızı pul biberin depolama süresince dihidrokapsaisin miktarı değişimi	104
Çizelge 4.38. Güneşte ve fırında kurutulmuş üretilen ve farklı dozlarda ışınlanan kırmızı pul biberin depolama süresince homodihidrokapsaisin miktarı değişimi	104
Çizelge 4.39. Güneşte ve fırında kurutulmuş üretilen ve farklı dozlarda ışınlanan kırmızı pul biberin depolama süresince izodihidrokapsaisin miktarı değişimi.....	105
Çizelge 4.40. Kırmızı pul biberin acılık bileşenlerinin değerlerine ait varyans analizi sonuçları	107
Çizelge 4.41. Kırmızı pul biberin acılık bileşenleri değerlerine ait varyans analizi sonuçları	107
Çizelge 4.42. Güneşte ve fırında kurutulmuş üretilen kırmızı pul biberin acılık bileşenlerinin ortalama değerlerine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları.....	109
Çizelge 4.43. Farklı dozlarda ışınlanan kırmızı pul biberin acılık bileşenlerinin ortalama değerlerine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları.....	109

Çizelge 4.44. Farklı sürelerde depolanan kırmızı pul biberin acılık bileşenlerinin ortalama değerlerine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları.....	109
Çizelge 4.45. Güneşte ve fırında kurutularak üretilen ve farklı dozlarda ışınlanan kırmızı pul biberin depolama süresince Scoville Acılık Birimi değişimi	114
Çizelge 4.46. Kırmızı pul biberin Scoville Acılık Birimi değerlerine ait varyans analizi sonuçları	114
Çizelge 4.47. Farklı dozlarda ışınlanan kırmızı pul biberin ortalama Scoville Acılık Birimi değerlerine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi Sonuçları.....	115
Çizelge 4.48. Farklı sürelerde depolanan kırmızı pul biberin ortalama Scoville Acılık Birimi değerlerine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları.....	116

1. GİRİŞ

Araştırmacılar gıdaların bozulmasını geciktirmek, ürün miktarı, çeşit ve kalitesini arttırmak, halkın sağlığını korumak ve üretim maliyetlerini düşürmek amacıyla sürekli yeni teknolojiler üzerinde çalışmaktadırlar. Gıda işleme ve muhafaza yöntemlerindeki gelişmelere rağmen günümüzde hala önemli ölçüde gıda kayıpları olmakta, bundan daha da önemlisi gıda kaynaklı sağlık problemleri devam etmektedir.

Gelişmekte olan ülkelerde üretilen gıda maddelerinin halen %25-40'ının çeşitli nedenlerle üretim ve depolama sırasında kayba uğradığı bildirilmektedir (Kurtcan ve Altuğ 1993, Anonymous 1995). Yine benzer şekilde gıda bozulmaları nedeniyle gelişmiş ülkelerde de önemli ekonomik kayıplar söz konusudur. Örneğin ABD'de sadece Salmonellosis nedeni ile yılda ortalama 300 milyon dolarlık ekonomik kayıp olduğu rapor edilmektedir (Kurtcan ve Altuğ 1993).

Gıda katkı maddelerine ve kimyasal uygulamalara getirilen kısıtlamalar, gıda hijyen standartlarında oluşturulan tavizsiz kurallar gıdaların pastörizasyonu ve sterilizasyonu ile ilgili mevcut yöntemlerin yanında alternatif pastörizasyon ve sterilizasyon teknikleri üzerinde çalışmaları artırmıştır. Bu tekniklerden birisi de güvenilir, etkili ve ekonomik olan gıda ışınlamadır (Loaharanu 1994).

Doğada bazı atomlar devamlı parçalanmakta ve çevreye radyant enerji yaymaktadır. Bu atomlara "radyoaktif atom" ya da "radyonükleid" denilmektedir. Uranyum gibi doğal radyonükleidlerin yanında sonradan radyoaktivite kazandırılmış atomlar da vardır. Bu atomlara "radyoizotop" denir. Co⁶⁰ ve Cs¹³⁷ bunlara örnektir (Cemeroğlu ve Acar 1986, Topal 1996, Venugopal vd 1999). Radyoaktif atomların yaydıkları radyant enerjiler α , β ve γ ışınları olarak isimlendirilmektedir. α ışını yüksek hızlı yüklü parçacık, β ışını yüksek hızlı elektron ve γ ışını (foton) ise yüksek enerjili elektromanyetik ışımadır (Topal 1996, Mortimer 1987). Elektromanyetik spektrum içerisinde oldukça düşük dalga boyuna (100-120nm) ve yüksek enerjiye sahip olan γ ışını etki ettiği maddede iyonizasyona sebep olur. Bu nedenle bu radyasyon tipine iyonize radyasyon denilmektedir. Bu ışınlar tatbik edildiği gıdada önemli bir sıcaklık

artışı meydana getirmediğinden ve mikroorganizmaları öldürdüğünden gıdanın bu ışınlarla muamelesi "soğuk sterilizasyon" olarak isimlendirilmektedir. α ve β ışınları ise düşük penetrasyon gücüne sahip olduklarından gıda endüstrisinde kullanımları kısıtlıdır. Bu nedenle gıda ışınlaması denilince γ radyasyonu anlaşılmaktadır (Cemeroğlu ve Acar 1986)

Radyoaktif maddelerin yaydıkları enerjilerin dışında son zamanlarda kullanımı yaygınlaşan mekanik elektron hızlandırıcılar da geliştirilmiştir. Ayrıca mekaniksel olarak üretilen bir de χ ışını vardır. Ancak χ ışını pahalı bir kaynak olması nedeniyle sadece tıbbi amaçlı kullanılmaktadır. Bunlardan başka dalga boyu daha yüksek, enerjisi ve penetrasyon gücü daha düşük olan UV (morötesi) ışınları da vardır. Bu ışınlar daha çok ambalaj ve yüzey sterilizasyonu amaçlı kullanılmaktadır (Cemeroğlu ve Acar 1986, Topal 1996).

Gıda ışınlama denemeleri 1921 yılında başlamıştır. 1960'larda Uluslararası Atom Enerjisi Kurumu, Dünya Sağlık Örgütü ve Dünya Gıda ve Tarım Örgütü ortaklığında Gıda Işınlama Uzmanlar Komitesi kurulmuştur. Bu komitenin planlı ve yoğun çalışmaları ile 1970'li yıllarda ışınlanmış gıdaların tüketilebilir olduğu ortaya konulmuştur. 1980'li yıllarda ulusal ve uluslararası standartlar hazırlanmış, bu standartların oluşturulmasından sonra da ticari uygulamalar başlamıştır. Günümüzde gelişmiş ve gelişmekte olan yaklaşık 40 ülkede ışınlama tesisleri bulunmakta ve ışınlanmış gıda ticareti yapılmaktadır (Anonymous 1995, Çetinkaya vd 1999, Diehl 1999). Ülkemizde biri özel sektöre, diğeri ise Türkiye Atom Enerjisi Kurumuna ait olmak üzere iki ışınlama tesisi bulunmasına karşılık ışınlama yönetmeliği ancak 6 Kasım 1999'da yürürlüğe girmiştir (Anonim 1999).

Günümüzde, 43 ülkede, birçok gıdanın ışınlanması yasal hale gelmiştir. Dünyada her yıl yaklaşık yarım milyon ton gıda ve gıda katkı maddesi ışınlanmaktadır. Ancak bu miktar toplam işlenmiş gıda miktarı dikkate alındığında çok düşüktür. Bunun nedeni ise tüketicilerin ışınlanmış gıdaya karşı olan olumsuz tepkileridir. Gıda ışınlanmasının yaygınlaşması için özellikle tüm dünyada tüketicilerin bu işlemin sanıldığı gibi tehlikeli olmadığını anlaması ve kabul etmesi gerekmektedir.

Işınlamanın, düşük enerji gereksinimi, çevre açısından temiz bir işlem olması, gıda güvenliği sağlayabilmesi, kolay uygulanması, uygulama sırasında gıdada sıcaklık artışının olmaması, ambalajlı gıdaya uygulanabilmesi ve en önemlisi de antimikrobiyal madde ve pestisit kullanımına alternatif bir yöntem olması gibi önemli avantajları vardır (Fellow 1986).

Işınlama işlemi özellikle patates, soğan, sarımsak gibi ürünlerde erken filizlenmenin engellenmesi, böcek ve parazit dezenfeksiyonu, fizyolojik geciktirme, raf ömrünü uzatma, patojen mikroorganizmaların inaktivasyonu, gıdaların sterilizasyonu ve teknolojik özelliklerin geliştirilmesi amacıyla uygulanmaktadır (Cemeroğlu ve Acar 1986, Fellow 1986, Gerçekçioğlu 1994, Topal, 1996, Alkan 2000, Erkmen 2000).

Işınlamanın bütün bu olumlu sonuçları yanında, suyu hidroliz etmesi, vitaminleri, aminoasitleri, karbonhidratları, aroma ve renk bileşenlerini parçalaması, yağları oksitlemesi gibi olumsuz sonuçları da vardır. Özellikle oksijenli ve nemli ortamda yapılan ışınlama işleminde kimyasal yapı değişimi daha çok olmaktadır. Ancak bu olumsuz sonuçlar genellikle yüksek ışınlama dozlarında ortaya çıkmaktadır (Ayhan 1993, Venugopal 1999).

Pekçok gıda farklı amaçlarla ışınlanmaktadır. Ancak bu işlem çoğunlukla baharat, kuru meyve ve sebzelere uygulanmaktadır. Bu gıdalar uzun yıllardan beri kimyasal fümigasyonla sterilize edilirken, fümigasyonun insan sağlığını ve çevreyi tehdit etmesi nedeniyle getirilen yasaklamalar, ışınlama işlemini bu grup gıdalar için en iyi alternatif sterilizasyon metotlarından biri haline getirmiştir (Altuğ ve Kurtcan 1993, Loaharanu 1994, Gautam vd 1998).

1990 yılında 796 296 ton olan dünya baharat üretimi 2001 yılında 1 174 294 tona yükselmiştir. Bu üretimin 900 000 tonunu Hindistan, 59 000 tonunu Çin ve 51 000 tonunu Bengladeş gerçekleştirmektedir. Bu üretimde ülkemizin payı ise 28 000 tondur (Anonymous 2002)

Baharatlar doğal olarak pekçok çeşit ve sayıda mikroorganizma ve sporlarını içermektedir. Bu konuda yapılan araştırmalar çeşitli baharatlarda aerobik toplam canlı mikroorganizma sayısının 10^5 - 10^8 /g arasında değiştiğini ortaya koymaktadır. Kuru baharatlarda bu mikroorganizmalar genellikle zararsız durumda bulunurlar. Ancak baharat nemli bir gıda ürünüde kullanıldığı zaman mikroorganizmalar aktif hale geçerek gıdalarda bozulmaya neden olur (Topal 1996). Ayrıca bu baharatlar uygun ortamlarda depolanmadığı takdirde böceklenebilmektedir. Bu sorunun çözümünde ışılama işleminin başarılı olduğu bildirilmektedir (Akgül 1993). Bu nedenlerden dolayı gelişmiş ülkelerde pekçok ticari firma tarafından tonlarca gıda ışılanmakta ve tüketilmektedir (Anonymous 1995, Bruhn 1999, Eiss 1999, Alkan 2000).

Bu araştırmada, ışılama ile kırmızı biberin mikrobiyal yükünü düşürmek, depolama sırasında böceklenmesini engellemek, fiziksel, kimyasal ve duyusal kalitesini muhafaza etmek ve ürünün raf ömrünü arttırmak hedeflenmiştir. Araştırma ayrıca ülkemizde Kahramanmaraş Biberi olarak da bilinen ve büyük ticari değere sahip kırmızı pul biberin detaylı kimyasal bileşim özelliklerini ve ışılamanın bu özellikler üzerine etkisini de ortaya koymayı amaçlamıştır.

2. KURAMSAL BİLGİLER VE KAYNAK TARAMALARI

Dünya gıda endüstrisinde gıdaların bozulmasını geciktirmek, gıda zehirlenme ve enfeksiyon riskini azaltmak veya ortadan kaldırmak, gıda güvenliğini sağlamak, gıda kayıplarını azaltmak ve uluslararası ticarete gerekli olan kalite standartlarını sağlamak amacıyla çeşitli gıda muhafaza teknikleri uygulanmaktadır. Halihazırda uygulanan bu yöntemlerin geliştirilmesi ve yeni yöntemlerin bulunması konusunda ise çalışmalar devam etmektedir. Gıda ışınlama teknolojisi de bu yöntemlerden biri olarak endüstride yerini almıştır.

Işınlama teknolojisi tıbbi malzeme sterilizasyonunda uzun zamandan beri kullanılmakta ise de bu tekniğin gıda endüstrisinde kullanımı oldukça yenidir (Derr 1993). Teorik temelleri çok eskiden atılan, ancak endüstriyel uygulamaları geciken bu teknoloji günümüzde bütün dünyanın üzerinde önemle durduğu ve yoğun olarak üzerinde çalıştığı bir konu haline gelmiştir. Işınlama, sterilizasyonu sağlamak, filizlenmeyi engellemek, olgunlaşmayı geciktirmek, böcek ve parazit gelişimini engellemek gibi değişik amaçlarla ambalajlı veya ambalajsız olarak her türlü gıdaya uygulanabilen bir işlemdir (Anonymous 1995, Topal 1996, Josephson ve Peterson, 2000).

Alman fizikçi W. Konrad Roentgen'in 1895 yılında X ışınlarını, Fransız fizikçi Antoine Henry Becquerel'in de 1896 yılında radyoaktiviteyi keşfetmelerinden hemen sonra, gıdaların bu ışınlarla patojen ve bozulmaya neden olan mikroorganizmalardan arındırılabilceği fikri ortaya atılmış ve iyonize edici radyasyonun mikroorganizmalar üzerine etkisi ile ilgili ilk araştırma 1898 yılında yayınlanmıştır (Goldblith 1966, Josephson ve Peterson 2000).

Bu çalışmaları, Massachusetts Teknoloji Enstitüsü'nde (MIT) ışınlamanın bakteriler üzerine etkileri konulu çalışmalar ve gıdalardaki bakterilerin ışınlanması takip etmiştir. Gıda ışınlama ile ilgili ilk ABD ve İngiliz patenti bu çalışmalardan sonra alınmıştır. O günlerde bilinen tek iyonize edici radyoaktif maddenin Madame Curie

tarafından izole edilen Radyum olması, bu teknolojinin endüstriyel anlamda uygulanmalarını sınırlandırmıştır. (Goldblith 1966).

İlk spesifik gıda ışınlama çalışması, X-ışınlarıyla domuz etindeki *Trichniella spiralis*'in eliminasyonu konusunda yapılmış, bu çalışma ile ABD'de bir patent alınmıştır (Josephson ve Peterson 2000).

Goldblith'in (1966) bildirdiğine göre, Wüst (1931) tarafından yayınlanan bir araştırmada kuvvetli Röntgen ışınları ile her türlü gıda maddesindeki tüm bakterilerin öldürülebileceği iddia edilmiştir. Bu tarihten sonra değişik gıdaların ışınlama ile sterilizasyonu konusunda pek çok çalışma yapılmıştır.

Josephson ve Peterson (2000), Brasch ve Humer tarafından yapılan bir çalışmada çiğ haldeki gıdaların muhafaza ve sterilizasyonunda Capacitron adlı bir cihaz kullanıldığını ve bu cihazdan elde edilen elektronların su içerisinde 12 cm derinliğe kadar nüfuz edebildiğini bildirmektedirler. Çalışmada deniz ürünleri, süt ürünleri, sebze ve meyvelerin hızlandırılmış elektronlarla sterilize edilebileceği bildirilmiştir.

Josephson ve Peterson'un (2000) bildirdiğine göre Brasch ve Huber (1948) ışınlamanın gıdaların görünüş, koku ve lezzetleri üzerinde meydana gelen bazı olumsuz etkilerini azaltmak için düşük sıcaklıklarda ışınlama işlemini önermişlerdir.

1950 yılından sonra ABD'de, Uluslararası Atom Enerjisi Komisyonu, gıda endüstrisi ve üniversiteler tarafından gıda ışınlama konusunda geniş çaplı araştırmalar başlatılmış ve bu konudaki çalışmalar büyük ivme kazanmıştır. ABD Silahlı Kuvvetleri ve et ürünleri işleyen Swift firması, ışınlanmış gıdalarla uzun süreli hayvan besleme deneyleri başlatmışlardır (Josephson ve Peterson 2000).

Yine ABD ordusunun tahıllarda ve diğer askeri gıdalarda böceklenmenin önlenmesi amacıyla desteklediği ve Massachusetts Teknoloji Enstitüsü'nde yürütülen araştırma başarılı sonuçlar ortaya koymuştur. 11 Mart 1953 de gıda ışınlamanın, ABD Ordusu açısından gelecekte alacağı rolü belirlemek amacıyla, bir toplantı yapılmış ve

bir ay sonra da bu konuda ordunun takibedeceği yolu belirleyen bir fizibilite çalışması tamamlanmıştır. Fizibilite çalışması 5 yıllık 6 milyon \$ tutarında bir araştırma programının gerekli olduğunu ortaya çıkarmış ve ABD Genel Kurmay Başkanlığı tarafından desteklenen bu proje, Ulusal Bilimler Akademisinde, ışınlamadan daha gelişmiş ve daha ekonomik bir gıda muhafaza yönteminin var olmadığı görüşüyle, onaylanmıştır (Josephson ve Peterson 2000).

1954 yılında ABD Askeri Sağlık Dairesi ve Gıda ve İlaç Kontrol Merkezi (FDA) arasında ışınlanmış gıdaların sağlık yönünden güvenilirliğin belirlenmesi konusunda nasıl bir yöntem izleneceğine ilişkin protokoller yapılmıştır. Bu protokoller deney hayvanları çalışmaları (rat, köpek, maymun), hayvan besleme denemeleri (2 yıl veya 4 generasyon), büyüme, yem tüketimi, üreme, laktasyon, hematoloji, hipotoloji, yaşam süresi, karsinojenite denemeleri üzerine kurulmuştur. 10 yıllık bir süre içerisinde 30'dan fazla akademik, askeri ve ticari laboratuvar bu protokollerde belirlenen konular üzerinde araştırmalar yapmıştır (Goldblith 1966, Josephson ve Peterson 2000).

1958 yılında ABD'de hazırlanan Gıda, İlaç ve Kozmetik Anlaşması Kanunu gereği FDA'nın onayından geçmeyen tüm gıda katkı maddeleri yasaklanmış, ışınlama da bir gıda katkı maddesi olarak kabul edilmiştir. Bu karar, ABD'de gıda ışınlama işleminin gelişmesini bir süre yavaşlatmıştır (Josephson ve Peterson 2000).

Bu yıllarda gıda ışınlama araştırmaları Rusya ve Kanada'da yoğunlaşmış, bu gıda muhafaza tekniğinin et ve deniz ürünlerinde kullanımı yanında patates ve soğan gibi gıdalarda çimlenmeyi engelleyici etki gösterdiği kanıtlanmış ve bu ürünler ile ilgili büyük ölçekli ışınlama uygulamaları yapılmıştır (Goldblith 1966).

Dünyanın endüstriyel anlamda ilk tahıl ışınlama tesisi ise 1967 yılında İskenderun'da kurulmuştur. Türk Hükümeti ve Birleşmiş Milletler Gelişme Programı (UNDP) arasında yapılan anlaşma çerçevesinde kurulan, 30-50 ton /saat ve 16 krad kapasitede, 100.000 Ci lik, Co⁶⁰ kaynağı ihtiva eden tesis, ışınlama işleminin ekonomik yönünün belirlenmesi konusunda veri toplamak ve kaydetmek üzere projelendirilmiştir.

Karşı görüşler sonucu lisans alamayan tesis 1968 yılında kapatılmış ve kaynak sökülerek İngiltereye geri götürülmüştür (Anonim 1988).

Josephson ve Peterson (2000) Raica'nın (1964) ABD Ordusu Sağlık Dairesi denetiminde yürütülen, ışınlanmış gıdaların güvenilirliği üzerinde 21 çeşit gıda maddesi, 273 köpek ve 3 000 den fazla fare kullanılarak yapılan araştırma sonuçlarını rapor ettiğini bildirmektedir. Bu sonuçlarda, deney hayvanlarında ışınlanmış gıdanın neden olduğu ileri sürülebilecek bir lezyon meydana gelmediği belirtilmiştir.

FDA, 23 Ağustos 1963'de buğday ve buğday ürünlerinde böceklenmeyi önleme amacıyla 50 000 rad'a kadar, 21 Mayıs 1964 de filizlenmeyi önlemek amacıyla patateslerin 10 000 rad'a kadar dozlarla ışınlanmasına izin vermiştir (Josephson ve Peterson 2000).

Işınlanmış gıdaların sağlık yönünden güvenilirliği konusunda deneysel veriler elde etmek üzere OECD, IAEA,FAO himayesinde konuya ilgi duyan 23 ülke tarafından Uluslararası Gıda Işınlama Projesi (IFIP) organize edilmiştir. Bu proje doğrultusunda Federal Almanya'da yürütülen çalışmalar sonucu ışınlanmış gıdaların güvenilirlik testleri konusunda metodlar geliştirilmiştir (Josephson ve Peterson 2000).

FAO, WHO ve IAEA'nın birlikte oluşturduğu Gıda Işınlama Ekspertler Komitesi (JECFI) 1969, 1976 ve 1980 yıllarında gıda ışınlama konusunda o güne kadar yapılmış bilimsel araştırma sonuçlarını değerlendirmek üzere toplanmıştır. Bu değerlendirmeler sonucunda ortalama 10 kGy dozda ışınlanmış gıdaların herhangi bir toksikolojik tehlikesinin bulunmadığı ve bu konuda daha başka bir çalışmanın gerekmediği kararına varılmıştır (Anonymous 1995).

1983 yılında Kodeks Alimentarius Komisyonu (130 ülkeyi temsilen) tarafından Dünya Gıda Işınlama Standartları hazırlanmıştır (Diehl 1999).

Ülkemiz de ise "Gıda İşinlama Yönetmeliği" 6 Kasım 1999'da Sağlık Bakanlığı, Tarım ve Köyişleri Bakanlığı ve Türkiye Atom Enerjisi Kurumu işbirliği sonucu yayınlanarak yürürlüğe girmiştir (Anonim 1999)

Dünya genelindeki gıda üretiminin %25'inin böcek, mikroorganizma ve kemirgenler nedeniyle kaybedildiği bildirilmektedir (Anonymous 1995). Pek çok ülkenin istatistiksel verilerinin eksik olabileceği de göz önüne alındığında bu kaybın tahmin edilenin çok üzerinde olduğu düşünülebilir. Ayrıca kök ve yumru gıdaların çimlenmesi, meyve ve sebzelerin kısa sürede bozulması sonucu da önemli ölçüde gıda kayıpları meydana gelmektedir (Huxsoll ve Bolin 1989, Thomas 1999)

Gıda kayıplarından daha da önemlisi gıda kaynaklı hastalıklardır. Gıda kaynaklı hastalıklar bütün dünyada ciddi bir problem olarak insan sağlığını tehdit etmektedir. Amerikan Hastalık Kontrol Merkezi ülkede yılda 76 milyon gıda kaynaklı hastalık vakası meydana geldiğini ve bunun 5 000'inin ölüme sonuçlandığını rapor etmiştir. Buna bağlı olarak iş gücü kaybı ve tıbbi giderler nedeniyle her yıl 6.6-37.1 milyar dolar ekonomik kayıp meydana geldiği bildirilmiştir. Gıda kaynaklı 28 hastalık etmeninden sadece 3'ünü oluşturan Norwalk virüsü, *Camphylobacter jejuni* ve *Salmonella*'nın her yıl sırasıyla 9 200 000, 1 963 000 ve 1 342 000 vakaya neden olduğu bildirilmiştir (Etzal 1999, Doyle 2000). Son yıllarda Amerika'da özellikle fast food sisteminde salgın hale gelen *Escherichia coli* O157:H7'nin 8-20 bin enfeksiyona neden olduğu tahmin edilmektedir. Bunlardan belli bir bölgede gerçekleşen 700 vakanın 4'ü ölüme sonuçlanmıştır (Thayer 1996) Su ürünlerinde rastlanan *Moroxella*, *Vibrionaceae*, *Pseudomonas*, *Alteromonas*, *Aeromonas*, *Flavobacterium*, *Micrococcus*, *Clostridium*, *Corynebacterium* gibi mikroorganizmalar nedeniyle ciddi boyutlarda sağlık problemleri meydana gelmektedir (Venugopal vd 1999). Ayrıca et ürünlerinde görülen *Trichinella spiralis*, *Cysticercus bovis* ve *Toxoplasma gondii* gibi parazitler de tüketici sağlığını tehdit eden önemli etmenlerdir (Thayer 1996).

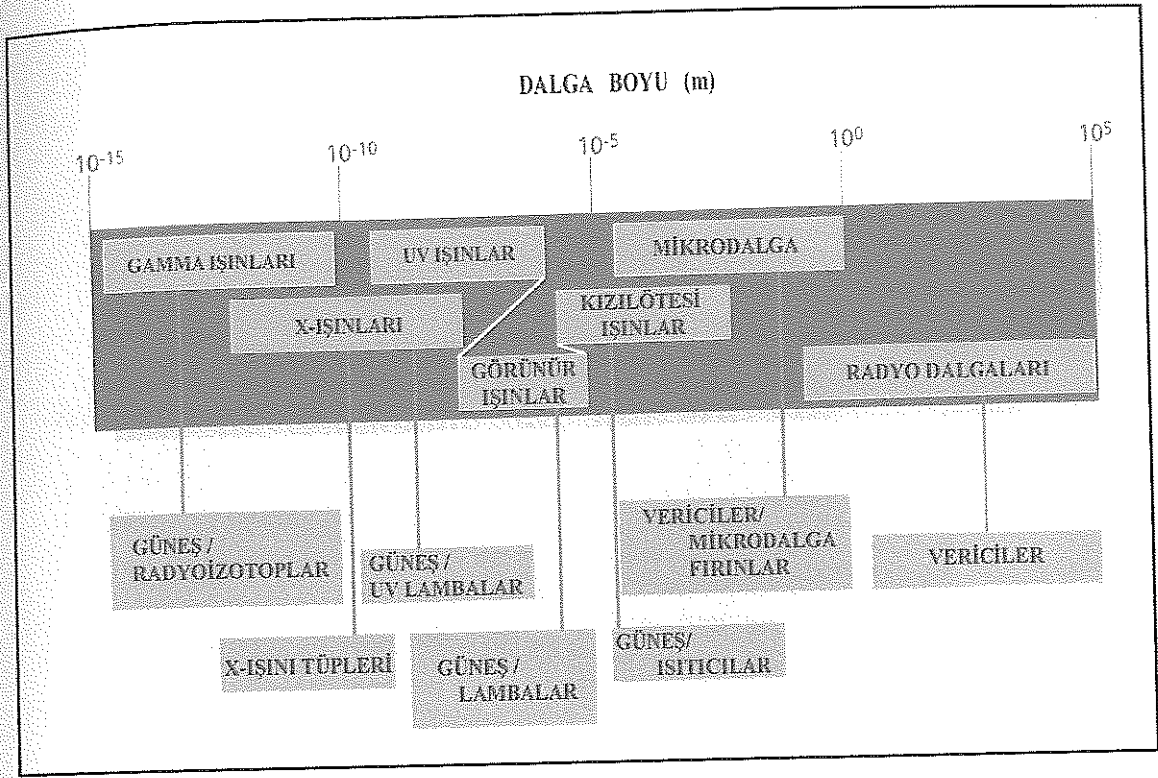
Belirtilen bu nedenlerle daha güvenli gıda üretmek amacıyla dünya genelinde her yıl yaklaşık yarım milyon ton gıda işinlanmaktadır. Ancak bu miktar diğer yöntemlerle işlenen gıdalar ile karşılaştırıldığında oldukça düşüktür. Bunun nedeni ise

gıda ışınlama işlemindeki yanlış anlaşılımlar ve gıdalara nükleer madde bulaşmış olabileceği korkusudur (Anonymous 1995).

Gıda ışınlama konusundaki yanlış anlaşılımları önlemek için özellikle ışınlanmış gıda ile radyoaktif gıdanın ne olduğunun bilinmesi gerekmektedir. Işınlanmış gıda, istenilen amaca yönelik olarak, gıdaların kontrollü şartlarda ambalajlı veya ambalajsız olarak iyonize radyasyon enerjisine maruz bırakılan gıdadır. Radyoaktif gıda ise silah denemeleri, nükleer reaktör kazaları gibi nedenlerle çevreye yayılan radyoaktif maddelerle bulaşmış gıdadır. Işınlama işlemi uygulanan doza ve süreye bağlı olmaksızın gıdaların radyoaktivitesini arttırmamaktadır. Çünkü işlem sırasında kaynak ile gıdanın temas etme şansı yoktur. Gıdada radyoaktivite ancak 10 MeV'un üzerinde bir enerji yüklemesi ile mümkün olabilir ki, bu da gıda ışınlama tesislerinde kullanılan radyasyon kaynağının sağlayabildiği enerji değerinin çok üstünde bir değerdir (Anonymous 1995, Josephson ve Peterson 2000).

Gıda ışınlamasında kullanılan ışınlar γ ışınları (1.17 MeV ve 1.33 MeV), x ışını (maksimum 5 MeV) ve hızlandırılmış elektronlardır (maksimum 10 MeV). Ultraviyole, mikrodalga ve kızılötesi gibi diğer bazı elektromanyetik ışınlar da (Şekil 2.1) gıda endüstrisinde kullanılmaktadır. Ancak bu ışınların enerjileri ve gıdaya nüfuzları daha düşüktür. Bu nedenle gıda ışınlama denilince genellikle γ ışını, x ışını ve hızlandırılmış elektronlar ile uygulanan ışınlama işlemi anlaşılmaktadır. γ ışını ve x ışını kısa dalga boyulu (10^{-11} cm) yüksek enerjili ışınlardır. Işınlama işlemi sırasında gıdada sıcaklık artışı meydana getirmezler. Bu yüzden gıda ışınlama işlemi "soğuk sterilizasyon" ya da "soğuk pastörizasyon" olarak da tanımlanmaktadır (Fellow 1986, Mortimer 1987, Anonymous 1995, Topal, 1996, Josephson ve Peterson 2000).

Gıda ışınlamada en çok γ ışını kullanılmakta olup, bu ışın radyonükleidlerin çekirdek bozulmaları sırasında ortaya çıkmaktadır. γ ışını ile birlikte α ve β ışını da yayan bazı radyonükleidler doğal olarak bulunabildiği gibi bazıları nötron bombardımanı yoluyla yapay olarak da elde edilebilmektedir. α ve β ışınları yüklü parçacıklar olduğundan giricilikleri çok düşüktür. Bunlar ince bir alüminyum levhayı bile geçemezler. Bu özelliklerinden dolayı gıda ışınlamada fonksiyonel değildirlir.

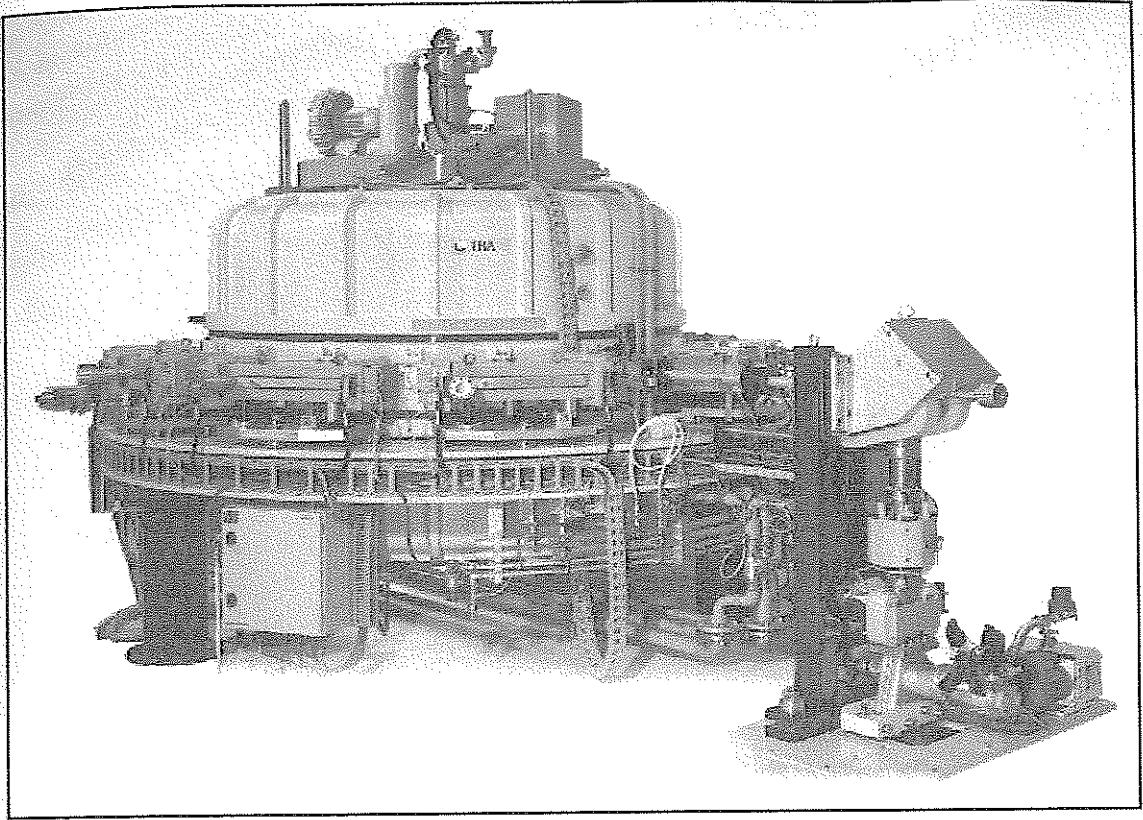


Şekil 2.1. Elektromanyetik spektrum

Ancak γ ışını bir foton olduğu için giriciliği çok yüksektir. 40 cm betondan bile geçebilmektedir (Fellow 1986, Mortimer 1987, Josephson ve Peterson 2000)

Yukarıda sözü edilen ışıklardan başka bir de x ışını vardır. Bu ışın hızlandırılmış elektronların metal hedeflere çarpıtılması ile elde edilmektedir. x ışınının da enerjisi ve giriciliği yüksektir, ancak pahalı bir kaynak olduğu için genellikle tıbbi amaçlı kullanılmaktadır.

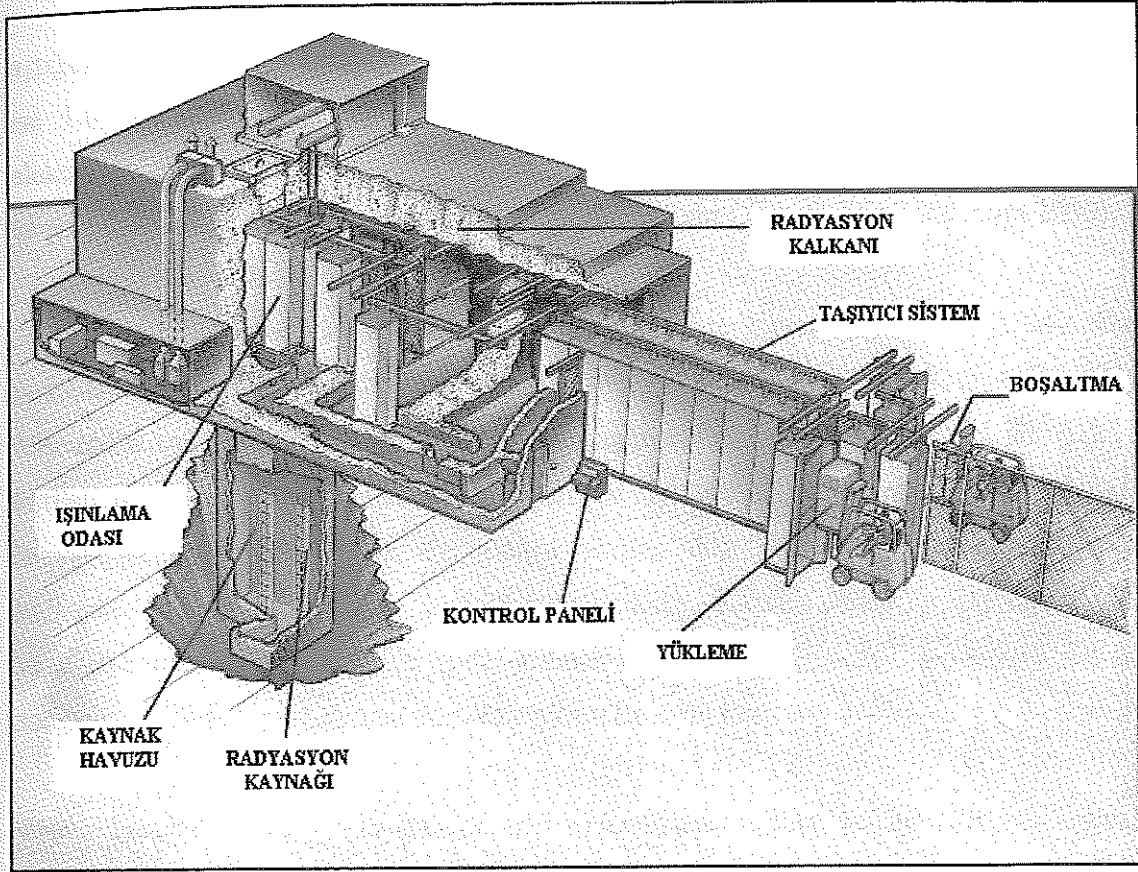
Ayrıca gıda işlemede kullanılan hızlandırılmış elektronlar da vardır. Bu elektronların giriciliği düşük ancak enerjisi yüksektir. Bunlar istenildiği zaman çalıştırılıp durdurulabilen bir makina (Şekil 2.2) ile üretilmektedir. Hızlandırılmış elektronların üretildiği bu makinalara "LINAC" (Linear Accelerator) denilmektedir. Linac makinaları ile yapılan işleme tekniği genellikle yüzey sterilizasyonu ve düşük doz gerektiren ürünlerde kullanılmaktadır (Bongirwar 1990, Anonymous 1995, Topal 1996, Uğur 1997).



Şekil 2.2. Elektron hızlandırıcı (LINAC)

Endüstride gıda ışınlama amacıyla genellikle yapay izotoplar, özellikle de Co^{60} kullanılmaktadır. Bu izotopun kullanıldığı bir ışınlama tesisinde kaynak operasyon sistemi, ışınlama odası, ürün taşıma sistemi, kontrol ve güvenlik sistemi ve yardımcı ekipmanlar bulunmaktadır. Yardımcı ekipmanlar ışınlama odasının havalandırma sistemi, deiyonize su havuzu, kompresör (taşıyıcı sistem için), dizel jeneratör ve yangın alarm sistemidir. Şekil 2.3'de Co^{60} kaynağı ile çalışan bir ışınlama tesisinin genel yapısı görülmektedir. (Bongirwar 1990, Anonymous 1995). Işınlama işlemi aktif olarak yapılmadığı zaman kaynak su havuzunda 7.6 m derinlikte tutulur. Işınlanacak gıda taşıyıcı sistemler ile ışınlama odasına taşındıktan sonra kaynak sudan dışarıya otomatik olarak çıkarılır. Böylece ışınlama odasında bulunan her şey radyasyona maruz kalır.

Bir ışınlama tesisinde ışınlanacak ürünün ne olduğuna ve hangi dozda ışınlanacağına bağlı olarak uygun bir kaynak kullanılabilir. Bu kaynaklarla



Şekil 2.3. Co⁶⁰ kaynağı ile çalışan bir Işınlama tesisi

ışınlama işlemi yapılan bir tesisin kurulma maliyeti tesis büyüklüğüne, ışınlama kapasitesine ve diğer faktörlere bağlı olarak 1-3 milyon \$ arasında değişmektedir. Ancak diğer gıda işleme tesislerinin pek çoğunun yatırım maliyetleri de buna yakındır. Işınlamanın gıdaya getirdiği ek maliyet soğan, sarımsak, patates gibi düşük dozda ışınlanan gıdalarda ton başına 10-15 \$, baharat gibi yüksek dozda ışınlanması gereken gıdalarda ise her ton ürün için 100-250 \$'dır (Anonnyous 1995).

γ ışınları gıda içinden geçerken enerji seviyelerine bağlı olarak üç ayrı yolla absorblanmaktadır. Bunlar fotoelektrik etki, Compton saçılması ve çift oluşumdur. Toplam enerji absorpsiyonu bu üç olayın olasılıkları toplamıdır. Fotoelektrik etki, bir atom üzerine gelen bir fotonun enerjisinin atomdan bir yörüngesel elektronun atılması için kullanılmasıdır. Bu etki, içinden geçtiği atomun numarası ile doğru orantılıdır. Compton saçılmasında, foton enerjisi iç yörünge elektronunun bağlanma enerjisini

aştığında bu elektrona çarpan foton elektronla bir açı yaparak saçılır. Çift oluşumunda ise 1.02 MeV üzerinde bir enerjiye sahip olan foton, atom çekirdeğinin yakınında elektron-pozitron çiftine dönüşerek saçılır (fotonun maddeleşmesi). Bu saçılan elektron ve pozitron ikincil etkide iyonizasyona neden olmaktadır (Josephson ve Peterson 2000).

Işınlama işleminde en tanımlayıcı değer gıda tarafından soğrulan enerjidir. Bu, doz olarak adlandırılmaktadır ve genellikle rad veya gray (Gy) olarak ifade edilir. 1 Gy 100 rad'a eşit olup 1 kg gıda tarafından soğrulan 1 jul enerjiye eşittir. Bir gıdaya verilen doz değişik özelliklerdeki dozimetreler ile ölçülebilmektedir. Işınlama işlemini tanımlayan diğer bir özellik de gıdaya verilen doz hızıdır. Doz hızı ışınlamada kullanılan kaynağın aktivitesi ile ilgili bir özelliktir. Kaynak aktivitesi ise Curie (Ci) veya Becquerel (Bq) birimi ile ifade edilmektedir. 1 Ci, 3.7×10^{10} Bq eşittir. Bu da saniyede 3.7×10^{10} parçalanma demektir (Josephson ve Peterson 2000).

İyonize radyasyonun gıdaya etki mekanizması direkt ve indirekt etki olmak üzere iki şekilde açıklanabilir. İyonlaştırıcı ışınların enerjisi etki ettikleri atomlara aktarılarak uyarılma ve iyonlaşma meydana getirir. Bu olay 0.001 saniyeden daha kısa bir sürede gerçekleşir. Soğrulan enerji yeterli düzeyde ise atomlar arasındaki kimyasal bağlar kopar, moleküllerde değişme meydana gelerek serbest radikaller oluşur. Bu aşamaya kadar olan etki, radyasyonun direkt etkisidir. İlk etkileşimler sonucu meydana gelen ürünler birbirleri ile reaksiyona girerek ikincil ürünler oluşturur. Bu da radyasyonun gıda sistemindeki indirekt etkisidir. Birinci etki sıcaklık ve diğer çevre koşullarına bağlı değilken, ikincil reaksiyonlar bu koşullara göre gerçekleşmektedir (Josephson ve Peterson 2000).

Işınlamanın canlı organizmalar üzerindeki etkisi "hedef teorisi" ile açıklanmaktadır. Bu teoriye göre hızlı hareket eden yüklü parçacık kompleks biyolojik bir materyale veya moleküle çarptığı zaman enerjisi hedefe aktarılarak molekülün biyolojik fonksiyonları değişmektedir veya sona ermektedir. Yüklü bir parçacığın hücre içindeki en kritik hedefi hücrenin genetik bilgilerini taşıyan ve hayati merkezi olan DNA (deoksiribonükleik asit) ve RNA (ribonükleik asit) molekülleridir. Radyasyonun meydana getirdiği hasar bazan organizma tarafından onarılabilir, ancak alınan doza

bağlı olarak organizma mutasyona uğrayabilir veya ölebilir (Feller 1986, Uğur 1997, Josephson ve Peterson 2000). Bu direkt etkinin yanında ışınlama sırasında organizmada oluşan serbest radikallerin de organizma üzerinde değişik etkileri vardır. Örneğin suyun hidrolizi sonucu oluşan hidroksil radikali kuvvetli oksitleyicidir ve doymamış bileşiklere karşı reaktiftir. Bu radikal DNA ile etkileşerek moleküldeki tekli veya çiftli örgüleri kırabilmektedir. Oluşan diğer radikaller (H^+ , e^- , H_3O^+) de oldukça reaktif olup çoğunlukla aromatik bileşiklere etki ederek karboksilik asit, keton, aldehit ve tiol oluşturmaktadır. Ayrıca serbest kalmış iki hidroksil iyonunun birleşmesi sonucu hidrojen peroksit meydana gelmektedir ki bu da kuvvetli bir oksitleyici olup organik moleküllerle reaksiyona girerek onların yapısını değiştirmektedir (Uğur 1997, Venugopal vd 1999, Josephson ve Peterson 2000).

Serbest radikallerin reaktiflikleri buldukları ortamda dağılabilmelerine bağlıdır. Bu da ürünün içindeki serbest su miktarı ile ilişkilidir. Kuru veya donmuş ortamlarda diffüzyon kısıtlı olduğundan serbest radikaller nedeniyle değişim oldukça sınırlıdır (Venugopal vd 1999).

Işınlama sırasında parçalanmanın yanında birleşme, dimerizasyon ve polimerizasyon da oluşabilmektedir. Bu reaksiyonların da canlı organizmalarda olumsuz etkileri söz konusudur. Bütün bu değişimler uygulanan doza, gıdanın kendi özelliklerine, nem ve sıcaklığa bağlıdır. Araştırmalar 15 kGy ışınlama dozuna kadar bu oluşumların doğrusal olduğunu göstermiştir (Ehlermann 1993, Venugopal vd 1999, Josephson ve Peterson 2000). Ancak USA Tarım Bilim ve Teknoloji Konseyinin hesaplamalarına göre 1 kGy doz uygulaması ile her 10 milyon kimyasal bağdan sadece 10 tanesinin koptuğu, gıdalara uygulanan diğer işlemlerde de kimyasal bağlarda benzeri değişimin meydana geldiği bildirilmektedir. Ancak, meydana gelen değişim bu kadar az olmasına rağmen, yarattığı etki son derece büyük olabilmektedir. Çünkü DNA bağlarındaki herhangi bir kırılma hücrenin replikasyon yeteneğini kaybetmesine neden olmaktadır (Olson 1998). Işınlama nedeniyle DNA' da meydana gelen hasarın dışında hücre zarı ve diğer yapıların da etkilendiği belirtilmektedir. Örneğin bakteri hücresine uygulanan 0.1 kGy doz hücre DNA'sının %2.8'ine, enzimlerin ise %0.14'üne, aminoasitlerin ise %0.005'ine zarar verdiği bildirilmektedir (Venogopal 1999). Eğer

radasyonun mikroorganizmaya verdiği hasar az olursa DNA içerdiği enzim sistemleri sayesinde bu hasarı onarabilir veya zarar goren segmentin eksik onarılmasıyla radyasyona daha dirençli bireyler ortaya çıkabilir (Josephson ve Peterson 2000).

Işınlamanın bakteriler üzerine etkisini belirlemek amacıyla yapılan araştırmalarda bakterinin ışınlamaya karşı duyarlılığının tre ve çevresel koşullara (ortamın bileşimi, sıcaklık, oksijen konsantrasyonu, pH, su aktivitesi vb.) bağlı olduğu ortaya konulmuştur (Fellow 1986, Miebach 1993, Thayer vd 1995, Venugopal 1999, Gerwen vd 1999).

Mikroorganizmanın ışınlamaya duyarlılığı D_{10} değeri ile ifade edilmektedir. D_{10} değeri, mikroorganizmanın başlangıç popülasyonunun %90'ının inaktif edildiği doz olarak tanımlanmıştır. D_{10} değeri mikroorganizmanın türüne spesifiktir. Çizelge 2.1'de gıda patojenlerinin ortalama D_{10} değerleri verilmiştir. Ancak yapılan bazı araştırmalarda aynı cinsin türleri, hatta ırkları arasında ışınlamaya duyarlılık bakımından farklar da görülmüştür. Genel olarak vejetatif bakteriler spora göre, gram negatif bakteriler de gram pozitiflere göre ışınlamaya daha duyarlıdır. Ortamının pH'sı düştükçe ve nem miktarı arttıa mikroorganizmaların ışınlamaya karşı dirençleri azalmaktadır. Işınlama sıcaklığının düşmesi ise mikroorganizmanın direncini arttırmaktadır. Ancak 0°C'nin altına düştükçe ışınlama etkinliği tekrar artmaktadır. Yani 0°C'deki ışınlama uygulaması mikroorganizmalar için en etkili sıcaklıktır. Ortamda oksijen bulunması da ışınlamanın etkisini arttırmaktadır (Fellow 1986, Olson 1998, Gerwen vd 1999, Venugopal 1999, Josephson ve Peterson 2000).

Bakterilerin radyasyona duyarlılığını etkileyen faktörlerin çoğu maya ve küfler için de geçerlidir. Bu mikroorganizmaların genleri büyük olduğundan bakterilere göre ışınlamaya daha hassastır. Mayaların etkisiz hale getirilmesi, kflere kıyasla daha yüksek doz gerektirmektedir (Josephson ve Peterson 2000). Virüsler ve bakteri sporları ışınlamaya çok dirençli organizmalardır. Virüs ve bakteri sporlarının inaktif olduğu ışınlama dozunda gıdanın besinsel ve duyuşal özelliği çok değişeceğinden ışınlama

Çizelge 2.1. Bazı gıda kaynaklı patojenlerin D₁₀ değerleri (Olson 1998)

Patojenler	D ₁₀ değeri (kGy)	Işılama ortamı	Işılama sıcaklığı (°C)
<i>Aeromonas hydrophila</i>	0.14-0.19	Biftek	2
<i>Camphylobacter jejuni</i>	0.18	Biftek	2-4
<i>Escherichia coli</i> O157:H7	0.24	Biftek	2-4
<i>Listeria monocytogenes</i>	0.45	Tavuk eti	2-4
<i>Salmonella spp.</i>	0.38-0.77	Tavuk eti	2
<i>Staphylococcus aureus</i>	0.36	Tavuk eti	0
<i>Yersinia enterocolitica</i>	0.11	Biftek	25
<i>Clostridium botulinum</i> (sporu)	3.56	Tavuk eti	30

diğer işlemler ile kombine olarak uygulanmaktadır. Yapılan araştırmalarda önce ısıtılma daha sonra da ısıtım işlem uygulanması durumunda sporun ısıya karşı hassasiyetinin arttığı belirlenmiştir (Josephson ve Peterson 2000). Topal (1996) tarafından bildirilen bir çalışmada (Hayes 1992) bakteri, maya, küf, bakteri sporu ve virüsler için belirlenen gerekli dozlar Çizelge 2.2'de verilmiştir.

Gıdalarda rastlanan ve sağlık için tehlike unsuru oluşturan parazitler de ısıtılma ile etkisiz hale getirilebilmektedir. Et ürünlerinde bulunan *Trichinella spiralis*, *Cysticercus bovis*, *Cysticercus cellulosae* ve *Toxoplasma gondii* 1.5 kGy ısıtılma dozunda kolaylıkla öldürülebilmektedir (Thayer 1996). Venugopal vd'nin (1999) bildirdiklerine göre balık ve yumuşakçalarda bulunan *Dipylidam latum*, *Anisakis simplex*, *Entamoeba histolytica*, *Clonorchis sinensis* ve *Paragonimus westermani* gibi parazitler de 1 kGy ısıtılma dozunun altında kontrol altına alınabilmektedir.

Gıdalara daha bitki üzerindeki bulaşan zararlılar (meyve kurtları, güveler, akarlar, bitler vb.) ürünün hasat edilmesini takiben başlayan depolama sürecinde önemli ölçüde zarar vermekte ve bu yolla büyük ekonomik kayıplar ortaya çıkmaktadır. Bu kayıpları önlemek için yetiştiricilikte yoğun pestisit kullanımı ve hasat sonrası fümigasyon uygulamaları yapılmaktadır. Ancak toksik etkileri nedeniyle (Shigemura vd 1991, Duru ve Ötleş 2002) pestisit ve fümigasyona getirilen kısıtlamalar tarım endüstrisini alternatif muhafaza yöntemlerine yöneltmiştir. Işıtılma işleminin özellikle

Çizelge 2.2. Farklı cins ve türde canlı mikroorganizmaları öldürmek için etkin ışınlama dozları.

Mikroorganizmalar	Doz (kGy)
Gram negatif bakteriler	
<i>Escherichia coli</i>	2
<i>Salmonella enteritidis</i>	4
<i>Vibrio parahaemolyticus</i>	<1
<i>Moroxella spp.</i>	7
<i>Pseudomonas fluorescens</i>	<1
Gram pozitif bakteriler	
<i>Micrococcus spp.</i>	4
<i>Staphylococcus aureus</i>	5-10
<i>Streptococcus faecalis</i>	5
<i>Leuconostoc sp.</i>	3
<i>Bacillus spp.</i> (vejetatif hücreler)	3
<i>Bacillus cereus</i> (sporlar)	25
<i>Clostridium perfringens</i> (sporlar)	25
<i>Clostridium botulinum A</i> (sporlar)	25
Küfler ve Mayalar	
<i>Aspergillus flavus</i>	3
<i>Candida spp.</i>	4
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	10
Virüsler	>30

fümigasyona çok iyi bir alternatif olduğu iddia edilmektedir (Johnson ve Marcotte 1999). Çünkü her türlü zararlı 1 kGy ışınlama dozunun altında öldürülebilmektedir. Daha düşük dozlarda ise ışınlamanın zararlılar üzerine kısırlaştırıcı etkisi sonucu zararlıların neslinin devam etmediği, dolayısıyla zararlının ürün üzerine olumsuz etkilerinin kısa sürede ortadan kalktığı bildirilmektedir (Thomas 1999). Zararlıların ışınlamaya karşı hassasiyeti bunların türüne, metamorfik aşamasına, erkek veya dişi oluşuna göre de değişiklik göstermektedir (Gerçekçioğlu, 1994, Anonymous 1995, Thayer 1996, Johnson ve Marcotte 1999, Venugopal 1999).

Gıda ışınlamanın buraya kadar belirtilen olumlu etkileri yanında gıda bileşenlerinde meydana getirdiği olumsuz etkileri de vardır. Bütün gıdalarda az veya çok su bulunmaktadır. Işınlanmış gıdalarda suyun radyolizi çok önemlidir. Suyun

radyolizi ile hidroksil radikali (.OH), elektron (e_{su}), hidrojen iyonu (.H), hidrojen (H_2), hidrojen peroksit (H_2O_2) ve proton (H_3O) oluşmaktadır. Oluşan bu iyonlar serbest kalmaz ve diğer gıda komponentleriyle radyolitik ürünler meydana getirir (Ayhan 1993, Venugopal vd 1999, Josephson ve Peterson 2000).

Gıdalardaki karbonhidratlar iyonize radyasyona maruz bırakıldığı zaman radyasyon dozuna bağlı olarak hidrojen, karbondioksit, aldehytler, ketonlar, asitler ve diğer karbonhidratlardan oluşan pek çok yeni bileşiğin gıdada oluşumuna neden olur. Bu değişimler esas olarak radyasyonun direkt etkisi ve suyun radyolizi sonucu oluşan hidroksil iyonunun ikincil etkisi ile ortaya çıkar. Sistemdeki diğer iyonların etkisi ise daha azdır. Yapılan bir araştırmada (Von-Sonntag 1980) ışınlama ile glukozun 34 radyolitik ürününün oluştuğu bildirilmektedir. Glukoz dışındaki monosakkaritler, disakkaritler ve polisakkaritlerle ilgili çalışmalarda da benzer reaksiyonların oluştuğu ortaya konulmuştur. Örneğin nişastanın ışınlanmasıyla dekstrinler, maltoz ve glukoz meydana geldiği ve solusyonun viskozitesinin arttığı bildirilmiştir. Ayrıca radyasyon dozunun artışıyla nişastanın sudaki eriyebilirliğinin de arttığı belirlenmiştir. Ancak karbonhidratlar bir gıda bileşeni olarak değil, saf olarak radyasyona tabi tutulduğunda radyasyondan daha çok etkilenmektedir. Nitekim 5 kGy dozda nişastada meydana gelen değişim unda ancak 50 kGy dozda meydana gelmektedir. Bunun nedeni ışınlama sırasında amino asit ve proteinlerin karbonhidratları koruyucu bir etki göstermesidir (Gray ve Mower, 1991, Ayhan 1993, Venugopal vd 1999, Josephson ve Peterson 2000).

Radyasyonun proteinler üzerine etkisi ise amino asitlerin radyasyon kimyasına bağlıdır. Işınlama ile proteinlerde meydana gelen reaksiyonlar proteinlerin yapısına (fibroz veya globular, doğal veya denatüre), ışınlama şartlarına (ortamın nemi, sıcaklığı, oksijen bulunmasına, uygulanan doz ve doz hızına) bağlıdır. Kükürt içeren amino asitlerin oksijen varlığında ışınlamaya daha duyarlı olduğu ve bu amino asitlerin radyolizi sonucu hidrojen sülfür, serbest kükürt ve uçucu kükürt bileşenleri oluştuğu bildirilmektedir. Bu bileşiklere bağlı olarak gıdada hoşça gitmeyen kokular oluşur. Bu durum proteince zengin gıdaların ışınlanmasında çok önemlidir. Fenilalanin ve tirozin gibi aromatik amino asitlerin suyun hidrolizi ile oluşan e_{su}^- ve .OH ile reaksiyona girerek aromatik halka hidroksilaksiyonuna uğrayabileceği ve halkanın açılması sonucu

deaminasyon meydana gelebileceği belirtilmiştir. Proteinlerin besleyici değerini amino asitler belirlediği için bu konudaki araştırmalar genelde amino asitler üzerine yoğunlaşmıştır (Ayhan 1993, Venugopal vd 1999, Josephson ve Peterson 2000).

Bütün bu araştırmalar gıdalara uygulanan mücade edilmiş yasal ışınlama dozlarında gıdaların bileşimindeki amino asit ve proteinlerin etkilenmediğini göstermektedir. Nitekim esansiyel amino asitlerin 53 kGy kadar ışınlama dozlarında önemli bir değişim göstermediği belirtilmiş, ayrıca düşük sıcaklıklarda ışınlamanın kötü kokuları önlediği bildirilmiştir (Ayhan 1993, Venugopal vd 1999, Josephson ve Peterson 2000).

İşınlama ile yağlarda oksidatif veya oksidatif olmayan değişimler meydana gelmektedir. Bilindiği gibi yağlardaki otoksidatif reaksiyonlar ışınlama işlemi olmadan da meydana gelmektedir. Ancak ışınlama bu reaksiyonları hızlandırıcı bir etkiye sahiptir. İşınlama sonucu meydana gelen radikaller daha sonra oksijen ile reaksiyona girerek hidroperoksitler, alkoller, aldehitler, aldehit esterleri, hidrokarbonlar, hidroksi asitler, ketonlar, laktonlar ve dimerik bileşikler gibi çeşitli ürünler meydana getirir. Özellikle oksijenli ortamda ışınlama yapıldığı zaman ozon oluşmaktadır. Oluşan ozon kuvvetli oksitleyici olması nedeniyle oksidatif reaksiyonları hızlandırmaktadır. İşınlama oksijensiz ortamda yapıldığında ise hidrojen, karbondioksit, karbonmonoksit, hidrokarbonlar ve aldehitlerin oluşmasına neden olur. İşınlama uygulanmış yağlı ürünlerde oksidatif ransid tat oluşmaktadır. Bu nedenle yağlı gıdalarda ışınlamanın vakumlu şartlarda ve düşük sıcaklıklarda yapılması önerilmektedir (Ayhan 1993, Ahn vd 1998, Venugopal vd 1999, Josephson ve Peterson 2000)

Vitaminler, gıda bileşenleri içerisinde stabilitesi en zayıf bileşenler olup bunların ışınlama işleminden etkilenmesi kaçınılmazdır. İşınlamanın gıdalardaki vitaminler üzerine etkisi ile ilgili pek çok araştırma yapılmıştır (Jenkins vd 1989, Joshi vd 1990, Fox vd 1994, Fox vd 1995, Van Calenberg vd 1999). Vitamin çözeltilerinin ışınlanması ile meydana gelen kayıp, gıda içerisindekine göre çok daha fazladır. Örneğin sulu ortamdaki B₁ vitamininin 0.5 kGy dozda ışınlanması ile meydana gelen kayıp %50'dir. Ancak kurutulmuş yumurtanın aynı dozda ışınlanması ile meydana

gelen B₁ vitamini kaybı %5'ten daha azdır. Yulafın 1 kGy dozda ışınlanmasının ardından % 20 E vitamini kaybı meydana geldiği belirtilmiştir. Ancak ışınlanmamış yulaf örneklerinin 8 ay depolanması sonunda E vitamin kaybının % 45 olduğu görülmüştür. C vitamini de radyasyona hassastır. Ancak diğer gıda işleme yöntemleri ile kıyaslandığı zaman ışınlama işleminde daha az kayıp meydana geldiği belirtilmektedir. Işınlamadan en çok etkilenen vitaminler ise piridoksin, riboflavin ve niasindir. A ve K vitamini ise E vitaminine göre radyasyona daha dayanıklıdır. D vitaminin 50 kGy doza kadar stabil olduğu bildirilmektedir. Folik asit ve kobalaminin de radyasyona dayanıklı vitaminler olduğu belirtilmiştir (Ayhan 1993, Venugopal vd 1999, Josephson ve Peterson 2000). Bazı araştırmacılar ışınlamanın neden olduğu vitamin kaybı ile ısı işleminde meydana gelen kayıpları karşılaştırmışlar ve ışınlama ile oluşan vitamin kaybının ise oldukça düşük düzeyde kaldığını ortaya koymuşlardır (Narvaiz ve Ladomery 1998, Olson 1998)

Enzimler canlı dokuların vazgeçilmez unsurları olduğu için hemen her çeşit gıdada bulunurlar. Enzimler de protein yapısında olmaları nedeniyle radyasyondan etkilenmektedir. Yapısında tiol grubu bulunduran enzimler radyasyona daha duyarlıdır. Enzimlerin radyasyondan etkilenme dereceleri üzerine pH, oksijen, nem ve sıcaklığın etkisi vardır. Kompleks ortamlardaki enzimler radyasyona daha dirençlidir (Ayhan 1993, Venugopal vd 1999, Josephson ve Peterson 2000).

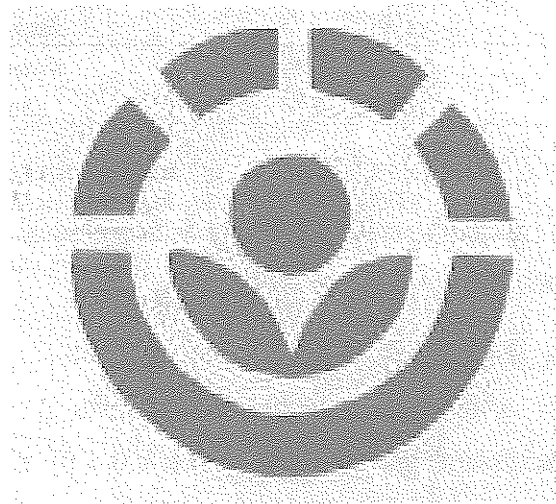
Işınlamanın gıda ambalaj malzemeleri üzerine etkisini belirlemek amacıyla kapsamlı araştırmalar yapılmıştır. Bu araştırma sonuçlarına göre polimer malzemelerden polipropilen (PP) 25 kGy dozun üzerinde kırılma başlamakta, polivinil klorid (PVC) ise 100 kGy dozun üzerinde hidroklorik asit oluşturarak kararmaktadır. Cam malzemeler ise 10 kGy dozda kahverengileşmektedir. Diğer malzemeler ise çok daha yüksek dozlara kadar özelliklerini korumaktadır. Bu sonuçlar gıda ambalajlarının hemen hepsinin maksimum güvenilir doz olan 10 kGy'e uygun olduğunu göstermiştir (Fellow 1986, Gürbüz 1998).

Işınlama işlemi genel olarak, uygulama amacına ve dozuna göre üç gruba ayrılmaktadır. Buna göre; 0.75-2.5 kGy doz uygulaması (radurizasyon) ile

pastörizasyon sağlanmakta, 2.5-10 kGy doz uygulaması (radisidasyon) ile gıdalardaki patojen bakteriler öldürülmekte, 25 kGy dozun üstünde (radapperdizasyon) ticari sterilizasyon gerçekleştirilmektedir. Bunların dışında gıdalarda böceklenmeyi önlemek, meyve ve sebzeleri muhafaza etmek, kök ve yumru gıdaların çimlenmesini önlemek amacıyla düşük doz (0.1-1 kGy) ışınlama uygulaması da yapılmaktadır (Venugopal, 1999, Kurtcan ve Altuğ 1993, Josephson ve Peterson 2000). Bu işlemlerde amaç farklı olduğundan sınıflandırmaya dahil edilmemiştir.

Gıdaların ışınlanma işlemi Gıda Işınlama Yönetmeliği (Anonim 1999) ve FAO/IAEA/WHO Ortak Ekspertler Komitesi kararlarına uygun olarak yapılmalıdır. 1999 yılında Türk Gıda Kodeksi çerçevesinde hazırlanan Gıda Işınlama Yönetmeliğine göre bozulmuş gıdalar insan tüketimine sunulmak üzere ışınlanamaz. Işınlama işlemi öncesinde, işlem sırasında ve sonrasında bu tebliğde belirtilen genel hijyen kurallarına uyulmalıdır. Işınlama işlemi istenen teknolojik özelliği sağlamak amacıyla yapılır. Çizelge 2.3'te Gıda Işınlama yönetmeliğince bazı grup gıdalar için belirlenen ışınlama dozları ve ışınlama amacı gösterilmiştir. Kurallar gereği bütün dünyada olduğu gibi ülkemizde de ışınlanmış, tüketime hazır gıdaların ambalajında gıdanın hangi dozda ışınlandığının belirtilmesi ve Şekil 2.4'te gösterilen gıda ışınlama sembolünün ambalaj üzerinde yer alması zorunludur.

Günümüzde dünyanın pek çok ülkesinde kırmızı ve beyaz etler ve bunların ürünlerinin patojen mikroorganizma yükünü azaltmak, raf ömrünü uzatmak, parazit, küf ve maya yükünü etkisiz hale getirmek için düşük veya orta dozlarda (3-7 kGy); hububat ve baklagillerde böceklerin öldürülmesi, taze meyve ve sebzelerde hem böceklerin öldürülmesi hem de



Şekil 2.4. Gıda ışınlama sembolü

Çizelge 2.3. Gıda gruplarında belirli teknolojik amaçlara göre uygulanmasına izin verilen ışınlama dozları (Anonim 1999)

GIDA GRUBU	AMAÇ	DOZ (kGy)	
		Minimum	Maksimum
Soğan, sarımsak, Patates vb.	Filizlenme, çimlenme ve tomurcuklanmayı önlemek		0.2
Taze meyve ve sebzeler	-Olgunlaşmayı geciktirmek -Böceklenmeyi önlemek -Raf ömrünü uzatmak -Karantina kontrolü	(x)	1.0 1.0 2.5 1.0
Hububat, hububat ürünleri, kabuklu yemişler, yağlı tohumlar, baklagiller, kurutulmuş sebze ve meyveler	-Böceklenmeyi önlemek -Mikroorganizmaları azaltmak -Raf ömrünü uzatmak		1.0 5.0 5.0
Çiğ balık, kabuklu deniz hayvanları ve bunların ürünleri (taze veya dondurulmuş)	-Patojenik mikroorganizmaları azaltmak -Raf ömrünü uzatmak -Paraziter enfeksiyonları kontrol etmek	(x) (xx)	5.0 3.0 2.0
Kanatlı, kırmızı et ile bunların ürünleri (taze veya dondurulmuş)	-Bazı patojenik mikroorganizmaları azaltmak -Raf ömrünü uzatmak -Paraziter enfeksiyonları kontrol etmek	(x) (xx)	7.0 3.0 3.0
Kuru sebzeler, baharatlar, kuru otlar, çesniler ve bitkisel çaylar	-Bazı patojenik mikroorganizmaları azaltmak -Böceklenmeyi önlemek	(x)	10.0 (xxx) 1.0
Hayvansal orijinli kurutulmuş gıdalar	-Böceklenmeyi önlemek -Küfleri kontrol etmek		1.0 3.0

(x) Minimum doz düzeyi belli bir zararlı organizma için belirlenebilir.

(xx) Minimum doz düzeyi gıdanın hijyenik kalitesini temin edecek düzeyde belirlenebilir.

(xxx) 10 kGy'ın üzerindeki maksimum doz düzeyleri, gıdanın tümündeki minimum ve maksimum doz ortalaması 10 kGy'i aşmayacak şekilde uygulanır.

olgunlaşmanın geciktirilmesi amacıyla düşük dozda (0.25-1 kGy); soğan, sarımsak, patates gibi yumru ve kök ürünlerde tomurcuklanma, filizlenme ve çimlenmeyi önlemek için çok düşük dozda (0.1-0.5 kGy) ışınlama yapılmaktadır. Ayrıca kuru sebze ve meyvelerle baharatlar böceklenmeyi önlemek, toplam bakteri sayısını düşürmek ve patojen bakterileri elimine etmek amacıyla 10 kGy dozda ışınlanmaktadır (Anonymous 1995, Thayer 1996, Olson 1998).

Çok eski bir tarihe ve büyük bir ekonomik potansiyele sahip olan baharatlar gıdalara lezzet, aroma ve renk vermek amacıyla katılan doğal bitkisel ürünler veya bunların karışımlarıdır. Bütün dünyada çok yaygın olarak kullanılan ve her geçen gün kullanım miktarı artan baharatların antimikrobiyal ve antioksidant özelliklerinin belirlenmesi ile son yıllarda gıda ürünlerinde kullanımı daha da artmıştır. Ancak baharatların etkili bileşenleri belirli grup mikroorganizmalar üzerine antimikrobiyal etki göstermesine karşılık diğer bazı patojen mikroorganizmalar üzerine etkili olmamaktadır. Baharatlar, kaynakları ve yetiştirme koşulları nedeniyle oldukça çeşitli ve fazla sayıda mikroorganizma içermektedir. Bu ürünlerin çoğunlukla sıcak iklimlerde ve az gelişmiş ülkelerde üretilmesi, hasat sonrası işlemlerde teknolojik yetersizlik ve bilgi eksikliği mikrobiyal bulaşmayı arttırmaktadır (Akgül 1993, Kurtcan ve Altuğ 1993).

Baharatların mikrobiyal yükü baharat çeşitine, işleme koşulları ve yöntemine, öğütme iriliğine, nemine, ambalajlı olup olmadığına ve depolandığı sıcaklığa bağlı olarak değişmekle beraber geleneksel koşullarda yaygın olarak üretilen, depolanan ve pazara sunulan baharatlarda genel olarak 10^5-10^8 adet toplam mikroorganizma bulunduğu ve bunun yarısından fazlasını sporların oluşturduğu araştırmacılar tarafından rapor edilmiştir. Baharatlardaki mikroflorayı ısıya dayanıklı *Bacillus*'lar, spor oluşturan aerob bakteriler ve küflerin oluşturduğu, bunlara ek olarak *Streptococcus*, *Clostridium*, *Lactobacillus*, *Staphylococcus* ve *Micrococcus* türlerine de rastlandığı bildirilmektedir (Farkas ve Andrassy 1988, Akgül 1993).

Et ürünlerine %0.1-1 oranında baharat ilave edildiği ve 1 g baharatın da 10^5-10^6 adet mikroorganizma içerdiği dikkate alındığında, bu ürünlerin her bir gramında 10^3-10^4 adet mikroorganizma bulunabileceği belirtilmektedir (Mutluer vd 1986).

Kuru baharattaki bu mikroorganizmalar baharat kullanılmadığı sürece etkisizdir. Ancak baharat nemli bir gıdaya katıldığı zaman sporlar yeniden aktif olmakta, üründe bozulmaya ve ciddi sağlık sorunlarına neden olmaktadır (Kurtcan ve Altuğ 1993).

Baharat sterilizasyonunda kullanılan en eski yöntem kuru ve nemli ısı uygulaması ile sterilizasyondur. Doğrudan ısı işlem uygulaması baharatlarda %15-20

arasında aroma ve renk kaybına neden olmaktadır. Bu nedenle ticari işletmelerde ısı işlem ile sterilizasyon yerini diğer işlemlere bırakmıştır. Ancak ısı işlem uygulaması özellikle küçük ölçekli üretim birimlerinde hala kullanılmaktadır. 121°C'de 5 psi basınçta 15 dakika süre ile uygulanan ısı işlem ya da buharla sterilizasyon ile mikroorganizma yükü tamamen yok edilebilmektedir (Akgül 1989).

Baharat sterilizasyonunda yaygın olarak kullanılan diğer bir yöntem de fümigasyondur. Fümigasyon, ürünün etilen oksit, propilen oksit ve etilen dibromit gazları ile muamele edilmesidir. Ancak son yıllarda, bu gazlar gıdalarda toksik, mutajenik ve kanserojenik etkili klorohidrin bileşikleri meydana getirdiği için tüm dünyada yasaklanmıştır. Alternatif sterilizasyon yöntemleri olarak basınçlı karbondioksit ve ozon uygulaması, yüksek basınç, vurgulu elektrik alanı, vurgulu ışık ve ışınlama teknikleri üzerinde çalışmalar devam etmektedir. Ancak günümüzde, geliştirilen diğer soğuk sterilizasyon teknikleri içerisinde ışınlama teknolojisi etkili ve ekonomik bir teknik olarak öne çıkmıştır (Kurtcan ve Altuğ 1993, Akgül 1993, Anonymous 1995, Heldman ve Busta 2000).

Özbey'in (1997) bildirdiğine göre etilen oksit ve gamma ışınları ile yapılan bir sterilizasyon karşılaştırmasında gamma sterilizasyonunun daha etkili olduğu belirlenmiştir. Ayrıca etilen oksitin baharat uçucu yağları ve kırmızı biberin rengi üzerine olumsuz etkisinin olduğu da saptanmıştır (Vajda ve Pereira 1973).

Özbey'in (1997) bildirdiği bir başka çalışmada 3 tip kırmızı biber örneği etilen oksit ve gamma ışınları ile sterilize edildikten sonra 285 gün depolanmıştır. Çalışmada mezofilik aerob, koliform, küf, maya ve *salmonella* kontrolleri yapılmış, sterilizasyon yöntemleri arasında belirgin bir farklılık olmadığı, ancak gamma ışınları ile sterilizasyonun daha etkili bir sterilite sağladığı belirtilmiştir (Llorente vd 1986).

Sharma vd (1984) tarafından yapılan bir araştırmada karabiber, kakule, hindistan cevizi, tarçın ve defne yaprağının mikrobiyal yükü analiz edilmiş, 10^2 - 10^7 adet/g toplam bakteri ve 10^2 - 10^3 adet/g küf belirlenmiştir. Karabiber, kakule ve Hindistan cevizinin mikroorganizma yükünün tarçın ve defne yaprağına göre daha yüksek olduğu,

10 kGy'lik ışınlama dozunun baharatların hepsi için yeterli sterilizasyon dozu olduğu sonucuna varılmıştır.

Sharma vd'nin (1989) yaptıkları diğer bir araştırmada ise karabiber, kırmızı biber ve zerdeçalın ışınlama ile sterilizasyonu denenmiştir. Bu baharatlarda ışınlama öncesinde 10^4 - 10^6 toplam canlı bakteri, 10^3 - 10^4 *E. coli* ve 10^2 - 10^3 *Bacillus cereus* bulunduğu, bu mikroorganizma yükünü yok etmek için 10 kGy dozun yeterli olduğu belirlenmiştir.

Ülkemizde yapılan bir çalışmada ise kırmızı biber ve karabiber örnekleri 1, 3, 5 ve 10 kGy dozlarında ışınlanmış, bu örnekler kontrol örnekleri ile birlikte toplam canlı bakteri, spor oluşturan bakteri, *Enterobacteriaceae*, *Micrococcus*, *Staphylococcus*, *Enterococcus*, *Lactobacillus clostridia*, *Pseudomonas*, küf ve maya yükü ile aroma bileşenleri bakımından incelenmiştir. Araştırma sonucunda örneklerdeki 10^2 - 10^8 adet/g olan mikroorganizma yükünün 5 kGy'de 10^4 'e düştüğü, 10 kGy'de ise spor oluşturanlar ve sülfid indirgeyen *clostridia* dışında tam bir sterilizasyon sağlandığı belirtilmiştir (Mutluer vd 1986).

Narvaiz vd (1989) yaptıkları bir çalışmada, öğütülmüş sarımsak, küçük hindistan cevizi, tarçın, kişniş, beyaz biber ve karabiber örnekleri üzerine 7 ve 10 kGy ışınlama dozlarının etkinliğini araştırmışlardır. Işınlanan örnekler ile kontrol örnekleri arasında kimyasal özellikler bakımından bir farklılık olmadığını, 10 kGy dozun tarçın dışındaki örnekleri sterilize etmek için yeterli olduğunu belirlemişlerdir.

Andrews vd (1995) zencefil üzerine yaptıkları bir çalışmada 10 kGy ışınlama dozunun 10^8 adet/g olan toplam aerob mikroorganizma popülasyonunu 10^1 'e düşürdüğünü tespit etmişlerdir. Bu dozda zencefile lezzet veren bileşenlerin %29-59 oranında azaldığı, ancak duyu kalitenin çok fazla etkilenmediği belirtilmiştir.

Van Calenberg vd (1998) beyaz biber, tatlı kırmızı biber, ve hindistan cevizi X ışını (50 Gy/dakika) ve hızlandırılmış elektronlar (5 kGy/dakika) ile aynı dozda ışınlamışlar, farklı doz hızlarında ışınlamanın mikroorganizma yükü ve EPR (Elektron

paramagnetik rezonans) spektrumu sonuçları itibarıyla önemli bir farklılık oluşturmadığını belirlemişlerdir.

Özbey (1997) karabiber, kırmızı biber ve kimyon örneklerini 5, 7.5 ve 10 kGy dozlarda ışıladıktan sonra uçucu yağ bakımından karşılaştırmış, örneklerde yapı ve lezzet bakımından bir farklılık olmadığını, karabiber ve kimyonun 7.5 kGy, kırmızı biberin ise 10 kGy dozda ışınlanmasının uygun olduğunu bildirmiştir.

Dünya genelinde baharatlar içerisinde en çok üretilen kırmızı biber ülkemiz tarımı ve ekonomisi açısından önemli bir yere sahiptir. Ülkemiz biber üretimi bakımından dünya genelinde Çin ve Meksika'dan sonra üçüncü sırada gelmektedir. 2001 yılı itibarıyla 19 495 034 ton olan dünya biber üretiminin 1 400 tonu Türkiye'de gerçekleştirilmiştir (Anonymous 2002).

Ülkemizde başta Güneydoğu, Akdeniz ve Marmara bölgeleri olmak üzere, geniş çapta kırmızı biber tarımı yapılmaktadır. Devlet İstatistik Enstitüsü verilerine göre kırmızı biber üretiminin yaklaşık %80'i Gaziantep, Urfa ve Kahramanmaraş illerinde yapılmaktadır (Doğar 1999). Biberciler Derneği verilerine göre ülkemizin 2000 yılı kırmızı pul ve toz biber üretimi 40 000 ton olmuş, bu üretimin 18 000 tonu sadece Kahramanmaraş ili ve çevresinde bulunan 200 civarındaki işletmelerde gerçekleşmiştir (Anonim 2002)

Biber *Solanaceae* familyasından *Capsicum* türlerine ait tek veya iki yıllık bitkilerin meyveleridir. *Capsicum* cinsine ait 30'a yakın tür bulunduğu belirtilmekte, ancak kültür bitkisi olarak üretilen *Capsicum annuum*, *Capsicum frutescens*, *Capsicum chinense*, *Capsicum pendulum* ve *Capsicum pubescens* olmak üzere 5 tür üzerinde durulmaktadır. Bu biberler yabancı dillerde capsicum, chili, chile, chilli, aji, paprika, piquin, cayenne gibi değişik isimlere sahiptir. Dünya genelinde olduğu gibi, ülkemizde de *Capsicum annuum* türü en çok yetiştirilen biberdir. Taze haldeyken sofralık olarak çeşitli yemek ve salataların hazırlanmasında kullanılan biberin önemli bir kısmı, başta baharat olmak üzere salça, turşu, sos, hazır çorba ve konserve üretiminde

kullanılmaktadır (Bosland 1994, Doğar 1999, Buckenhüskes 2001, Guerra-Vargas vd 2001).

Türk Standardları Enstitüsü'nün (Anonim 1986) tanımına göre, kırmızı pul biber *Capsicum annuum* türüne giren kültür bitkilerinin tam olgunlaşmış acı meyvelerinin iyice kurutulup, saplı veya sapı alındıktan sonra çekirdekli veya çekirdeksiz yarı öğütülerek pul haline getirilmiş, belli oranda yemeklik sıvı yağ ve tuz ile karıştırılıp su ile tavllanmış halidir.

Genellikle daha yüksek acılıktaki kırmızı biberler *Capsicum frutescens* türünden, orta ve hafif acılıktaki kırmızı biberler ise *Capsicum annuum* türünden elde edilmektedir. Ancak her iki türde de acılık ve renkleri birbirinden oldukça farklı olan çeşitler de vardır. Bu farklılık standard özellikte bir kırmızı biber üretimini mümkün kılmamaktadır (Ermış 1999).

Akgül'ün (1993) bildirdiğine göre kırmızı biber içerdiği birçok kimyasal bileşik (Çizelge 2.4) nedeniyle insan beslenmesi ve sağlığı bakımından önem arz etmektedir.

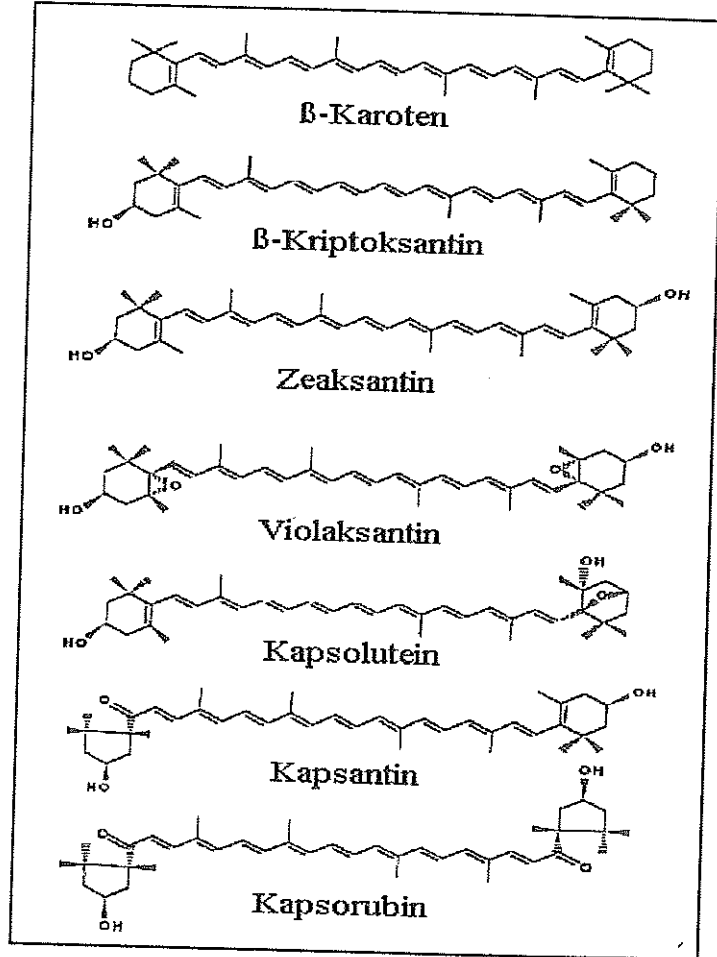
Gıdalarda doğal renklendirici olarak kullanılan kırmızı biberin ve oleorezininin en önemli kalite kriteri renktir. Kırmızı biberin rengini ketokarotenoidlerden kapsantin, kapsorubin, ve kapsantin 5,6 epoksit; ksantofillerden β -kriptoksantin, zeaksantin,

Çizelge 2.4. 100 g kuru kırmızı biberin bileşimi (Akgül 1993)

İçerik	Miktar	İçerik	Miktar
Protein	12 g	Su	8.1 g
Yağ	17.3 g	Lif	24.9 g
Karbonhidrat	31.7 g	Demir	8 mg
Vitamin A	41610 IU	Fosfor	293 mg
Tiamin	1 mg	Kalsiyum	148 mg
Riboflavin	2 mg	Mağnezyum	152 mg
Niasin	15 mg	Potasyum	2014 mg
Askorbik asit	76 mg	Sodyum	30 mg

violaksantin ve kapsolutein; karotenlerden de β -karotenin oluşturduğu bildirilmektedir (Minguez-Mosquera ve Hornero-Mendez 1994 a). Şekil 2.5'te bu bileşiklerin molekül yapıları gösterilmiştir. Bu karotenoid gruplarından karotenler yapısında sadece C ve H bulundururken, ksantofiller bunlara ilaveten hidroksil, metoksil, karboksil, keto ya da epoksi gruplar şeklinde O içermektedir. Bu pigmentlerden kapsantin ve kapsorubinin kırmızı, diğerleri ise açık sarıdan potakal sarısına değişen tonlarda sarı renk verir (İttah vd 1993, Minguez-Mosquera ve Hornero-Mendez 1994 a, Minguez-Mosquera ve Hornero-Mendez 1994 b, Levy vd 1995). Kırmızı biberdeki toplam karotenoidlerin %70-80'ini kapsantin ve kapsorubin oluşturmaktadır (Osuna-Garcia vd 1997, Jaren-Galan ve Minguez-Mosquera 1999 a).

Kırmızı biberdeki pigmentler yağda çözünen bileşiklerdir. Bu bileşikler doğal olarak yağ asitleriyle esterleşmiş halde bulunurlar ve bu yapıları nedeniyle daha stabildirler. Esterleşme pigmentlerin renk şiddetini değiştirmemektedir, ancak polarite gibi fizikokimyasal özelliklerini etkilemektedir. Kısa zincirli yağ asitleri ile esterleşmiş olan karotenoidler, uzun zincirli yağ asiti esterlerine göre daha stabildirler (İttah vd 1993, Biacs vd 1993, Minguez-Mosquera ve



Şekil 2.5. Biberde bulunan karotenoidlerin yapıları

Hornero-Mendez 1994 a, Minguez-Mosquera ve Perez-Galvez 1998 a, Jaren-Galan ve Minguez-Mosquera 1999 a).

Biber pigmentlerinin rengi içerdikleri konjuge çift bağlardan kaynaklanmaktadır. Konjuge çift bağ sayısının artması rengi kırmızılaştırmaktadır. Bu bileşiklerin fark edilebilir sarı renginin oluşması için en az 7 konjuge çift bağ bulundurması gerekmektedir. Bu bağlar cis veya trans olabilmekte ve trans bağlar rengin şiddetini arttırmaktadır (Fennema 1985, Uylaşer 2000).

Karotenoidlerin konjuge çift bağ yapısı oksidatif değişimlere hassastır. Bu değişimler neticesinde karotenoidlerin rengi açılmaktadır. Karotenoidlerdeki renk açılma reaksiyonlarını oksijenden başka ışık, sıcaklık, pH, su aktivitesi, metal iyonları ve bazı enzim aktiviteleri etkilemektedir. Bu değişimler genellikle biberlerin kurutulması, öğütülmesi ve depolanması sırasında meydana gelmektedir. Ancak biberin renk özelliğini etkileyen en önemli faktörlerin başında çeşit ve olgunluk düzeyinin geldiğinin göz ardı edilmemesi gerekir (Minguez-Mosquera ve Hornero-Mendez 1994 b, Markus vd 1999, Uylaşer 2000, Perez-Galvez ve Minguez-Mosquera 2001).

Biber karotenoidlerinin oksidasyon stabiliteleri birbirinden oldukça farklıdır. Sarı renk veren ksantofiller ve β -karotenin oksidasyon hızı çok yüksek olmasına karşın ketokarotenoidlerden olan kırmızı renkli kapsantin ve kapsorubin oksidasyona karşı daha stabildir. Biberde en yüksek oranda bulunan kapsantin oksidasyona en dayanıklı pigmenttir (Perez-Galvez ve Minguez-Mosquera 2001).

Goda vd (1997) kırmızı biberin en önemli renk bileşeni olan kapsantin ve kapsantin esterlerinin ışıktan etkilenme durumunu araştırmışlardır. Bu çalışmada serbest ve esterleşmiş kapsantin 4000 lüks ışığa maruz bırakılmış, serbest haldeki kapsantin uygulama başlangıcından itibaren bozulma gösterirken, esterleşmiş kapsantinde ancak birkaç hafta sonra bozulma saptanmıştır.

Minguez-Mosquera ve Hornero-Mendez (1994 b) biberlerin bitki üzerinde olgunlaşması sırasında zamanla klorofil, lutein ve neoksantin pigmentlerinin

kaybolduğunu; β -karoten ve violaksantin konsantrasyonlarının arttığını; zeaksantin, kapsantin, kapsorubin, β -kriptoksantin ve kapsoluteinin oluştuğunu belirlemişlerdir. Kriptokapsin biyosentezi ise belirlenememiştir. Araştırmacılar kırmızı renk pigmentlerinin sentez mekanizmasında β -karoten, β -kriptoksantin ve violaksantin ara ürünler olarak ortaya çıktığını ileri sürmektedirler.

Almela vd (1991) karotenoid sentezi bakımından çeşitler arasında farklılık olduğunu ve biberin nem miktarı ile provitamin A miktarı arasında bir korelasyon bulunduğunu belirlemişlerdir. Bu özelliklerin endüstriyel kırmızı biber üretimine yönelik çeşit geliştirilmesinde faydalı olacağı rapor edilmiştir.

Minguez-Mosquera vd (1994 a) Bola çeşiti kırmızı biberin karotenoid biyosentez mekanizması konusunda yaptıkları araştırmada meyvelerin hasatından sonra da karotenoid sentezinin devam ettiğini belirlemişlerdir. Araştırmacılar karotenojenesis olayının ışık altında daha hızlı iken, karanlıkta yavaşladığını, kurutmanın son aşamalarında ise tamamen durduğunu belirtmişlerdir. Nitekim araştırmacılar kurutmanın ilk aşamalarını ışıkta gerçekleştirip daha sonra kurutmaya karanlıkta devam ettiklerinde örneklerde karotenoid miktarının sadece karanlıkta veya ışıkta kurutulan örneklerin karotenoidlerin miktarından %20-40 daha fazla olduğunu tespit etmişlerdir.

Biber karotenoidlerinin sıcaklıkla ilişkileri konusunda yürütülen bir araştırmada, 60°C'nin altındaki sıcaklıklarda sarı pigmentlerin daha fazla bozulduğu, 60°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda ise kırmızı pigmentlerin bozulmasının hızlandığı belirlenmiştir. Kurutma sıcaklığının artması kırmızı biberin toplam karotenoid miktarında azalmaya neden olmaktadır (Jaren-Galan ve Minguez-Mosquera 1999 a).

Lipoksigenaz enziminin karotenoidler üzerine etkisi ile ilgili bir model çalışmasında 20°C'de 24 saat süre bekletilen örneklerde karotenoidlerin %30'unun bozulduğu belirlenmiştir. Bu kaybın %22'sinin doğrudan enzim katalizi nedeniyle olduğu belirtilmiştir. Hasat sonrası %40'lara varan karotenoid kaybının lipoksigenaz enziminin etkisi ile gerçekleştiği vurgulanmıştır (Jaren-Galan ve Minguez-Mosquera 1999 b).

Minguez-Mosquera ve Hornero-Mendez (1997) biber işlem basamaklarından kurutma ve öğütmenin karotenoid kompozisyonuna etkisini araştırmışlar, öğütme işleminin daha çok karotenoid kaybına neden olduğunu ortaya koymuşlardır. Bu aşamada meydana gelen toplam karotenoid kaybının % 42.7-55.2 arasında olduğunu, provitamin A kaybının ise %65.2-81.4 düzeyine ulaştığını bildirmişlerdir. Araştırmacılar ayrıca öğütme sırasında biber çekirdeği ilavesinin toplam karotenoid kaybını %20 düşürdüğünü tespit etmişlerdir. Bu düşüşün daha az karotenoid içeren çekirdeğin biberdeki karotenoid konsantrasyonunu seyreltmesinden kaynaklandığını ifade etmişlerdir.

Minguez-Mosquera vd (1994 b) tarafından yapılan bir çalışmada *Capsicum annuum* türüne ait Bola çeşiti kırmızı biberlerin iki farklı kurutma yöntemi (fırında kurutma ve tütüslü yavaş kurutma) ile kırmızı bibere işlenmesi sonrası renk değişimleri Çizelge 2.5'de verilmiştir.

Karotenoid değişimleri üzerine yapılan diğer bir çalışmada (Morais vd 2001) oksijen ve ışık varlığında karotenoidlerin bozulduğu ancak bozulmayı kontrol eden esas faktörün depolama süresinin uzaması olduğu belirtilmiştir.

Çizelge 2.5. Farklı kurutma yöntemi ile üretilen kırmızı biberlerin karotenoid değişimleri (mg/kg).

Örnek	β -karoten	β -kriptoksantin	Zeaksantin	Kapsantin	Violaksantin	Kapsorubin	% KM
Taze Biber	336.7	199.1	262.9	2190.3	354.6	344.5	13.0
Fırında kurutma							
Kuru Biber	281.6	145.9	195.1	1554.0	239.5	350.6	97.4
Kırmızı Toz Biber	163.0	126.0	213.8	972.3	93.1	139.2	96.0
Tütüslü yavaş kurutma							
Kuru Biber	465.6	278.2	412.7	1961.5	228.2	240.6	92.7
Kırmızı Toz Biber	217.1	147.3	256.0	1182.6	99.9	135.1	96.6

Klieber ve Bagnato (1999) üç çeşit kurutulmuş kırmızı biberi iki farklı öğütme yöntemiyle, üç farklı oranda biber çekirdeği ilavesi (100:10, 100:45 ve 100:60 g kuru meyve eti / g kuru çekirdek) yapılarak ve biber çekirdeği ilave etmeden kırmızı toz bibere işlemişlerdir. Bu çalışmada yukarıdaki ürünlere ilaveten E vitamini veya biber çekirdeği yağı katkılı, çekirdek ilavesiz kırmızı toz biber de üretilmiştir. Araştırmacılar elde ettikleri kırmızı toz biberleri karanlıkta, 37°C'de renk özelliği bakımından hızlandırılmış raf ömrü testine tabi tutmuşlardır. Ayrıca herhangi bir katkılama yapılmadan üretilen kırmızı toz biberleri azot gazı altında depolamışlardır. Araştırma sonuçları öğütme metodunun renk stabilitesini etkilemediğini, çekirdek ilavesinin renk kaybını azalttığını, çekirdek yağı ilavesinin ransit tada neden olduğunu ve renk kaybını azaltmadığını göstermiştir. Bu sonuçlara ilaveten renk bakımından en kaliteli ürün azot gazı altında depolama ile sağlanmıştır. Yüzde 45'in üzerinde çekirdek ilavesinin ise kırmızı toz biberin raf ömrünü düşürdüğü tespit edilmiştir.

Zachariev vd (1991) Macaristan'da kırmızı biber sterilizasyonunda kullanılan etilen oksit fümigasyonu ve gamma ışınlamasının kırmızı biberin karotenoidleri üzerine etkisini araştırmışlardır. Araştırmada HPLC yöntemi ile karotenoid fraksiyonlarını analiz eden araştırmacılar, her iki yöntemle sterilize edilen örneklerin karotenoid kompozisyonunun kontrol örneğine göre istatistiksel olarak önemli düzeyde değiştiğini belirlemişlerdir. Ancak pratik uygulamalarda bu değişimin ihmal edilebilir düzeyde olduğunu belirtmişlerdir.

Kırmızı biberin renk bileşenlerinden β -karoten ve β -kriptoksantin β -iyonon halkası ve bu halkaya bağlı polien zinciri bulundurması nedeniyle provitamin A aktivitesi göstermektedir. Bu pigmentler vücuda alındıktan sonra ince bağırsakta karoten oksijenaz ve retinaldehit reduktaz enzimleri sayesinde A vitaminine dönüşmektedir. 6 μ g β -karoten veya β -kriptoksantin parçalandıktan sonra 3 μ g A vitaminine dönüşmektedir, bu da 1 IU A vitamini olarak tanımlanmaktadır (Minguez-Mosquera ve Hornero-Mendez 1997, Uylaşer 2000).

Karotenoidlerin biyoyararlılıklarının, tüketilen gıdalardaki yağ, protein, E vitamini ve çinko tarafından etkilendiği belirtilmektedir. Normal koşullarda ince bağırsaklardaki emilimi %47-81 arasında olan karotenoidler lipoproteinler aracılığıyla kana geçmektedir. Düşük yoğunluklu lipoproteinlerin okside olmasını önleyen karotenoidlerin bu etkileri ile arterosklerotik kalp hastalıklarını engellediği belirtilmektedir. Ayrıca karotenoidlerin aktif oksijeni kullanarak lens lipidlerinin oksidasyonunu, dolayısıyla yaşa bağlı katarakt gelişimini engellediği de bildirilmektedir (Baysal ve Ersus 1999, Uylaşer 2000).

Karotenoid içerikli gıda tüketimi ile çeşitli kanser hastalığı risklerinin azaldığı konusunda pek çok makale yayınlandığı bildirilmektedir (Levy vd 1995). Yapılan çalışmalarda akciğer kanseri nedeniyle meydana gelen ölümlerin karotenoid tüketimi yetersizliğinden olduğu, β -karotene zengin gıdaların karaciğer kanseri riskini düşürdüğü, β -karoten, zeaksantin, lutein ve A vitamini bakımından zengin diyetlerin kadınlarda göğüs kanseri riskini düşürdüğü ve luteinin kolon kanserini iyileştirmede önemli düzeyde etkili olduğu belirtilmektedir. Çeşitli kanser hastalıkları ile gıda tüketim alışkanlığı arasındaki ilişkilerin araştırıldığı bir çalışma sonucunda, özellikle zeaksantin ve luteinin kanser hastalıklarına karşı koruyucu bir etki gösterdiği saptanmıştır (Uylaşer 2000, Maoka vd 2001).

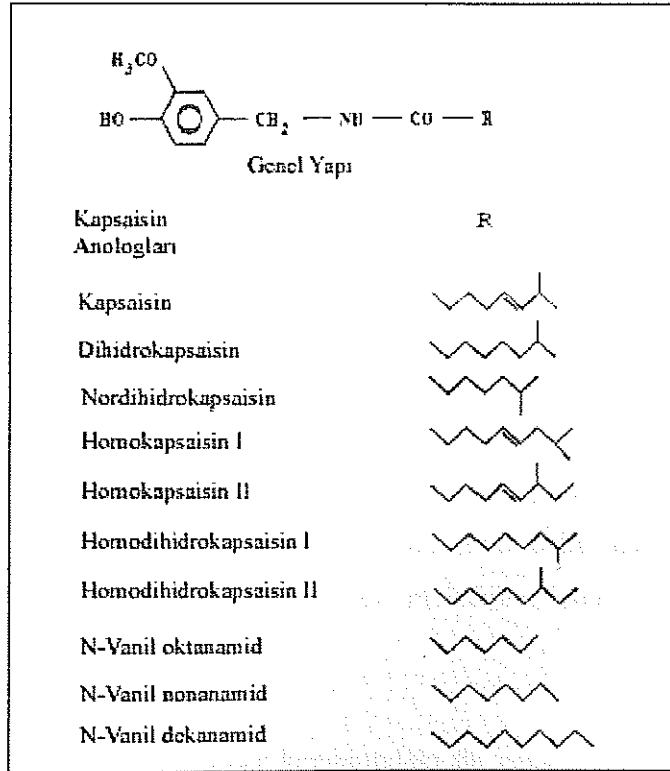
Kırmızı biberin kendine has lezzetini veren önemli diğer bir kimyasal bileşik grubu ise kapsaisinoidlerdir. Bu maddeler dilde yakıcı bir his bırakır. Ancak bu his Türkçede "acı" olarak ifade edilmektedir. Bu nedenle bu tezde de bundan sonra yakıcılık yerine acılık sözcüğü kullanılmıştır. Biberlerin (*Capsicum*) meyvelerinde bulunan ve değişen oranlarda acılık hissi veren bu organik bileşikler, 9-11 karbonlu yağ asitlerinin vanilamidleridir. Bu maddelerin büyük çoğunluğunu kapsaisin, dihidrokapsaisin ve nordihidrokapsaisin oluşturmaktadır. Bu bileşikler meyvenin plasentasında sentezlenmekte ve birikmektedir. (Thomas vd 1998).

Kapsaisinoidlerin başlıca bileşenlerini (Şekil 2.6) kapsaisin (N-[(4-hidroksi-3-metoksi fenil)metil]-8 metil-6 nonenamid) ve dihidrokapsaisin (N-[(4-hidroksi-3-metoksi fenil)-metil]-8-metilnonanamid) oluşturmaktadır. Bunların dışında miktarda

daha az bulunan norkapsaisin (N-[(4-hidroksi-3-metoksifenil)-metil]-8-metilnonanamid), nordihidroksapsaisin (N-[(4-hidroksi-3-metoksifenil)-metil]-7-metiloktanamid), homokapsaisin (N-[(4-hidroksi-3-metoksifenil)-metil]-9-metil-7-dekenamid) ve homodihidroksapsaisin (N-[(4-hidroksi-3-metoksifenil)-metil]-9-metildekanamid) de *Capsicum* meyvelerine özgü acılık bileşenleridir (Hoffman vd 1983).

Kapsaisinoidler sadece *Capsicum* cinsi biberlere özgü olan alkaloidlerdir. Biberlerde (*Capsicum annuum* ve *Capsicum frutescens*) şu ana kadar 12 alkaloid saptanmakla birlikte sadece kapsaisin ve dihidroksapsaisin bunların %90'ını oluşturmaktadır. Diğer kapsaisinoid analogları ise hidrokarbon zincirindeki farklılıklardan oluşan bileşiklerdir (Yao vd 1994, Contreras-Padilla ve Yahia 1998, Perucka ve Oleszek 2000).

Saf kapsaisinoidlerin verdiği acılık hissinin araştırıldığı bir çalışmada bu maddelerin her birinin acılık şiddetinin diğerlerinden farklı olduğu belirlenmiştir. Buna göre; saf kapsaisin 26.35 milyon, dihidroksapsaisin 25.97 milyon, nordihidroksapsaisin 19.46 milyon ve homodihidroksapsaisin 24.16 milyon Skovil Acılık Ünitesine sahiptir (Krajewska ve Powers 1988).



Şekil 2.6. *Capsicum* türlerinin kapsaisinoid yapıları

Kapsaisinoidler *Capsicum* türlerinin meyvelerine özgü bileşikler olup, değişik türlerin meyvelerinde hatta aynı türün çeşitlerinde bile çok farklı oranlarda bulunmaktadır. Kapsaisinoidlerin miktarı tür ve çeşit farklılığından başka bitkinin yetiştirme koşullarına, uygulanan kültürel tedbirler ve meyvenin olgunluk aşamasına göre değişmektedir. Bugüne kadar yapılan çalışmalarda *Capsicum* cinsi bitkilerin meyvelerinde 20 farklı kapsaisinoid bulunduğu bildirilmektedir. *Capsicum* türlerine ait meyveler bunlardan bazılarını veya tümünü içerebilmektedir (Zewdie ve Bosland 2001).

Kapsaisinoidler ağızdaki acılık reseptörlerine etki ederek ağızda ve boğazda yanma hissine neden olur. Bunlar insanda terlemeye, göz ve burunda akıntıya neden olur. Kapsaisin karabiberdeki piperinden 70 kat, zencefildeki zingerondan ise 1000 kat daha acıdır. Suda çözünür, ancak, yağ ve alkolde daha iyi çözünürler. Kapsaisinoidler biberin plasenta ve damarlarında bulunur. Biber çekirdeği de bu kısımlara yakın olması ve bunlara temas etmesi nedeniyle acıdır (Dong 2000).

Kırmızı biberlerin acılık özelliğini belirlemede kullanılan Scoville Acılık Birimi Testi, kırmızı biberin alkolde ekstrakte edildikten sonra farklı konsantrasyonda şekerli su ile hazırlanan çözeltilerin hissedilebilir en seyreltik olanının çözeltinin seyreltme faktörünü ifade etmektedir. Bu yöntemle acılıkları değerlendirilen bazı *Capsicum* türlerinin Scoville Acılık Birimi (SAB) Çizelge 2.6'da verilmiştir (Anonymous 2001).

Meksika'da yapılan bir araştırmada çili biberlerinin (*Capsicum frutescens*) bitki üzerinde oluşumu, gelişimi ve olgunlaşması sırasındaki kapsaisinoid değişimi araştırılmış, sentezlenmenin sinamik asit yoluyla, degradasyonun da peroksidaz etkisiyle olduğu belirtilmiştir. Meyvelerde kapsaisinin dihidrokapsaisinden daha fazla olduğu ve meyve tutumundan 45-50 gün sonra her ikisinin de maksimum seviyeye ulaştığı belirlenmiştir (Contreras-Padilla ve Yahia 1998).

Yemiş'in (2001) bildirdiğine göre, kapsaisinoidler konusundaki ilk çalışma 1816 yılında Burcholz ile başlamıştır. Bu araştırmacı biberdeki acılık bileşenlerinin organik çözücülerle ekstrakte edilebileceğini kaydetmiştir. Thresh ise bu bileşikleri "capsaicin" olarak isimlendirmiştir. Devam eden araştırmalar sonrasında Nelson ve

Çizelge 2.6. Bazı Capsicum çeşitlerine ait meyvelerin Scoville Acılık Birimleri.

Çeşit	Tip	Tür	SAB
Orange Habanero	Habanero	<i>C. chinense</i>	210 000
Red Habanero	Habanero	<i>C. chinense</i>	150 000
Tabasco	Tabasco	<i>C. frutescens</i>	120 000
Tepin	Tepin	<i>C. annuum</i>	75 000
Chiltepin	Tepin	<i>C. annuum</i>	70 000
Thai Hot	Asain	<i>C. annuum</i>	60 000
Jalapeno M	Jalapeno	<i>C. annuum</i>	25 000
Long Slim Cayenne	Cayenne	<i>C. annuum</i>	23 000
Mitla	Jalapeno	<i>C. annuum</i>	22 000
Santa Fe Grande	Hungarian	<i>C. annuum</i>	21 000
Aji Escabeche	Aji	<i>C. baccatum</i>	17 000
Long Thick Cayenne	Cayenne	<i>C. annuum</i>	8 500
Cayenne	Cayenne	<i>C. annuum</i>	8 000
Pasilla	Pasilla	<i>C. annuum</i>	5 500
Primavera	Jalapeno	<i>C. annuum</i>	5 000
Sandia	New Mexican	<i>C. annuum</i>	5 000
NuMex Joe E. Parker	New Mexican	<i>C. annuum</i>	4 500
Serrano	Serrano	<i>C. annuum</i>	4 000
Mulato	Ancho	<i>C. annuum</i>	1 000
Bell	Bell	<i>C. annuum</i>	0

Dawson kapsaisininin kimyasal yapısının 8-methyl-6-nonenylvanillylamide olduğunu belirlemişlerdir.

Kapsaisinoidler uzun yıllardan beri Scoville tarafından geliştirilen duyuşal test yöntemiyle, renklendirici ajan kullanılarak kolorimetrik yöntemle ve ince tabaka kromatografisi ile analiz edilmekteydi. Ancak kapsaisinoidlerdeki karbon zincir uzunluğu ve çift bağ yapıları nedeniyle zıt faz kromatografi tekniği ile ayrılabilmeleri sonucu son yıllarda gaz kromatografisi ve yüksek basınç sıvı kromatografisi analiz teknikleri bu amaçla uygulanmaya başlamıştır. Bu tekniklerle çok hassas ve ayrıntılı sonuçlar elde edilebilmektedir (Collins vd 1995, Wall ve Bosland 1998, Dong 2000).

Analitik tekniklerin gelişmesi ile acılık özellikleri analiz edilebilen *Capsicum* türleri üzerinde ıslah çalışmalarını yoğunlaşmış, istenilen özelliklerde yeni çeşitler geliştirilerek gıda ve eczacılık sanayisine kullanılmak üzere standard kalitede ürünler yetiştirmek mümkün olmuştur (Bosland 1992, Zewdie ve Bosland 2001).

Biber meyvelerindeki kapsaisinoid bileşikleri renk bileşiklerine göre daha stabil olmasına karşın çeşitler bazında çok farklılık göstermesi, yetiştirme ve işlem koşullarından da etkilenmeleri nedeniyle ifade edilmeleri çok zordur (Govindarajan 1985).

Kurutulmuş kırmızı toz biber acılık bakımından Scoville Acılık Birimine göre 5 kategoride değerlendirilmektedir. Buna göre biberler acısız (0-700), az acı (700-3000), orta acı (3000-25000), acı (25000-70000) ve çok acı (>80000) olarak sınıflandırılmaktadır (Bosland 1994).

Genel olarak kapsaisinoid miktarının *Capsicum annuum* türü biberlerde %0.0003-0.01, *Capsicum frutescens* türü biberler de ise %0.3-1'e kadar değiştiği bildirilmiştir (Perucka ve Oleszek 2000). *Capsicum annuum* türüne ait Jalopeno ve Shishitoh çeşidi biberlerde ise sırasıyla 4.65 mg g⁻¹ ve 1.68 mg g⁻¹ kapsaisinoid olduğu belirlenmiştir (Sato vd 1999).

Artık vd (2001) tarafından yapılan bir çalışmada ülkemizde yoğun olarak üretilmekte olan çeşitli biberlerin acılık özellikleri araştırılmıştır. Araştırma sonuçlarına göre, Maraş yöresinde üretilen kırmızı biberlerde %0.081-0.142 kapsaisin, %0.038-0.070 dihidrokapsaisin ve %0.001-0.004 nordihidrokapsaisin tespit edilmiştir. Aynı çalışmada Urfa yöresine ait "İsot" biberinin toplam kapsaisinoid miktarının ise %0.055 değeri ile düşük düzeyde kapsaisinoid içerdiği, bunun %49.91'ini kapsaisin, %44'ünü dihidrokapsaisinin ve %6.08'ini de nordihidrokapsaisinin oluşturduğu tespit edilmiştir.

Kapsaisinoidlerin gıdaya uygulanan değişik işlemlerden ve değişik fiziksel şartlardan (sıcaklık, oksijen, ışık vb) nasıl etkilendikleri konusunda yapılmış bir çalışmaya rastlanılamamıştır. Ancak kapsaisinin gıda katkı maddesi olarak yemeklik yağlarda antioksidatif özelliği BHT ve melatonin ile karşılaştırmalı olarak araştırılmış, kapsaisinin BHT kadar antioksidatif olmadığı, ancak melatonine göre daha etkili olduğu belirlenmiştir (Henderson vd 1999).

Kapsaisin çok eskiden beri alternatif tıp uygulamalarında da kullanılan bir maddedir. Kapsaisinin antimikrobiyal, antikoagulant, ateş düşürücü, kan dolaşımını hızlandırıcı, sinüsleri açıcı ve yağ metabolizmasını hızlandırıcı etkileri olduğu ileri sürülmüştür. Ayrıca bu bileşiğin diğ macunlarına katılarak çürükleri dezenfekte etmede, tarımsal alanlarda kemirgenleri uzaklaştırmada kullanıldığı rapor edilmiştir (Dong 2000).

Rabbins (2000) kapsaisinoidlerin eskiden iştah arttırmak ve savaş törenlerinde yakılmak için kullanıldığını, günümüzde ise kireçlenmenin neden olduğu ağrıların, kistlerin, bağışıklık sistemi zayıflığının ve diabetik nöropatolojinin tedavisinde kullanılması konusunda çalışmalar yapıldığını bildirmektedir.

Dünya genelinde 60 000 ton kırmızı biber ve 1 400 ton oleorezin üretilmektedir. Bu üretimin %70'i endüstriyel amaçlı, geri kalanı da mutfaklarda kullanılmaktadır. Amerika ve Almanya büyük miktarlarda baharat ithalat eden ülkelerdir. Bu ülkeler ve diğ ithalatçı ülkelerde kırmızı biberde istenen bazı kalite kriterleri vardır. Bu kalite kriterleri arasında kırmızı biberin kendine has tipik aroması olması, şiddetli olmayan hafif veya orta acılıkta olması, kötü koku ve ransid tat bulunmaması, stabil ve yoğun kırmızı renge sahip olması gibi özellikler sayılabilir (Buckenhüskes 2001).

Kırmızı biberde istenen mikrobiyolojik kalite kriterleri ise ülkeden ülkeye değişmektedir. Genel olarak baharatlarda kabul edilebilen normal ve tehlike sınırındaki mikroorganizma yükü Çizelge 2.7'de verilmiştir (Buckenhüskes 2001). Ancak Sharma vd (1989) baharatlarda genel olarak *Esheria coli* ve *Bacillus cereus*'un bulunmamasını, toplam canlı sayısının da 10^2 'nin altında olmasını önermektedirler. Ülkemizde ise kırmızı biberde olması gereken mikrobiyolojik özellikler ile ilgili bir bilgiye ulaşamamıştır.

Ülkemizde kırmızı biber çoğunlukla geleneksel yöntemlerle çatılarda veya sérgen yerlerinde, güneşte kurutulmaktadır. Bu yöntemle kurutulan biberler böcek, kuş, mikroorganizma ve bu gibi zararlıların etkisine açık olduğundan bu yöntem yerini suni

Çizelge 2.7. Genel olarak baharatlarda bulunması gereken mikrobiyolojik özellikler.

Organizma	Ortalama yük	Tehlike sınırı
<i>Salmonella spp.</i>	-	0 kob/25g
<i>Staphylococcus aureus</i>	1.0×10^2 kob/g	1.0×10^3 kob/g
<i>Bacillus cereus</i>	1.0×10^4 kob/g	1.0×10^5 kob/g
<i>Escherichia coli</i>	1.0×10^4 kob/g	-
Sülfite indirgeyen <i>Clostridia</i>	1.0×10^4 kob/g	1.0×10^5 kob/g
Küf	1.0×10^5 kob/g	1.0×10^6 kob/g

kurutma yöntemlerine bırakmaya başlamıştır. Ancak günümüzde üretilen kırmızı biberin büyük bir kısmı hala geleneksel yöntemle güneş altında kurutulmaktadır (Ermış 1999).

Bulan'ın (1993) yaptığı bir çalışmada ülkemizde satışı sunulan tane sivri kırmızı biberde 4.8×10^7 adet/g, kırmızı pul biberde 2.3×10^7 adet/g ve kırmızı toz biberde de 8.0×10^7 adet/g toplam bakteri belirlenmiştir. Aynı çalışmada bu örneklerdeki küflerin *Aspergillus*, *Penicillium*, *Rhizopus* türü küfler olduğu belirtilmiştir.

Kırmızı biberin mikrobiyolojik kalitesi ile ilgili değişik ülkelerde (Hindistan, Nijerya, Avustralya, Hollanda, Güney Afrika, Portekiz ve ABD) yapılan çalışmalarda kırmızı biberin mikroflorasını *Escherichia coli*, *Bacillus cereus*, *Bacillus subtilis*, *Bacillus coagulans*, *Bacillus megaterium*, *Bacillus polymyxa* ve *Salmonella spp* türü mikroorganizmaların oluşturduğu bildirilmiştir. Bu çalışmalarda kırmızı biberin toplam bakteri sayısının 10^3 - 10^8 kob/g olduğu belirtilmiştir (Ermış 1999).

Kırmızı biberin kalitesini olumsuz yönde etkileyen diğer bir faktör ise aflatoksinlerdir. Esasında bu indirekt bir faktördür. Çünkü aflatoksinler *Aspergillus flavus* ve *Aspergillus parasiticus* türü küflerin ürettiği metabolitlerdir. Ancak son yıllarda *Aspergillus flavus*'a benzer özellik gösteren *Aspergillus nomius*'un da aflatoksin ürettiği belirlenmiştir. Aflatoksinler bifuran halkası ve laktón bağı içeren kumarin bileşikleridir. Günümüze kadar 18 değişik aflatoksin tipi tanımlanmıştır, ancak en yaygın olanları B₁, B₂, G₁, G₂, M₁ ve M₂'dir. B₁ toksisitesi en yüksek olan

aflatoksindir. Aflatoksinler toksik, kanserojenik ve mutajenik etkilerine göre $B_1 > G_1 > B_2 > G_2$ şeklinde sıralanırlar (Çoksöyler vd 1992, Topal 1996, Ermiş 1999).

Sıcaklık, ürünü çevreleyen havanın bağıl nemi, ürünün su aktivitesi ve atmosferik gazlar küf gelişimi ve aflatoksin oluşumunu etkileyen önemli faktörlerdir. Küf gelişimi ve mikotoksin oluşumu için optimum sıcaklık 25-30° C, bağıl nem ise %88-95'tir. *Aspergillus flavus*'un aflatoksin oluşturabilmesi için optimum sıcaklık 33°C, pH 5 ve su aktivitesi 0.99'dur (Ermiş 1999). Bu durum biberlerdeki aflatoksin miktarının bölgeden bölgeye ve yıllar arasında mevsimsel değişimler nedeniyle değişiklik gösterebileceğini ortaya koymaktadır.

Kırmızı biberin doğası ve üretildiği ortam *Aspergillus* türü küflerin gelişimine uygun olduğu için, bu ürünlerdeki aflatoksin miktarı sık sık izin verilen limitlerin üzerine çıkabilmektedir (Çoksöyler 1999).

Buckenhuskes'in (2001) bildirdiğine göre El-Dessouki (1992) kırmızı biber örneklerinde 15.1-218.4 µg/kg arasında değişen düzeylerde aflatoksin B₁, B₂ ve G₁ tespit etmiştir.

Klieber (2001) Avustralya'da kırmızı biberler üzerinde yaptığı bir survey çalışmasında aflatoksin miktarının 0-89 µg/kg arasında değiştiğini, ortalama 19 µg/kg olduğunu belirlemiştir. Araştırmacı bu değerlerin Avustralya'da izin verilen 5 µg/kg sınır değerinin çok üzerinde olduğunu bildirmiştir.

Ülkemizde yapılan bir çalışmada (Taydaş ve Aşkın 1995) ise 30 kırmızı biber (taze, kuru, pul ve toz) örneğinde 1.25-15.99 µg/kg arasında değişen, ortalama 4.006 µg/kg düzeyinde aflatoksin belirlenmiştir (Ermiş 1999).

Kırmızı biberde izin verilen aflatoksin miktarı ülkelere göre değişmektedir. Örneğin Almanya'da 2µg/kg aflatoksin B₁ ve 4 µg/kg toplam aflatoksine izin verilmiştir, ancak bu sınır değerlerin 5µg/kg ve 10µg/kg'a çıkarılması konusu

tartışılmaktadır. Avrupa Birliği bu sınır değerleri kabul etmiştir. Ülkemizde de son yasal düzenlemeler sonucunda bu sınırlar onaylanmıştır (Anonim 1997, Buckenhüskes 2001)

Ancak kırmızı biberde aflatoksin miktarını azaltmak oldukça zor bir işlemdir. Çünkü daha bitki üzerinde meyvenin olgunlaşması sırasında başlayan küf faaliyeti, özellikle kurutma aşamasında hızlanmakta ve ürün, son şekline gelene kadar aflatoksin miktarı sınırların çok üzerine ulaşmaktadır. Yetiştirme aşamasındaki uygulanan yoğun kültürel tedbirler sonrasında biberin hızlı ve hijyenik kurutulması ile aflatoksin miktarı analiz hassasiyetinin altına düşürülebilmektedir (Ermış 1999, Klieber 2001).

Işınlama ile kırmızı biberin mikrobiyal yükünün düşürülebildiği, *Aspergillus* türü küflerin toksin üretiminin engellendiği bildirilmiştir (Ito vd 1994). Ancak bu uygulamanın oluşmuş toksinler üzerine etkisi yüksek doz ve sıcaklık kombinasyonunda mümkün olmaktadır. Bu şartlarda ise ürünün duyusal özelliği ve kimyasal bileşimi bozulmaktadır (Çetinkaya vd 1999). Ülkemizde ve diğer ülkelerde kırmızı biberin ışınlanması ile ilgili bazı çalışmalar yapılmıştır (Farkas vd 1966; Sharma vd 1984, Mutluer vd 1986, Özbey 1997).

Nieto-Sandoval vd (2000) hızlandırılmış elektronlar ile kırmızı biberin sterilizasyonu konusunda yaptıkları çalışmada 10 kGy ortalama dozun sanitasyon için yeterli olduğunu, bu dozun, ürünün görünür ve ekstrakte edilebilir renk özellikleri üzerine herhangi bir etkisi olmadığını belirlemişlerdir. Araştırmada kullandıkları kırmızı biberde %6.15-5.78 nem, 76.47-88.56 ASTA (Amerikan Spices Trade Association) renk değeri, %11.09-13.85 lipid, %5.19-6.19 kül ve %0.3-0.97 asitte çözünmeyen kül olduğunu belirlemişlerdir.

Farag vd (1995) kırmızı toz biberi (*Capsicum annuum* L) farklı dozlarda (0, 5, 10, 20 ve 30 kGy) ışınlamışlar, ilk başta sırasıyla 9.2×10^5 ve 4.8×10^3 kob g^{-1} olan toplam bakteri ve küf sayısının 10 kGy dozda tamamen yok edildiğini saptamışlardır. Araştırmacılar ayrıca ışınlamanın kapsaisin miktarını çok az etkilediğini fakat pigment miktarına etkisinin olmadığını rapor etmişlerdir.

Yapılan başka bir çalışmada kurutulmuş biber (*Capsicum frutescens*) bütün ve öğütülmüş halde Co^{60} ile yüksek dozda (radapertize) ışınlanmıştır. Bu çalışma sonucunda araştırmacılar fungal popülasyonun yok edilmesi için 7.5 kGy doza çıkılması gerektiğini vurgulamışlardır. Araştırmacılar ayrıca 10 kGy ışınlama dozunda örneklerin kapsaisin ve karbonhidrat miktarında önemli bir değişme olmadığını, oleorezin içeriğinin %24.45'ten %31.61'e, lipid içeriğinin ise %16.80'den % 19.30'a yükseldiğini bildirmişlerdir. Yağ ve lipid miktarındaki bu artışın, bu bileşiklerin ekstrakte olabilme özelliğinin artmasından kaynaklanabileceği belirtilmiştir. Depolama ile ürünün duyuşal özelliğinde bir değişiklik olmadığı ancak düşük doz uygulanan örneklerin mikrobiyal yükünün çok az arttığı da bildirilmiştir (Onyenekwe ve Ogbadu 1995).

Son yıllarda, kırmızı biber üretiminde uygulanan bazı kontrolsüz işlemler nedeniyle meydana gelen mikrobiyal ve kimyasal kalite kayıpları, daha da önemlisi, aflatoxin miktarının uluslararası ticarete izin verilen sınır değerlerden yüksek olması, ihracattımızı engellemekte ve önemli ekonomik kayıplara neden olmaktadır.

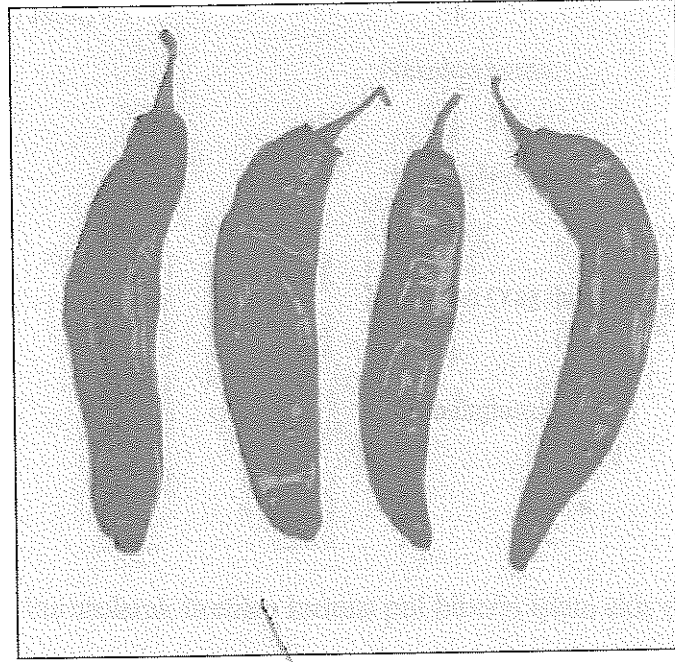
Ülkemizde üretilen kırmızı pul biberlerin özellikle kimyasal özelliklerini kurutma, depolama ve ışınlama gibi işlemlere bağılı olarak detaylı şekilde ortaya koyan bir araştırmaya rastlanılamamıştır.

Bu araştırmada ülkemizin önemli ihraç ürünlerinden biri olan kırmızı pul biberin bazı kalite özellikleri belirlenerek üretimde uygulanan iki kurutma yöntemi ve farklı dozlarda gamma ışınlaması ile sterilizasyonun, bu kalite kriterleri üzerine etkileri belirlenmeye çalışılmıştır. Ayrıca uygulanan işlemlerin, ürünün depolama stabilitesi bakımından etkileri belirlenmeye çalışılmıştır. Araştırmada ürünün renk ve acılık unsurları ile aflatoxin miktarlarının belirlenmesinde son yıllarda geliştirilmiş HPLC analiz tekniklerinden yararlanılmıştır.

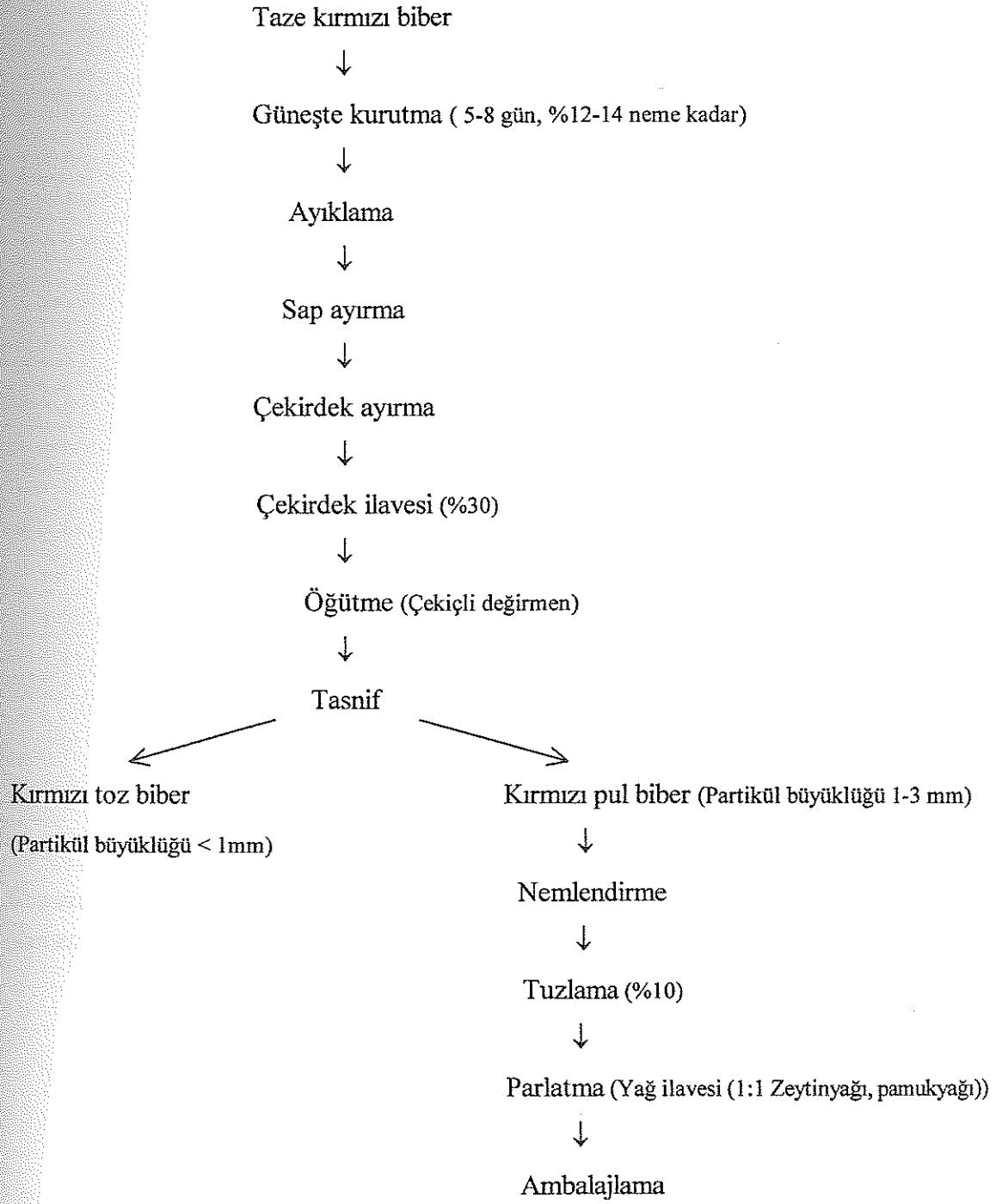
3. MATERYAL VE METOT

3.1. Materyal

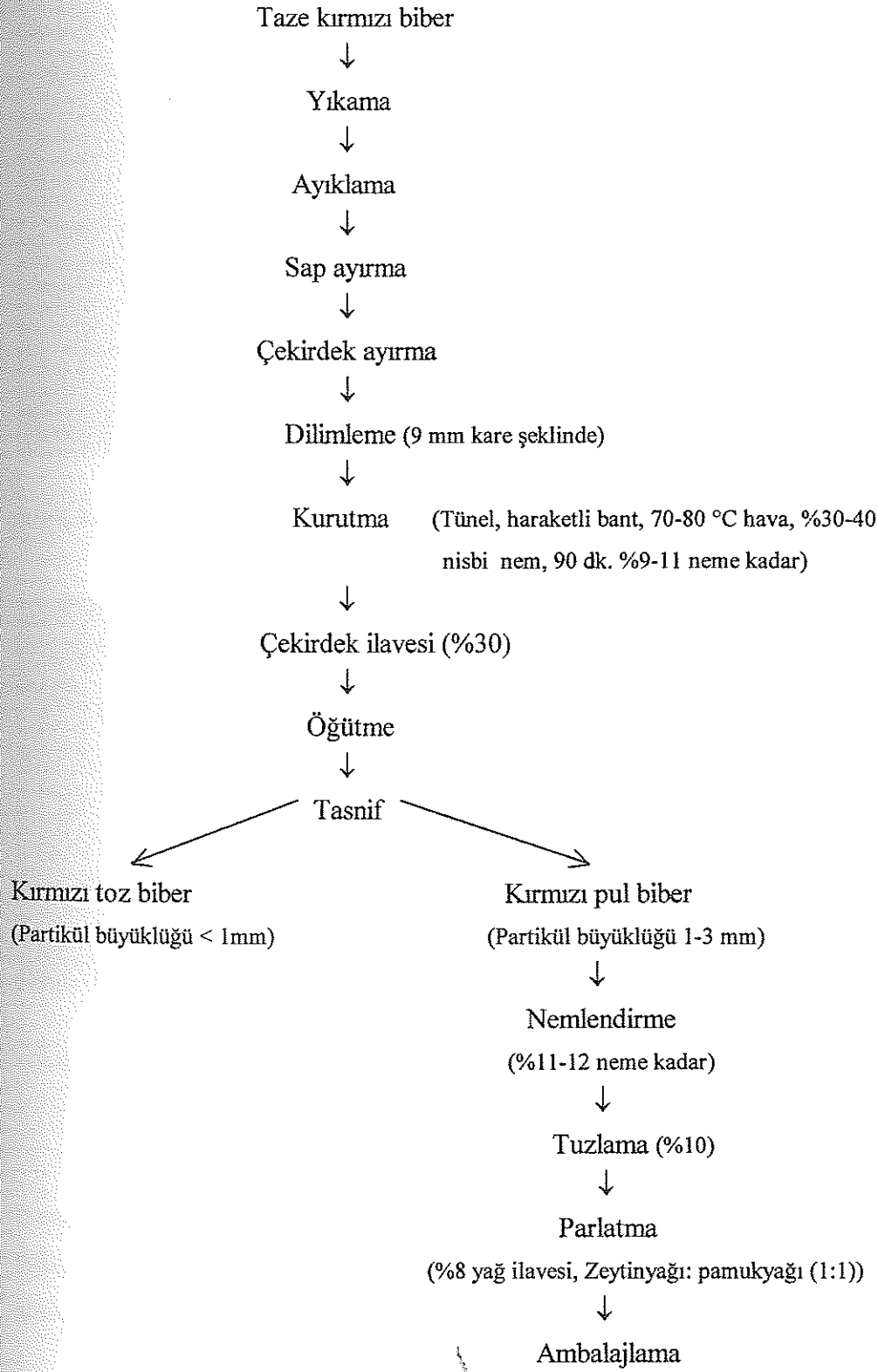
Araştırmada kullanılan biber örnekleri Kahramanmaraş ilinde bulunan iki ayrı işletmeden temin edilmiştir. Bu işletmeler, 2001 yılı biber üretim sezonunda bölgeye gidilerek hem Maraş biberi üretim alanları, hem güneşte kurutma alanları ve hem de kırmızı pul biber işleyen pek çok işletme gezilerek seçilmiştir. Bu ön incelemeler Kahramanmaraş ili ve çevresi, Nizip ve Nurdağı ilçe ve köylerinde yapılmıştır. Örneklerin alındığı işletmelerin seçiminde işletme kapasitesinin büyük ve yörede iyi tanınan işletmeler olmasına dikkat edilmiştir. Seçilen bu işletmelerden biri güneşte geleneksel olarak kurutulan kırmızı biberi pul bibere işlerken, diğeri hasat edilmiş taze kırmızı biberi fırında kurutarak pul ve toz bibere işlemektedir. Taze kırmızı biber örnekleri de ikinci işletmeye kurutulmak üzere gelen biberlerden alınmıştır. Bu örnekler ülkemizde Maraş biberi (Şekil 3.1) olarak bilinen *Capsicum annuum* L. türü biber olup 2001 yılı üretim sezonunda hasatın en yoğun olduğu Eylül ayında alınmıştır. Her iki işletmeye ait kırmızı pul biber üretim akış şeması Şekil 3.2 ve Şekil 3.3' de ve bu işletmelere ait resimler Şekil 3.4 ve Şekil 3.5' de verilmiştir.



Şekil 3.1. *Capsicum annuum* L. türü biberin (Maraş Biberi) olgun meyveleri



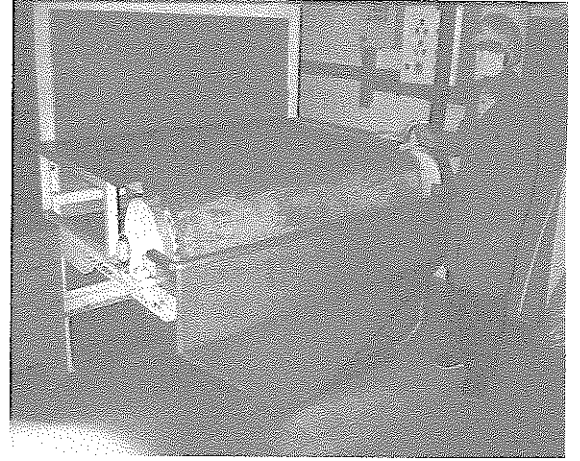
Şekil 3.2. Güneşte kurutularak üretilen kırmızı pul biberin işlem akış şeması



Şekil 3.3. Fırında kurutulularak üretilen kırmızı pul biberin işlem akış şeması



Şekil 3.4. Kırmızı biberin güneşte kurutulması



Şekil 3.5. Fırında kurutma yöntemiyle kırmızı pul ve toz biber işleyen işletme

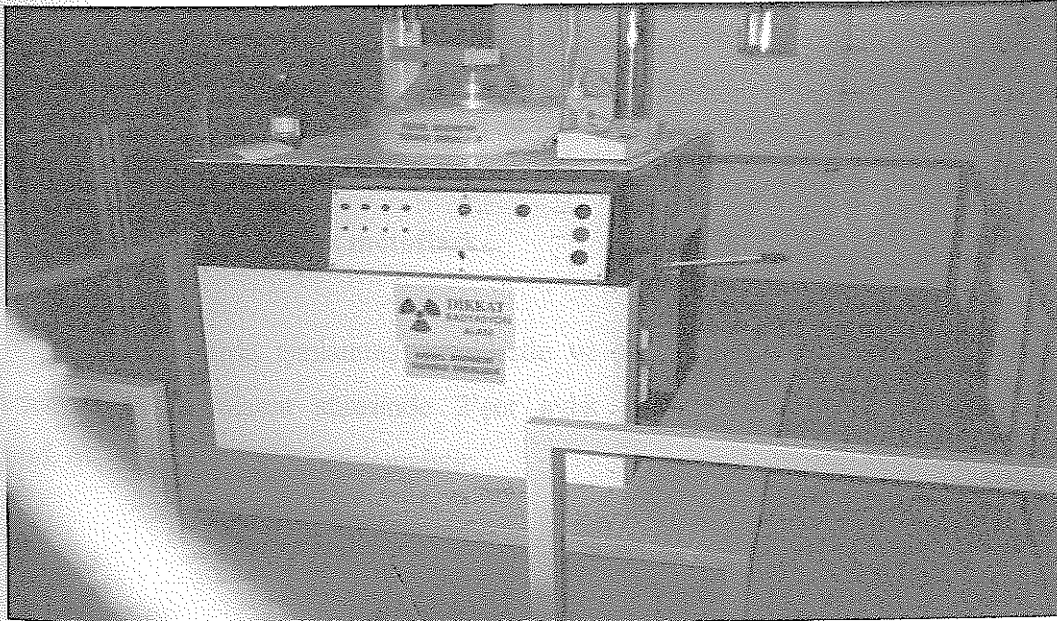
Alınan örnekler 100 g'lık yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) torbalara konulmuş, hava sızdırmayacak şekilde ağızları kapatıldıktan sonra aynı gün Ankara Nükleer Tarım ve Hayvancılık Merkezi'ne (ANTHAM) götürülerek bekletilmeksizin ışınlanmıştır.

İşinlanmış örnekler Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü laboratuvarlarında 10 ay süre ile oda koşullarında depolanmış, işinlama işleminden hemen sonra başlamak suretiyle 2'şer aylık periyotlarla mikrobiyolojik, kimyasal ve duyuasal analizlere tabii tutulmuştur. Ancak işinlama etkisini belirlemek amacıyla işinlanan ürünler ilk mikrobiyolojik analizler yapılıncaya kadar buzdolabı Şartlarında saklanmıştır.

3.2. Metot

3.2.1. Kırmızı pul biberin işinlanması

Yukarıda sözü edilen iki ayrı işletmeden alınan kırmızı pul biber örnekleri ANTHAM'da bulunan Gamma Cell (Şekil 3.6) deneysel işinlama ünitesinde Co^{60} kaynağından yayılan gama işinlarıyla 2.52 kGy/saat doz hızında 2.5, 5.0, 7.5 ve 10kGy ortalama dozda işinlanmıştır. İşinlama işlemi, 100 g'lık polietilen torbalara konulmuş olan örneklerde kendi ambalajları içerisinde yapılmıştır. İşinlama ünitesinin örnek kabına her defasında 100 g'lık ambalajlardan 7 veya 8 adet konulmuştur. İşinlama dozunu doğrulamak amacıyla örnek kabı içindeki bu ambalajların orta ve dış kısmına birer adet Harwell Amber Perspex Dozimetresi (Bach N 3042) yerleştirilmiştir.



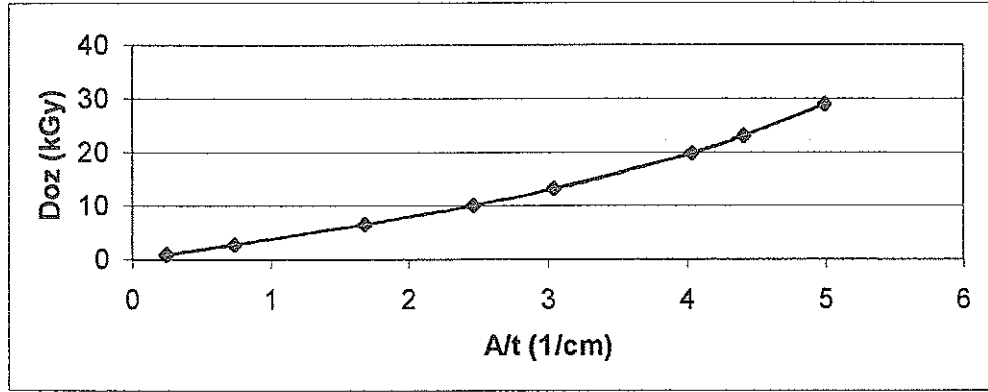
Şekil 3.6. Gamma Cell deneysel işinlama ünitesi

Örneklerin ışınlama işlemi örnek sayısı, örnek kabının hacmi ve doz hızına bağlı olarak üç gün devam etmiştir.

3.2.2 Işınlama dozunun belirlenmesi

Örneklerin ışınlanması bölümünde sözü edilen her bir dozimetrenin ışınlama sonrasında spektrofotometrede (Shimadzu) 603 nm dalga boyunda absorpsanları ölçülmüştür. Dozimetreye ait absorpsan \propto doz eğrisinden (Şekil 3.7) yararlanılarak elde edilen eşitlikten (Eşitlik 1) her bir ışınlama uygulamasına ait örneklerin absorbe ettiği doz hesaplanmıştır.

Eşitlik 1. $Doz (kGy) = 0.152(A/t)^3 - 0.459(A/t)^2 + 4.3133 (A/t) - 0.1352$ ($R^2=0.9999$)



Şekil 3.7. Farklı dozlarda ışınlanan Harwell Amber Perspex Dozimetresinin (Bach N 3042) birim kalınlıktaki absorpsan değişimi

3.2.3. Mikrobiyolojik analiz metotları

Farklı dozlarda ışınlanmış örneklerde ve şahit örneklerde ışınlamanın hemen sonrasında ve depolama süresinde 2'şer aylık periyotlarla toplam aerobik mezofil bakteri, maya ve küf sayısı belirlenmiştir.

3.2.3.1. Örneğin seyreltilmesi

Mikrobiyolojik analizleri yapılacak olan kırmızı pul biber örneğinden steril şartlarda 10 g numune ağzı pamuklu erlendeki 90 ml steril seyreltme sıvısı (%0.85 NaCl) içine tartıldıktan sonra çalkalanarak homojenize edilmiştir. Bu karışımdan 1ml alınarak ağzı pamuklu steril tüpteki 9 ml seyreltme sıvısı üstüne ilave edilmiştir. Bu işlem aynı şekilde tüpten tüpe 1'er ml aktarmak suretiyle tekrarlanarak 10^{-1} 'den 10^{-6} 'ya kadar seyreltilmiştir.

3.2.3.2. Toplam aerobik mezofil bakteri sayısının belirlenmesi

Örneklerin toplam aerobik mezofil bakteri sayısını belirlemek için hazırlanan dilüsyonlardan 0.1ml PCA besiyerine paralelli olarak yüzeye yayma yöntemiyle ekilmiştir. Petri kapları 35°C 'de 24 saat inkübasyona bırakılmıştır. İnkübasyon sonrası 30-300 arası koloni içeren petriler sayılarak elde edilen sayının seyreltme faktörü ile çarpılması sonucu toplam aerobik mezofil bakteri sayısı belirlenmiştir.

3.2.3.3. Maya ve küf sayısının belirlenmesi

Örneklerin maya ve küf sayısını belirlemek için örnek dilüsyonlarından 0.1ml PDA (sterilizasyondan sonra pH 3.5'e ayarlanmış) besiyerlerine yüzeye yayma yöntemi ile ekilmiştir. Petriler 25°C 'de 4 gün inkübasyona bırakıldıktan sonra 30-300 arası sayılan koloni sayısı örneğin seyreltme faktörü ile çarpılması sonucu maya ve küf sayısı belirlenmiştir.

3.2.4. Fiziksel, kimyasal ve duyuşsal analiz metotları

İki farklı işletmeden alınan kırmızı pul biber örneklerinin bazı özelliklerini belirlemek amacı ile ışınlanmamış örneklerde yağ, protein, selüloz, kül, asitte çözünmeyen kül, tuz, mineral ve yağ asiti analizleri yapılmıştır.

Bu örneklerde ayrıca en yüksek dozda ışınlanmış örneklerde yapılan aflatoksin analizi ile farklı dozlarda ışınlanmış ve farklı sürelerde depolanmış örneklerde yapılan nem miktarı, ekstrakte olabilen renk (ASTA), karotenoid, kapsaisinoid ve Scoville Acılık Birimi analizleri de yapılmıştır.

3.2.4.1. Yağ miktarının belirlenmesi

Soxhlet ekstraksiyon kartuşuna 10 ± 0.001 g biber örneği tartılmıştır. Bu örneğin yağı Soxhlet ekstraksiyon düzeneğinde petrol eterinin 8 döngü yaptırılması ile alınmıştır. Darası alınmış şilifli balona alınan yağın içindeki petrol eteri döner buharlaştırıcıda (Janke Kunkel) ayrıldıktan (500 mmHg vakum, 60° C su banyosu sıcaklığı) sonra içinde yağ bulunan balon 103° C'deki etüvde (Memmert) 2 saat süre ile kurutulmuştur. Elde edilen tartım sonuçlarından % yağ miktarı hesaplanmıştır (Anonim 1983).

3.2.4.2. Protein miktarının belirlenmesi

Protein miktarını belirlemek için Kjeldahl balonlarına 1 ± 0.001 g kırmızı pul biber örneği tartıldıktan sonra üzerine 15 ml asit karışımı (A), 3 ml H_2O_2 ve 1 adet katalizör tablet (3.5 g K_2SO_4 ve 0.0035 g selenyum) ilave edilmiştir. Tüpler yakma ünitesine yerleştirilip sıcaklık kademe kademe arttırılarak önce 150° C'de 15 dakika, sonra 250° C'de 15 dakika ve son olarak 360° C'de örnekler saydamlaşmaya kadar yakılmıştır. Yakma işlemi tamamlandıktan sonra soğutulan örneklerin üzerine 50 ml saf su ilave edilmiş ve distilasyon ünitesine yerleştirilmiştir. Distilasyon ünitesinde bu çözeltinin üzerine 40 ml %40'lik NaOH ilave edildikten sonra 5 dakika distile edilmiştir. Distilatın 20 ml indikatörlü borik asit çözeltisine (B) toplanması sağlanmıştır. Daha sonra distilat 0.1 N H_2SO_4 çözeltisi ile titre edilmiştir. Aynı işlemler şahit deneme için de uygulanmış, kullanılan kimyasal maddelerden kaynaklanan azot miktarına ait titrasyon değeri örnek titrasyon değerinden çıkartılmıştır. Toplam azot miktarı 6.25 faktörü ile çarpılarak protein miktarı bulunmuştur (Egan vd 1981)

A: 1 litrelik ölçü balonunda %98'lik sülfürik asit içinde 15 g saf salisilik asit çözülerek hazırlanmıştır.

B: 1 litrelik ölçülü balonda %2'lik borik asit içine 20 ml %1'lik brom krezol yeşili ve 14 ml %1'lik metil kırmızısı ilave edilerek hazırlanmıştır.

3.2.4.3. Selüloz miktarının belirlenmesi

Örneklerin selüloz içeriğini belirlemek için 1 ± 0.001 g numune 250 ml'lik balon içerisine tartılmış, üzerine 25 ml asit çözeltisi (70 ml %70'lik asetik asit, 5 ml derişik nitrik asit ve 2 g triklorasetik asit karışımı) ilave edilmiştir. Geri soğutucu altında 30 dakika kaynatıldıktan sonra soğutulan bu çözelti kurutularak darası alınmış filtre kağıdından (Whatman 41) süzümüştür. Kalıntı ve filtre kağıdı nötr olana kadar sıcak distile su ve aseton ile yıkanmıştır. Filtre kağıdı ile birlikte kurutulan (102° C'de sabit tartıma gelinceye kadar) kalıntı tartıldıktan sonra kurutularak darası alınmış kroze içine konularak kül fırınında yakılmıştır (525° C). İçerisinde kül bulunan kroze yeniden tartılarak selülozun kül içeriği belirlenmiştir. Kalıntı ağırlığından kül ağırlığı çıkarıldıktan sonra örnek ağırlığına oranlanarak örneklerin % selüloz miktarı belirlenmiştir (Anonim 1983).

3.2.4.4. Kül miktarının belirlenmesi

Darası alınmış porselen krozelere 5 ± 0.001 g örnek tartılmış, kül fırınında (Elektromag) 525° C'de tamamen yakılmıştır. Geride kalan kül ağırlığının kırmızı pul biber ağırlığına oranlanması ile kül miktarı belirlenmiştir (Anonim 1983)

3.2.4.5. Asitte çözünmeyen kül miktarının belirlenmesi

Kül miktarı analizinde elde edilen külün üzerine 25 ml 5N HCl eklenmiş sıcak tabla üzerinde 10 dakika ısıtılmıştır. Bu çözelti külsüz filtre kağıdından (Whatman 42) süzöldükten sonra saf su ile nötralize olana kadar yıkanmıştır. Geri kalan kül filtre kağıdı ile birlikte tekrar kül fırınında (525° C) yakıldıktan sonra soğutularak tartılmıştır.

Elde edilen tartım sonucu numune ağırlığına oranlanarak asitte çözünmeyen kül miktarı belirlenmiştir (Anonim 1983).

3.2.4.6. Tuz miktarının belirlenmesi

Kırmızı pul biberin tuz miktarı Mohr Metodu ile belirlenmiştir. Bunun için 5 ± 0.001 g numune 100 ml beherde 50 ml saf su ile ultraturaxta (UKI) homojenize edildikten sonra 100 ml'lik ölçülü balona yıkanmış ve balon saf su ile çizgisine tamamlanmıştır. Karışım çalkalandıktan sonra filtre kağıdı (Whatman 42) ile süzülmüş, 25 ml süzüntü üzerine 100 ml saf su eklendikten sonra 0.1 N NaOH ile nötralize edilmiştir. Bu çözelti üzerine 2 ml %5'lik potasyum kromat eklendikten sonra 0.1 N gümüş nitrat çözeltisi (saf NaCl ile faktörü belirlenmiş) ile titre edilmiş sabit kırmızı renk oluştuğu anda titrasyona son verilmiştir. Örneklerin tuz miktarı aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır (Cemeroğlu 1992).

$$\text{Tuz miktarı (\%)} = \frac{V \cdot F \cdot E \cdot 100}{M}$$

V: Harcanan 0.1N AgNO₃ çözeltisinin miktarı (ml)

F: Titrasyonda kullanılan AgNO₃ çözeltisinin faktörü

E: 0.005844 (1 ml 0.1 N AgNO₃, 0.005844g NaCl'e eşdeğerdir)

M: Titrasyona kullanılan örneğin miktarı (g)

3.2.4.7. Mineral kompozisyonunun belirlenmesi

Kırmızı pul biber örneklerinin mineral madde kompozisyonunu belirlemek için 4 ± 0.001 g örnek 100 ml'lik erlen içinde 15 ml nitrik asit ve perklorik asit karışımı (4:1) ile berraklaşmaya kadar çeker ocak içindeki sıcak tabla üzerinde yakılmıştır. Yanma sırasında asitin uçmaması için erlenlerin ağzına 4 mm'lik huni konulmuştur. Yanmanın sonuçlandığı erlen içindeki sarı dumanların yerini beyaz dumanların almasıyla anlaşılmıştır. Daha sonra elde edilen berrak çözelti sıcak su ile 100 ml'lik balon jöjeye alınmış, balon çizgisine tamamlandıktan sonra filtre kağıdından (Whatman 42) süzülmüştür (Kacar 1972). Süzüntünün absorbansı herbir mineral madde (K, Ca, Mg, Na, Fe, Zn, Mn ve Cu) için atomik absorpsiyon spektrofotometresinde kullanıcı

kılavuzuna (Anonymous 1989) göre okunmuştur. Okunan elementlerin standartları ile oluşturulan kurve yardımıyla konsantrasyonları hesaplanmıştır. Fosfor miktarı ise aynı ekstraktın Barton Çözeltisi (%5 amonyum molibdat ve %0.25'lik amonyum metavanadat çözeltilerinin karışımı (1:1)) ile renklendirildikten sonra spektrofotometrede (Shimadzu UV 160) 430 nm dalga boyunda absorbansının okunması ve okunan absorbansın standard KH_2PO_4 çözeltilerinin absorbansına oranlanması ile belirlenmiştir (Kacar ve Kovancı 1982)

3.2.4.8. Yağ asiti kompozisyonunun belirlenmesi

Yağ asitlerinin ekstraksiyonu ve metilleştirilmesi: Kırmızı pul biber örneklerinden ekstrakte edilen yağ üzerine metil alkol, benzen, 2,2-dimetoksiopropan ve sülfürik asitten oluşan 3 ml metilleştirme çözeltisi ve 2 ml n-heptan ilave edilmiştir. Daha sonra bu karışım 80°C su banyosunda 2 saat bekletildikten sonra oda sıcaklığında soğumaya bırakılmıştır. Yağ asiti metil esterlerini içeren üst fazdan (n-heptan) alınan örnek gaz kromatografisi cihazına (Fisons Inst. HRGC Mega 2) enjekte edilmiştir (Garces ve Mancha 1993).

Kromatografi koşulları:

Kolon	: Fused silica kapiler kolon (25m*0.25mmID)
Kolon sıcaklığı	: 150°C 'den 200°C 'ye $5^\circ\text{C}/\text{dakika}$ hızla yükseltilmektedir.
Dedektör	: Alev İyonizsyon Dedektörü (FID).
Alev için hidrojen (30ml/dakika) ve kuru hava (300ml/dakika) kullanılmıştır.	
Dedektör sıcaklığı	: 260°C
Taşıyıcı gaz	: Helyum (1ml/dakika $\approx 150\text{kPa}$)
Enjeksiyon bloğu sıcaklığı:	250°C
Enjeksiyon miktarı	: 3 μl

Piklerin tanımlanması ve değerlendirilmesi: Daha önceki çalışmalarda gaz kromatografisi sistemine verilen standard yağ asiti metil esterleri piklerinin aynı analiz şartlarındaki çıkış zamanlarına göre tanımlama yapılmıştır. Sonuçlar, tanımlanan piklerin toplam pik alanı içindeki yüzdeleri üzerinden verilmiştir.

3.2.4.9. Aflatoksin miktarının belirlenmesi

Aflatoksin analizi her iki kurutma yöntemine göre üretilen kırmızı pul biberin en yüksek dozda (10kGy) ışınlanan ve ışınlanmayan örneklerinde yapılmıştır. Anonymous'a (1999) göre ekstrakte edilen aflatoksinler HPLC'de analiz edilmiştir. Analizler Tarım ve Köyişleri Bakanlığı, Ankara İl Kontrol Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

Aflatoksinlerin ekstraksiyonu: 25±0.001 g örnek, 5 g tuz ve 100 ml metanol:su (80:20) karışımı parçalayıcıda (Waring) 1 dakika süreyle homojenize edilmiştir. Bu karışım kaba filtre kağıdından süzildükten sonra 10 ml süzüntü 40 ml saf su ile seyreltilmiştir. Bu çözelti iyice karıştırıldıktan sonra cam mikrofiber filtreden süzülmüştür. Süzüntüden 10 ml alınmış P affinity (Afla Test) saflaştırma kolondan saniyede 1-2 damla hızla geçirilmiştir. Örnek tamamen geçtikten sonra kolondan saniyede 2 damla hızla 10 ml metanol:su karışımı (20:80) geçirilmiştir. Metanol:su karışımı geçirme işlemi kolondan hava gelene kadar bir kez daha tekrarlanmıştır. Daha sonra affinity kolon 1ml HPLC safliktaki metanol ile elute edilerek vial toplanmıştır. Affinity kolondan 1 ml daha saf su (HPLC grade) geçirilerek vial toplanmıştır. Vial içeriği vortexte karıştırıldıktan sonra HPLC'ye enjekte edilmiştir.

Kromatografi koşulları:

- Kolon : ODS-2 (4.6*250 mm), 5µm
Dedektör : Su:Metanol:Asetonitril (6:3:2), HPLC grade
Hareketli faz akış hızı : 1 ml/dakika
Kolon sonrası işlem : Kabrocell türevlendirme
Enjeksiyon miktarı : 100 µl

Piklerin tanımlanması: Örneklerin analiz edildiği koşullarda saf standard aflatoksinlerin (Aflatoksin B1, B2, G1, G2) tutulma zamanları belirlenmiştir. Örnek piklerinin standard pikleri ile karşılaştırılması sonucu aflatoksinler tanımlanmıştır.

Aflatoksinlerin miktarının belirlenmesi: Tanımlanan piklerin konsantrasyonları standard aflatoksin çözeltileri ile elde edilen kurveden (Konsantrasyon α pik alanı) hesaplanmıştır.

3.2.4.10. Nem miktarının belirlenmesi

Örneklerin nem miktarını belirlemek için kurutulduktan sonra darası alınmış kurutma kaplarına 10 g örnek tartılmış ve etüvde (Memert) 70°C'de sabit ağırlığa gelene kadar kurutulmuştur. Kurutma sonrası ağırlığı belirlenen örneğin ilk tartıma oranlanması sonucu örneklerin nem miktarı hesaplanmıştır (Anonim, 1983)

3.2.4.11. Ekstrakte olabilen renk indeksinin (ASTA) belirlenmesi

Kırmızı pul biberin ekstrakte olabilen rengini belirlemek için 0.2 ± 0.0005 g örnek tartılmış ve 100 ml'lik ölçülü balona konularak çizgisine kadar aseton (analitik saflıkta) ile seyreltilmiş, ağzı kapatıldıktan sonra iyice çalkalanmış ve karanlık ortamda 20 saat ekstraksiyona bırakılmıştır. Ekstraksiyon süresi dolduktan sonra balon içeriği bir kez daha çalkalanmış ve biber parçacıkları çökene kadar bekletilmiştir. Elde edilen ekstraktın absorbans değeri spektrofotometrede (Shimadzu UV-Vis 160) 460 nm dalga boyunda okunmuştur (Okunan absorbans değerinin 0.3-0.7 aralığında olmasına dikkat edilmiştir). Okunan absorbans değeri aşağıdaki formülde yerine konularak ASTA renk değeri hesaplanmıştır (ASTA 1968).

$$\text{ASTA renk değeri} = A * 16.4 * If * W^{-1}$$

A: Kırmızı pul biber ekstraktının absorbansı.

16.4: ASTA renk sabiti (100 ASTA değeri, 460 nm'de absorbansı 1.0 olan kırmızı biber ekstraktının* rengidir)

*Standard kabul edilen 0.164 g kırmızı biberin 100 ml aseton ile ekstraktı

If: Alet düzeltme faktörü (hesaplamalar sırasında 1 olarak kabul edilmiştir)

W: Absorbansı okunan çözeltideki örnek miktarı (g)

3.2.4.12. Karotenoidlerin belirlenmesi

Örneklerin karotenoidleri Minguez-Mosquera ve Hornero-Mendez'e (1993) göre belirlenmiştir. Yöntemi daha etkin ve basit hale getirmek için bazı değişiklikler yapılmıştır. Bu yöntemle göre elde edilen ekstrakt HPLC'de analiz edilmiştir.

Karotenoidlerin ekstraksiyonu: Kırmızı pul biber örneğinin karotenoidlerini belirlemek için 100 ml'lik behere 1.5 ± 0.001 g numune (Taze biber için 10 ± 0.001 g) tartılmış, 50 ml aseton ile (analitik saflıkta) Ultraturrax'ta (Uki) homojenize (14,000 devir/dakika) edildikten sonra ekstrakt 250 ml'lik balona aktarılmıştır. Kalan posaya aynı işlemler iki kez daha uygulanmış (posada renk kalmayınca kadar) ve elde edilen ekstraktların hepsi aynı balonda toplanmıştır. Balonda yaklaşık 30 ml ekstrakt kalana kadar döner buharlaştırıcıda (Janke Kunkel) asetonu uçurulmuş (50° C su banyosu sıcaklığı, 550 mm Hg vakum), geri kalan karotenoid çözeltisi aseton ile ayırma hunisine yıkanmıştır. Bu çözeltinin üzerine 100 ml dietil eter ilave edildikten sonra çalkalanmış, 100 ml tuz çözeltisi (%10'luk NaCl) ilavesi ile faz ayrılarak karotenoidler dietil eter fazına geçirilmiştir. Alt faz atıldıktan sonra 50 ml susuz sodyum sülfat çözeltisi (%2) ile üst fazın suyu çekilmiştir. Daha sonra 150 ml'lik erlen içerisinde alınan bu çözeltiye sabunlaştırma işlemi için 50 ml metanollü potasyum hidroksit (%10) ilave edilmiş, 1 saat karanlık koşullarda bekletilmiştir. Sabunlaştırma işleminden sonra çözelti tekrar ayırma hunisine yıkanmış (dietil eter ile) ve tuz çözeltisi (%10'luk NaCl) ile dietil eter fazı tekrar ayrılmıştır. Üst faz alınarak üzerine 500 µl iç standard (125 mg β -apo-8' carotenal / 250 ml petrol eteri) ilave edilmiştir. Bu çözelti ayırma hunisinde iki kez 100ml saf su ile yıkandıktan sonra bir kez de 100 ml susuz sodyum sülfat çözeltisi (%2) ile yıkanmıştır. Üst faz 250 ml'lik balona alınmış, çözeltideki dietil eter döner buharlaştırıcıda (50° C su banyosu sıcaklığı, 550 mm Hg) uçurulmuştur. Balondaki karotenoidler aseton (HPLC grade) ile 25 ml'lik balon jojeye yıkanmış ve balon aseton ile çizgisine tamamlanmıştır. HPLC sisteminde analize hazır hale gelen karotenoid ekstraktı ependorf tüplerine konularak analiz edilinceye kadar -18° C'de muhafaza edilmiştir.

Enjeksiyon için bu ekstraktan 1 ml alınmış, 3 ml aseton (HPLC grade) ile karıştırıldıktan sonra membran filtreden (0.45 µm) 1.5 ml'lik vialle süzülmüştür. Taze biber ekstreaktında ise 1:10 oranında seyreltme yapılmıştır.

Kullanılan alet ve cihazlar: HPLC sistemi olarak Varian 9010 hareketli faz verici cihaz, Varian otomatik örnekleyici (Maraton) ve UV-VIS dedektör (Varian 9050) kullanılmıştır.

Kromatografi şartları:

Kolon : Nucleosil 5 C₁₈ (250 x 4.6 mm ID)

Guard Kolon : Nucleosil 5 C₁₈ (4 x 4.6 mm), her 10 örnek için 1 adet

Analiz sıcaklığı: 20-22° C

Dedektör : UV-Vis, 450 nm

Hareketli faz : Aseton ve su (Dereceli elüsyon)

Elüsyon Profili:

Aseton %	Su %	Zaman (dakika)
75	25	10 (Şartlandırma)
75	25	5
95	5	5
95	5	10
100	0	3
75	25	3

Hareketli faz akış hızı: 1.5 ml/dakika

Enjeksiyon miktarı : 20 µl

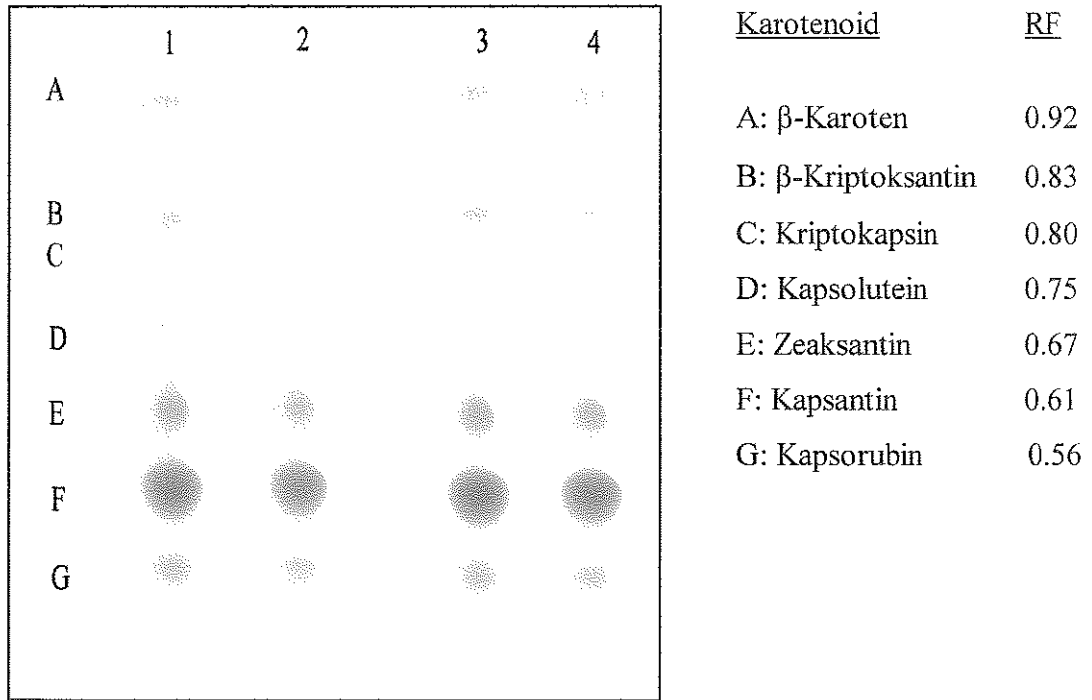
Analiz süresi : 23 dakika

Basınç : 115-120 atm

Piklerin tanımlanması: Örnek piklerinin tanımlanmasında kullanılan standard karotenoidler [kapsorubin (3,3'-dihidroksi-κ,κ-karoten-6,6'-dion) violaksantin (5,6,5',6'-diepoksi-5,6,5',6'-tetrahidro-β,β-karoten-3,3'-diol) kapsantin (3,3'-dihidroksi-β,κ-karoten-6'-on), kapsolutein (3',6'-epoksi-5',6'-dihidro-β,β-karoten-3,5'-diol), zeaksantin

(β,β -karoten-3,3'-diol), β -kriptoksantin (β,β -karoten-3-ol) ve β -karoten] Minguez-Mosquera ve Hornero-Mendez'in (1993) tanımladığı yöntemle saflaştırılmıştır.

Yukarıdaki ekstraksiyon yönteminde belirtildiği gibi taze kırmızı biberden (*Capsicum annuum* L.) iç standard (β -apo-8' carotenal) konulmaksızın saflaştırılan karotenoidler mikro enjektör ile TLC plakasının (silica gel 60 GF₂₅₄ (20x20 cm, 0,25 mm thickness)) bir kenarından 1.5 cm uzaklığa damlatılmış (her bir noktaya 0.1ml) ve TLC tankına yerleştirilerek oda sıcaklığında yürütülmüştür. Yürütme çözeltisi olarak petrol eteri:aseton:dietilamin (10:4:1) karışımı kullanılmıştır. Yürütücü çözgen üst kenara ulaştığında plaka tanktan alınarak CO₂ gazı ile kurutulmuştur. Ayrılan herbir bant (Şekil 3.8) bisturi bıçağı ile kazınarak ependolf tüplerine alınmış ve \approx 1ml aseton ile çözülerek 16 000 devir/dakikada 2 dakika santrifüj edildikten sonra membran filtreden (0.45 μ m) vialle süzölmüştür. Yukarıdaki belirtilen kromatografi şartlarında HPLC'ye



Şekil 3.8. Taze kırmızı biber (*Capsicum annuum* L.) karotenoidlerinin ince tabakada (TLC) ayrılmış görüntüleri ve RF değerleri

verilen bu standartların çıkış zamanları belirlenerek cihazı kontrol eden programa (Star) tanıtılmıştır. Violaksantin ince tabakada F ile G bandı arasında tam ayrılmamış bant olduğu için Minguez-Mosquera ve Hornero-Mendez'in (1993) çalışmasında belirlenen pik sırasına göre tayin edilmiştir.

Karotenoidlerin miktarının belirlenmesi: Örneklerde tespit edilen herbir karotenoid miktarı, örneğe ilave edilen iç standarda bağlı olarak hesaplanmıştır.

3.2.4.13. Acılık bileşenlerinin (Kapsaisinoidler) belirlenmesi

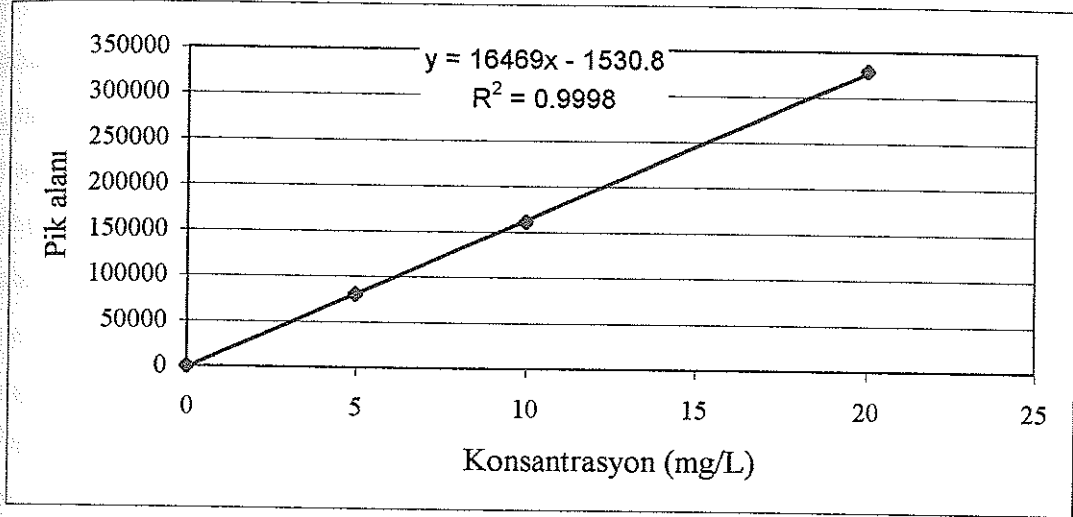
Taze biber ve kırmızı pul biber örneklerinin acılık bileşenleri Collins vd'nin (1995) bildirdiği yöntemle göre asetonytril ile elde edilen ekstraktın HPLC'de Peusch vd'nin (1997) uyguladığı elüsyon programı kullanılmasıyla belirlenmiştir.

Kromatografi şartları:

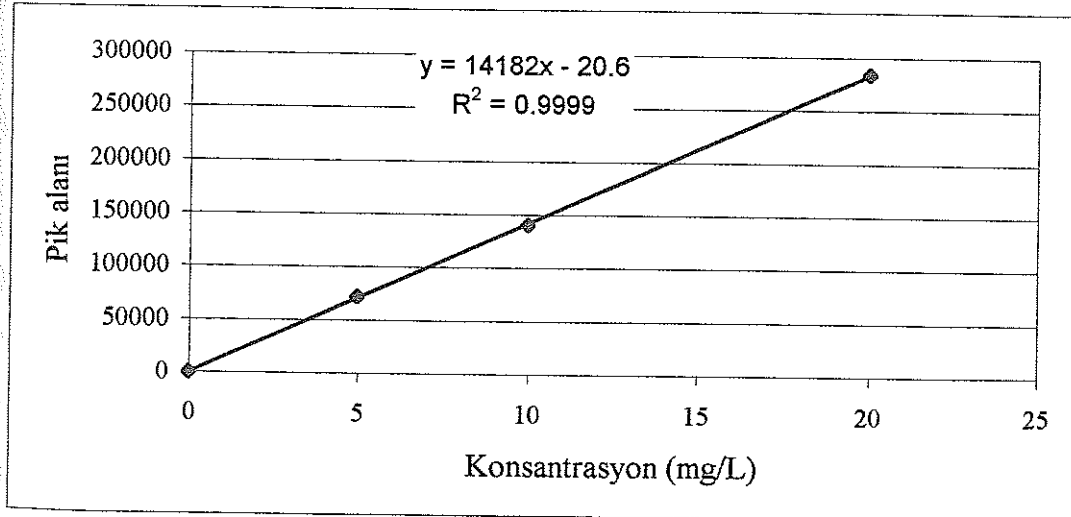
Kolon	: Nucleosil 5 C ₁₈ (250 x 4.6 mm ID)
Guard Kolon	: Nucleosil 5 C ₁₈ (4 x 4.6 mm), her 10 örnek için 1 adet
Analiz sıcaklığı	: 20-22° C
Dedektör	: Florersans dedektör (Ex:280 nm, Em:320 nm)
Hareketli faz	: Asetonytril, Su, %98'lik Asetik Asit (100:100:1)
Hareketli faz akış hızı	: 1.2 ml/dakika
Enjeksiyon miktarı	: 20 µl
Analiz süresi	: 23 dakika

Piklerin tanımlanması: Örneklerin acılık bileşenlerini (capsaisinoidler) tanımlamak için 10 mg standard kapsaisin ve dihidrokapsaisin 100 ml asetonytril de çözülerek membran filtreden (0.45 µm) vialle süzülüş ve analiz edilen örneklerle aynı kromatografi şartlarında HPLC'de analiz edilmiştir. Bu standartlara ait tutulma zamanı ile örnekteki tutulma zamanları karşılaştırılmak sureti ile tanımlama yapılmıştır. Diğer acılık bileşenleri ise daha önce yapılmış araştırmalarda (Attuquayefio ve Buckle 1987, Peusch vd 1997) gösterilen kromatogramlardaki çıkış sırası ve zamanına göre tanımlanmıştır.

Kapsaisinoidlerin miktarının belirlenmesi: Örnekte belirlenen kapsaisin ve dihidrokapsaisin kendi standartlarından (5 mg/L, 10 mg/L, 20 mg/L) hazırlanan “konsantrasyon α pik alanı” doğrularından (Şekil 3.9 ve Şekil 3.10) hesaplanmıştır. Diğer acılık bileşenlerin konsantrasyonları ise dihidroapsaisin kurvesine göre belirlenmiştir.



Şekil 3.9. Kapsaisin standardının “konsantrasyon α pik alanı” doğrusu



Şekil 3.10. Dihidroapsaisin standardının “konsantrasyon α pik alanı” doğrusu

3.2.4.14. Scoville acılık biriminin belirlenmesi

Kırmızı pul biber örneklerinin acılık indeksi Wall ve Bosland (1998) tarafından bildirilen Skoville (1912) yöntemine göre belirlenmiştir.

1±0.001 g örnek 50 ml'lik ölçülü balona tartılmış, balon çizgisine kadar etanol (%95'lik, analitik saflıkta) ile doldurulmuştur. Ağız kapatıldıktan sonra çalkalanan bu çözelti 1 gün karanlık koşullarda bektetilmiştir. Bekletme sırasında balon 6 saatte bir çalkalanmıştır. Elde edilen ekstrakt %5'lik sakaroz çözeltisi ile 100 ml'lik ölçü balonlarına değişik konsantrasyonlarda seyreltilmiştir. Hazırlanan çözeltilerin konsantrasyonu ön denemeler ile belirlenmiştir. Analiz konusunda eğitilmiş 5 adet paneliste acılık bakımından en seyreltik olandan başlamak koşulu ile sırasıyla tattırılmıştır. Tadımlar sabah 9:30-11:00, öğleden sonra 14:30-16:00 saatleri arasında yapılmıştır. Panelistlerin acılığını tanımlayabildiği çözeltinin seyreltme faktörü belirlenmiştir. 5 Panelistten en az 3'ünün hissedebildiği en seyreltik çözeltinin seyreltme faktörü Skovil Acılık İndeksi olarak kabul edilmiştir.

3.2.7. İstatistiksel metot

Araştırmada kullanılan kırmızı pul biber örnekleri farklı yöntemle biber işleyen (güneşte kurutma ve fırında kurutma) iki ayrı işletmeden alınmıştır. Örnekler 5 farklı ışınlama dozu (0, 2.5, 5.0, 7.5, 10 kGy) uygulanmış ve ışınlanan örnekler 10 ay süre ile depolanmıştır. Bu örnekler her iki ayda bir analiz edilmiştir. Çalışma faktöriyel düzende tesadüf parselleri deneme desenine göre (2 x 5 x 6) düzenlenmiştir (Düzgüneş vd 1987).

Araştırmada uygulamalar iki tekerrürlü, analizler de iki paralelli yapılmıştır. Paralel analiz sonuçlarının ortalamaları SAS bilgisayar programında Varyans Analizine tabi tutulmuş, önemli çıkan uygulamalar Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi ile değerlendirilmiştir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Kırmızı Pul Biberin Bazı Kimyasal Özelliklerine Ait Analiz Sonuçları

Güneşte ve fırında kurutularak üretilen kırmızı pul biberlerin yağ, protein, selüloz, toplam kül, asitte çözünmeyen kül ve tuz içeriklerine ait analiz sonuçları Çizelge 4.1' de verilmiştir.

Güneşte ve fırında kurutularak üretilen kırmızı pul biberlerin yağ miktarı sırasıyla %17.42, %15.99 olarak belirlenmiştir. İlk bakışta fark edildiği gibi bu yağ oranları kırmızı pul biberde beklenilmeyecek kadar yüksektir. Biberin normal dokusu bir sebze olarak bu miktarda yağı hiçbir zaman içermez. Kırmızı pul biber örneklerinde belirlenen bu yağ miktarının belli başlı iki kaynağı vardır. Bunlardan biri biber çekirdek yağıdır. Önceki bölümlerde açıklandığı üzere ülkemizde kırmızı pul biber üretiminde bibere %30 dolayında biber çekirdeği ilavesi söz konusudur. Çekirdeklerin normal biber dokusundan daha yüksek miktarda yağ içerdiği açıktır. Nitekim El-Adawy ve Taha (2001) kırmızı biber çekirdeğinin yağ bakımından zengin olduğunu belirtmiştir. Ancak kırmızı pul biber örneklerine belirlenen yağın diğer bir kaynağı ise kırmızı pul bibere dışardan eklenen yağdır. Materyal ve Metot bölümünde gösterilen kırmızı pul biber üretim akış şemasından anlaşılacağı üzere üretimin belli bir aşamasında pul bibere yemeklik sıvı yağ ilavesi yapılmakta ve bu işlem üreticiler tarafından "parlatma" işlemi olarak adlandırılmaktadır. Güneşte ve fırında kurutularak kırmızı pul bibere

Çizelge 4.1. Güneşte ve fırında kurutularak üretilen kırmızı pul biberin bazı kimyasal özellikleri ($X \pm SE$, n=3)

	Kırmızı pul biber (G)	Kırmızı pul biber (F)
Ham Yağ (%)	17.42 \pm 0.022	15.99 \pm 0.096
Ham Protein (%)	10.08 \pm 0.296	10.17 \pm 0.164
Selüloz (%)	18.21 \pm 0.421	21.52 \pm 0.512
Toplam Kül (%)	14.26 \pm 0.105	10.92 \pm 0.061
Asitte Çözünmeyen Kül (%)	0.07 \pm 0.006	0.03 \pm 0.005
Tuz (%)	11.82 \pm 0.140	9.28 \pm 0.261

(G) Güneşte kurutma yöntemi ile üretilen kırmızı pul biber.

(F) Fırında kurutma yöntemi ile üretilen kırmızı pul biber.

işlenen bu örnekler farklı işletmelere ait olduklarından ilave edilen biber çekirdeği oranları aynı olmasına rağmen ilave edilen bitkisel sıvı yağ oranlarındaki farklılık sonuçlar arasında da farklılığa neden olmaktadır.

Güneşte ve fırında kurutularak üretilen kırmızı pul biber örneklerine ait ham protein oranları sırasıyla %10.08 ve% 10.17 olarak tespit edilmiştir. Kırmızı pul biber örneklerinde tespit edilen proteinin temel kaynağı yine üretim sırasında pul bibere eklenen %'30 oranındaki biber çekirdeğidir. Çünkü biber çekirdeğinin protein içeriği bakımından zengin olduğu rapor edilmiştir (El-Adawy ve Taha 2001). Farklı işletmelere ait örneklerin protein içeriğinin yaklaşık aynı olması eklenen biber çekirdeği oranlarının da aynı olmasındandır diye düşünülebilir. Ancak bu kırmızı pul biber hammaddesinin her iki işletmede yaklaşık aynı özelliklere sahip olduğunu da düşündürmektedir. Nitekim örnekleri aldığımız işletmelere gelen hammadde Kahramanmaraş'ta aynı bölgeden sağlanmakta ve bölgedeki koşullar aynı olup farklı çeşitler de pek bulunmamaktadır.

Çizelge 4.1'de görüldüğü gibi güneşte ve fırında kurutulan biberlerden üretilen kırmızı pul biber örneklerine ait selüloz oranları birbirinden önemli oranda farklıdır. Güneşte kurutulan biberlerden elde edilen kırmızı pul biber örneklerinde selüloz miktarının düşüklüğü biberin güneşte kurutulmasının daha uzun süre gerektirmesinden ve buna bağlı olarak işlem sırasında selülaz enziminin selülozu kısmen parçalamasından kaynaklanabilir. Nitekim Priya-Sethu vd (1996) *Capsicum annuum* meyvelerinin hasat sonrası depolama sırasında selülaz enzimini de içeren glukanaz grubu enzimler yoluyla selüloz parçalanması olduğunu bildirmişlerdir.

Çizelge 4.1 her iki kırmızı pul biber örneğine ait toplam kül içeriğinin yine önemli derecede farklı olduğunu göstermektedir. Güneşte kurutulan biberlerden elde edilen örneklerde kül miktarı % 14.26 değeri ile fırında kurutulan biberlerden elde edilen pul biberlerin kül içeriğinden (%10.92) daha yüksektir. Ancak biberlerin kül içeriği değerlendirilirken kırmızı pul bibere tuz ilavesi yapıldığı unutulmamalıdır. Nitekim örneklerin kül miktarı tuz miktarı ile birlikte değerlendirildiğinde külün büyük bir kısmının ilave edilen tuzdan kaynaklandığı açıktır. Bununla birlikte örneklerin kül

miktarlarından tuz miktarları çıkarıldığında güneşte kurutulan biberden elde edilen kırmızı pul biber örneklerinin kül içeriğinin diğer örneklerin kül içeriğinden daha yüksek olduğu görülecektir. Örneklerin kül içeriğindeki bu farklılığın güneşte kurutulan bibere dışarıdan toz toprak vb maddelerin daha çok karışmış olabileceğini düşündürmektedir. Nitekim aynı örneklerin asitte çözünmeyen kül oranları karşılaştırıldığında bu savın doğruluğu anlaşılacaktır. Güneşte kurutulan biberlerden elde edilen kırmızı pul biberin asitte çözünmeyen kül miktarı (%0.07) fırında kurutulan biberden elde edilen pul biberin asitte çözünmeyen kül miktarından (%0.03) yaklaşık iki kat daha fazla olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.1).

Kırmızı pul biber örneklerine ait külü oluşturan mineral madde kompozisyonu Çizelge 4.2'de verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre her iki üründe de toplam külün önemli bir kısmını Na ve K oluşturmaktadır. Bu mineral maddelerden özellikle Na kırmızı pul bibere üretim sırasında tuz ilavesinden kaynaklanmaktadır. K ise zaten biberde en yüksek düzeyde bulunan mineraldir (Akgül 1993). Mineral madde miktarları genel olarak güneşte kurutulan biberlerde daha yüksek bir değere sahip görünmektedir, ancak örneklemeden analiz hassasiyetine kadar tüm faktörler göz önüne alındığında dikkati çekecek derecede bir farklılık bulunduğu ifade edilemez.

Çizelge 4.2. Güneşte ve fırında kurutulmuş üretilen kırmızı pul biberin mineral madde kompozisyonu ($X \pm SE$ mg/kg)

Mineral Madde	Kırmızı pul biber (G)	Kırmızı pul biber (F)
K	16327 \pm 1020	14934 \pm 1006
Ca	1083 \pm 88.4	1001 \pm 43.8
Mg	1471 \pm 21.2	1187 \pm 23.3
Na	43358 \pm 1278	32061 \pm 336
P	2402 \pm 44.5	2292 \pm 39
Fe	179.7 \pm 3.15	53.31 \pm 1.84
Cu	11.98 \pm 0.07	16.09 \pm 0.13
Zn	19.09 \pm 0.53	18.85 \pm 0.66
Mn	10.74 \pm 0.27	8.73 \pm 0.27

(G) Güneşte kurutma yöntemi ile üretilen kırmızı pul biber.

(F) fırında kurutma yöntemi ile üretilen kırmızı pul biber.

İki kurutma yöntemi kullanılarak elde edilen kırmızı pul biber örnekleri arasında mineral madde bakımından en belirgin farklılığı Fe oluşturmaktadır. Güneşte kurutulan biberin Fe içeriği fırında kurutulandan 3.37 kat daha fazladır. Bu farklılığın temel nedeni tam olarak anlaşılacak kadarıyla beraber biberlerin güneşte kurutulmaları sırasındaki bulaşmalardan kaynaklanabileceği düşünülebilir. Güneşte kurutulan biberlerin dış etkilere daha çok maruz kalacağı açıktır. Diğer mineral maddelerin de bu örneklerde daha yüksek olduğu Çizelge 4.2 de görülmektedir. Örneklerin Na içerikleri arasındaki farklığa büyük oranda bibere ilave edilen tuz neden olmaktadır. Diğer mineral içeriklerindeki farklığın ise bulaşma kaynaklı olduğu söylenebilir.

Kırmızı pul biberdeki yağın yağ asidi kompozisyonu analiz edilmiş, sonuçlar Çizelge 4.3'de verilmiştir. Bu sonuçlara göre kırmızı pul biberdeki yağın yağ asidi kompozisyonu miristik asit, palmitik asit, stearik asit, oleik asit ve linoleik asitten oluşmaktadır. Linoleik asit her iki örnekte de en yüksek oranda bulunan yağ asitidir. Güneşte kurutulan biberde tespit edilen linolenik asit ise fırında kurutma yöntemiyle üretilen örneklerde belirlenememiştir. Yağ asidi kompozisyonu bakımından güneşte ve fırında kurutularak üretilen kırmızı pul biberler arasında özellikle palmitik asit ve oleik asit içeriği bakımından farklılıklar olduğu anlaşılmıştır. Kırmızı pul biber üretiminde bibere ilave edilen çekirdeğin örneklerin yağ asidi kompozisyonunda bir farklılık oluşturmayacağı dikkate alınrsa, kırmızı pul biberlerin yağ asidi kompozisyonu arasındaki farklılığın parlatma sırasında eklenen yağdan kaynaklandığı açıktır.

Çizelge 4.3. Güneşte ve fırında kurutularak üretilen kırmızı pul biberin yağ asidi kompozisyonu (%)

	Miristik asit (C _{12:0})	Palmitik asit (C _{16:0})	Stearik asit (C _{18:0})	Oleik asit (C _{18:1})	Linoleik asit (C _{18:2})	Linolenik asit (C _{18:3})
G	1.07 ± 0.06	25.94 ± 0.16	1.53 ± 0.08	16.22 ± 0.21	54.12 ± 0.11	1.13 ± 0.12
F	0.84 ± 0.07	14.45 ± 0.39	2.57 ± 0.16	23.53 ± 0.70	58.59 ± 0.58	t.e.

(G) Güneşte kurutularak üretilen kırmızı pul biber.

(F) Fırında kurutularak üretilen kırmızı pul biber

(t.e.) tespit edilemedi

Nitekim kırmızı pul biber üretiminde bitkisel sıvı yağ kullanılmakta, ancak hangi yağın kullanılacağı konusunda bir hüküm bulunmamakta, kullanılan yağın seçimi tamamen üreticinin tercihinine bağlı olmaktadır.

4.2. Kırmızı Pul Biberin Toplam Aerobik Mezofil Bakteri Sayısı Üzerine Kurutma Yöntemi, Işınlama Dozu ve Depolama Süresinin Etkisi

Kırmızı pul biberin mikrobiyolojik kalitesinde önemli bir kriter olan toplam aerobik mezofil bakteri sayısı (Buckenhüskes 2001), kurutma yöntemi, ışınlama dozu ve depolama süresine bağlı olarak araştırılmış, logaritmik değerlere dönüştürülmüş sonuçlar Çizelge 4.4.' de verilmiştir. Bu sonuçlara göre herhangi bir işlem uygulanmamış kırmızı pul biber örneklerinde 10^6 - 10^7 (güneşte kurutulmuş) ve 10^5 - 10^6 (fırında kurutulmuş) adet toplam aerobik mezofil bakteri belirlenmiştir.

Kurutma yöntemi, ışınlama dozu ve depolama süresinin toplam bakteri sayısı üzerine etkisi ile ilgili varyans analizi sonuçları Çizelge 4.5'de, Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları ise Çizelge 4.6, Çizelge 4.7 ve Çizelge 4.8'de verilmiştir.

Çizelge 4.4. Güneşte ve fırında kurutulmuş üretilen ve farklı dozlarda ışınlanan kırmızı pul biberin depolama ile toplam bakteri sayısı değişimi (Log N)

Kurutma Yöntemi	Işınlama Dozu (kGy)	Işınlama Sonrası	Depolama Süresi (Ay)				
			2	4	6	8	10
Güneşte Kurutma	Şahit	6.96	6.79	6.61	6.72	7.34	7.36
	2.5	5.54	5.56	5.75	5.01	5.30	5.66
	5.0	3.44	3.50	3.68	2.50	3.51	3.19
	7.5	2.62	2.32	1.45	t.e.	1.08	1.08
	10.0	t.e.	t.e.	t.e.	t.e.	t.e.	t.e.
Fırında Kurutma	Şahit	5.36	5.75	4.98	6.47	6.49	6.18
	2.5	3.30	4.20	4.23	4.47	4.60	4.29
	5.0	2.39	1.30	1.05	2.16	2.22	1.10
	7.5	t.e.	t.e.	t.e.	t.e.	t.e.	t.e.
	10.0	t.e.	t.e.	t.e.	t.e.	t.e.	t.e.

(t.e.) tespit edilemedi

Örneklerin toplam bakteri sayısı üzerine kurutma yöntemi ve ışınlama dozunun etkisi önemli ($P<0.01$) bulunurken, depolama süresinin bakteri sayısı üzerine önemli bir etkisi olmamıştır. Ayrıca kurutma yöntemi x ışınlama dozu ve kurutma yöntemi x depolama süresi interaksiyonlarının da toplam bakteri sayısı üzerine etkisi önemli ($P<0.01$) bulunmuştur (Çizelge 4.5). Güneşte kurutulan örneklerde tam bir steriliteye ulaşabilmek için 10 kGy ışınlama dozu gerekirken, fırında kurutma yöntemiyle üretilen kırmızı pul biberde 7.5 kGy ışınlama dozunun yeterli olduğu görülmüştür. Ancak depolama süresindeki toplam bakteri artışının fırında kurutma yöntemiyle üretilen kırmızı pul biberde daha yüksek olduğu saptanmıştır (Bkz. Çizelge 4.4).

Toplam aerobik mezofil bakteri sayısı bakımından güneşte ve fırında kurutma yöntemleri arasında önemli ($P<0.01$) farklılık görülmüştür. Güneşte kurutulmuş üretilen kırmızı pul biberin toplam aerobik mezofil bakteri sayısının fırında kurutma yöntemi ile üretilene göre 1.1 logaritmik birim daha fazla olduğu saptanmıştır. Toplam aerobik mezofil bakteri sayısının güneşte kurutma yöntemiyle üretilen örneklerde daha fazla bulunmasının kurutma işleminin yapıldığı koşullardan (toz, toprak, böcek v.b).

Çizelge 4.5. Kırmızı pul biberin toplam bakteri sayısına ait varyans analizi sonuçları

Varyasyon Kaynakları	SD	KO	F
Kurutma Yöntemi (K)	1	34.9704	109.57 **
Işınlama Dozu (I)	4	176.4560	552.89 **
Depolama Süresi (D)	5	0.2864	0.90
K x I	4	2.3935	7.50 **
K x D	5	1.2285	3.85 **
I x D	20	0.4736	1.48
K x I x D	20	0.2625	0.82
Hata	60		

(**) $P<0.01$ seviyesinde farklılık ifade eder.

Çizelge 4.6. Güneşte ve fırında kurutulmuş üretilen kırmızı pul biberin toplam bakteri sayısına (log N) ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları.

Kurutma Yöntemi	Log N ± SE
Güneşte Kurutma	3.431 ± 0.341 ^a
Fırında Kurutma	2.352 ± 0.312 ^b

Değişik harfler ortalamaların $P<0.05$ seviyesinde farklı olduğunu gösterir.

Çizelge 4.7. Farklı dozlarda ışınlanan kırmızı pul biberin toplam aerobik mezofil bakteri sayısına (log N) ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları.

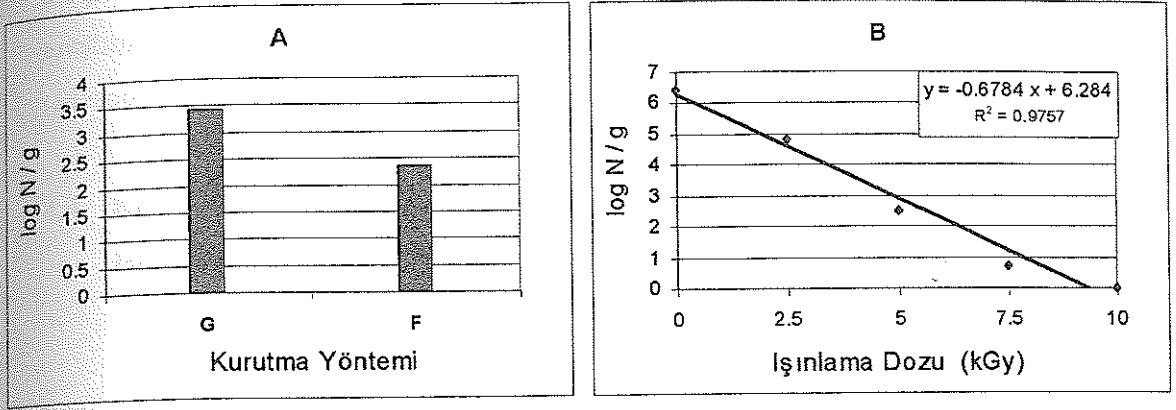
Işınlama Dozu (kGy)	Log N ± SE
Şahit	6.415 ± 0.742 ^a
2.5	4.825 ± 0.156 ^b
5.0	2.503 ± 0.231 ^c
7.5	0.713 ± 0.235 ^d
10.0	t.e. ^e

Değişik harfler ortalamaların $P < 0.05$ seviyesinde farklı olduğunu gösterir. (t.e.) tespit edilemedi

kaynaklanabilir. Nitekim geleneksel yöntemlerle üretilen kırmızı pul biberlerin toplam bakteri sayısının çok yüksek olduğu pek çok araştırmacı tarafından bildirilmiştir (Mutluer vd 1986, Kurtcan ve Altuğ 1993, Özbey 1997).

Farklı dozlarda ışınlanan kırmızı pul biberlerin toplam aerobik mezofil bakteri sayıları arasında önemli düzeyde farklılık ($P < 0.01$) olduğu belirlenmiştir (Bkz. Çizelge 4.5). Işınlanmamış şahit örneklerde ortalama aerobik mezofil toplam bakteri sayısı 6.415 logaritmik birim olarak belirlenirken, 10 kGy ışınlama dozunda her iki kurutma yöntemiyle üretilen örnekler steril hale gelmiştir. Çizelge 4.7 incelendiğinde ışınlama dozunun artışına paralel olarak toplam bakteri sayısında düzenli bir düşüşün olduğu görülmektedir. Toplam aerobik mezofil bakteri sayısının ışınlama dozu ile olan direk korelasyonu Şekil 4 b'de de görülmektedir. Kırmızı pul biberin oda sıcaklığında ışınlanması durumunda toplam aerobik mezofil bakterilere ait D_{10} değeri 0.678 olarak belirlenmiştir (Şekil 4.1 a). Kırmızı biberin ışınlanması ile ilgili yapılan pek çok çalışmada 10 kGy ışınlama dozunun ürünün sterilizasyonu için yeterli olduğu bildirilmiştir (Sharma vd 1984, Onyenekwe ve Ogbadu 1995, Özbey 1997, Nieto-Sandoval vd 2000, Legnani vd 2001).

Araştırmada depolama süresince kırmızı pul biberin toplam bakteri sayısında önemli ($P < 0.01$) bir değişme olmadığı saptanmıştır. Nitekim yapılan varyans analizi sonuçları da bu yöndedir (Bkz. Çizelge 4.5). Depolama sırasında toplam aerobik mezofil bakteri sayısında önemli bir artışın olmamasının asıl nedeni ürünün kendi özelliğinden kaynaklanmaktadır. Genel olarak diğer baharatlarda olduğu gibi kırmızı



Şekil 4.1. Kırmızı pul biberin toplam aerobik mezofil bakteri sayısının (log N) kurutma yöntemi ve ışınlama dozuna göre değişimi

pul biberde de su aktivitesinin düşük olması, depolama sırasında bakteri çoğalmasımı engelleyen en önemli faktördür. (Frazier ve Westhoff 1988).

4.3. Kırmızı Pul Biberin Maya ve Küf Sayısı Üzerine Kurutma Yöntemi, Işınlama Dozu ve Depolama Süresinin Etkisi

Güneşte ve fırında kurutulmuş üretilen ve farklı dozlarda ışınlanan kırmızı pul biberlerin depolama süresine bağlı olarak maya ve küf sayıları analiz edilmiştir. Analiz sonuçlarına göre sadece güneşte kurutma yöntemiyle üretilen ve ışınlanmayan örnekte ilk depolama aşamasında küf ve maya tespit edilmiştir (4×10^2). Fırında kurutulmuş elde edilen kırmızı pul biber örneklerinde küf ve maya tespit edilememiştir. Bunun nedeni taze olarak hasat edilen kırmızı biberin kısa sürede işletmeye getirilmesi ve işletmeye gelen biberin derhal klorlu su ile yıkayıp, hızlı bir şekilde kurutulması sonucu küf gelişimine fırsat tanınmaması olabilir. Güneşte kurutmada ise taze biberler hasat edildikten sonra sergen yerlerinde kontaminasyona açık şartlarda en az 5 gün sürede kurutulmaktadır. Bu sürede küf ve maya taze biberde kolaylıkla gelişip çoğalabilmektedir (Ermiş 1999).

Depolama süresine bağlı olarak güneşte kurutma yöntemiyle üretilen kırmızı pul biberde belirlenen maya ve küf, depolama süresince yapılan diğer analizlerde tespit edilememiştir. Bu durumun polietilen torbalarda depolanan biberin bazı fungutoksik

bileşenlerinin etkisinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Konu ile ilgili yapılan bir araştırmada, kapsantin ve kapsaisinin fungutoksik etki gösterdiği bildirilmektedir (Masood vd 1994).

4.4. Kırmızı Pul Biberde Bulunan Aflatoksinler Üzerine Kurutma Yöntemi, Işınlama Dozu ve Depolama Süresinin Etkisi

Yapılan analiz sonuçlarına göre kırmızı pul biber örneklerinin hiçbirinde herhangi bir aflatoksin belirlenmemiştir. Güneşte ve fırında kurutularak üretilen ve ışınlanmayan örneklerde iz miktarda (0.1-0.3 ppb) aflatoksin B₂ ile aynı alkonma zamanına sahip pike rastlanmıştır, ancak bu değer analiz hassasiyetinin altında olması nedeniyle ihmal edilmiştir.

Kırmızı pul biberlerde oldukça yüksek düzeylerde belirlenen aflatoksinlere araştırma örneklerinde rastlanmayışının nedeni fırında kurutma sırasında küf gelişiminin olmayışından ve güneşte kurutulan örneklerde de çok iyi bir ayıklama yapılmış olmasından kaynaklanabilir. Çünkü bölgeden ihraç edilen pul biberlerde aflatoksin varlığı son yıllarda ciddi pazarlama sorunları doğurmaya başlamıştır. Bu bakımdan üreticiler biberlerde ayıklama işlemine titizlik göstermeye başlamışlardır. Nitekim maya ve küf analiz sonuçları da bu bulgularla paralellik göstermiştir.

4.5. Kırmızı Pul Biberin Nem Miktarı Üzerine Kurutma Yöntemi, Işınlama Dozu ve Depolama Süresinin Etkisi

Güneşte ve fırında kurutularak üretilen kırmızı pul biberlerin ışınlama dozuna ve depolama süresine bağlı olarak analiz edilen ortalama nem miktarı sonuçları Çizelge 4.8' de verilmiştir.

Sonuçlar ışınlama dozuna ve depolama süresine bağlı olarak güneşte kurutularak üretilen kırmızı pul biberin nem içeriğinin %14.78-16.75, fırında kurutularak üretilen kırmızı pul biberin nem içeriğinin ise %12.69-13.87 arasında değiştiğini göstermiştir.

Çizelge 4.8. Güneşte ve fırında kurutularak üretilen ve farklı dozlarda ışınlanan kırmızı pul biberin depolama süresince nem değişimi (%)

Kurutma Yöntemi	Işınlama Dozu (kGy)	Işınlama Sonrası	Depolama Süresi (Ay)				
			2	4	6	8	10
Güneşte Kurutma	Şahit	15.75	16.51	16.04	15.28	15.24	15.84
	2.5	16.10	16.75	15.98	15.46	15.08	15.69
	5.0	16.07	16.60	16.12	15.41	15.19	14.78
	7.5	16.17	16.41	15.65	15.47	15.10	15.83
	10.0	16.12	15.60	15.59	15.00	14.98	15.44
Fırında Kurutma	Şahit	13.73	13.77	13.87	13.24	13.26	13.71
	2.5	13.53	13.59	13.65	13.15	12.99	13.51
	5.0	13.46	13.56	13.66	12.99	13.11	13.69
	7.5	13.60	13.54	13.49	12.69	13.36	13.07
	10.0	13.55	13.48	13.42	12.93	12.96	13.38

Örneklerin nem içeriğine ait varyans analizi sonuçları Çizelge 4.9'da, Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları da Çizelge 4.10, Çizelge 4.11 ve Çizelge 4.12'de verilmiştir. Bu sonuçlara göre kırmızı pul biberlerin nem içeriği kurutma yöntemine, ışınlama dozuna ve depolama süresine bağlı olarak önemli ($P < 0.01$) düzeyde farklılık göstermiştir. Ayrıca örneklerin nem içeriği üzerine kurutma yöntemi x depolama süresi etkileşimini de önemli bulunmuştur (Çizelge 4.9). Güneşte kurutma yöntemiyle üretilen kırmızı pul biberin nem içeriği depolamaya bağlı olarak belirgin bir şekilde düşerken, fırında kurutma yöntemiyle üretilen örneklerde benzer bir değişim görülmemektedir. Bu farklılığın kırmızı pul biberin üretimi sırasında güneşte kurutularak üretilen kırmızı pul biberin nemlendirmesi için ilave edilen su miktarının fazla olmasından kaynaklandığı sanılmaktadır. Ancak güneşte kurutma işlemi sonucunda kırmızı biberin nem içeriğinin yüksek kalmış olabileme ihtimali de vardır. Nem oranı yüksek olan örneklerde suya bağlı kimyasal reaksiyonların hızlanması sonucu serbest suyun kullanılmış olabileceği de düşünülmektedir.

Güneşte kurutma yöntemiyle işlenen kırmızı pul biberlerin ortalama nem içeriği fırında kurutma yöntemi ile üretilen örneklere göre önemli ($P < 0.05$) düzeyde yüksek bulunmuştur (Çizelge 4.10). Bu farklılık kurutma yöntemlerinin farklılığından ve

Çizelge 4.9. Kırmızı pul biberin nem değerlerine ait varyans analizi sonuçları

Varyasyon Kaynakları	SD	KO	F
Kurutma Yöntemi (K)	1	160.1523	2032.54 **
Işınlama Dozu (I)	4	0.3365	4.27 **
Depolama Süresi (D)	5	2.5016	31.75 **
K x I	4	0.1261	1.60
K x D	5	0.4282	5.39 **
I x D	20	0.0810	1.03
K x I x D	20	0.1189	1.51
Hata	60	0.0788	

(**) P<0.01 seviyesinde farklılık ifade eder.

Çizelge 4.10. Güneşte ve fırında kurutulmuş üretilen kırmızı pul biberlerin ortalama nem değerlerine (%) ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları

Kurutma Yöntemi	X ± SE
Güneşte Kurutma	15.71 ± 0.072 ^a
Fırında Kurutma	13.40 ± 0.044 ^b

Değişik harfler ortalamaların P<0.05 seviyesinde farklı olduğunu gösterir.

Çizelge 4.11. Farklı dozlarda ışınlanan kırmızı pul biberin ortalama nem değerine (%) ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları

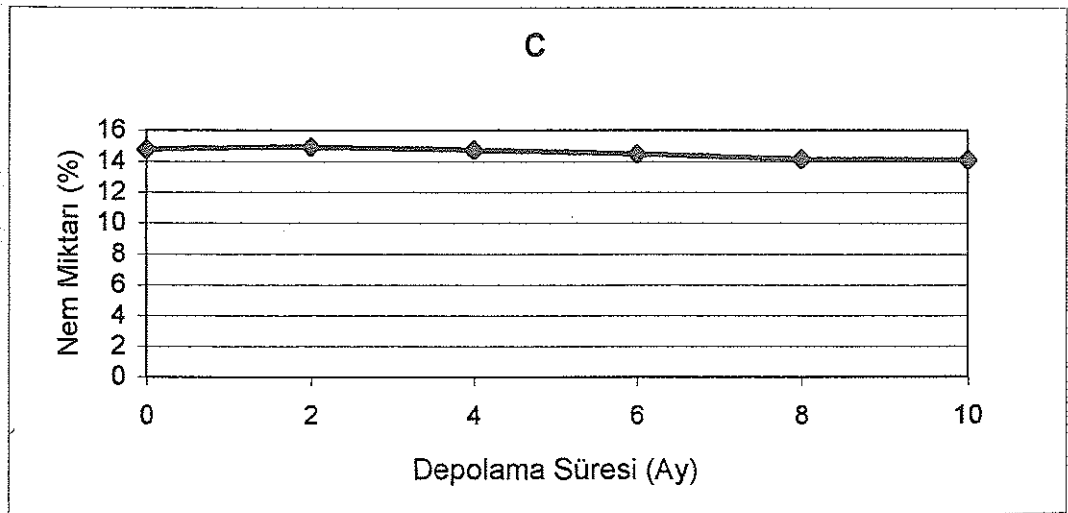
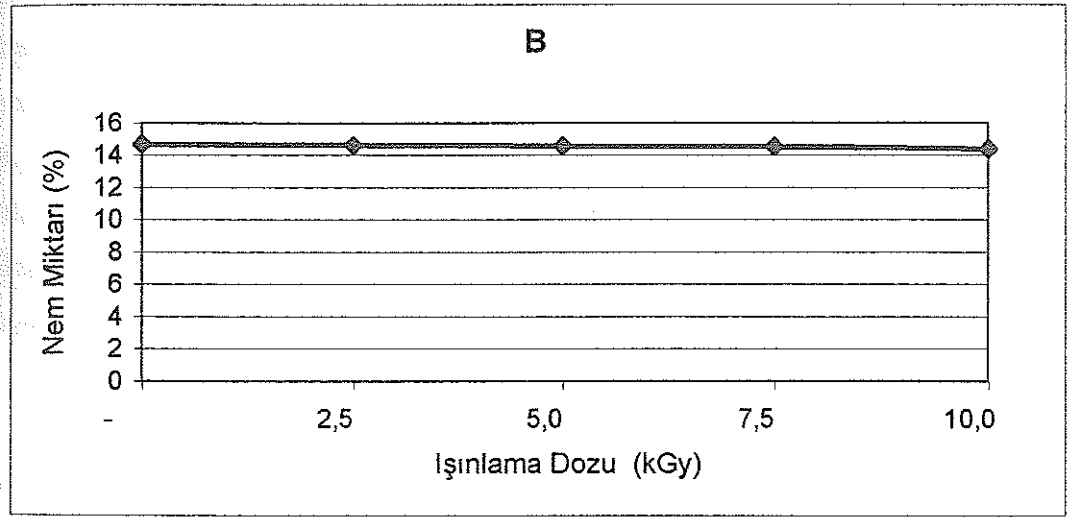
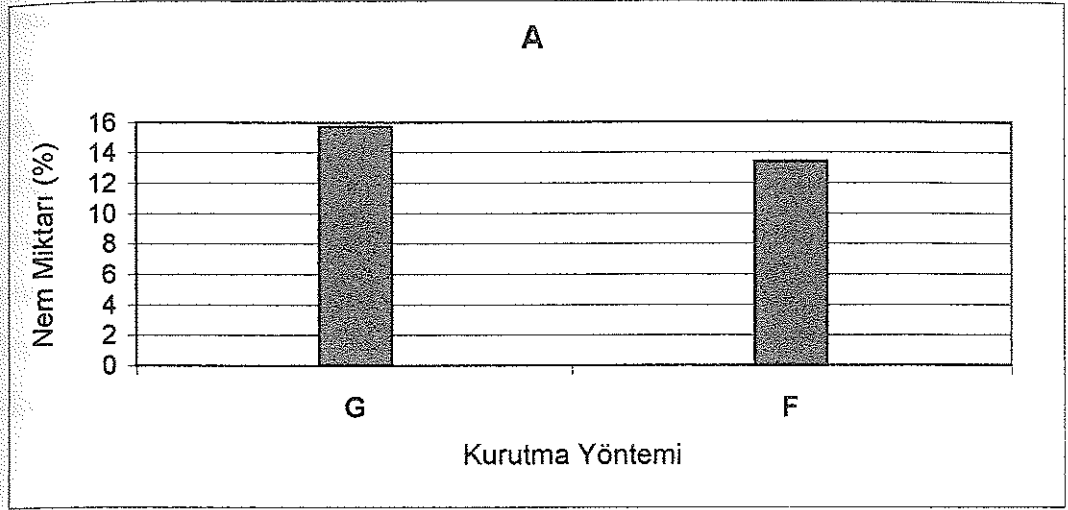
Işınlama Dozu (kGy)	X ± SE
Şahit	14.69 ± 0.241 ^a
2.5	14.62 ± 0.270 ^a
5.0	14.56 ± 0.263 ^a
7.5	14.53 ± 0.274 ^{a,b}
10.0	14.37 ± 0.241 ^b

Değişik harfler ortalamaların P<0.05 seviyesinde farklı olduğunu gösterir.

Çizelge 4.12. Farklı depolama süresinde kırmızı pul biberin ortalama nem değerine (%) ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları

Depolama Süresi	X ± SE
Işınlama Sonrası	14.81 ± 0.287 ^{a,b}
2. Ay	15.98 ± 0.328 ^a
4. Ay	14.75 ± 0.264 ^b
6. Ay	14.16 ± 0.273 ^d
8. Ay	14.13 ± 0.237 ^d
10. Ay	14.50 ± 0.253 ^c

Değişik harfler ortalamaların P<0.05 seviyesinde farklı olduğunu gösterir.



Şekil 4.2. Kırmızı pul biberin nem içeriğinin kurutma yöntemi, ışınlama dozu ve depolama süresine göre değişimi

sonradan yapılan nemlendirme işleminin aynı düzeyde yapılmadığından kaynaklanmaktadır. Güneşte ve fırında kurutma sonrası öğütme işlemine tabi tutulan kuru biberin nem içeriği genellikle % 10 civarında olmaktadır. Ancak bu biberler öğütme işlemini takiben nemlendirilmektedir. Dolayısıyla kırmızı pul biberin nem içeriği kurutma işleminden bağımsız olarak düşünülebilir. Ancak bazı hallerde güneşte kurutmada biberin nemi istenen düzeylere uzun sürede indiği için, tam bir kurutma olmadan, daha az bir nemlendirme ile kuru biber kırmızı pul bibere işlenebilmektedir. Fırında kurutma yönteminde ise ürünün nem içeriğinin istenen değere getirilebilmesi her zaman mümkün olabilmektedir.

Işınlanmamış şahit örneklerin nem miktarı ile 7.5 kGy doza kadar ışınlanan örneklerin nem miktarı arasında istatistiksel bir farklılık görülmezken, 10 kGy dozda ışınlanan örneklerin nem miktarının 0, 2.5 ve 5 kGy dozda ışınlanan örneklerin nem miktarından önemli ($P<0.05$) düzeyde düşük olduğu saptanmıştır (Bkz. Çizelge 4.11). Yüksek dozlarda meydana gelen bu nem düşüşünün, suyun hidrolizinden veya organik bileşenlerin hidrolizi sırasında meydana gelen su katılma reaksiyonlarından kaynaklandığı düşünülebilir.

Depolanan örneklerin nem miktarında depolamanın ilk dört ayında önemli bir değişiklik görülmezken, depolamanın 4. ayından itibaren önemli ($P<0.05$) düzeyde düşmüş, 8. ayda en düşük seviyeye ulaşmıştır. Depolamanın son iki ayında ise (10. ay) kırmızı pul biberin nem içeriği tekrar yükselmiştir. Bu yükselme istatistiksel olarak önemli ($P<0.05$) bulunmuştur (Bkz. Çizelge 4.12). Bu artış Antalya'da oda koşullarında düşük olan nispi rutubetin yaz aylarında yükselmesinin ve buna bağlı olarak örneklerin nem içeriğinin son depolama aşamasında artmasına neden olabilir. Çünkü araştırmada analiz edilen örnekler Ekim ayında depoya alınmış ve bu depolama işlemi Ağustos ayına kadar 10 aylık bir süre devam etmiştir. Burada kırmızı pul biberlerin ambalajlanmasında kullanılan yüksek yoğunluklu polietilenin (HDPE) nem geçirgenliği de dikkate alınmıştır. Nitekim Üçüncü (2000) 23° C sıcaklıkta % 85 nisbi rutubetli bir ortamda HDPE ambalajın 0.4 g/m² gün nem geçirgenliği olduğunu bildirmektedir.

Kırmızı pul biberde depolama süresine bağlı olarak belirlenen nem değişimi ışınlama dozundan kaynaklanan nem değişiminden daha yüksek olmuştur. (Bkz. Şekil 4.2 b ve Şekil 4.2 c).

4.6. Kırmızı Pul Biberin Ekstrakte Olabilen Renk Değeri (ASTA) Üzerine Kurutma Yöntemi, Işınlama Dozu ve Depolama Süresinin Etkisi

Kırmızı pul biber gıdalara doğal renklendirici özelliğinden dolayı katılır. Elbetteki kırmızı pul biberin lezzet zenginleştirici özelliği de vardır. Ancak çoğu zaman kırmızı pul biberin gıdaya eklenmesinde renk vericiliği daha da öne çıkmaktadır. Bu bakımdan ulusal ve uluslararası ticarete bu ürünün renk özelliği en önemli kalite kriteri olarak görülmektedir. Bu nedenle araştırmada kırmızı pul bibere uygulanan işlemlerin ASTA (American Spice Trade Association) renk değeri üzerine etkileri araştırılmıştır.

Güneşte ve fırında kurutularak üretilen kırmızı pul biberin ışınlama dozu ve depolama süresine bağlı olarak ASTA renk değerleri Çizelge 4.13' de verilmiştir.

Çizelge 4.13 Güneşte ve fırında kurutularak üretilen ve farklı dozlarda ışınlanan kırmızı pul biberin depolama süresince ASTA renk değeri değişimi

Kurutma Yöntemi	Işınlama Dozu (kGy)	Işınlama Sonrası	Depolama Süresi (Ay)				
			2	4	6	8	10
Güneşte Kurutma	Şahit	48.05	46.42	46.65	44.00	42.17	40.77
	2.5	48.22	45.55	45.12	41.92	40.68	39.88
	5.0	47.11	42.81	43.46	39.28	39.51	37.26
	7.5	47.85	43.46	42.50	38.66	36.94	35.00
	10.0	45.35	41.72	40.99	38.17	36.39	34.80
Fırında Kurutma	Şahit	38.79	37.55	35.51	34.67	32.37	32.44
	2.5	37.52	36.37	34.28	33.79	31.90	30.67
	5.0	36.61	36.45	34.23	31.39	31.14	30.93
	7.5	36.98	35.92	33.85	30.44	30.85	29.10
	10.0	35.92	34.56	33.76	33.54	30.21	29.97

ASTA renk değeri güneşte kurutularak elde edilen kırmızı pul biberlerde 34.80-48.22 arasında, fırında kurutma ile elde edilen kırmızı pul biberlerde ise 29.10-38.79 arasında değişmiştir (Çizelge 4.13). Bu değerler literatür değerleri ile kıyaslandığı zaman, düşük düzeyde kalmaktadır. Kırmızı pul ve toz biberlerin ASTA renk değerleri ile ilgili pek çok çalışmada bu değerlerin 70 ile 250 arasında değiştiği rapor edilmiştir (Osuna-Garcia vd 1997, Klieber ve Bagnato 1999, Nietro-Sandoval vd 2000, Ramesh vd 2001). Bu çalışmada elde edilen ASTA renk değeri sonuçlarının diğer araştırmacıların bulgularına nazaran çok daha düşük olmasının en önemli nedeni meyvenin çeşiti ve olgunluk durumudur. Çeşit ve olgunluk özelliği dışında ürünün işlenmesi sırasında uygulanan farklı işlemlerin de bu değer üzerinde önemli etkisi olabileceği düşünülmektedir. Maraş biberinin bu özelliği üzerine başka bir çalışmaya rastlanılmadığı için bu çalışmada elde edilen sonuçların karşılaştırılma imkanı bulunamamıştır. Ancak Yemiş (2001) Maraş Biberinde kırmızı ve toplam renk miktarını spektrofotometrik olarak ölçmüştür. Bizim çalışmamızda ölçülen ASTA renk değerleri ile adı geçen araştırma sonuçları farklı metot ve kriterler uygulanarak belirlendiği için yine sonuçları karşılaştırılma imkanı olmamıştır. Belki bir konu üzerinde değişik araştırmalar yapılarak iki metot arasında korelasyonu belirlemek mümkün olabilecektir.

Örneklerin ASTA renk değerine ait varyans analizi sonuçları Çizelge 4.14' te, verilmiştir. Bu sonuçlara göre kırmızı pul biber örneklerinin ASTA renk değerini

Çizelge 4.14 Kırmızı pul biberin ASTA renk değerlerine ait varyans analizi sonuçları

Varyasyon Kaynakları	SD	KO	F
Kurutma Yöntemi (K)	1	2066.7830	1323.87 **
Işınlama Dozu (I)	4	54.2266	34.73 **
Depolama Süresi (D)	5	193.4972	123.94 **
K x I	4	8.8616	5.68 **
K x D	5	7.4608	4.78 **
I x D	20	1.6013	1.03
K x I x D	20	0.9621	0.62
Hata	60	1.5612	

(**) P<0.01 seviyesinde farklılık ifade eder.

kurutma yöntemi, ışınlama dozu ve depolama süresi önemli ($P<0.01$) düzeyde etkilemiştir. Ayrıca örneklerin ASTA renk değeri üzerine kurutma yöntemi x ışınlama dozu ve kurutma yöntemi x depolama süresi interaksiyonlarının da önemli ($P<0.01$) düzeyde etkili olduğu tespit edilmiştir (Bkz. Çizelge 4.14).

Yukarıda önemli bulunan interaksiyonlar, fırında kurutularak üretilen kırmızı pul biberlerin ASTA renk değerinin, gerek ışınlama dozu gerekse depolama süresine bağlı olarak, güneşte kurutularak üretilen kırmızı pul biberin ASTA renk değerine kıyasla daha düşük olduğunu ifade etmektedir. Buradaki renk farklılığının, güneşte kurutulan biberlerin nem içeriğinin daha yüksek olması ve gamma radyasyonu sırasında oluşan hidroksi radikallerin karotenoidler üzerindeki oksidatif etkisinden kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Buna ek olarak, fırında yapılan kurutmada ($\cong 50^{\circ}\text{C}$) oksidasyona daha duyarlı olan sarı renkli pigmentlerin (ksantofiller ve karotenler) büyük ölçüde oksidasyonunu tamamlamış, oksidasyona karşı daha stabil olan kırmızı renkli pigmentlerin ise, oksidatif reaksiyonlarının daha yavaş devam etmesinin bu farklılığa neden olabileceği düşünülmektedir.

Güneşte kurutma yöntemi ile üretilen kırmızı pul biberlerin ASTA renk değeri, fırında kurutma yöntemi ile üretilen kırmızı pul biberin ASTA renk değerinden önemli ($P<0.05$) düzeyde yüksek bulunmuştur (Bkz. Çizelge 4.15).

Kırmızı pul biber örneklerinin ASTA renk değerine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları Çizelge 4.15, Çizelge 4.16 ve Çizelge 4.17' de verilmiştir.

Kırmızı pul biberin ASTA renk değeri toplam karotenoid miktarının dolaylı bir göstergesi olarak ifade edilmektedir (Minguéz-Mosquera ve Perez-Galvez 1998 b). Karotenoidler oksijen, ışık, ısı, metal iyonları gibi faktörlerin etkisiyle bozulmaktadır (Fennema 1985). Güneşte kurutmada ışık, ısı ve oksijene maruz kalma; fırında kurutmada ise sıcak hava sirkülasyonu ile yine ısı ve oksijene maruz kalma nedeniyle biber karotenoidlerinin bozulduğu, bu faktörlere bağlı olarak renkte açılmalar olduğu, dolayısıyla da ASTA renk değerlerinin düştüğü görülmektedir. Ancak güneşte kurutularak üretilen kırmızı pul biberin ASTA renk değerinin fırında kurutularak

Çizelge 4.15 Güneşte ve fırında kurutularak üretilen kırmızı pul biberin ASTA renk değeri ortalamalarına ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları

Kurutma Yöntemi	X ± SE
Güneşte Kurutma	42.02 ± 0.524 ^a
Fırında Kurutma	33.72 ± 0.348 ^b

Değişik harfler ortalamaların P<0.05 seviyesinde farklı olduğunu gösterir.

Çizelge 4.16 Farklı dozlarda ışınlanan kırmızı pul biberin ASTA renk değeri ortalamalarına ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları

Işınlama Dozu (kGy)	X ± SE
Şahit	39.95 ± 1.142 ^a
2.5	38.82 ± 1.143 ^b
5.0	37.51 ± 1.058 ^c
7.5	36.79 ± 1.141 ^{cd}
10.0	36.28 ± 0.927 ^d

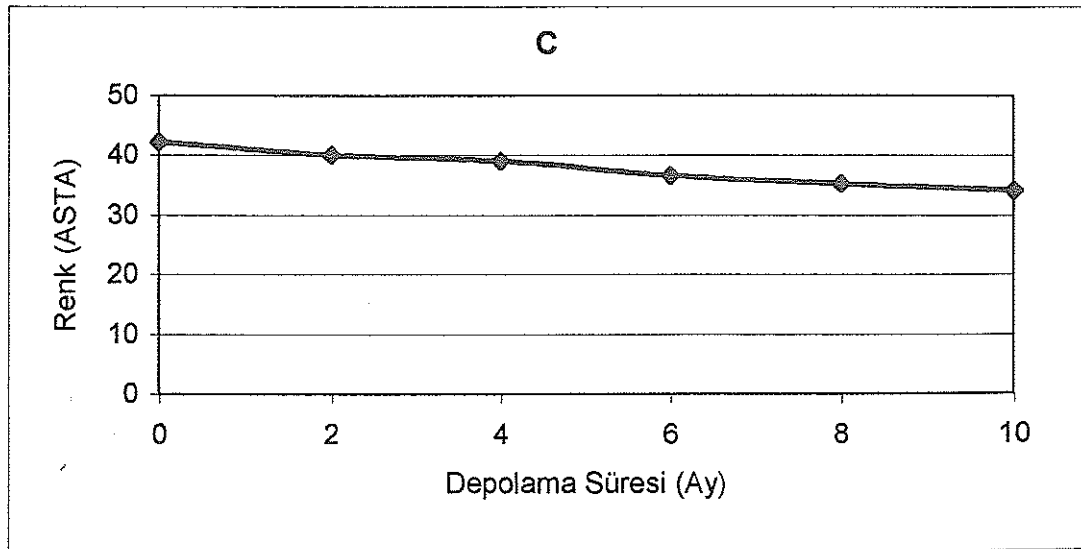
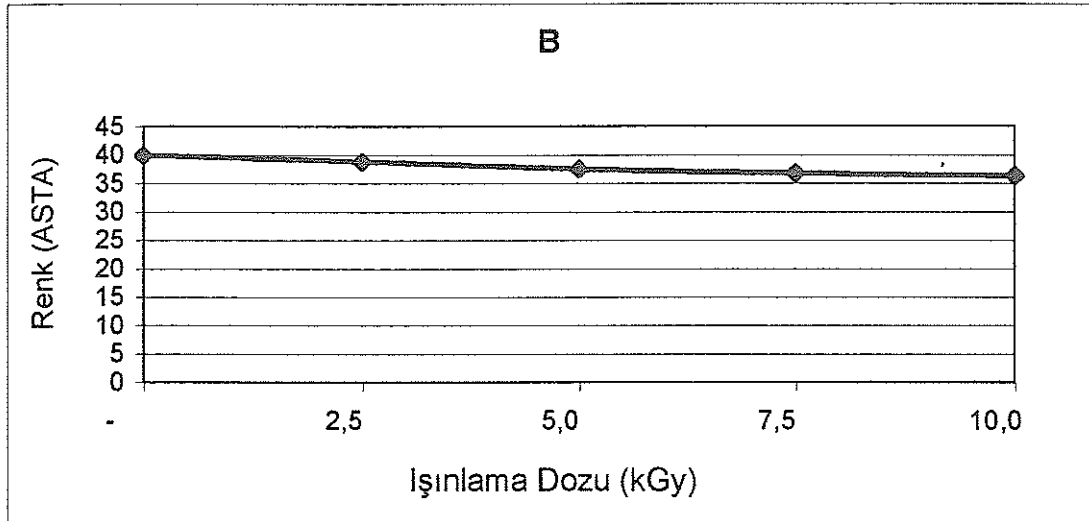
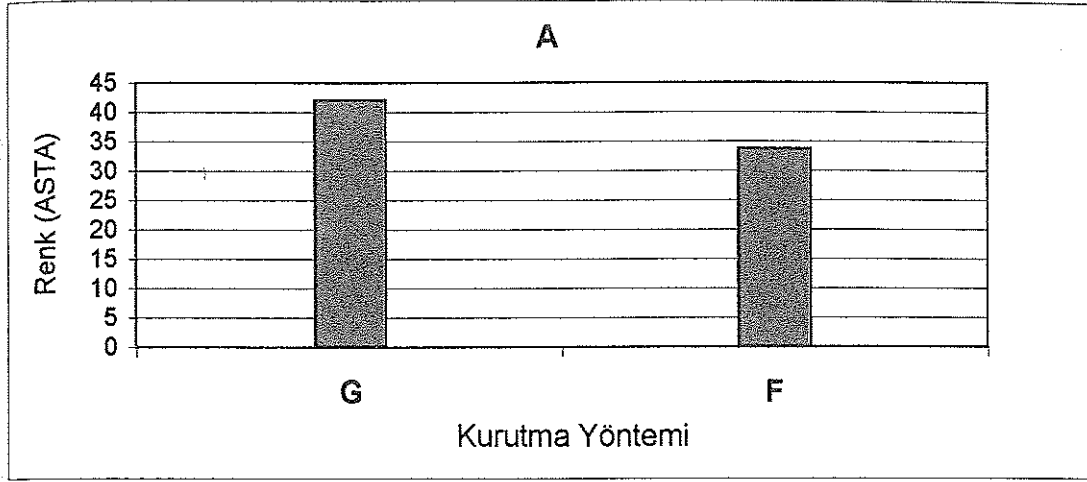
Değişik harfler ortalamaların P<0.05 seviyesinde farklı olduğunu gösterir.

Çizelge 4.17 Farklı depolama süresinde kırmızı pul biberin ASTA renk değeri ortalamalarına ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları

Depolama Süresi	X ± SE
Işınlama Sonrası	42.24 ± 1.201 ^a
2. Ay	40.08 ± 0.965 ^b
4. Ay	39.03 ± 1.139 ^c
6. Ay	36.58 ± 1.003 ^d
8. Ay	35.21 ± 1.032 ^e
10. Ay	34.08 ± 0.917 ^f

Değişik harfler ortalamaların P<0.05 seviyesinde farklı olduğunu gösterir.

üretilen örneklerin ASTA renk değerinden daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Bunun nedeni uzun süre devam eden güneşte kurutma sırasında karotenoid sentezinin devam etmesi olabilir. Biberin kurumadde içeriği % 40'a gelinceye kadar karotenoid sentezini gerçekleştiren enzimlerin katalitik etkisi devam etmektedir (Minguez-Mosquera vd 1994 a). Biberin kuru maddesinin % 40'a ulaşması için gereken süre fırında kurutma yönteminde kısa iken, güneşte kurutma yönteminde bu süre çok daha uzundur. Bu nedenle güneşte kurutmada karotenoid biyosentezi fırında kurutma yöntemine kıyasla



Şekil 4.3. Kırmızı pul biberin ekstrakte olabilen renk (ASTA) değerinin kurutma yöntemi, ışınlama dozu ve depolama süresine göre değişimi

daha uzun bir süre daha devam etmektedir. Bu da güneşte kurutulan biberlerde daha fazla karotenoid sentezlenmesi olduğu anlamına gelir. Ayrıca fırında kurutma yönteminde biberin dilimlenmesi sonucu karotenoid oksidasyonunun hızlanmış olabileceği, bunun da renk şiddetini azaltabileceği göz ardı edilmemelidir.

ASTA renk değeri ışınlama dozu artışıyla önemli ($P<0.01$) düzeyde düşmektedir (Bkz. Çizelge 4.15). Işınlanmamış örneklerde ortalama 37.95 olan renk değeri 10 kGy dozda 36.28'e düşmüştür. Ancak 7.5 kGy doz ile 10 kGy doz arasında ve 5 kGy doz ile 7.5 kGy doz arasında, ekstrakte olabilen renk değeri bakımından önemli bir farklılık görülmemiştir (Bkz. Çizelge 4.16). Bu durum renk yoğunluğundaki düşüşün belli bir dozdan sonra yavaşladığını göstermektedir (Şekil 4.3 b). Işınlama dozunun artmasıyla meydana gelen renk azalmasının, ışınlamanın oksitleyici etkisi sonucu karotenoidlerdeki konjuge çift bağların doymasından kaynaklanabilir. Nitekim Perez-Galvez ve Minguez-Mosquera (2001) karotenoidlerin konjuge çift bağlarının doymasıyla rengin açıldığını bildirmektedirler. Bu oksitleyici etki ışınlama sırasında ambalaj içinde oluşan ozon ve diğer serbest radikallerin etkisi ile ortaya çıkabilir. Ayrıca gamma ışınının iyonizasyon etkisi sonucu, karotenoidlerin yapılarının bozulması da söz konusudur.

Kırmızı pul biber örneklerinin ASTA renk değerleri depolama süresine bağlı olarak önemli ($P<0.05$) düzeyde düşmüştür (Bkz. Çizelge 4.17). Depolama başlangıcında 42.24 olan ortalama ASTA renk değeri, 10 aylık depolama süresi sonunda 34.08'e düşmüştür. Depolama süresine bağlı olarak meydana gelen bu renk azalmasının ışınlamanın neden olduğu azalmadan daha fazla olduğu görülmektedir (Bkz. Şekil 4.3 b ve Şekil 4.3 c). Depolama süresine bağlı olarak meydana gelen renk azalmasına da yine karotenoid oksidasyonunun neden olduğu düşünülmektedir. Bazı araştırmacıların (Perez-Galvez ve Minguez-Mosquera 2001) bildirdiğine göre, kırmızı biberin renk bileşenleri I.mertebeden oksidasyon reaksiyonu göstermekte, yani karotenoidlerin oksidasyonu sonucu logaritmik bir azalış meydana gelmektedir. Bu durum başlangıçta hızlı olan oksidatif reaksiyonların zamana bağlı olarak azaldığını göstermektedir. Bu azalış ise ASTA renk değerine yansımaktadır. Şekil 4.3.c 'de açıkça görüldüğü üzere 10 ay süre ile depolanan biberlerin renk değerlerindeki düşüş ilk aylarda daha fazla olurken,

sürenin uzaması ile renkteki düşüş de yavaşlamıştır. Ancak zamana bağlı olarak ASTA renk değerlerindeki düşüşün varyasyonlu olduğu görülmüştür (Bkz. Şekil 4.3 c). Bu varyasyon kırmızı pul biber örneklerinin 10 aylık depolama süresince ortam koşullarının doğal değişiminden kaynaklanabilir. Nitekim depolamanın ilk dört ayında ASTA renk değerlerindeki azalış giderek düşmüş, ancak 4. aydan sonra ASTA renk değerindeki azalış oranı tekrar artmıştır. Bunun nedeni depolama periyodunun son aylarının yaz aylarına tekabül etmesidir. Bilindiği gibi Antalya koşullarında özellikle Mayıs ayından sonra sıcaklar hızla artmakta, buna ek olarak ortam nispi nemi de yükselmektedir. Bu koşullar da karotenoidlerin oksidasyonunu hızlandırmaktadır.

4.7. Kırmızı Pul Biberin Kırmızı Renk Bileşenleri Üzerine Kurutma Yöntemi, Işınlama Dozu ve Depolama Süresinin Etkisi

Kırmızı pul biberin kendine has rengini oluşturan en önemli pigmentler kapsantin ve kapsorubin olup bu pigmentler taze biber ve ışınlanmış kırmızı pul biber örneklerinde 10 aylık depolama süresi boyunca her iki ayda bir analiz edilmiştir. Bu bileşikler karotenoid grubu bileşiklerden olup kırmızı renklidirler. Kırmızı biberin sarı renkli diğer karotenoid bileşikleri ileriki bölümlerde tartışılacaktır.

Kırmızı pul biber üretiminde kullanılan taze kırmızı biberde (% 20.58 kurumadde) kırmızı renkli karotenoidler olan kapsantin ve kapsorubin tespit edilmiş, bu karotenoidlere ait analiz sonuçları Çizelge 4.18'de verilmiştir. Taze kırmızı biberin karotenoid analizinde elde edilmiş HPLC kromatogramı Ek 1'de görülmektedir.

Taze kırmızı biberin %20.58 kurumadde içeriğine sahip meyve etinde kırmızı renk veren pigment olarak kapsorubin ve kapsantin belirlenmiştir (Ek 1). Minguez-

Çizelge 4.18. Taze kırmızı biberin kapsantin ve kapsorubin miktarı ($X \pm SE$)

*	Kapsantin (mg/kg)	Kapsorubin (mg/kg)
	824.4 \pm 36.211	78.53 \pm 1.648

(*) Sonuçlar %20.58 kurumadde üzerinden verilmiştir.

Mosquera vd (1994 b) Bola çeşidi taze kırmızı biberde (*Capsicum annuum*) bu renk pigmentlerini araştırmışlardır. Araştırmacılar Bola çeşidi kırmızı biberin kapsantin ve kapsorubin miktarını bu çalışmada kullanılan biber örneklerinde belirlenen kapsantin ve kapsorubin miktarından 2-3 kat daha yoğun olarak saptamışlardır. Bu farklılığın en önemli nedeninin çeşit olduğu açıktır. Nitekim ASTA renk değerlerinin tartışıldığı bölümde yabancı orijinli biberlerin ASTA renk değerinin Maraş biberinin renk değerinden daha yüksek olduğu bahsedilmişti.

Analiz sonuçları taze kırmızı biberde belirlenen kapsantin ve kapsorubinin kırmızı pul biberde de bulunduğunu göstermiştir. Taze biberi pul bibere işleme aşamalarında bu maddelerin miktarlarında değişiklik söz konusu olmadığı ve yeni bir bileşenin sentezlenmediği görülmüştür. Işınlanarak depolanan kırmızı pul biberlerin kapsantin ve kapsorubin içeriğini gösteren bir HPLC kromatogram örneği Ek 2’de gösterilmiştir. Kırmızı pul biberde kurutma yöntemi, ışınlama dozu ve depolama süresine bağlı olarak değişen kapsantin ve kapsorubin miktarı sırasıyla Çizelge 4.19 ve Çizelge 4.20’ da verilmiştir. Bu sonuçlara göre güneşte kurutma yöntemi ile üretilen örneklerde kapsantin ve kapsorubin miktarı sırasıyla 1019-524.1 mg/kg ve 81.32-6.71^{65,38} mg/kg fırında kurutma yöntemi ile üretilen örneklerde ise 710.0-383.5 mg/kg ve

Çizelge 4.19. Güneşte ve fırında kurutulmuş üretilen ve farklı dozlarda ışınlanan kırmızı pul biberin depolama süresince kapsantin miktarı değişimi (mg/kg)

Kurutma Yöntemi	Işınlama Dozu (kGy)	Işınlama Sonrası	Depolama Süresi (Ay)				
			2	4	6	8	10
Güneşte Kurutma	Şahit	1019.0	870.3	712.1	678.4	584.8	576.0
	2.5	923.0	782.2	734.1	648.2	570.6	543.9
	5.0	973.5	771.7	708.4	617.4	579.5	547.4
	7.5	961.2	759.0	624.4	548.3	557.9	547.0
	10.0	903.9	807.3	605.8	524.6	534.0	524.1
Fırında Kurutma	Şahit	710.0	541.2	469.5	489.0	474.3	413.4
	2.5	672.9	569.5	541.6	463.7	446.0	386.0
	5.0	671.0	530.8	473.4	418.0	417.6	445.7
	7.5	606.0	495.1	452.5	423.0	432.1	383.5
	10.0	664.6	488.3	435.9	423.2	421.5	392.2

Çizelge 4.20. Güneşte ve fırında kurutularak üretilen ve farklı dozlarda ışınlanan kırmızı pul biberin depolama süresince kapsorubin miktarı değişimi (mg/kg)

Kurutma Yöntemi	Işınlama Dozu (kGy)	Işınlama Sonrası	Depolama Süresi (Ay)				
			2	4	6	8	10
Güneşte Kurutma	Şahit	76.65	58.79	48.78	52.20	48.68	51.73
	2.5	81.20	71.04	52.32	52.55	48.16	46.71
	5.0	81.32	70.07	45.38	52.55	51.95	50.11
	7.5	71.80	62.68	51.82	47.88	49.78	55.04
	10.0	67.30	68.63	50.04	49.61	49.51	53.20
Fırında Kurutma	Şahit	87.00	52.82	54.33	48.59	48.72	49.45
	2.5	70.49	53.14	52.54	48.97	40.72	50.92
	5.0	72.73	56.10	57.38	50.77	46.56	48.20
	7.5	66.81	51.07	55.78	45.92	43.56	48.37
	10.0	69.77	56.83	53.55	50.62	44.72	48.50

87.00-40.72 mg/kg arasında değişmiştir. Kapsantin kırmızı pul biberde miktarca en fazla bulunan renk pigmenti olduğu saptanmıştır.

Kırmızı pul biberin kapsantin miktarını kurutma yöntemi, ışınlama dozu ve depolama süresi önemli ($P<0.01$) düzeyde değiştirmiştir (Çizelge 4.21). Kapsantin miktarı üzerine kurutma yöntemi x depolama süresi ve ışınlama dozu x depolama süresi

Çizelge 4.21. Kırmızı pul biberin kapsantin ve kapsorubin değerlerine ait varyans analizi sonuçları

Varyasyon Kaynakları	SD	Kapsantin		Kapsorubin	
		KO	F	KO	F
Kurutma Yöntemi (K)	1	1136269.408	875.26 **	285.4242	20.87 **
Işınlama Dozu (I)	4	19637.154	15.13 **	27.5658	2.02
Depolama Süresi (D)	5	320495.422	246.87 **	2079.7424	152.10 **
K x I	4	2033.040	1.57	37.1019	2.71 *
K x D	5	25151.612	19.37 **	155.4254	11.37 **
I x D	20	2327.314	1.79 *	36.5453	2.67 **
K x I x D	20	1765.935	1.36	20.8622	1.53
Hata	60	1298.212		13.6735	

(*) $P<0.05$ seviyesinde. (**) $P<0.01$ seviyesinde farklılık ifade eder.

interaksiyonları sırasıyla $P < 0.01$ ve $P < 0.05$ seviyesinde önemli etkiye sahipken, kurutma yöntemi x ışınlama dozu interaksiyonunun etkisi önemsiz ($P > 0.05$) olmuştur.

Güneşte ve fırında kurutularak üretilen ve farklı dozlarda ışınlanarak 10 ay süre ile depolanan örneklerin kapsantin ve kapsorubin içeriklerine ait varyans analizinde önemli çıkan parametrelere ait ortalamalara uygulanan Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları Çizelge 4.22, Çizelge 4.23 ve Çizelge 4.24'de verilmiştir.

Güneşte kurutma yöntemi ile üretilen örneklerin ortalama kapsantin miktarının 689.59 mg/kg, fırında kurutma yöntemi ile üretilen örneklerin ortalama kapsantin miktarının ise 494.98 mg/kg olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.22). Belirlenen bu kapsantin miktarları arasındaki fark istatistiksel olarak önemli ($P < 0.05$) bulunmuştur. Konu ile ilgili diğer araştırmaların (Minguez-Mosquera ve Hornero-Mendez 1994 a) da bulguları doğrultusunda kurutma yöntemleri arasında belirlenen kapsantin farklılığının güneşte kurutma sırasında devam eden fizyolojik faaliyetlerden, yani güneşte kurutma esnasında biberde kapsantin sentezlenmesinden kaynaklandığı söylenebilir.

Güneşte kurutma yöntemiyle işlenen kırmızı pul biberin kapsantin miktarının fırında kurutma yöntemiyle işlenen kırmızı pul bibere göre depolama süresinde oransal olarak daha çok azaldığı anlaşılmıştır (Bkz. Çizelge 4.19). Ayrıca güneşte kurutularak elde edilen kırmızı pul biberin kapsantin miktarı depolamanın son aşamasına kadar düzenli bir azalış gösterirken fırında kurutularak işlenen örneklerin kapsantin miktarındaki azalış 6. aydan sonra çok yavaşlamıştır. Genel olarak güneşte kurutularak üretilen kırmızı pul biberde nem oranının nisbeten yüksek oluşu, oksidasyon olayının daha yüksek oranda meydana gelmesinden kaynaklanabilir. Çünkü güneşte kurutularak elde edilen örneklerin ortalama nem içerikleri % 15 civarında iken fırında kurutularak elde edilen örneklerde bu oran % 13 dolayındadır. Nitekim Markus vd (1999) yüksek nem içeriğinin ürünün karotenoid stabilitesini düşürdüğünü rapor etmişlerdir.

Kapsantin miktarı ışınlama dozunun artmasıyla azalmış, ancak 2.5 kGy doz ile 5.0 kGy doz arasında ve 7.5 kGy doz ile 10 kGy doz arasında kapsantin miktarı

Çizelge 4.22. Güneşte ve fırında kurutularak üretilen kırmızı pul biberin kapsantin ve kapsorubin değeri ortalamalarına ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları ($X \pm SE$ mg/kg).

Kurutma	Kapsantin	Kapsorubin
Güneşte Kurutma	689.59 \pm 20.261 ^a	57.25 \pm 1.436 ^a
Fırında Kurutma	494.98 \pm 12.238 ^b	54.163 \pm 1.313 ^b

Değişik harfler ortalamaların $P < 0.05$ seviyesinde farklı olduğunu gösterir.

Çizelge 4.23. Farklı dozlarda ışınlanan kırmızı pul biberin kapsantin değeri ortalamalarına ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları ($X \pm SE$ mg/kg).

Işınlama dozu (kGy)	Kapsantin
Şahit	628.13 \pm 36.737 ^a
2.5	606.78 \pm 30.810 ^b
5.0	600.25 \pm 33.053 ^b
7.5	565.85 \pm 32.580 ^c
10.0	560.42 \pm 32.259 ^c

Değişik harfler ortalamaların $P < 0.05$ seviyesinde farklı olduğunu gösterir.

Çizelge 4.24. Farklı sürelerde depolanan kırmızı pul biberin kapsantin ve kapsorubin değeri ortalamalarına ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları ($X \pm SE$ mg/kg).

Depolama Süresi	Kapsantin	Kapsorubin
Işınlama Sonrası	810.48 \pm 35.447 ^a	74.50 \pm 1.697 ^a
2. Ay	661.57 \pm 32.830 ^b	60.12 \pm 1.736 ^{a b}
4. Ay	585.62 \pm 25.253 ^b	52.19 \pm 0.911 ^{a b}
6. Ay	523.340 \pm 21.236 ^c	49.97 \pm 0.651 ^{a b}
8. Ay	501.80 \pm 15.369 ^c	47.24 \pm 0.908 ^b
10. Ay	470.91 \pm 17.620 ^c	50.22 \pm 0.828 ^b

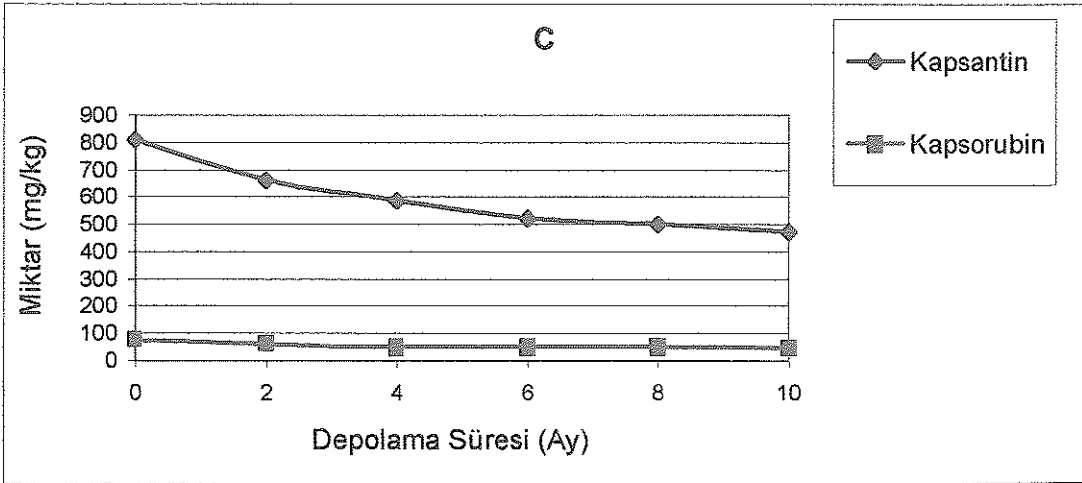
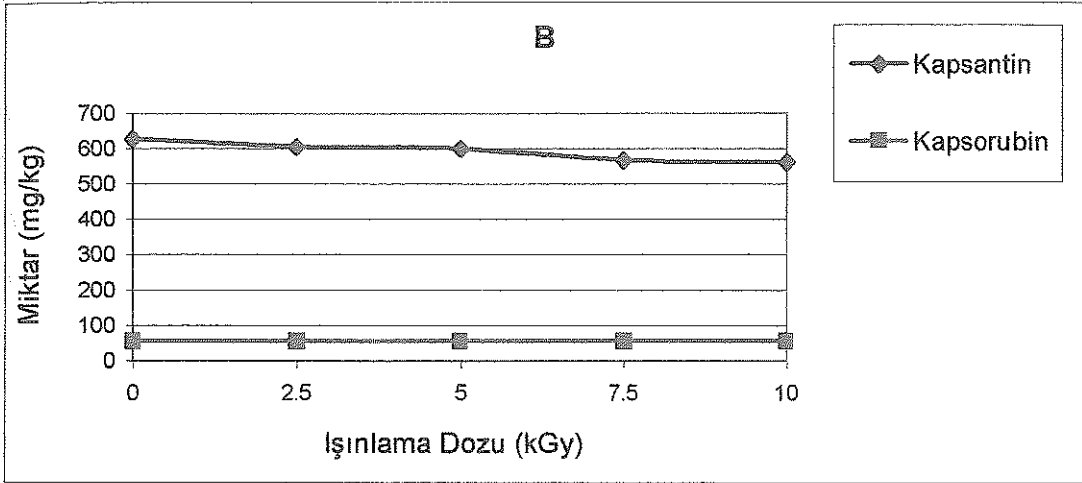
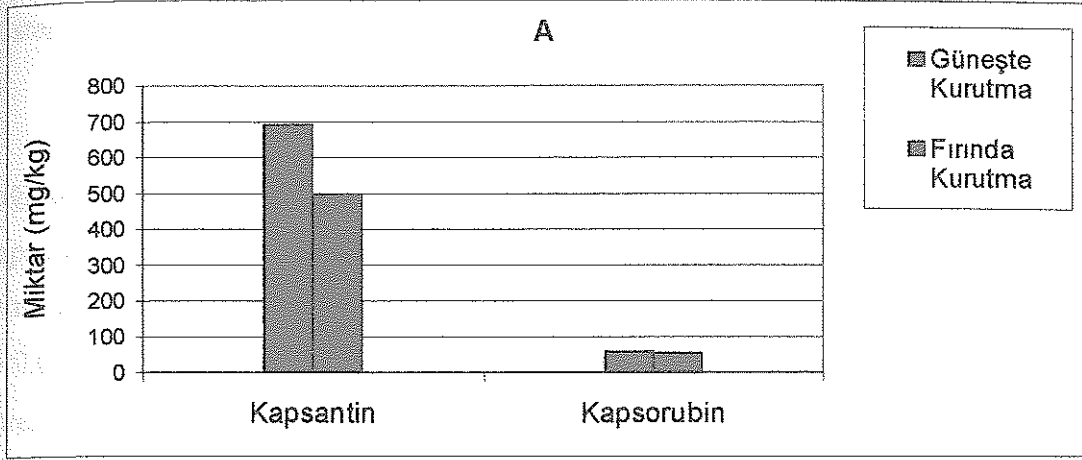
Değişik harfler ortalamaların $P < 0.05$ seviyesinde farklı olduğunu gösterir.

bakımından istatistiksel olarak önemli ($P<0.05$) bir farklılık görülmemiştir (Çizelge 4.23). Kırmızı pul biberin 10 kGy dozda ışınlanması ile kapsantin miktarında yaklaşık % 10.7 azalma meydana gelmiştir. Belirlenen bu azalışın %90'ından fazlası ise uygulanan ilk 7.5 kGy'lik dozda gerçekleşmiştir. Zachariev vd (1991) kırmızı toz biberin kapsantin içeriği üzerine depolama süresinin ve gamma radyasyonunun etkilerini araştırdıkları bir çalışmada gamma radyasyonu uygulamasının kırmızı toz biberin kapsantin miktarı üzerine önemli düzeyde azaltıcı etkisi olduğunu belirlemişlerdir.

Güneşte ve fırında kurutularak elde edilen kırmızı pul biberler farklı dozlarda ışlandıktan sonra 10 ay süre ile depolanmış ve ikişer aylık periyotlarla kapsantin miktarları analiz edilmiştir. Varyans analizi sonuçları depolama süresinin örneklerin kapsantin içeriği üzerine etkisinin önemli ($P<0.01$) olduğunu göstermiştir. Ortalamalara uygulanan Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları örneklerin kapsantin içerikleri ilk iki aylık depolama döneminde hızlı bir düşüş göstererek takip eden dönemlerden önemli ($P<0.05$) düzeyde farklılık arz etmiştir. Kapsantin miktarındaki değişim 2. ve 4. aylarda önemli ($P>0.05$) değilken, 6. aydan sonraki dönemlerde önemli ($P<0.05$) bulunmuştur. Ancak örneklerin kapsantin içeriğindeki düşüş depolamanın son dört ayında da devam etmesine rağmen bu düşüş istatistiksel olarak önemli ($P>0.05$) olmamıştır (Bkz. Çizelge 4.24). Zachariev vd (1991) yaptıkları çalışmada depolama süresine bağlı olarak kırmızı toz biberin kapsantin içeriğinde azalma olduğunu bildirmişlerdir. Bizim bulgularımız da bu sonuçları destekler niteliktedir.

Sonuçlar, ışınlanmış kırmızı pul biber örneklerinde kapsantin kaybının büyük çoğunluğunun depolamanın ilk altı ayında gerçekleştiğini göstermiştir. Nitekim 10 aylık bir depolama süresi sonunda kırmızı pul biberin kapsantin miktarında % 41.9' luk bir kayıp meydana gelmiştir. Bu kaybın yaklaşık % 85'i depolamanın ilk 6 ayda gerçekleşmiştir.

Araştırmada uygulanan ışınlama dozları ve depolama süreleri dikkate alındığında, depolama ile meydana gelen kapsantin kaybının, ışınlama ile meydana gelen kayba kıyasla çok daha fazla olduğu görülmektedir. Bu durum, kırmızı pul



Şekil 4.4. Kırmızı pul biberin kapsantin ve kapsorubin miktarının kurutma yöntemi, ışınlama dozu ve depolama süresine göre değişimi

biberdeki kapsantin oksidasyonunun daha çok zamana bağı bir fonksiyon olduğunu göstermektedir.

Kırmızı pul biberin kapsorubin miktarı, kurutma yöntemi ve depolama süresine bağı olarak önemli ($P<0.01$) düzeyde farklılık gösterirken, ışınlama dozunun örneklerin kapsorubin miktarı üzerine etkisi önemsiz ($P>0.05$) olmuştur (Bkz. Çizelge 4.21). Örneklerin kapsorubin miktarı üzerine kurutma yöntemi x ışınlama dozu interaksyonu $P<0.05$ seviyesinde, kurutma yöntemi x depolama süresi ve ışınlama dozu x depolama süresi interaksyonları ise $P<0.01$ seviyesinde önemli etki göstermiştir.

Güneşte kurutma yöntemiyle üretilen kırmızı pul biberin ortalama kapsorubin miktarının 57.25 mg/kg, fırında kurutma yöntemi ile üretilen kırmızı pul biberin ise 54.16 mg/kg olduğu tespit edilmiştir (Bkz. Çizelge 4.22). Bu değerler arasındaki farklılık istatistiksel olarak önemli ($P<0.05$) bulunmuştur. Işınlamanın hemen sonrasında yapılan analiz sonuçları incelendiğinde (Bkz. Çizelge 4.20) 10 kGy dozda ışınlamadan sonra örneklerin kapsorubin değerleri yaklaşık aynı düzeye inmiştir. Buradan fırında yüksek sıcaklıkta kısa sürede kurutulan biberin kapsorubininin ışınlamaya daha hassas hale geldiği anlaşılmaktadır.

Kapsorubin depolama süresi ile de önemli ($P<0.01$) ölçüde azalmış, ancak bu azalış ilk 6 ayda istatistiksel bir farklılık ortaya koymamıştır. Depolamanın 8. ve 10. aylarında belirlenen kapsorubin miktarının depolama başlangıcındaki kapsorubin miktarına kıyasla önemli ($P<0.05$) ölçüde az olduğu tespit edilmiştir. Nitekim ışınlamanın hemen sonrasında tüm örneklere ait ortalama kapsorubin miktarı 74.50 mg/kg iken, sekiz ay depolama süresince bu değerde ilk dönemlerde daha yüksek oranda olmak kaydıyla düzenli bir azalma olmuş ve 47.24 mg/kg değerine düşmüştür. Depolamanın son iki ayında örneklerin ortalama kapsorubin miktarında bir miktar artma olmuş, ancak bu artış istatistiksel olarak önemli ($P>0.05$) olmamıştır. Artış deneme hatalarından kaynaklanabileceği gibi daha değişik faktörlere de bağı olabilir (Bkz. Çizelge 4.24).

Kırmızı pul biberin depolanması sırasında meydana gelen kapsorubin kaybı, kapsantinde olduğu gibi diğer iki muameleye kıyasla daha fazla olmuştur (Bkz. Şekil 4.4 a, b ve c). Nitekim Morais vd (2001) karotenoidlerin bozulmasında oksijen ve ışığın etkili olduğunu, ancak bozulmayı kontrol eden en etkili faktörün depolama süresi olduğunu bildirmişlerdir.

Analiz sonuçları biberin kırmızı renk pigmentlerinden kapsorubinin, uygulanan muamelelere karşı kapsantinden daha stabil olduğunu göstermiştir. Ancak Perez-Golvez ve Minguez-Mosquera (2001) yaptıkları bir çalışmada kapsantin oksidasyona en dayanıklı pigment olduğunu öne sürmüşlerdir.

4.8. Kırmızı Pul Biberin Sarı Renk Bileşenleri Üzerine Kurutma Yöntemi, Işınlama Dozu ve Depolama Süresinin Etkisi

Kırmızı pul biberin rengini oluşturan diğer karotenoid grubu bileşikler ise renkleri açık sarıdan portakal sarısına kadar değişen violaksantin, kapsolutein, zeaksantin, β -karoten ve β -kriptoksantin gibi maddelerdir. Bu çalışmada taze kırmızı biber, güneşte ve fırında kurutularak üretilmiş, farklı dozlarda ışınlanmış ve 10 ay süre ile depolanmış kırmızı pul biber örneklerinin sarı renkli karotenoid bileşimi de araştırılmıştır. Araştırma sonuçları Çizelge 4.25, Çizelge 4.26, Çizelge 4.27, Çizelge 4.28 ve Çizelge 4.29 da verilmiştir.

HPLC analiz tekniği ile elde edilen analiz sonuçlarına göre taze kırmızı biberin meyve etinde belirlenen violaksantin, kapsolutein, zeaksantin, β -karoten ve β -kriptoksantin kırmızı pul biberde de tespit edilmiştir. Bu bileşiklere ait HPLC kromatogramı Ek1'de görülmektedir.

Çizelge 4.25. Taze kırmızı biberin sarı renkli karotenoid bileşimi miktarı ($X \pm SE$ mg/kg)

*	Violaksantin	Kapsolutein	Zeaksantin	β -Karoten	β -Kriptoksantin
	80.71 \pm 1.821	113.2 \pm 4.12	210.5 \pm 5.79	74.00 \pm 1.605	88.57 \pm 1.718

(*) Sonuçlar %20.58 kurumadde üzerinden verilmiştir.

Çizelge 4.26. Güneşte ve fırında kurutularak üretilen ve farklı dozlarda ışınlanan kırmızı pul biberin depolama süresince violaksantin miktarı değişimi (mg/kg)

Kurutma Yöntemi	Işınlama Dozu (kGy)	Işınlama Sonrası	Depolama Süresi (Ay)				
			2	4	6	8	10
Güneşte Kurutma	Şahit	81.48	79.57	58.44	57.06	37.46	32.03
	2.5	80.82	73.09	64.42	44.54	40.36	27.17
	5.0	89.43	67.80	71.70	45.01	41.52	28.86
	7.5	90.86	64.01	45.27	44.44	40.19	30.04
	10.0	85.39	65.74	43.78	44.83	44.02	29.28
Fırında Kurutma	Şahit	57.61	57.98	35.12	49.84	35.68	29.92
	2.5	61.29	58.85	58.49	46.79	37.54	26.26
	5.0	66.89	51.26	36.86	33.80	33.26	31.18
	7.5	64.31	52.21	34.29	38.52	36.72	23.49
	10.0	71.58	53.18	34.85	38.12	42.34	25.39

Çizelge 4.27. Güneşte ve fırında kurutularak üretilen ve farklı dozlarda ışınlanan kırmızı pul biberin depolama süresince kapsolutein miktarı değişimi (mg/kg)

Kurutma Yöntemi	Işınlama Dozu (kGy)	Işınlama Sonrası	Depolama Süresi (Ay)				
			2	4	6	8	10
Güneşte Kurutma	Şahit	107.25	107.10	76.15	79.67	61.59	47.20
	2.5	98.65	111.65	79.98	67.18	58.62	44.51
	5.0	107.15	108.05	73.01	63.39	53.35	44.35
	7.5	96.39	94.88	60.54	52.36	52.03	45.44
	10.0	89.44	99.60	53.84	56.31	54.16	41.33
Fırında Kurutma	Şahit	75.64	79.14	50.63	54.70	45.69	44.46
	2.5	66.24	81.44	66.34	52.66	46.52	32.38
	5.0	68.91	76.15	41.67	39.30	42.01	40.33
	7.5	60.16	71.81	46.28	42.46	42.05	30.14
	10.0	68.79	75.42	39.77	44.16	41.22	35.50

Çizelge 4.28 Güneşte ve fırında kurutulmuş üretilen ve farklı dozlarda ışınlanan kırmızı pul biberin depolama süresince zeaksantin miktarı değişimi (mg/kg)

Kurutma Yöntemi	Işınlama Dozu (kGy)	Işınlama Sonrası	Depolama Süresi (Ay)				
			2	4	6	8	10
Güneşte Kurutma	Şahit	218.7	215.8	176.8	170.8	156.9	135.2
	2.5	209.9	193.4	177.8	156.2	134.8	128.2
	5.0	208.8	183.4	161.0	145.8	132.2	129.8
	7.5	207.0	159.7	143.9	132.5	130.0	129.2
	10.0	198.1	176.2	130.6	139.2	134.4	123.1
Fırında Kurutma	Şahit	165.2	140.6	113.4	106.8	103.3	96.7
	2.5	140.8	139.0	114.7	100.4	98.8	85.9
	5.0	147.1	120.9	105.0	86.5	95.6	96.6
	7.5	126.4	114.7	109.5	96.2	92.0	82.2
	10.0	136.0	118.6	91.9	96.4	96.8	90.1

Çizelge 4.29 Güneşte ve fırında kurutulmuş üretilen ve farklı dozlarda ışınlanan kırmızı pul biberin depolama süresince β -karoten miktarı değişimi (mg/kg)

Kurutma Yöntemi	Işınlama Dozu (kGy)	Işınlama Sonrası	Depolama Süresi (Ay)				
			2	4	6	8	10
Güneşte Kurutma	Şahit	74.19	59.41	53.47	56.47	48.33	43.21
	2.5	70.08	56.71	56.36	50.70	42.59	41.40
	5.0	71.48	52.09	48.20	43.44	39.63	39.41
	7.5	72.02	49.65	47.85	42.52	43.34	37.78
	10.0	63.94	51.72	44.63	47.54	42.38	35.81
Fırında Kurutma	Şahit	74.28	52.98	44.99	46.17	41.12	40.66
	2.5	63.24	51.25	47.53	44.93	41.55	41.50
	5.0	62.45	46.58	45.33	41.47	40.05	46.46
	7.5	57.28	45.59	44.90	42.18	40.19	39.14
	10.0	58.58	45.90	42.49	44.10	42.42	39.61

Çizelge 4.30 Güneşte ve fırında kurutularak üretilen ve farklı dozlarda ışınlanan kırmızı pul biberin depolama süresince β -kriptoksantin miktarı değişimi (mg/kg)

Kurutma Yöntemi	Işınlama Dozu (kGy)	Işınlama Sonrası	Depolama Süresi (Ay)				
			2	4	6	8	10
Güneşte Kurutma	Şahit	69.76	56.73	52.04	58.77	47.15	44.67
	2.5	68.50	48.42	53.71	51.00	42.33	42.87
	5.0	69.56	53.50	45.94	44.54	40.45	42.62
	7.5	68.04	52.35	47.79	43.03	41.70	43.06
	10.0	64.54	51.18	45.57	47.80	43.03	37.21
Fırında Kurutma	Şahit	67.81	43.53	41.16	47.22	42.71	39.26
	2.5	56.72	45.04	41.72	45.11	37.32	36.56
	5.0	57.45	42.73	42.19	37.98	36.97	39.34
	7.5	51.85	40.09	41.84	41.66	33.28	32.97
	10.0	56.04	44.31	40.04	41.71	38.54	38.81

Örneklerin sarı renk bileşenleri olan violaksantin, kapsolutein, zeaksantin, β -karoten ve β -kriptoksantin değerlerine uygulanan varyans analizi sonuçları Çizelge 4.31' de, verilmiştir. Varyans analizi sonuçları kırmızı pul biberin sarı renk bileşenlerinin (ksantofiller, karotenler) tamamının uygulanan herbir muameleden önemli ($P < 0.01$) düzeyde etkilendiğini göstermiştir. Kurutma yöntemi x depolama süresi interaksyonunun da bu bileşiklerin tamamı üzerinde önemli ($P < 0.01$) etkisinin olduğu saptanmıştır. Ancak kurutma yöntemi x ışınlama dozu interaksyonunun sadece violaksantin ve kapsolutein miktarı üzerine önemli ($P < 0.05$) etkisi olmuştur. Işınlama dozu x depolama süresi interaksyonunun zeaksantin miktarı üzerinde önemli ($P > 0.05$) bir etkisi olmazken, β -kriptoksantin miktarı üzerine $P < 0.05$ seviyesinde, diğer pigmentler üzerine ise $P < 0.01$ seviyesinde önemli etkisinin olduğu belirlenmiştir.

Güneşte kurutularak elde edilen kırmızı pul biberde violaksantin miktarı 90.86 mg/kg değeri ile 7.5 kGy dozda ışınlanan örnekte ışınlamayı hemen takiben yapılan ölçümde belirlenirken, bu değer 2.5 kGy dozda ışınlanan örnekte depolamanın 10. ayında 27.17 mg/kg değeri ile en düşük düzeyde belirlenmiştir. Fırında kurutularak

Çizelge 4.3.1. Kırmızı pul biberin violaksantin ve kapsolutein değerlerine ait varyans analiz sonuçları

Varyasyon Kaynakları	SD	Violaksantin		Kapsolutein		Zeaksantin		β-Karoten		β-Kriptoksantin	
		KO	F	KO	F	KO	F	KO	F	KO	F
Kurutma Yöntemi (K)	1	3521.5917	147.69**	11860.4083	506.55**	77307.4803	819.86**	413.4054	46.01**	1486.1441	194.75**
Işınlama Dozu (I)	4	88.4981	3.71**	560.3248	23.93**	2171.5085	23.03**	177.0471	19.70**	134.3709	17.61**
Depolama Süresi (D)	5	5605.2984	235.09**	8048.8645	343.76**	12764.1646	135.37**	1801.6541	200.51**	1462.9114	191.70**
K x I	4	73.6595	3.09*	83.3409	3.56*	166.1585	1.76	16.1862	1.80	14.0284	1.84
K x D	5	316.4687	13.27**	346.2038	14.79**	533.9932	5.66**	51.6624	5.75**	30.3104	3.97**
I x D	20	121.2604	5.09**	78.0375	3.33**	152.3733	1.62	19.8045	2.20**	16.2698	2.13*
K x I x D	20	30.6971	1.29	22.6175	0.97	96.2335	1.02	12.6043	1.40	16.0674	2.11*
Hata	60	23.8437		23.4139		94.2931		8.9852		7.6311	

(*) P<0.05 seviyesinde. (**) P<0.01 seviyesinde farklılık ifade eder.

Çizelge 4.3.2. Güneşte ve fırında kurutularak üretilen kırmızı pul biberin sarı renk bileşenlerinin ortalama değerlerine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları (X ± SE mg/kg).

Kurutma Yöntemi	Violaksantin	Kapsolutein	Zeaksantin	β-Karoten	β-Kriptoksantin
Güneşte Kurutma	54.95 ± 2.596 ^a	72.83 ± 3.038 ^a	161.29 ± 4.108 ^a	50.87 ± 1.407 ^a	50.43 ± 1.250 ^a
Fırında Kurutma	44.12 ± 1.752 ^b	52.95 ± 2.079 ^b	110.52 ± 2.748 ^b	47.16 ± 1.092 ^b	43.39 ± 1.013 ^b

Değişik harfler ortalamaların P<0.05 seviyesinde farklı olduğunu gösterir.

üretilen kırmızı pul biber örneklerinde ise en yüksek violaksantin miktarı 71.58 mg/kg değeri ile 10 kGy dozda ışınlanan örnekte ışınlamayı takiben, en düşük violaksantin miktarı ise 23.49 mg/kg değeri ile 7.5 kGy dozda ışınlanan örnekte yine depolamanın 10. ayında belirlenmiştir (Bkz. Çizelge 4.26).

Violaksantin miktarı fırında kurutma yöntemiyle üretilen kırmızı pul biberde güneşte kurutma yöntemiyle üretilene göre önemli ($P<0.05$) düzeyde az bulunmuştur (Bkz. Çizelge 4.32). Bu farklılığın güneşte kurutma sırasında devam eden violaksantin sentezinden ve/veya fırında kurutma sırasında violaksantin oksidasyon hızının daha fazla olmasından kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Minguez-Mosquera ve Hornero-Mendez (1994 b) *Bola* ve *Agridula* çeşiti biberlerin olgunlaşma periyodundaki karotenoid değişimi üzerine yaptıkları bir çalışmada yeşil biberde 9.31 mg/kg olarak belirledikleri violaksantin miktarının, kırmızı olumda 80.21 mg/kg konsantrasyona ulaştığını saptamışlardır. Araştırmacılar violaksantin sentezinin hasattan sonra da devam ettiğini bildirmişlerdir (Minguez-Mosquera vd 1994 a)

Kırmızı pul biberin violaksantin miktarı ışınlama dozuna bağlı olarak önemli ($P<0.05$) ölçüde azalmıştır. Ancak örneklerin violaksantin içeriğindeki bu azalış istatistiksel olarak 0, 2.5 ve 5 kGy dozda ışınlanan örnekler arasında önemli ($P>0.05$) değilken, 2.5 kGy dozda ışınlanan örneklerin violaksantin miktarı 7.5 ve 10 kGy dozda ışınlanan örneklerin violaksantin miktarından önemli ($P<0.05$) düzeyde yüksek bulunmuştur. Yine 5, 7.5 ve 10 kGy ışınlama dozları arasında da violaksantin miktarı açısından önemli bir değişim olmamıştır (Çizelge 4.33).

Örneklerin violaksantin miktarı 10 aylık depolama süresince her iki ayda bir yapılan ölçümlerde her defasında bir önceki değerden önemli ($P<0.05$) düzeyde düşük bulunmuştur. Nitekim depolama başlangıcında 74.96 mg/kg olan ortalama violaksantin konsantrasyonu düzenli bir şekilde azalarak, 10 aylık depolamanın sonunda ortalama 28.36 mg/kg'a düşmüştür (Çizelge 4.34).

Çizelge 4.33. Farklı dozlarda ışınlanan kırmızı pul biberin sarı renk bileşenlerinin ortalama değerlerine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları ($\bar{X} \pm SE$ mg/kg).

İşılama dozu (kGy)	Violaksantin	Kapsolutein	Zeaksantin	β -Karoten	β -Kriptoksantin
Şahit	51.01 \pm 3.684 ^{ab}	68.25 \pm 4.715 ^a	150.00 \pm 8.511 ^a	52.94 \pm 2.391 ^a	50.90 \pm 2.114 ^a
2.5	51.64 \pm 3.525 ^a	67.18 \pm 4.669 ^a	139.97 \pm 7.824 ^b	50.65 \pm 1.916 ^b	47.01 \pm 1.898 ^b
5.0	49.80 \pm 3.958 ^{abc}	62.84 \pm 5.041 ^b	134.78 \pm 7.443 ^b	48.05 \pm 2.015 ^c	46.10 \pm 1.953 ^{bc}
7.5	47.03 \pm 3.751 ^c	57.88 \pm 4.163 ^c	126.92 \pm 6.853 ^c	46.87 \pm 1.935 ^c	44.80 \pm 1.910 ^c
10.0	48.21 \pm 3.593 ^c	58.29 \pm 4.189 ^c	127.85 \pm 6.705 ^c	46.59 \pm 1.616 ^c	45.73 \pm 1.668 ^{bc}

Değişik harfler ortalamaların $P < 0.05$ seviyesinde farklı olduğunu gösterir.

Çizelge 4.34. Farklı sürelerde depolanan kırmızı pul biberin sarı renk bileşenlerinin ortalama değerlerine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları ($\bar{X} \pm SE$ mg/kg).

Depolama Süresi	Violaksantin	Kapsolutein	Zeaksantin	β -Karoten	β -Kriptoksantin
İşılama Sonrası	74.96 \pm 2.740 ^a	83.84 \pm 4.039 ^b	175.77 \pm 8.097 ^a	66.75 \pm 1.463 ^a	63.00 \pm 1.524 ^a
2. Ay	62.37 \pm 2.101 ^b	90.53 \pm 3.421 ^a	156.21 \pm 7.790 ^b	51.19 \pm 1.085 ^b	47.79 \pm 1.269 ^b
4. Ay	48.32 \pm 3.280 ^c	58.82 \pm 3.301 ^c	132.74 \pm 6.823 ^c	47.57 \pm 1.107 ^c	45.20 \pm 1.124 ^c
6. Ay	44.293 \pm 1.635 ^d	55.22 \pm 2.760 ^d	123.56 \pm 6.447 ^d	45.95 \pm 1.095 ^c	45.88 \pm 1.313 ^c
8. Ay	38.92 \pm 0.953 ^e	49.72 \pm 1.696 ^e	117.46 \pm 5.086 ^d	42.16 \pm 0.622 ^d	40.35 \pm 1.002 ^d
10. Ay	28.36 \pm 0.799 ^f	39.21 \pm 1.460 ^f	109.69 \pm 4.776 ^e	40.50 \pm 0.893 ^d	39.23 \pm 0.925 ^d

Değişik harfler ortalamaların $P < 0.05$ seviyesinde farklı olduğunu gösterir.

Depolama süresince violaksantin miktarındaki azalış kurutma yöntemleri arasında farklı oranlarda olmuştur. Fırında kurutularak üretilen örneklerin violaksantin içeriği güneşte kurutularak üretilen örneklerin violaksantin içeriğine kıyasla depolama süresinde daha düşük oranda azalma göstermiştir (Bkz. Çizelge 4.26).

Depolama süresince violaksantin miktarındaki azalış oranı üzerine ışınlama dozunun etkisi önemli ($P < 0.01$) bulunmuştur. Örneklerin violaksantin miktarının ışınlama dozuna paralel olarak arttığı görülmüştür. Ancak depolama süresinin uzamasıyla örneklerin violaksantin miktarı ışınlama dozunun artışıyla daha çok azalmıştır (Bkz. Çizelge 4.26). Bu sonuçlar, özellikle 7.5 kGy ve yukarısı ışınlama dozlarının kırmızı pul biberde violaksantin depolama stabilitesini düşürdüğünü göstermektedir.

Işınlama dozunun örneklerin violaksantin miktarı üzerindeki olumsuz etkisinin kurutma yöntemlerine göre de farklı olduğu görülmüştür. Her iki kurutma yöntemi ile üretilen örneklerin depolama başlangıcında farklı olan violaksantin miktarlarının 10 aylık depolama sonunda hemen hemen aynı olduğu saptanmıştır (Bkz. Çizelge 4.26). Bu da güneşte kurutma yöntemi ile üretilen örneklerdeki violaksantin bozulmasının fırında kurutma yöntemine kıyasla daha hızlı olduğunu ortaya koymaktadır.

Güneşte kurutma yöntemi ile üretilen kırmızı pul biberin kapsolutein miktarının (72.83 mg/kg) fırında kurutma yöntemi ile üretilen kırmızı pul biber örneklerinin kapsolutein miktarından (52.95 mg/kg) önemli ($p < 0.05$) ölçüde yüksek olduğu belirlenmiştir (Bkz. Çizelge 4.32). Güneşte kurutularak elde edilen kırmızı pul biber örneklerinin diğer renk bileşenlerinde olduğu gibi güneşte kurutma sırasında devam eden karotenoid sentezinden kaynaklandığı söylenebilir. Nitekim bitki üzerinde olgunlaşma periyodunda yeşil biberde belirlenemeyen kapsolutein, olgunlaşmış kırmızı biberde 86.11 mg/kg olarak tespit edilmiştir (Minguez-Mosquera ve Hornero-Mendez 1994 b).

Örneklerin kapsolutein miktarı ışınlama dozunun artmasıyla azalmış, 10 kGy dozda ışınlama ile kapsolutein miktarında yaklaşık %14 oranında bir azalma meydana

gelmiştir. Kapsolutein miktarı bakımından şahit örnek ile 2.5 kGy dozda ışınlanan örnekler arasında ve 7.5 kGy ile 10 kGy dozda ışınlanan örnekler arasında istatistiksel olarak önemli bir farklılık bulunmadığı anlaşılmıştır (Bkz. Çizelge 4.33).

Kırmızı pul biber örneklerinin kapsolutein miktarı depolama süresinin uzamasına bağlı olarak önemli ($P<0.05$) düzeyde azalmıştır. Ancak depolamanın ilk iki ayında kapsolutein miktarının arttığı tespit edilmiştir. Bu artış diğer bazı pigmentlerin oksidasyon mekanizmasının kapsolutein üzerinden yürüyor olma ihtimalini düşündürmektedir. Ancak yapılan literatür taramalarında bu durumu aydınlatıcı bir bilgiye rastlanılamamıştır. Halihazırdaki bu araştırma sonuçları bu konular üzerinde detaylı araştırmalar yapılması gereğini ortaya koymaktadır.

Kırmızı pul biberde sarı renk bileşeni olan zeaksantin miktarca en fazla bulunan pigmenttir. Varyans analizi sonuçları (Bkz.Çizelge 4.31) güneşte ve fırında kurutularak elde edilen kırmızı pul biber örneklerinin zeaksantin içerikleri arasındaki farklılığın önemli ($P<0.01$) olduğunu göstermektedir. Diğer pigmentlerde olduğu gibi yine güneşte kurutularak elde edilen kırmızı pul biberin zeaksantin miktarı fırında kurutularak elde edilen kırmızı pul bibere kıyasla önemli ($P<0.05$) düzeyde yüksek bulunmuştur (Bkz. Çizelge 4. 32). Bu noktada yine şunu söylemek mümkündür ki uzun süren güneşte kurutma sırasında zeaksantin sentezi devam etmektedir.

Violaksantinde olduğu gibi kırmızı biberin zeaksantin içeriğinin de ışınlama dozunun artışıyla azaldığı belirlenmiştir. 10 kGy dozda ışınlama kırmızı pul biberin zeaksantin miktarında ışınlanmamış örneklerin zeaksantin içeriğine kıyasla yaklaşık %15 azalmaya neden olmuştur. Işınlamaya bağlı olarak değişen bu pigmentin miktarı 2.5 kGy ile 5 kGy ve 7.5 kGy ile 10 kGy doz uygulamalarında istatistiksel bir farklılık göstermezken, ışınlama dozları arasındaki fark arttıkça zeaksantin miktarındaki değişme de önemli olmuştur (Bkz. Çizelge 4.33).

Depolama süresi de zeaksantin miktarını önemli ($P<0.01$) ölçüde azaltmış, 10 aylık depolama süresi sonunda kırmızı pul biberin zeaksantin miktarı %37.6 azalmıştır. Depolama süresi boyunca zeaksantin miktarındaki azalma kurutma yöntemlerine göre farklılık göstermiş, güneşte kurutulan örneklerdeki zeaksantin bozulması fırında

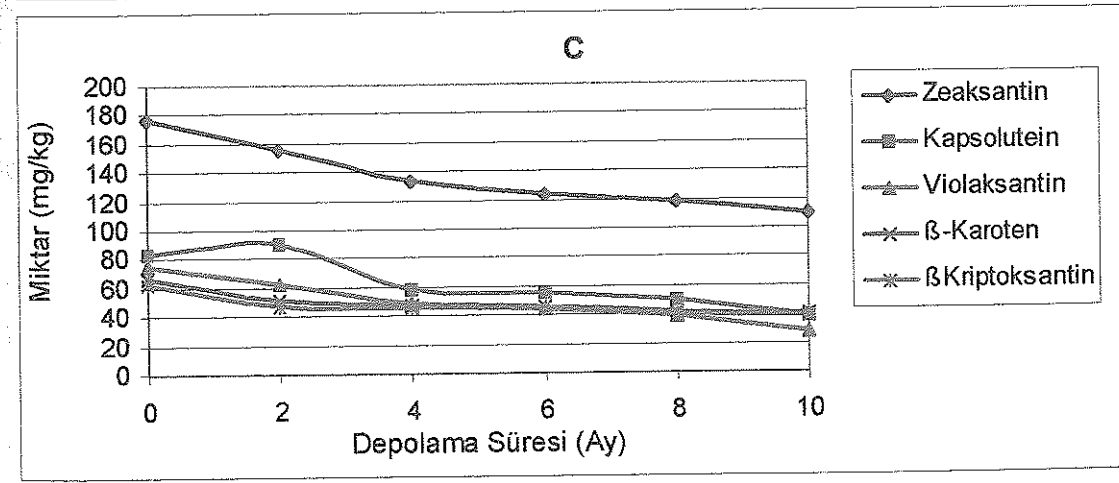
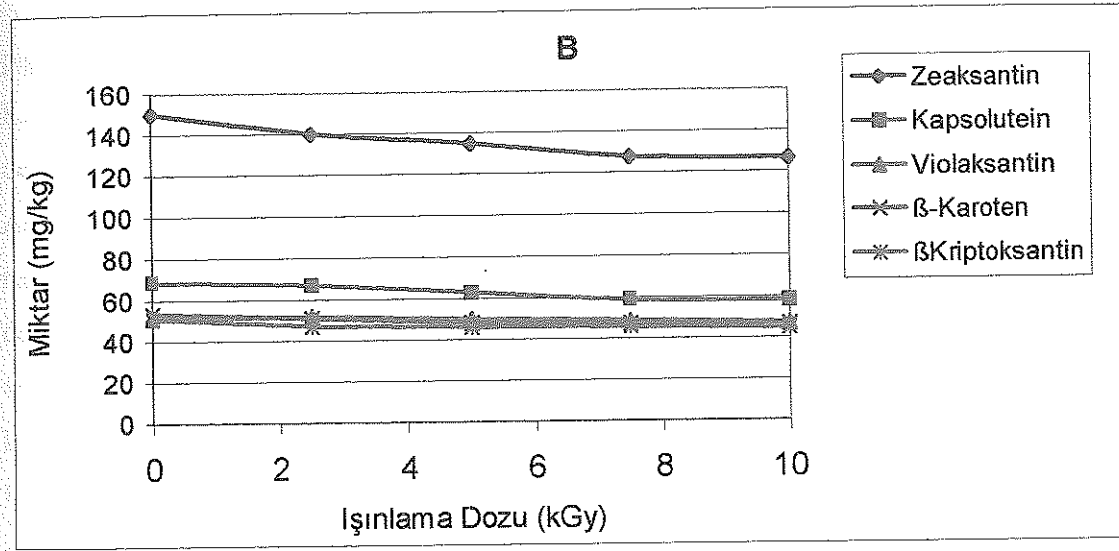
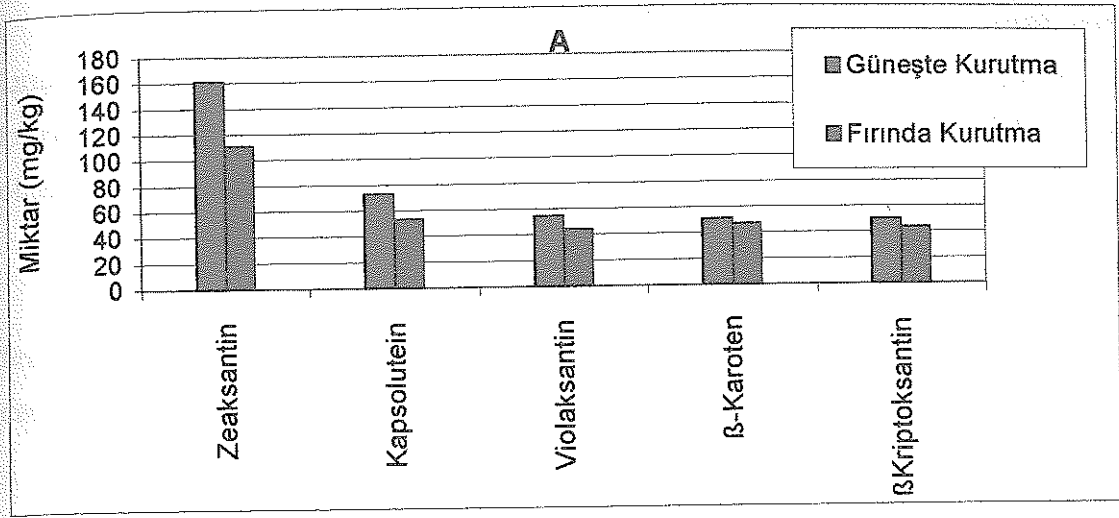
kurutulan örneklerden daha fazla olmuştur. Bu farklılık yüksek ışınlama dozlarında (7.5, 10 kGy) daha belirgin olarak görülmektedir (Bkz. Çizelge 4.28). Bu sonuçlardan hareketle 7.5 kGy ve üzerinde yapılan ışınlama işleminin bir kısım bileşenleri daha reaktif hale getirdiği söylenebilir.

Kurutma yöntemi x ışınlama dozu ve ışınlama dozu x depolama süresi interaksiyonlarının örneklerin zeaksantin içeriği üzerine etkisi önemsiz ($P>0.05$) bulunmuştur.

Güneşte kurutma yöntemiyle üretilen kırmızı pul biberin β -karoten içeriği, fırında kurutma yöntemi ile üretilen kırmızı pul biberin β -karoten içeriğinden önemli ($P<0.01$) düzeyde yüksek bulunmuştur (Bkz. Çizelge 4.32). Bu farklılığın diğer pigmentlerde de belirtildiği gibi, güneşte kurutma sırasında karotenoid sentezinin devam etmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Kırmızı pul biberin β -karoten miktarının 5 kGy ışınlama dozuna kadar önemli ($P<0.05$) düzeyde azaldığı, ancak 7.5 ve 10 kGy dozlarda ışınlanan örneklerin β -karoten içeriğinin, 5 kGy dozda ışınlanan örneklerin β -karoten içeriğinden istatistiksel olarak önemli ($P<0.05$) bir farkının bulunmadığı saptanmıştır (Bkz. Çizelge 4.33). Işınlama ile meydana gelen β -karoten kaybı ışınlamanın direkt ve dolaylı oksidatif etkisinden kaynaklanabilir.

β -karoten miktarı kırmızı pul biberin depolanma süresine bağlı olarak da azalmış ve 10 aylık depolama süresi sonunda β -karoten miktarında başlangıca göre %40' a yakın kayıp meydana geldiği tespit edilmiştir. Depolamanın ilk dört ayında hızlı olan β -karoten kaybı, daha sonraki depolama sürelerinde yavaşlamıştır. Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre, depolamanın 4. ayı ile 6. ayı ve 8. ayı ile 10. ayı arasında β -karoten miktarı bakımından önemli ($P>0.05$) bir farklılık belirlenmemiştir (Bkz. Çizelge 4.34).



Şekil 4.5. Kırmızı pul biberdeki zeaxantin, kapsolutein, violaksantin, β -karoten ve β -kriptoksantin miktarının kurutma yöntemi, ışınlama dozu ve depolama süresine göre değişimi

β -kriptoksantin de β -karoten gibi provitamin A özelliği gösteren bir bileşik olup kırmızı pul biberin renginde rol oynayan önemli bir pigmenttir. Kırmızı pul biberin β -kriptoksantin içeriği üzerine kurutma yönteminin önemli ($P<0.01$) düzeyde etkisi olmuştur (Bkz. Çizelge 4.31)

Güneşte kurutma yöntemi ile üretilen kırmızı pul biberin β -kriptoksantin miktarı fırında kurutularak üretilen kırmızı pul biberin β -kriptoksantin içeriğine kıyasla %16.2 daha yüksek bulunmuştur.

Sarı renk bileşenleri içinde β -karoten kurutma yönteminden en az etkilenen pigment olmuştur. β -karoteni ise β -kriptoksantin takip etmiştir (Bkz. Çizelge 4.30). Kırmızı biberde hasattan sonra renk bileşenlerinin belirli bir süre daha sentezlenmeye devam ettiğini ileri süren araştırmacılar (Minguez-Mosquera vd 1994 a) bulunmaktadır. Ancak özellikle hasatı takiben uzun süre güneşte kurutulan biberlerde kırmızı ve sarı renk bileşenlerinin hangisinin ne oranda ve ne kadar süre ile sentezlendiğini gösteren detaylı bir çalışmaya rastlanılamamıştır. Bu araştırmada elde edilen sonuçlar β -karoten ve β -kriptoksantin gibi sarı renk bileşenlerinin biberin güneşte kurutulması sırasında kırmızı renk bileşenlerine göre daha az oranda sentezlendiğini düşündürmektedir. Fırında kurutmada ise kuruma kısa sürede sağlandığı için biyokimyasal olayların devamı kısıtlanmaktadır.

Kırmızı pul biber örneklerinin β -kriptoksantin içeriği ışınlama dozuna bağlı olarak azalma göstermiş ve bu azalma düzeyi istatistiksel olarak önemli ($P<0.05$) olmuştur. Örneklerde her iki bileşik yaklaşık aynı oranda azalmıştır. β -kriptoksantin miktarı ışınlanmamış örnekte en yüksek düzeyde belirlenmiştir. 2.5 kGy dozda ışınlama bu bileşiğin miktarında önemli ($P<0.05$) düzeyde düşüşe neden olmuştur. β -kriptoksantin miktarı 5, 7.5 ve 10 kGy ışınlama dozlarında da doz artışına bağlı olarak düşmeye devam etmiş, ancak bu azalış istatistiksel olarak önemli ($P>0.05$) bulunmamıştır.

Kırmızı pul biberin β -kriptoksantin miktarı depolama süresine bağlı olarak azalmış, örneklerin 10 ay süre ile depolanması sonucunda %37.7 β -kriptoksantin kaybı

meydana gelmiştir. Bu pigmentin depolama süresine bağlı değişimi β -karotene benzer bulunmuştur. Örneklerin 4 ay depolama ile 6 ay depolama ve 8 ay ile 10 ay depolanması arasında β -kriptoksantin miktarı bakımından istatistiksel bir farklılık görülmemiştir (Bkz. Çizelge 4.32).

Genel olarak kırmızı pul biberdeki kırmızı ve sarı renkli karotenoidler birlikte değerlendirildiğinde (Bkz. Şekil 4.4 ve Şekil 4.5) bu bileşiklerin hepsinin fırında kurutma yönteminde daha düşük konsantrasyonlarda bulunduğu görülmektedir. Işınlama ile meydana gelen kayıplar da zeaksantin ve kapsolutein başta olmak üzere önemli bulunmuştur. Depolama periyodunda ise kapsolutein hariç diğer pigmentlerin hemen hepsi ilk 4 ay'lık sürede hızla azalmış diğer depolama sürelerinde bu azalış daha az olmuştur. Ancak en son depolama aşamasında meydana gelen zeaksantin, kapsolutein ve violaksantin azalışının tekrar arttığı gözlenmiştir. Kırmızı pul biberin karotenoidleri diğer uygulamalara nazaran depolama sırasında daha çok kayba uğramıştır. Bu sonuçlara ek olarak depolama stabilitesi daha yüksek olan pigmentlerin kapsorubin, β -karoten ve β -kriptoksantin olduğu da saptanmıştır.

Bu konuda yapılan çalışmalarda (Minguez-Mosquera ve Hornero-Mendez 1994 b, Minguez-Mosquera ve Hornero-Mendez 1997) kırmızı biberde violaksantin hariç diğer sarı pigmentlerin oksidatif değişimlere hassas olduğu ve bu hassasiyetin ortamdaki yağın özelliği ile ilişkili olduğu bildirilmiştir. Ayrıca depolamanın ve ışınlanmanın bu pigmentleri önemli düzeyde etkilediği de belirtilmiştir (Zavhariev vd 1991, Markus vd 1999).

4.9. Kırmızı Pul Biberin Acılık Bileşenleri Üzerine Kurutma Yöntemi, Işınlama Dozu ve Depolama Süresinin Etkisi

Güneşte ve fırında kurutularak farklı dozlarda ışınlanıp 10 ay süre ile depolanan kırmızı pul biber örneklerinde acılık (yakıcılık) bileşenleri (kapsaisinoidler) ışınlama işleminden hemen sonra başlayarak depolama süresince 2'şer aylık periyotlarla ölçülmüştür. Ayrıca bu özellik bakımından kırmızı pul biber üretiminde kullanılan taze kırmızı pul biber de analiz edilmiştir.

Taze kırmızı biberin acılık bileşenleri analizi sonucu kapsaisin, dihidrokapsaisin, homodihidroksapsaisin ve izodihidroksapsaisin tespit edilmiştir. Bu dört acılık bileşiğinin belirlendiği HPLC kromatogramında (Ek 3) tanımlanamayan bir bileşiğe daha rastlanmıştır. Belirlenen bileşiklerin miktarları çizelge 4.35' de verilmiştir.

Kırmızı pul biberde kurutma yöntemi, ışınlama dozu ve depolama süresine bağlı olarak belirlenen acılık bileşenlerinin miktarı Çizelge 4.36, Çizelge 4.37, Çizelge 4.38 ve Çizelge 4.39' da verilmiştir.

Çizelge 4.35. Taze kırmızı biberin acılık bileşimi miktarı ($X \pm SE$ mg/kg)

*	Nordihidroksapsaisin	Kapsaisin	Dihidroksapsaisin	Homodihidroksapsaisin	Tanımlanamayan
	1.59 \pm 0.049	56.1 \pm 1.195	36.3 \pm 1.098	2.44 \pm 0.068	12.4 \pm 0.910

(*) Sonuçlar %20.58 kurumadde üzerinden verilmiştir.

Çizelge 4.36. Güneşte ve fırında kurutularak üretilen ve farklı dozlarda ışınlanan kırmızı pul biberin depolama süresince kapsaisin miktarı değişimi (mg/kg)

Kurutma Yöntemi	Işınlama Dozu (kGy)	Işınlama Sonrası	Depolama Süresi (Ay)				
			2	4	6	8	10
Güneşte Kurutma	Şahit	204.7	205.3	164.1	140.9	131.9	137.7
	2.5	209.6	197.1	152.8	158.8	151.2	139.1
	5.0	207.5	201.0	173.6	168.1	155.3	143.3
	7.5	206.6	224.1	186.6	166.6	158.7	143.7
	10.0	213.6	201.4	174.7	169.8	159.0	146.1
Fırında Kurutma	Şahit	187.2	163.4	184.8	191.0	158.8	150.1
	2.5	201.2	191.9	186.7	192.5	164.7	155.0
	5.0	216.3	201.2	184.5	195.1	161.4	157.5
	7.5	227.6	214.0	186.8	192.4	169.9	163.7
	10.0	204.6	218.0	193.1	203.8	173.3	169.5

Çizelge 4.37. Güneşte ve fırında kurutularak üretilen ve farklı dozlarda ışınlanan kırmızı pul biberin depolama süresince dihidrokapsaisin miktarı değişimi (mg/kg)

Kurutma Yöntemi	Işınlama Dozu (kGy)	Işınlama Sonrası	Depolama Süresi (Ay)				
			2	4	6	8	10
Güneşte Kurutma	Şahit	124.3	123.5	99.5	79.0	80.1	79.9
	2.5	126.4	114.2	91.6	95.4	90.8	81.2
	5.0	124.4	121.1	104.8	100.9	92.0	82.7
	7.5	123.8	133.7	112.5	100.6	94.5	84.5
	10.0	127.0	120.0	104.8	102.7	95.1	85.4
Fırında Kurutma	Şahit	118.0	104.1	117.2	120.1	98.9	93.2
	2.5	126.8	122.2	117.7	122.2	101.7	96.1
	5.0	137.1	127.4	116.8	124.8	99.4	97.4
	7.5	143.0	134.5	118.5	123.1	107.1	100.8
	10.0	129.0	137.7	123.4	129.0	108.8	102.3

Çizelge 4.38. Güneşte ve fırında kurutularak üretilen ve farklı dozlarda ışınlanan kırmızı pul biberin depolama süresince homodihidro-kapsaisin miktarı değişimi (mg/kg)

Kurutma Yöntemi	Işınlama Dozu (kGy)	Işınlama Sonrası	Depolama Süresi (Ay)				
			2	4	6	8	10
Güneşte Kurutma	Şahit	4.55	4.21	3.15	2.41	2.20	2.96
	2.5	4.49	3.43	2.72	2.99	3.10	3.36
	5.0	3.97	3.62	3.52	3.10	2.51	3.22
	7.5	3.78	4.50	3.56	3.01	3.10	2.78
	10.0	4.26	4.11	3.85	3.64	3.18	2.64
Fırında Kurutma	Şahit	4.70	3.68	3.73	4.32	3.33	3.30
	2.5	4.93	4.37	4.07	3.98	2.96	3.19
	5.0	4.92	4.45	4.45	4.32	3.17	3.50
	7.5	5.35	4.86	3.67	4.92	3.67	3.33
	10.0	4.89	4.61	4.68	4.83	3.39	4.01

Çizelge 4.39. Güneşte ve fırında kurutularak üretilen ve farklı dozlarda ışınlanan kırmızı pul biberin depolama süresince izodihidro kapsaisin miktarı değişimi (mg/kg)

Kurutma Yöntemi	Işınlama Dozu (kGy)	Işınlama Sonrası	Depolama Süresi (Ay)				
			2	4	6	8	10
Güneşte Kurutma	Şahit	t.e.	t.e.	t.e.	t.e.	1.76	21.83
	2.5	t.e.	t.e.	t.e.	t.e.	3.32	11.99
	5.0	t.e.	t.e.	t.e.	t.e.	4.18	15.68
	7.5	t.e.	t.e.	t.e.	t.e.	2.82	16.57
	10.0	t.e.	t.e.	t.e.	t.e.	5.04	16.65
Fırında Kurutma	Şahit	t.e.	t.e.	t.e.	t.e.	3.88	16.05
	2.5	t.e.	t.e.	t.e.	t.e.	4.95	16.18
	5.0	t.e.	t.e.	t.e.	t.e.	4.65	15.79
	7.5	t.e.	t.e.	t.e.	t.e.	3.45	22.06
	10.0	t.e.	t.e.	t.e.	t.e.	4.95	22.04

(t.e.) tespit edilemedi

Analiz sonuçlarına göre kırmızı pul biberde en yüksek konsantrasyona sahip acılık maddesinin kapsaisin (137.7-227.6 mg/kg) olduğu, kapsaisini 79.9-137.1 mg/kg değeri ile dihidrokapsaisinin takip ettiği saptanmıştır. Kırmızı pul biberde minör miktarlarda belirlenen diğer bileşikler ise homodihidro kapsaisin (2.20-4.93 mg/kg) ve izodihidro kapsaisindir (1.76-22.06 mg/kg). Taze kırmızı biberde belirlenen nordihidro kapsaisin ise kırmızı pul biber örneklerinde belirlenememiştir. Buna karşılık kırmızı pul biberde bulunan izodihidro kapsaisin ise taze kırmızı biberde tespit edilememiştir (Ek 3 ve Ek 4). Elde edilen bulgular, kırmızı biberin acılık bileşenlerinin %90'ından fazlasının kapsaisin ve dihidrokapsaisinden oluştuğunu göstermiştir.

Pek çok araştırmada kırmızı biber ve ürünlerinde bulunan acılık bileşenlerinin büyük bir miktarının kapsaisin ve dihidrokapsaisinden oluştuğu bildirilmektedir (Yao vd 1994, Kobota vd 1998, Sato vd 1999, Dong 2000, Perucka ve Oleszek 2000).

Literatürlere geçen en acı biberin 1700 mg/kg kapsaisinoid içeriği (yaş ağırlık üzerinden) ile Scotch Bennet (*Capsicum annuum*) çeşiti biber olduğu belirtilmektedir

(Peusch vd 1997). Ancak değişik acılıklardaki biber çeşitleri üzerinde yapılan bazı araştırmalarda kapsaisinoid miktarlarının 4.2-3140 mg/kg arasında değiştiği rapor edilmiştir (Attuquayefio ve Buckle 1987, Peusch vd 1996, Perucka ve Oleszek 2000). Bildirilen bu sonuçlar analiz edilen biberlerin farklı olgunluk düzeylerinde, yaş veya kuru ağırlık üzerinden hesaplanması sonucu elde edilmiştir. Ülkemizde Maraş Biberi üzerinde yapılan bir çalışmada ise (Artık vd 2001) kapsaisin miktarının 810-1420 mg/kg, dihidrokapsaisin miktarının ise 380-700 mg/kg arasında değiştiği belirlenmiştir.

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar yukarıda sözü edilen araştırma sonuçları ile karşılaştırıldığı zaman toplam kapsaisinoid bileşikleri miktarının literatür değerlerinden düşük olduğu görölmektedir. Ancak bazı araştırma (Peusch vd 1996) bulgularına göre ise daha yüksek bulunmuştur. Araştırma bulgularında görölen bu farklılığın biberin türü, çeşiti, yetişme koşulları, olgunluk düzeyi, meyvenin nem içeriği gibi faktörlerden kaynaklandığı düşünölmektedir. Nitekim aynı türün farklı çeşitlerinde, hatta aynı çeşit biberlerin kendi içinde acılık bakımından geniş varyasyon gösterebileceği bildirilmektedir (Jo vd 1997, Zewdie ve Bosland 2001). Ayrıca bitkinin yetişme koşulları ve meyvenin hasat edildiği olgunluk düzeyi de bu bileşiklerin miktarca farklı olmasında etkili olmaktadır. Contrearas-Padilla ve Yahia (1998) biberdeki acılık bileşenlerinin meyve tutumu ile sentezlenmeye başladığını, meyvenin büyümesi ile arttığını ve 40-45 gün sonra en yüksek değere ulaştığını, ancak daha sonra peroksidaz aktivitesi nedeniyle tekrar düştüğünü bildirmektedirler.

Güneşte ve fırında kurutularak, farklı dozlarda işlanıp, 10 ay süre ile depolanan kırmızı pul biber örneklerinin acılık bileşenler analiz değerlerine ait varyans analizi sonuçları Çizelge 4.40 ve Çizelge 4.41' de verilmiştir. Varyans analizi sonuçları örneklerin kapsaisin ve dihidrokapsaisin miktarı üzerine kurutma yöntemi, işnlama dozu ve depolama süresinin önemli ($P<0.01$) düzeyde etkisi olduğunu göstermiştir. Diğer acılık bileşenlerinden homodihidro-kapsaisin ve izodihidro-kapsaisin depolama süresine bağlı olarak önemli ($P<0.01$) düzeyde farklılık gösterirken, izodihidro-kapsaisin kurutma yöntemi ve işnlama dozundan etkilenmemiştir. Homodihidro-kapsaisin ise kurutma yöntemine bağlı olarak $P<0.01$ seviyesinde, işnlama dozuna bağlı olarak da

Çizelge 4.40. Kırmızı pul biberin acılık bileşenlerinin değerlerine ait varyans analizi sonuçları

Varyasyon Kaynakları	SD	Kapsaisin		Dihidro-kapsaisin	
		KO	F	KO	F
Kurutma Yöntemi (K)	1	4494.5280	39.15 **	5381.1735	146.09 **
Işınlama Dozu (I)	4	1404.3174	12.23 **	549.7777	14.93 **
Depolama Süresi (D)	5	10333.5552	90.01 **	4290.7359	116.49 **
K x I	4	52.9055	0.46	21.4956	0.58
K x D	5	1116.3032	9.72 **	402.9447	10.94 **
I x D	20	76.1216	0.66	32.7269	0.89
K x I x D	20	194.8447	1.70	81.0718	2.20 **
Hata	60	114.8088			

([^]) P<0.05 seviyesinde. (^{**}) P<0.01 seviyesinde farklılık ifade eder.

Çizelge 4.41. Kırmızı pul biberin acılık bileşenleri değerlerine ait varyans analizi sonuçları

Varyasyon Kaynakları	SD	Homodihidro-kapsaisin		İzodihidro-kapsaisin	
		KO	F	KO	F
Kurutma Yöntemi (K)	1	15.6255	47.71 **	6.6882	0.94
Işınlama Dozu (I)	4	0.8328	2.54 *	3.6005	0.51
Depolama Süresi (D)	5	6.5258	19.92 **	978.7577	138.28 **
K x I	4	0.1006	0.31	3.0319	0.43
K x D	5	0.7305	2.23	3.1077	0.44
I x D	20	0.2141	0.65	4.6481	0.66
K x I x D	20	0.2975	0.91	4.1712	0.59
Hata	60	114.8088			

([^]) P<0.05 seviyesinde. (^{**}) P<0.01 seviyesinde farklılık ifade eder.

P<0.05 seviyesinde farklılık göstermiştir. Kapsaisin ve dihidrokapsaisin miktarının kurutma yöntemi x depolama süresi interaksyonu önemli (p<0.01) bulunmuş yani depolama süresinde belirlenen bu bileşiklerin miktarı, kurutma yöntemlerine göre farklılık göstermiştir. Çizelgeler (Bkz. Çizelge 4.36 ve Çizelge 4.37) incelendiği zaman, ışınlama işleminin hemen akabinde her iki kurutma yöntemine ait kapsaisin ve

kapsaisin ve dihidrokapsaisin miktarları yaklaşık aynı iken, 10 aylık depolama süresi sonunda bu bileşiklerin miktarında önemli derecede bir azalma belirlenmiştir. Ancak güneşte kurutularak üretilen kırmızı pul biber örneklerinde bu kayıp daha fazla olmuştur.

Güneşte ve fırında kurutularak elde edilen ve farklı dozlarda ışlandıktan sonra 10 ay süre ile depolanan kırmızı pul biber örneklerine ait ortalama kapsaisin, dihidrokapsaisin, homodihidro-kapsaisin ve izodihidro-kapsaisin sonuçlarına ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları Çizelge 4.42, Çizelge 4.43 ve Çizelge 4.44'de verilmiştir.

Fırında kurutma yöntemiyle üretilen kırmızı pul biberin kapsaisin, dihidrokapsaisin ve homodihidro-kapsaisin miktarları güneşte kurutma yöntemiyle üretilen örneklerden önemli ($P < 0.05$) düzeyde yüksek bulunmuştur (Çizelge 4.42). Bazı araştırmacılar biberin hasat sonrası güneşte kurutulması sırasında bir süre daha devam eden peroksidaz enzimi aktivitesi ile acılık bileşenlerinin oksitlendiğini bildirmektedirler (Contreras-Padilla ve Yahia 1998). Çalışmamızda elde edilen sonuçlar da bu savı doğrulamaktadır. Örneklerin izodihidro-kapsaisin miktarı geniş varyasyon gösterdiği için, kurutma yöntemlerinin bu bileşik üzerine olan etkisi önemli ($P > 0.05$) bulunmamıştır.

Kırmızı pul biber örneklerinin bulunan kapsaisin, dihidrokapsaisin ve homodihidro-kapsaisin içeriği ışınlama dozu artışına paralel olarak önemli ($P < 0.05$) düzeyde artmıştır (Çizelge 4.43). Örneklerle uygulanan 10 kGy' lik ışınlama dozu kapsaisin, dihidrokapsaisin ve homodihidro-kapsaisin miktarında %10' nun üzerinde bir artışa neden olmuştur. Kapsaisin ve dihidrokapsaisin miktarı 5 kGy ışınlama dozuna kadar hızlı bir artış göstermiş, ancak 5 kGy' in üzerindeki dozlarda bu artış istatistiksel olarak önemli bir farklılık ortaya koymamıştır. Subbulakshmi vd (1991) ışınlanmış kırmızı pul biberlerin acılığının ışınlanmamış örneklerden daha fazla olduğunu bildirmektedirler. Işınlama ile kırmızı pul biberdeki kapsaisin ve dihidrokapsaisin miktarında meydana gelen bu artışın kimyasal bir dönüşümden kaynaklanmış olması

Çizelge 4.42. Güneşte ve fırında kurutularak üretilen kırmızı pul biberin acılık bileşenlerinin ortalama değerlerine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları ($X \pm SE$ mg/kg)

Kurutma	Kapsaisin	Dihidro-kapsaisin	Homodihidro-kapsaisin	İzodihidro-kapsaisin
Güneşte Kurutma	173.07 \pm 3.732 ^b	103.20 \pm 2.291 ^b	3.40 \pm 0.096 ^b	3.33 \pm 0.856 ^a
Fırında Kurutma	185.31 \pm 2.714 ^a	116.59 \pm 1.815 ^a	4.12 \pm 0.103 ^a	3.80 \pm 0.912 ^a

Değişik harfler ortalamaların $P < 0.05$ seviyesinde farklı olduğunu gösterir.

Çizelge 4.43. Farklı dozlarda ışınlanan kırmızı pul biberin acılık bileşenlerinin ortalama değerlerine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları ($X \pm SE$ mg/kg)

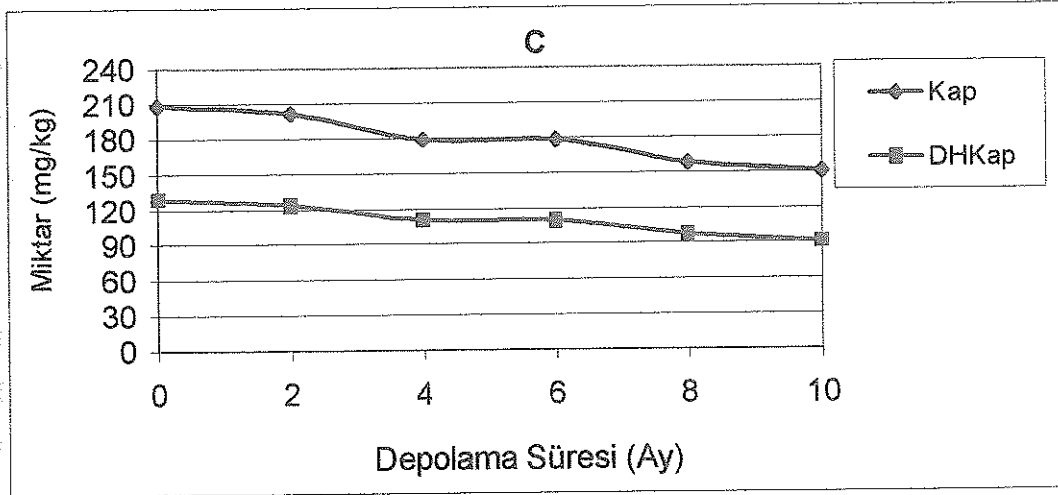
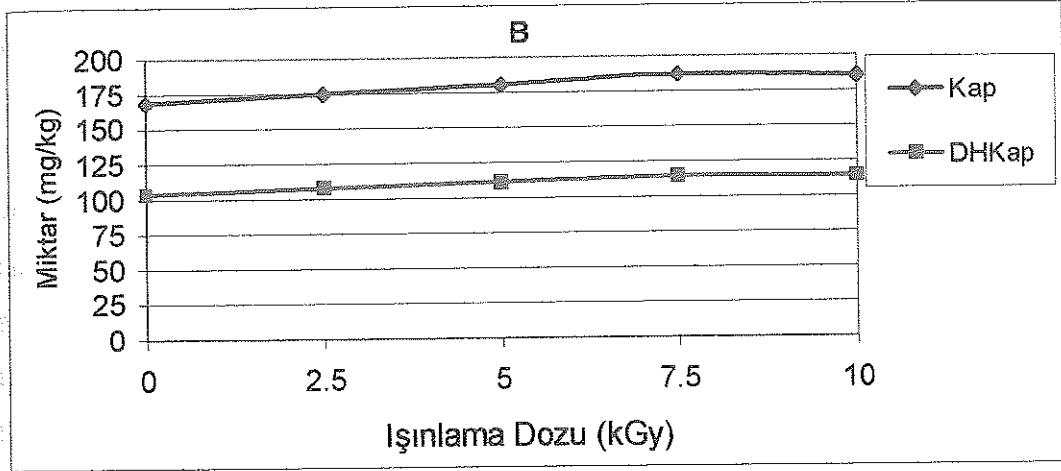
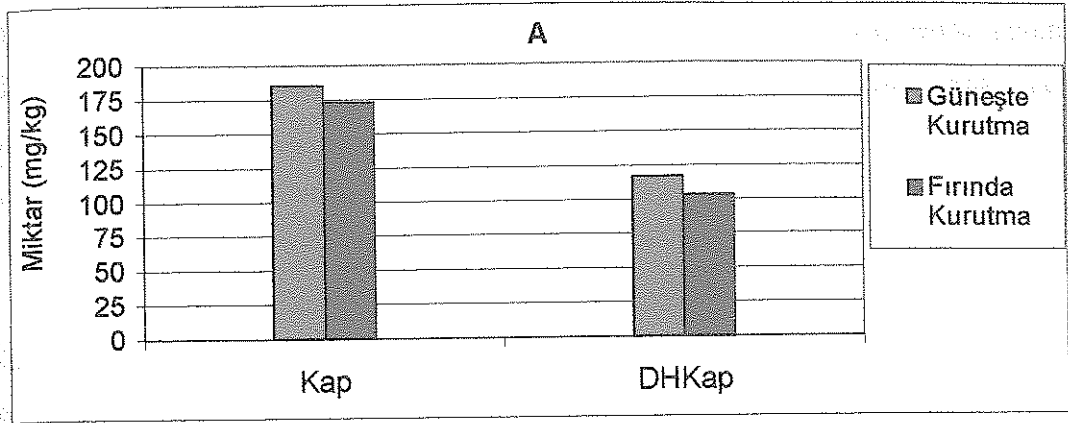
Işınlama dozu (kGy)	Kapsaisin	Dihidro-kapsaisin	Homodihidro-kapsaisin	İzodihidro-kapsaisin
Şahit	168.30 \pm 5.872 ^c	103.13 \pm 3.800 ^d	3.54 \pm 0.187 ^b	3.63 \pm 1.576 ^a
2.5	175.03 \pm 4.836 ^b	107.18 \pm 3.272 ^c	3.63 \pm 0.173 ^b	3.04 \pm 1.153 ^a
5.0	180.38 \pm 4.766 ^{ab}	110.72 \pm 3.344 ^b	3.73 \pm 0.155 ^{a-b}	3.36 \pm 1.207 ^a
7.5	186.70 \pm 5.630 ^a	114.69 \pm 3.674 ^a	3.88 \pm 0.189 ^{a-b}	3.74 \pm 1.540 ^a
10.0	185.55 \pm 4.718 ^a	113.74 \pm 3.274 ^{a-b}	4.01 \pm 0.156 ^a	4.06 \pm 1.542 ^a

Değişik harfler ortalamaların $P < 0.05$ seviyesinde farklı olduğunu gösterir.

Çizelge 4.44. Farklı sürelerde depolanan kırmızı pul biberin acılık bileşenlerinin ortalama değerlerine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları ($X \pm SE$ mg/kg)

Depolama Süresi	Kapsaisin	Dihidro-kapsaisin	Homodihidro-kapsaisin	İzodihidro-kapsaisin
Işınlama Sonrası	207.85 \pm 3.710 ^a	127.94 \pm 2.275 ^a	4.58 \pm 0.130 ^a	t.e. ^c
2. Ay	201.72 \pm 4.207 ^a	123.82 \pm 2.578 ^b	4.18 \pm 0.173 ^b	t.e. ^c
4. Ay	178.74 \pm 2.974 ^b	110.66 \pm 2.290 ^c	3.74 \pm 0.140 ^c	t.e. ^c
6. Ay	177.88 \pm 4.633 ^b	109.75 \pm 3.630 ^c	3.75 \pm 0.215 ^c	t.e. ^c
8. Ay	158.40 \pm 2.634 ^c	96.84 \pm 1.886 ^d	3.06 \pm 0.112 ^d	3.90 \pm 0.270 ^b
10. Ay	150.55 \pm 2.351 ^d	90.35 \pm 1.866 ^c	3.23 \pm 0.118 ^d	17.48 \pm 1.279 ^a

Değişik harfler ortalamaların $P < 0.05$ seviyesinde farklı olduğunu gösterir.

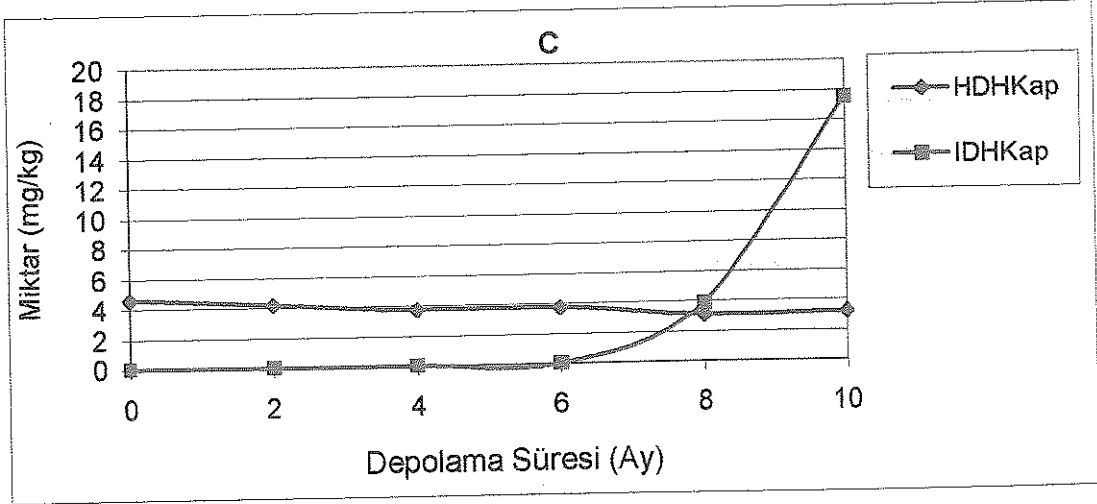
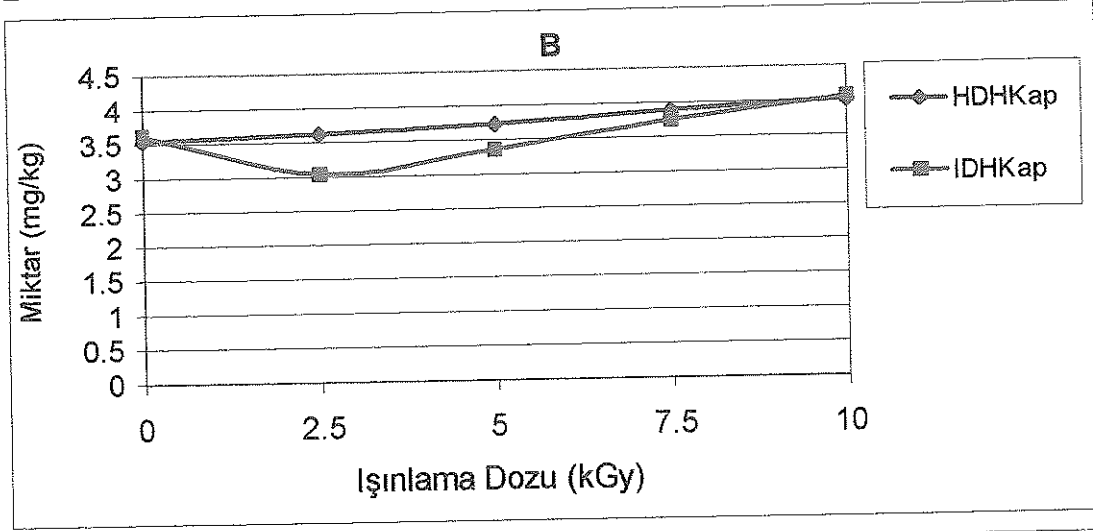
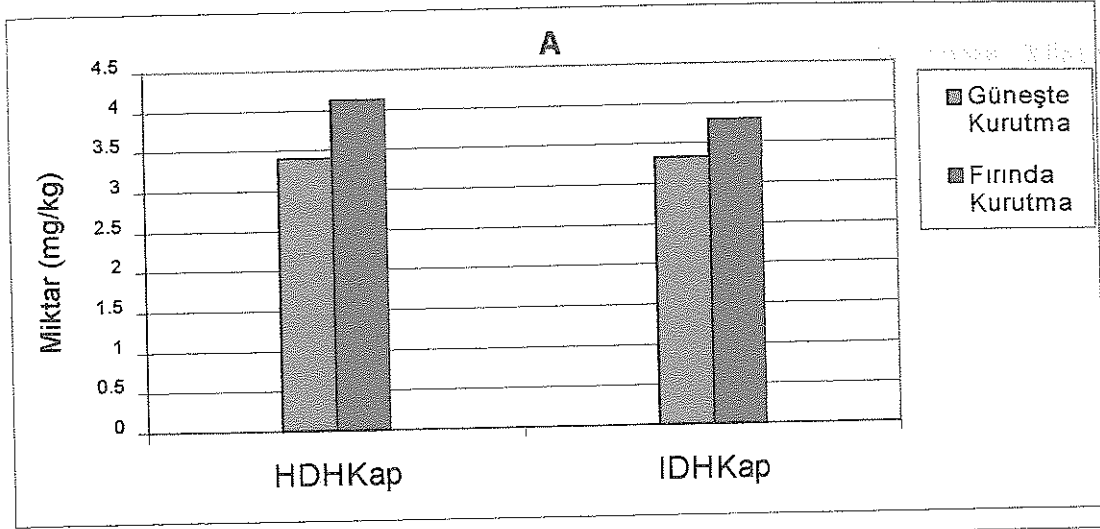


Şekil 4.6. Kırmızı pul biberdeki kapsaisin ve dihidrokapsaisin miktarının kurutma yöntemi, ışınlama dozu ve depolama süresine göre değişimi

muhtemeldir. Ancak bu bileşiklerin bir kısmının yağlarla esterleşmiş halde bulunuyor olabileceği ve ışınlama sırasında bu bağların kopmasıyla serbest hale gelerek polaritelerinin artabileceği dolayısıyla da asetonitril ekstraksiyonunun daha verimli hale gelmiş olması da mümkündür.

Diğer acılık bileşeni izodihidro kapsaisin miktarı ise ışınlama dozuna bağlı olarak önemli ($P>0.05$) bir değişiklik göstermezken, 10 kGy dozda ışınlanmış örneklerin homodihidro kapsaisin miktarı ışınlanmamış ve sadece 2.5 kGy dozda ışınlanmış örneklere kıyasla önemli ($p<0.05$) düzeyde yüksek bulunmuştur (Bkz. Çizelge 4.40).

Kırmızı pul biberdeki kapsaisin, dihidro kapsaisin ve homodihidro kapsaisin miktarları depolama süresinin uzamasıyla önemli ($p<0.05$) düzeyde azalmıştır (Bkz. Çizelge 4.41 ve Şekil 4.6 c). 10 ay süre ile depolanan örneklerde kapsaisin miktarı %27.6, dihidro kapsaisin miktarı %29.4 ve homodihidro kapsaisin miktarı da %29.5 azalmıştır. İzodihidro kapsaisin ise ilk 6 aylık depolama süresinde tespit edilemezken, devam eden depolama süresinde ortaya çıkmış ve konsantrasyonu hızla artmıştır. Bu bileşiğin 6 aydan daha uzun süre depolanan kırmızı pul biber örnekleri için ayırt edici bir belirteç olabileceği düşünülmektedir. Ancak izodihidro kapsaisinin ortaya çıktığı depolama aşamaların Haziran ve Ağustos aylarına rastlaması (Şekil 4.7 c), oluşan bu bileşiğin depolama sıcaklığı ile ilişkili olabileceğini de düşündürmektedir. Ayrıca bu maddenin miktarına ait sonuçların standart hatalarının yüksek olması da olumsuz bir sonuç olarak dikkati çekmektedir. Konu ile ilgili daha detaylı çalışmalara gereksinim olduğu düşünülmektedir. Literatür bilgilerine göre bu bileşik sadece asetonitril ekstraksiyonu ile yapılmış sınırlı sayıdaki araştırmalarda tespit edilebilmiştir (Collins vd 1995, Zewdie ve Bosland 2000) Sözü edilen bu çalışmalarda *Capsicum annuum* türüne ait 6 çeşit biber analiz edilmiş, bu çeşitlerden sadece 3 tanesinde az miktarda izodihidro kapsaisin belirlenebilmiştir. Acılık bileşenlerinin depolamaya bağlı değişimi konusunda ise detaylı bir araştırmaya rastlanılamamıştır.



Şekil 4.7. Kırmızı pul biberdeki homodihidrokapaisin ve izodihidrokapaisin miktarının kurutma yöntemi, ışınlama dozu ve depolama süresine göre değişimi

4.10. Kırmızı Pul Biberin Scoville Acılık Birimi Üzerine Kurutma Yöntemi, Işınlama Dozu ve Depolama Süresinin Etkisi

Güneşte ve fırında kurutularak üretilen, beş farklı dozda ışınlanan ve 10 ay süre ile depolanan kırmızı pul biberlerin duyusal olarak belirlenen Scoville Acılık Birimi sonuçları Çizelge 4.45’de verilmiştir.

Güneşte ve fırında kurutularak farklı dozlarda ışınlanan kırmızı pul biber örneklerinin 10 aylık depolama süresinde belirlenen Scoville Acılık Birimi değerleri 5250 ile 6500 arasında değişmiştir. Bosland (1994) kırmızı pul biberleri Scoville Acılık Birimine (SAB) göre acısız (0-700 SAB), az acı (700-3 000 SAB), orta acı (3 000-25 000 SAB), acı (25 000-70 000 SAB) ve çok acı (80 000 SAB) şeklinde sınıflandırmaktadır. Ancak Zewdie ve Bosland (2000) Scoville Acılık Birimi 0’dan 300 000’e kadar değişen acılıklarda biber çeşitleri olduğunu bildirmektedirler. Bu biberlerden üretilen kırmızı pul biberlerin acılık özelliğinin de hammaddenin acılığı ile orantılı olması beklenir. Elde edilen araştırma sonuçlarına göre Kahramanmaraş yöresine has kırmızı pul biberin orta acılık sınıfına girdiği görülmektedir.

Kırmızı pul biberin Scoville Acılık Birimi büyük ölçüde kırmızı pul bibere işlenen biberlerin kapsaisinoid miktarına bağlıdır. Biberin kapsaisinoid miktarı ne kadar yüksek ise, Scoville Acılık Birimi de o nisbette yüksek olmaktadır. Ancak kapsaisinoid bileşiklerinin verdiği duyusal acılık hisleri birbirlerinden çok farklı olduğundan (Dong 2000) Scoville Acılık Birimi toplam kapsaisinoid miktarıyla birlikte kapsaisinoid kompozisyonuyla da ilişkilidir. Toplam kapsaisinoid bileşikleri içerisinde kapsaisin ve dihidrokapsaisin oranı arttıkça Scoville Acılık Birimi de artmaktadır. Diğer kapsaisinoid bileşiklerinin ise verdiği acılık hissi çok düşüktür (Krajewska ve Powers 1988).

Yukarıdaki faktörlerle birlikte, kurutma yöntemi, ışınlama dozu ve depolama süresi de kırmızı pul biberin Scoville Acılık Birimi üzerine etkili olmaktadır. Kurutma yöntemi, ışınlama dozu ve depolama süresine göre Scoville Acılık Birimi değişimine ait varyans analizi sonuçları Çizelge 4.46’da verilmiştir.

Çizelge 4.45. Güneşte ve fırında kurutularak üretilen ve farklı dozlarda ışınlanan kırmızı pul biberin depolama süresince Scoville Acılık Birimi değişimi

Kurutma Yöntemi	Işınlama Dozu (kGy)	Işınlama Sonrası	Depolama Süresi (Ay)				
			2	4	6	8	10
Güneşte Kurutma	Kontrol	6000	6000	6000	6000	5500	5250
	2.5	6250	6500	6000	5750	6000	5500
	5.0	6000	6250	6250	5750	5750	5500
	7.5	6250	6000	6000	5750	5750	5500
	10.0	6250	5750	6250	6000	6000	5750
Fırında Kurutma	Kontrol	6000	6000	5750	6000	5750	5250
	2.5	6250	6250	6000	6000	6000	5750
	5.0	6000	5750	6000	5750	6000	5750
	7.5	6250	5750	5750	6000	5750	5750
	10.0	6250	6250	6000	6000	6000	5750

Depolama süresi kırmızı pul biberin Scoville Acılık Birimi üzerine $P < 0.01$ seviyesinde, ışınlama dozu ise $P < 0.05$ seviyesinde etkili olmuştur. Örneklerle uygulanan kurutma yöntemleri ise Scoville Acılık Biriminde önemli bir değişikliğe neden olmamıştır. Varyans analizi sonuçlarına göre önemli farklılık oluşturan ışınlama dozu ve depolama sürelerinin Scoville Acılık Birimine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi

Çizelge 4.46. Kırmızı pul biberin Scoville Acılık Birimi değerlerine ait varyans analizi sonuçları

Varyasyon Kaynakları	SD	KO	F
Kurutma Yöntemi (K)	1	18750	0.22
Işınlama Dozu (I)	4	253125	3.12 *
Depolama Süresi (D)	5	962083	11.84 **
K x I	4	23958	0.29
K x D	5	58750	0.72
I x D	20	69375	0.85
K x I x D	20	32708	0.40
Hata	60	81250	

(*) $P < 0.05$ seviyesinde. (**) $P < 0.01$ seviyesinde farklılık ifade eder.

sonuçları sırasıyla Çizelge 4.47 ve Çizelge 4.48'de verilmiş ve Şekil 4.8'de gösterilmiştir.

Kırmızı pul biberlerin Scoville Acılık Biriminde 7.5 kGy ışınlama dozuna kadar önemli bir farklılık görülmemiş, ancak 10 kGy dozda istatistiksel olarak önemli ($P<0.05$) bir artış olduğu saptanmıştır. Subbulakshmi vd (1991) ışınlamanın kırmızı toz biberin duyuusal acılık şiddetini arttırdığını ifade etmişlerdir. Duyusal olarak belirlenen bu acılık artışının kapsaisinoidlerin ışınlama ile polar özellik kazanması sonucu daha fazla ekstrakte olabilmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Işınlama ile kapsaisinoidlerde meydana gelen artış göz önüne alındığında (Bkz. Çizelge 4.43) duyuusal olarak test edilen Scoville Acılık Birimi değerinin ışınlama ile daha az değiştiği görülmektedir. Kromatografik olarak analiz edilen acılık maddeleri ile duyuusal olarak test edilen acılık şiddeti arasındaki farklılığın ekstraksiyonda kullanılan çözügen farklılığından ve ekstraksiyon şartlarından kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Scoville Acılık Birimi analizi için kırmızı pul biberler etil alkol ile oda sıcaklığında, 1 gün süre ile ekstrakte edilirken, kapsaisinoid analizleri için aynı örnekler asetonitril ile 80°C'de 4 saat süre ile ekstrakte edilmiştir. Bunun yanında duyuusal analizde panelistlerin algılama eşiklerinin kromatografik analizde tespit edilen miktarların daha üzerinde olması da bu farklılıklara neden olabilir. Duyusal acılık testinde dikkati çeken diğer bir farklılık ise 10 kGy dozda ışınlanan örneklerin ortalama Scoville Acılık Birimi değerinin 2.5 kGy dozda ışınlanan örneklerin değeri ile aynı olduğudur. Bu da düşük dozda ışınlama ile acılık bileşenlerinde meydana gelen ve kromatografik analizlerde belirlenemeyen

Çizelge 4.47. Farklı dozlarda ışınlanan kırmızı pul biberin ortalama Scoville Acılık Birimi değerlerine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları

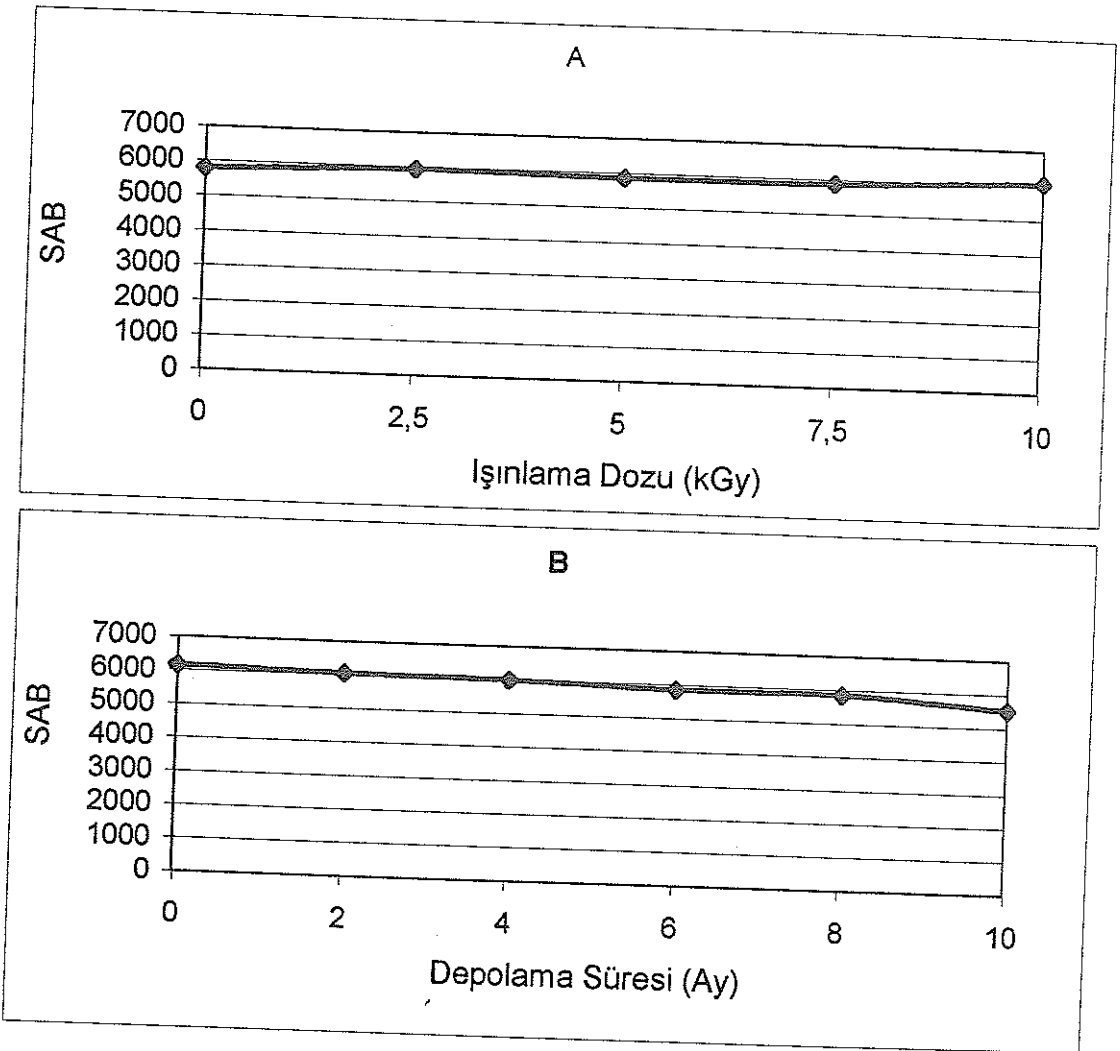
Işınlama Dozu (kGy)	X ± SE
Şahit	5792 ± 55.735 ^b
2.5	5938 ± 52.500 ^{a b}
5.0	5854 ± 75.508 ^b
7.5	5875 ± 68.960 ^b
10.0	6062 ± 54.776 ^a

Değişik harfler ortalamaların $P<0.05$ seviyesinde farklı olduğunu gösterir.

Çizelge 4.48. Farklı sürelerde depolanan kırmızı pul biberin ortalama Scoville Acılık Birimi değerlerine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları

Depolama Süresi	X ± SE
Işılama Sonrası	6150 ± 53.857 ^a
2. Ay	6050 ± 51.772 ^a
4. Ay	6000 ± 51.299 ^{ab}
6. Ay	5850 ± 53.857 ^b
8. Ay	5850 ± 52.566 ^b
10. Ay	5525 ± 67.619 ^c

Değişik harfler ortalamaların P<0.05 seviyesinde farklı olduğunu gösterir.



Şekil 4.8. Kırmızı pul biberin Scoville Acılık Birimi değerinin kurutma yöntemi, ışılama dozu ve depolama süresine göre değişimi

muhtemel bir izomerizasyondan kaynaklanabilir. Ancak bu ilişkiyi açıklayan herhangi bir literatür bilgisine rastlanılamamıştır.

Kırmızı pul biberlerin Scoville Acılık Birimi değerleri depolama süresine bağlı olarak önemli ($P < 0.05$) düzeyde azalmıştır. Ancak bu azalış ilk 4 aylık depolama süresi için istatistiksel olarak önemsiz ($P > 0.05$) bulunmuştur. Ayrıca depolama süresinin 4. ile 8. aylar arasında da test edilen duyuşsal acılık özelliğinin önemli bir farklılık oluşturmadığı görülmektedir (Bkz. Çizelge 4.48). Ancak 10. ayda elde edilen duyuşsal analiz sonuçları diğer depolama aşamalarında elde edilen sonuçlara göre önemli ($P < 0.05$) düzeyde düşük bulunmuştur. Depolama süresinde Scoville Acılık Biriminde belirlenen düşüşler benzer şekilde kapsaisinoid bileşiklerinde de görülmektedir (Bkz. Çizelge 4.44). Ancak kromatografik olarak belirlenen kapsaisinoid miktarındaki azalışın oransal olarak Scoville Acılık Birimindeki azalışdan daha fazla olduğu görülmektedir. Bunun nedenin de panelistlerin acılık eşiklerinin kromatografik analiz eşliğinden daha yüksek olmasıdır. Depolama süresinde meydana gelen acılık kaybının kapsaisinoid oksidasyonu sonucu meydana geldiği düşünölmektedir. Depolamanın son aşamasında Scoville Acılık Biriminin daha fazla düşmesinin ise depolama sıcaklığındaki artışın oksidasyon hızını artırmasından kaynaklandığı tahmin edilmektedir. Nitekim Kischbaum-Titze vd (2002) kırmızı biberin oksijenli ortamda depolanması sonucu önemli düzeyde kapsaisinoid kaybı meydana geldiğini ve bu kaybın depolama sıcaklığı artışı ile paralellik gösterdiğini bildirmektedirler.

5. SONUÇ

Araştırmada, güneşte ve fırında kurutularak üretilen kırmızı pul biberlerin farklı dozlarda (0, 2.5, 5.0, 7.5 ve 10 kGy) ışınlanması ve 10 ay süre ile depolanması sonucu meydana gelen bazı mikrobiyolojik, kimyasal ve duyuşsal kalite değişimleri araştırmıştır. Çalışma, 2001 yılı üretim sezonunda Kahramanmaraş ili ve çevresinde yetiştirilen *Capsicum annuum* türü biberden elde edilen kırmızı pul biberler üzerinde gerçekleştirilmiştir.

Kırmızı pul biber sterilizasyonu için gerekli dozların belirlenmesi amacıyla toplam aerobik mezofil bakteri ve maya+küf sayısı; belirlenen ışınlama dozlarında depolamaya bağlı kimyasal ve duyuşsal özellik değişimlerini belirlemek amacıyla da aflatoksinler, nem, ASTA renk değeri, karotenoid kompozisyonu, kapsaisinoid kompozisyonu ve Scoville Acılık Birimi analiz edilmiştir.

Mikrobiyolojik analiz sonuçlarına göre güneşte kurutularak üretilen kırmızı pul biberin toplam aerobik mezofil bakteri sayısı fırında kurutularak üretilen kırmızı pul bibere kıyasla daha yüksek bulunmuştur. Güneşte kurutularak elde edilen kırmızı pul biberde 10 kGy, fırında kurutularak elde edilen kırmızı pul biberde üretim koşullarının daha hijyenik olması nedeniyle 7.5 kGy ışınlama dozunun gerekli dozlar olduğu görülmüştür. Fırında kurutularak üretilen kırmızı pul biber için gerekli bulunan dozun düşük olması, ürünün daha düşük sayıda bakteri içermesinden kaynaklanmaktadır. Sonuçlar tüm dünyada önerilen 10 kGy ışınlama dozunun ülkemizde üretilen kırmızı pul biberler için de uygun doz olduğunu göstermektedir. Ancak fırında kurutularak elde edilen kırmızı pul biberin sterilizasyonunda ışınlama maliyetini düşürmek için 7.5 kGy ışınlama dozu önerilebilir.

Güneşte kurutma yöntemiyle üretilen, ışınlanmamış kırmızı pul biberde 2 logaritma ünitelik maya ve küf belirlenmiş, ancak fırında kurutularak üretilen kırmızı pul biberde maya ve küf bulunmadığı saptanmıştır. Güneşte kurutularak elde edilen kırmızı pul biberdeki maya ve küf içeriği için 2.5 kGy dozun yeterli olduğu belirlenmiştir. Ancak küf ve maya belirlenen ışınlanmamış örneklerin küf ve maya

içeriği yüksek yoğunluklu polietilen ambalaj içerisinde 2 ay depolama sonunda yok olmuştur. Bu durum, kırmızı pul biberin acılık bileşenlerinin fungusit etkisi olduğunu düşündürmektedir. Bu konuda daha kapsamlı araştırmalar yapılmasının gerekli olduğu görülmüştür. Kırmızı pul biberin toplam aerobik mezofil bakteri yükünü etkisiz hale getirmek için 10 kGy dozda ışınlama uygulanması halinde, bu ürünlerdeki maya ve küf yükünün de zaten etkisiz hale geleceği görülmüştür.

Kırmızı pul biber örneklerinin hiçbirisinde analiz hassasiyetinin üzerinde aflatoksin tespit edilememiştir. Ancak gıda güvenliğinin sağlanması bakımından son yıllarda zorunlu hale gelen yasal aflatoksin sınırları, bu ürünlerin uluslararası ticarete rekabet gücünü düşürmektedir. Tekniğine uygun üretim yapılmaması halinde dünya genelinde olduğu gibi ülkemizde de kırmızı pul biberin aflatoksin miktarı yasal sınırların üzerine çıkmaktadır. Araştırma örneklerinde aflatoksin belirlenemeyişinin sebebi fırında kurutma ve güneşte kurutulan biberlerde ayıklamanın titiz yapılmasıdır.

Güneşte kurutularak elde edilen kırmızı pul biberin nem içeriği doğal koşullardaki kuruma olgusunun yavaş olması nedeniyle fırında kurutularak üretilen kırmızı pul biberlere kıyasla daha yüksek bulunmuştur. Ürünlerin nem içeriği 7.5 kGy ışınlama dozuna kadar farklılık göstermezken, 10 kGy dozda önemli düzeyde düşmüştür. Depolamanın ilk altı ayında örneklerin nem miktarı düşmüş, devam eden depolama sürecinde ise tekrar yükselmiştir. Ürünlerde belirlenen bu nem değişiminin büyük oranda depolama ortamının nispi nem değişimine bağlı olduğu anlaşılmıştır. Kırmızı pul biberlerin ambalajlanmasında kullanılan yüksek yoğunluklu polietilenin nem geçirgenliğinin yüksek oluşu bu savı desteklemektedir.

Araştırmada kullanılan kırmızı pul biberlerde belirlenen ASTA renk değeri literatür değerlerinden daha düşük düzeyde belirlenmiştir. Güneşte kurutularak üretilen kırmızı pul biberin ASTA renk değeri fırında kurutularak üretilen kırmızı pul bibere göre daha yüksek bulunmuştur. Işınlama dozunun artması ve depolama süresinin uzaması ASTA renk değerini düşürmektedir. Bu değer depolama süresinden daha çok etkilenmektedir.

Araştırmada kullanılan kırmızı pul biberin rengini oluşturan karotenoidlerin kapsorubin, violaksantin, kapsantin, kapsolutein, zeaksantin, β -kriptoksantin ve β -karotenden oluştuğu belirlenmiştir. Örneklerde en yüksek konsantrasyonda belirlenen pigmentlerin kırmızı renkli kapsantin ve sarı rekli zeaksantin olduğu saptanmıştır. Güneşte kurutulan kırmızı pul biberin pigment içeriği, fırında kurutularak elde edilen kırmızı pul bibere kıyasla daha yüksek bulunmuştur. Genel olarak ışınlama ve depolama ile pigment miktarlarının azaldığı görülmüştür. Depolama sırasında meydana gelen renk kaybı ışınlama ile meydana gelen kayba kıyasla daha yüksek bulunmuştur. Işınlama işleminden en çok etkilenen pigmentlerin zeaksantin, kapsantin ve kapsolutein, en az etkilenenlerin ise kapsorubin, β -kriptoksantin ve β -karoten olduğu tespit edilmiştir.

Kırmızı pul biberde bulunan acılık bileşenlerinin tespitinde (kapsaisinoidler) HPLC analiz tekniği kullanılmış, bu bileşiklerin kapsaisin, dihidrokapsaisin ve homodihidrokapsaisin olduğu belirlenmiştir. Taze kırmızı pul biberde belirlenen nordihidrokapsaisin ise kırmızı pul biber üretimi sırasında yok olmuştur. Kırmızı biberin acılık bileşiklerinin güneşte kurutma işleminde fırında kurutmaya kıyasla daha çok kayba uğradığı görülmüştür. Bu bileşikler ışınlama dozuna paralel olarak artarken, depolama sırasında azalmıştır. Depolama sırasında her iki kurutma yöntemiyle üretilen kırmızı pul biberde depolamanın 6. ayından sonra izodihidrokapsaisin oluştuğu tespit edilmiş, bu bileşiğin konsantrasyonunun depolama süresinin uzamasıyla arttığı görülmüştür.

Örneklerin Scoville duyusal acılık birimleri de analiz edilmiş, elde edilen sonuçlarla Kahramanmaraş kırmızı pul biberinin “orta acılık” sınıfına girdiği belirlenmiştir. Örneklerin duyusal olarak belirlenen Scoville acılık biriminin kurutma yönteminden bağımsız olduğu, ışınlama ve depolama ile ise düşük düzeyde bir değişim gösterdiği görülmüştür. Kırmızı pul biberin acılık özelliğinin belirlenmesinde uygulanan HPLC analiz tekniği, duyusal analize (Scoville Acılık Birimi) göre daha hassas bulunmuştur.

Genel olarak kırmızı pul biberin mikrobiyal kalitesi ve acılık özelliği bakımından fırında kurutma yöntemi; renk özelliği bakımından da güneşte kurutma

yöntemi, daha başarılı bulunmuştur. Kırmızı pul biberde ışınlamanın meydana getirdiği kimyasal değişimlerin, sağladığı mikrobiyal kaliteye kıyasla önemsiz olduğu söylenebilir. Depolama ise ürünün mikrobiyolojik kalitesini olumsuz yönde etkilemezken, kimyasal ve duyuşsal kalitesini düşürmektedir.

Kaliteli, güvenli ve ekonomik bir kırmızı pul biber üretimi için en başta verimi, rengi ve acılığı daha yüksek biber çeşitleri tercih edilmesi gerekmektedir. Bu çeşitlere ait meyveler olgunlaşma tamalandıktan sonra hasat edilmeli ve bütün haldeyken hijyenik şartlarda kurutulmalıdır. Kurutma ve öğütme işlemi düşük sıcaklıklarda (30-40°C), karanlıkta ve mümkünse oksijensiz ortamda yapılmalıdır. Son ürün neminin %14'ün altında olmasına özen gösterilmeli ve bu ürün oksijen ve nem geçirmez ambalajlarda 7.5 kGy dozda ışlandıktan sonra kontrollü şartlarda depolanmalıdır. Kırmızı pul biber üretimi için çeşit ıslahı ve ideal kurutma sistemlerinin tasarımı konusunda yeni araştırmalara ihtiyaç olduğu sonucuna varılmıştır.

6. KAYNAKLAR

- AHN, D.U., OLSON, D.G., LEE, J.I., JO, C., WU, C. and CHEN, X. 1998. Packaging and irradiation effects on lipid oxidation and volatiles in pork patties. *Journal of Food Science*, 63 (1): 15-19.
- AKGÜL, A. 1993. Baharat bilimi ve teknolojisi. Gıda Teknolojisi Derneği Yayınları, No:5. Ankara, 451 ss.
- ALKAN, H. 2000. Işınlanmış gıda ürünlerine talep artacaktır. *Gıda* (Dünya Yayıncılık), 6 (2): 56-57.
- ALMELA, L., LOPEZ-ROCA, J.M., CANDELA, M.E. and ALCAZAR, M.D. 1991. Carotenoid composition of new cultivars of red pepper for paprika. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 39: 1606-1609.
- ANDREWS, L.S., CADWALLADER, K.R., GRODNER, R.M. and CHUNG, H.Y. 1995. Chemical and microbial quality of irradiated ground ginger. *Journal of Food Science*, 60 (4): 829-832.
- ANONİM 1983. Gıda maddeleri muayene ve analiz yöntemleri kitabı. T.C. Tarım ve Köyışleri Bakanlığı Gıda İşleri Genel Müdürlüğü. Genel Yayın No: 65, Özel Yayın No: 62-105, Ankara, ss 794
- ANONİM 1986. Kırmızı Biber-Acı, Pul (Yaprak). TS 3706, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- ANONİM 1988. Gıda ışınlama raporu. Mutluer, B. (raportör). Türkiye Atom Enerjisi Kurumu Yayınları. Lalahan, Ankara. 41 ss.
- ANONİM 1991. Türk Standartları TS 8881.
- ANONİM 1997. Türk Gıda Kodeksi Yönetmeliği. Resmi Gazete, 16 Kasım 1997, Mükerrer Sayı: 23172.
- ANONİM 1999. Gıda ışınlama yönetmeliği. Resmi Gazete, Sayı: 23868
- ANONİM 2002. Kahramanmaraş'ta Kırmızı Biber Sektörü. <http://www.kmtso.org.tr>
- ANONYMOUS 1989. Analytical methods. Varian Australia Pty. Ltd. Mutgrave Victoria, Publication No: 85, Australia.
- ANONYMOUS 1995. Fact about food irradiation. A series of Fact Sheets from the International Consultative Group on Food Irradiation. CTP Book Printers Ltd., Vienna, Austria 38 pp.

- ANONYMOUS 1999. Aflatest instruction manual. Vicam, L.P. 313 Pleasant Street Watertown, MA 02472 USA.
- ANONYMOUS 2001. Chili pungency.
<http://www.chilepepperinstitute.org/pungency.htm>
- ANONYMOUS 2002. Faostat agricultural data. <http://www.fao.org>
- ARTIK, N., KADAKAL, Ç. ve YEMİŞ, O. 2001. Biberlerin capsaisin profilinin HPLC ile belirlenmesi üzerine araştırma. GAP II. Tarım Kongresi, 24-26 Ekim, Şanlıurfa.
- ASTA, 1968. Official analytical methods of the American Spices Trade Association. 2nd Ed. Amer. Spices Trade Assn., Englewood Cliffs, New Jersey.
- ATTUQUAYEFIO V.K. and BUCKLE K.A. 1987. Rapid sample preparation method for HPLC analysis of capsaicinoids in *Capsicum* fruits and oleoresins. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 35: 777-779.
- AYHAN, H. 1993. İyonize ışınların gıda bileşenleri üzerine etkileri. *Gıda*, 18 (4): 265-268.
- BAYSAL, T. ve ERSUS, S. 1999. Karotenoidler ve insan sağlığı. *Gıda*, 24 (3): 177-185.
- BIACS, P.A., DAOOD, H.G., HUSZKA, T.T. and BIACS, P.K. 1993. Carotenoids and carotenoid esters from new cross-cultivars of paprika. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 41: 1864-1867.
- BONGIRWAR, D.R. 1990. Food irradiation: economic and technical overview. *Chemical Engineering World*, 25 (5): 31-36.
- BOSLAND, P.W. 1992. Chiles: A diverse crop. *Hort Technology*, 2 (1): 7-10.
- BOSLAND, P.W. 1994. Chiles: history, cultivation and uses. In: Charalambous G. (Ed.), *Spices, Herbs and Edible Fungi (Herbs)*. Elsevier Science Publishers, Amsterdam, pp. 347-366.
- BRUHN, C.M. 1999. Marketing irradiated food, consumer views of irradiated food. FAO/IAEA/WHO International Conference on Ensuring the Safety and Quality of Food Through Radiation Processing, 19-22 October, Antalya/TURKEY.
- BUCKENHÜSKES, H.J. 2001. Actual requirements on paprika powder for the food industry. XIth EUCARPIA meeting on genetics and breeding of capsicum&eggplant, Antalya -Turkey.

- BULAN, İ. 1993. Piyasada satılan bazı baharat çeşitlerinin mikrobiyolojik yönden incelenmesi. Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul (Yüksek Lisans Tezi) 62 ss.
- CEMEROĞLU B. ve ACAR J. 1986. Meyve ve sebze işleme teknolojisi. Literatür Yayıncılık Dağıtım Pazarlama Sanayi ve Tic. Ltd. Şti. Ankara, 496 ss
- CEMEROĞLU, B. 1992. Meyve ve sebze işleme endüstrisinde temel analiz metotları. Arsu Ofset, Ankara, 381 ss.
- COLLINS, M.D., WASMUND, L.M. and BOSLAND, P.W. 1995. Improved method for quantifying capsaicinoids in Capsicum using high performance liquid chromatography. *Horticultural Science*, 30 (1): 137-139.
- CONTRERAS-PADILLA, M.C. and YAHIA, E.M. 1998. Changes in capsaicinoids during development, maturation and senescence of chili peppers and relation with peroxidase activity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46: 2075-2079.
- ÇETİNKAYA, N., ALABAY, M. ve SİYAKUŞ, G. 1999. Gıda ışınlama yönetmeliği ve ticareti semineri. Türkiye Atom Enerjisi Kurumu, 16-18 Şubat, İzmir, 79 ss.
- ÇOKSÖYLER, N., ÖZKAYA, Ş. Ve BONCUK, H. 1992. Türkiye'de gıdalarda yaygın olarak görülen funguslar ve bunların mikotoksin oluşturma durumları üzerine araştırmalar. *Gıda ve Yem*, 3: 48-50.
- ÇOKSÖYLER, N. 1999. farklı yöntemlerle kurutulmuş kırmızı biberlerde *Apergillus flavus* gelişimi ve aflatoksin oluşumunun incelenmesi. *Gıda*, 24 (5): 297-306.
- DERR, D.D. 1993. International regulatory status and harmonization of food irradiation. *Journal of Food Protection*, 56 (10): 882-886.
- DIEHL, J.F. 1999. Achievement in food irradiation during the 20th century. FAO/IAEA/WHO International Conference on Ensuring the Safety and Quality of Food Through Radiation Processing. 19-22 October, Antalya
- DOĞAR, N. 1999. Kahramanmaraş yöresinde yetiştirilen kurutulmuş kırmızı biber tiplerinin verim ve kalite özelliklerinin belirlenmesi. K.S.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş (Yüksek Lisans Tezi) 73 ss.
- DONG, M.W. 2000. How hot is that pepper? *Today's Chemist at Work*, 9 (5): 17-20.
- DOYLE, M.P. 2000. Reducing foodborne disease: what are the priorities? *Nutrition* 16 (7/8): 647-649.,

- DURU, A.U. ve ÖTLEŞ, S. 2002. Pestisitler ve gıda. *Gıda* (Dünya Yayıncılık), 8 (6): 68-72.
- DÜZGÜNEŞ, O., KESİCİ, T., KAVUNCU, O. ve GÜRBÜZ, F. 1987. Araştırma ve deneme metotları (İstatistik Metotları II). Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, Yayın No:1021, Ankara, 381 ss.
- EGAN, H., KIRK, R.S. and SAWYER, R. 1981. Pearson's chemical analysis of foods. Longman Inc., New York, 591 pp.
- EHLERMANN, D. 1993. Food irradiation: a challenges to authorities. *Trends in Food Science and Technology*, 4: 184-189.
- EISS, M.I. 1999. Global production of and trade in irradiated spices. FAO/IAEA/WHO International Conference on Ensuring the Safety and Quality of Food Through Radiation Processing, 19-22 October, Antalya/TURKEY.
- EL-DESSOUKI, S. 1992. Aflatoxine in Cayenne-Pfeffer und paprika pulver. *Deutsche Lebensmittel Rundschau*, 88 (3):78.
- EL-ADAWY, T.A. and TAHA, K.M. 2001. Characteristics and composition of watermelon, pumpkin and paprika seed oils and flours. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49 (3): 1253-1259.
- ERKMEN, O. 2000. Kaliteli ve güvenli gıda üretimi için ışınlama yöntemi. *Gıda* (Dünya Yayıncılık), 6 (2): 58-61.
- ERMİŞ, Ö.C. 1999. Kırmızı pul biberlerde mikroflora ve aflatoksin oluşumuna bölgenin etkisi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul (Yüksek Lisans Tezi) 42 ss.
- ETZEL, R.A. 1999. Epidemiology of foodborne diseases-role of irradiation. FAO/IAEA/WHO International Confence on Ensuring the Safety and Quality of Food Through Radiation Processing. 19-22 October, Antalya
- FARAG, S., AZIZ, N.H. and ATTIA, E. 1995. Effect of irradiation on the microbiological status and flavoring materials of selected spices. *Zeitschrift fur Lebensmittel Unterschung und Forschung*, 201 (3): 283-288.
- FARKAS, J., KISS, I. and ANDRRASSY, E. 1966. After ripening of red pepper (*Capsicum annuum*) as affected by ionizing radiation. Proceedings of The International Symposium on Food Irradiation Jointly Organized by The International Atomic Energy Agency and The Food and Agriculture

- Organization of The United Nations and Held in Karlsruhe, 6-10 June.
- FARKAS, J. and ANDRASSY, E. 1988. Comparative analysis spices decontaminated by ethylene oxide or gamma irradiation. *Acta Alimentaria*, 17 (1): 77-94.
- FENNEMA, O.R. 1985. Food chemistry (Second edition). Marcel Dekker, Inc., New York, 991pp.
- FELLOW, P. 1986. Food processing technology. Camelout Press, Southampton, UK.
- FOX, J.B., LAKRITZ, L., KOHOUT, K.M. and THAYER, D.W. 1994. Water concentration /activity and loss of vitamins B₁ and E in pork due to gamma radiation. *Journal of Food Science*, 59 (6): 1291-1295.
- FOX, J.B., LAKRITZ, L., HAMPSON, J., RICHARDSON, R., WARD, K. and THAYER, W. 1995. Gamma irradiation effects on thiamin and riboflavin in beef, lamb, pork and turkey. *Journal of Food Science*, 60 (3): 596-598.
- FRAZIER, W.C. and WESTHOFF, D.C. 1988. Food Microbiology. Mc. Graw Hill Book Company, New York, 539 pp.
- GARCES, R. and MANCHA, M. 1993. One step lipid extraction and fatty acid methyl esters preparation from tree plant tissues. *Analytical Chemistry*, 211: 139-143.
- GAUTAM, S., SHARMA, G.A. and THOMAS, P. 1998. Improved bacterial turbidimetric method for detection of irradiated species. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 45: 5110-5112.
- GERÇEKÇİOĞLU, R. 1994. Taze meyve ve sebzelerde derim sonrasında iyonize radyasyonun kullanımı. *Hasad*, 1: 14-18.
- GERWEN, S.J.C., ROMBOUTS, F.M., RIET, K. and ZWIETERING, M.H. 1999. A data analysis of the irradiation parameter D₁₀ for bacteria and spores under various conditions. *Journal of Food Protection*, 62 (9): 1024-1032.
- GODA, Y., NAKAMURA, H., SAKAMOTO S.S., ISHIKAWA, K., MAITANI, T. and YAMADA, T. 1997. Photo-stability of coloring constituents in paprika color. *Journal of the Food Hygienic Society of Japan*, 38 (4): 240-247.
- GOLDBLITH, S.A. 1966. Historical development of food irradiation. Proceedings of the International Symposium on food Irradiation Jointly Organized by the International Atomic Energy Agency and the Food and Agriculture organization of the United Nations, 6-10 June, Karlsruhe.

- GOVINDARAJAN, V.S. 1985. Capsicum production, technology, chemistry and quality. 1. History, botany, cultivation and primary processing. *Critical Review in Food Science and Nutrition*, 22 (2): 109-176.
- GOVINDARAJAN, V.S. and SATHYANARAYANA, M.N. 1991. Capsicum production, technology, chemistry and quality. Part V. Impact on physiology, pharmacology, nutrition and metabolism, structure, pungency, pain and desensitization sequences. *Food Science and Nutrition*, 29: 435-471.
- GRAY, J. and MOWER, H.F. 1991. The role of simple carbohydrates in the suppression of hydroxyl free radicals in γ irradiated papaya juice. *Food Chemistry*, 4: 293-301.
- GUADAYOL, J. M., CAIXACH, J., RIBE, J., CABARAS, J. and RIVERA, J. 1997. Extraction separation and identification of volatile organic compounds from paprika oleoresin. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 45: 1868-1872.
- GUERRA-VARGAS, M., JARAMILLO-FLORES, M.E., DORANTES-ALVAREZ, L. and HERNANDEZ-SANCHEZ, H. 2001. Carotenoid retention in canned pickled jalapeno peppers and carrots as affected by sodium chloride, acetic acid and pasteurization. *Journal of Food Science*, 66 (4): 620-626.
- GÜRBÜZ, B. 1998. Gıdaların ışınlanarak muhafazası. *Türk-Koap Ekin* 2 (4):86-91.
- HARIGAN, W.F. and McCANCE, M.E. 1976. Laboratory methods in food and dairy microbiology. Academic Press Inc., London 451 pp.
- HENDERSON, D.E., SLICKMAN, A.M. and HENDERSON, S.K. 1999. Quantitative HPLC determination of the antioxidant activity of capsaicin on the formation of lipid hydroperoxides of linoleic acid: A comparative study against BHT and Melatonin. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47:2563-2570.
- HELDMAN, D.R. and BUSTA F.F. 2000. Kinetics of microbial inactivation for alternative food processing technologies. *Journal of Food Science*, Supplement, 6-108.
- HOFFMAN, P.G., LEGO, M.C. and GALETTO, W.G. 1983. Separation and quantification of red pepper major heat principles by reverse-phase high pressure liquid chromatography. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 31: 1326-1330.
- HUXSOLL, C.C. and BOLIN, H.R. 1989. Processing and distribution alternatives for

- minimally processed fruits and vegetables. *Food Technology* 2: 124-128.
- ITO, H., CHEN, H. and BUNNAK, J. 1994. Aflatoxin production by microorganisms of the *Aspergillus flavus* group in spices and the effect of irradiation. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 65 (2): 141-142.
- ITTAH, Y., KANNER, J. and GRANIT, R. 1993. Hydrolysis study of carotenoid pigments of paprika (*Capsicum annuum* L. Variety *Lehava*) by HPLC/Photodiode Array Detection. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 41: 899-901.
- JAREN-GALAN, M. and MIUEZ-MOSQUERA, M.I. 1999 a. Quantitative and qualitative changes associated with heat treatments in the carotenoid content of paprika oleoresins. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47: 4379-4383.
- JAREN-GALAN, M. and MIUEZ-MOSQUERA, M.I. 1999 b. Effect of pepper lipoxygenase activity and its linked reactions on pigments of pepper fruit. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47: 4532-4536.
- JENKINS, R.K., THAYER, D.W. and HANSEN, T.J. 1989. Effect of low-dose irradiation and post-irradiation cooking and storage on the thiamin content of fresh pork. *Journal of Food Science*, 54 (6): 1461-1465.
- JO, M.H., YAMAMOTO, M., MATSUBARA, S. and MURAKAMI, K. 1997. Fruit yield, ascorbic acid and capsaicinoid contents in the fruit of intervarietal hybrids of *Capsicum annuum* L. *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science* 65 (4): 713-722.
- JOHNSON, J. and MARCOTTE, M. 1999. Irradiation control of insect pests of dries fruits and walnuts. *Food Technology*, 53 (6): 46-51.
- JOSEPHSON, E.S. and PETERSON, M.S. 2000. Preservation of food by ionizing radiation. Volume I. CRC Press. Inc. Boca Raton, Florida, 378 ss.
- JOSHI, M.R., SRIRANGARAJAN, A.N. and THOMAS, P. 1990. Effects of gamma irradiation and temperature on sugar and vitamin C changes in five Indian potato cultivars during storage. *Food Chemistry*, 35: 209-216.
- KACAR, B. 1972. Bitki ve toprağın kimyasal analizleri. II Bitki analizleri . Ankara Univ. Zir. Fak. Yayınları No: 453, Ankara, 646 ss.
- KACAR, B. ve KOVANCI, İ. 1982. Bitki, toprak ve gübrelere kimyasal fosfor

- analizleri ve sonuçların değerlendirilmesi. Ege Üniv. Ziraat Fak. Yayınları No: 354, İzmir, 121 ss.
- YEMİŞ, O. 2001. Kırmızı biberlerden oleoresin *Capsicum* üretimi üzerine araştırma.. A.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara (Yüksek Lisans Tezi), 71 ss.
- KIRSCHBAUM-TITZE, P., HIEPLER, C., MUELLER-SEITZ, E. Ve PETZ, M. 2002. Pungency in paprika (*Capsicum annuum*). 1. Decrease of capsaicinoid content following cellular disruption. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50 (5):1260-1263.
- KLIEBER, A. and BAGNATO, A. 1999. Colour stability of paprika and chilli powder. *Food Australia*, 51 (12): 592-596.
- KLIEBER, A. 2001. Aflatoxin contamination and its management in chilli and paprika products in Australia. *Food Australia*, 53 (3): 90-92.
- KOBATA, K., TODO, T., YAZAWA, S., IWAI, K. and WATANABE, T. 1998. Novel capsaicinoid-like substances, capsiate and dihydrocapsiate from the fruit of a nonpungent cultivar, CH-19 Sweet, of pepper (*Capsicum annuum* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46 (5): 1695-1697.
- KRAJEWSKA, A.M. and POWERS, J.J. 1988. Sensory properties of naturally occurring capsaicinoids. *Journal of Food Science*, 53 (3): 902-905.
- KURTCAN, Ü. ve ALTUĞ, T. 1993. Gıda ışınlama yöntemi ve baharatların sterilizasyonunda kullanımı. *E.Ü. Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 11 (2): 125-133.
- LEGNANI, P.P., LEONI, E., RIGHI., F. and ZARABINI, L.A. 2001. Effect of microwave heating and gamma irradiation on microbiological quality of spices and herbs. *Italian Journal of Food Science*, 13 (3): 337-345.
- LEVY, A., HAREL, S., PALEVITCH, D., AKIRI, B., MENAGEM, E. and KANNER, J. 1995. Carotenoid pigments and β -carotene in paprika fruits (*Capsicum* Spp.) with different genotypes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 43: 362-366.
- LLORENTE, F.S., GIMENEZ, L.J., SANCHEZ, M.F. ve ROMOJARO, F. 1986. Effectiveness of ethylene oxide and gamma irradiation on the microbiological population of three type of paprika. *Journal of Food Science*, 51 (6): 1571-1574.

- LOAHARANU, P. 1994. Cost/benefit aspects of food irradiation. *Food Technology*, 1: 104-108.
- MAOKA, T., MOCHIDA, K., KOZUKA, M., ITO, Y., FUJIWARA, Y., HASHIMOTO, K., ENJO, F., OGATA, M., NOBUKUNI, Y., TOKUDA, H. and NISHINO, H. 2001. Cancer chemopreventive of carotenoids in the fruits of red paprika *Capsicum annuum* L. *Cancer Letters*, 172: 103-109.
- MARKUS, F., DAOOD, H.G., KAPITANY, J. and BIACS, P.A. 1999. Change in the carotenoid and antioxidant content of spices red pepper (Paprika) as a function of ripening and some technological factors. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47: 100-107.
- MIEBACH, E.M. 1993. Food irradiation a means of controlling pathogenic microorganisms in food. *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie*, 26: 493-497.
- MINGUEZ-MOSQUERA, M.I. and HORNERO-MENDEZ, D. 1993. Separation and quantification of the carotenoid pigments in red peppers (*Capsicum annuum* L.), paprika, and oleoresin by reverse-phase HPLC. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 41, 1616-1620.
- MINGUEZ-MOSQUERA, M.I. and HORNERO-MENDEZ, D. 1994 a.. Comparative study of the effect of paprika processing on the carotenoids in papers (*Capsicum annuum*) of the *Bola* and *Agridulce* varieties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 42: 1555-1560.
- MINGUEZ-MOSQUERA, M.I. and HORNERO-MENDEZ, D. 1994 b. Formation and transformation of pigments during the fruit ripening of *Capsicum annuum* Cv. *Bola* and *Agridulce*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 42: 38-44.
- MINGUEZ-MOSQUERA, M. E., JAREN-GALAN, M. and FERNADEZ-GARRIDO, J. 1994 a. Competition between the processes of biosynthesis and degradation of carotenoids during the drying of peppers. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 42: 645-648.
- MINGUEZ-MOSQUERA, M. E., JAREN-GALAN, M. and FERNADEZ-GARRIDO, J. 1994 b. Influence of the Industrial drying processes of pepper fruits (*Capsicum annuum* Cv *Bola*) for paprika on the carotenoid content. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 42: 1190-1193.

- MINGUEZ-MOSQUERA, M.I. and HORNERO-MENDEZ, D. 1997. Change in provitamin A during paprika processing. *Journal of Food Protection*, 60 (7): 853-857.
- MINGUEZ-MOSQUERA, M.I. and PEREZ-GALVEZ, A. 1998 a. Study of lability and kinetics of the main carotenoid pigments of red pepper in the de-esterification reaction. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46: 566-569.
- MINGUEZ-MOSQUERA, M.I. and PEREZ-GALVEZ, A. 1998 b. Colour quality in paprika oleoresins. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46: 5124-5127.
- MORAIS H., RAMOS, A.C., CSERHATI, T. and FORGACS, E.. 2001. Effects of fluorescent light and vacuum packaging on the rate of decomposition of pigments in paprika (*Capsicum annuum*) powder determined by reverse-phase high performance liquid chromatography. *Journal of Chromatography A*, 936: 139-144.
- MORTIMER, C.E. 1987. Chemistry. Wadsworth Publishing Company Belmont, California, 902 ss.
- MUTLUER, B., ÖZTAŞIRAN, İ., ŞARER, E., AKKUŞ, M., ERSEN, S. ve KAYA, B. 1986. İyonize radyasyonla baharatların sterilizasyonu. I-Gamma ışınlarının karabiber ve kırmızıbiberin mikrobiyal, flora, uçucu yağ ve duyuşal niteliklerine etkisi. *A.Ü. Veterinerlik Fakültesi Dergisi*, 33 (3): 464-476.
- NARVAIZ, P. and LADOMERY, L.G. 1998. Estimation of the effect of food irradiation on total dietary vitamin availability as compared with dietary allowances: study for Argentina. *J. Science of Food and Agriculture* 76 (2): 250-256.
- NARVAIZ, P., LESCANO, G., KAIRIYAMA, E. and KAUPERT, N. 1989. Decontamination of spices by irradiation. *Journal of Food Safety*, 10: 49-61.
- NIETO-SANDOVAL, J.M., ALMELA, L., FERNANDEZ-LOPEZ, J.A. and MUNOZ, J.A. 2000. Effect of electron beam irradiation on color and microbial bioburden of red paprika. *Journal of Food Protection*. 63 (5): 633-637.
- OLSON, D.G. 1998. Irradiation of food. *Food Technology* 52 (1): 56-62.
- ONYENEKWE, P.C. and OGBADU, G.H. 1995. Radiation sterilization of red chili pepper (*Capsicum frutescens*). *Journal of Food Biochemistry*, 19 (2): 121-137.

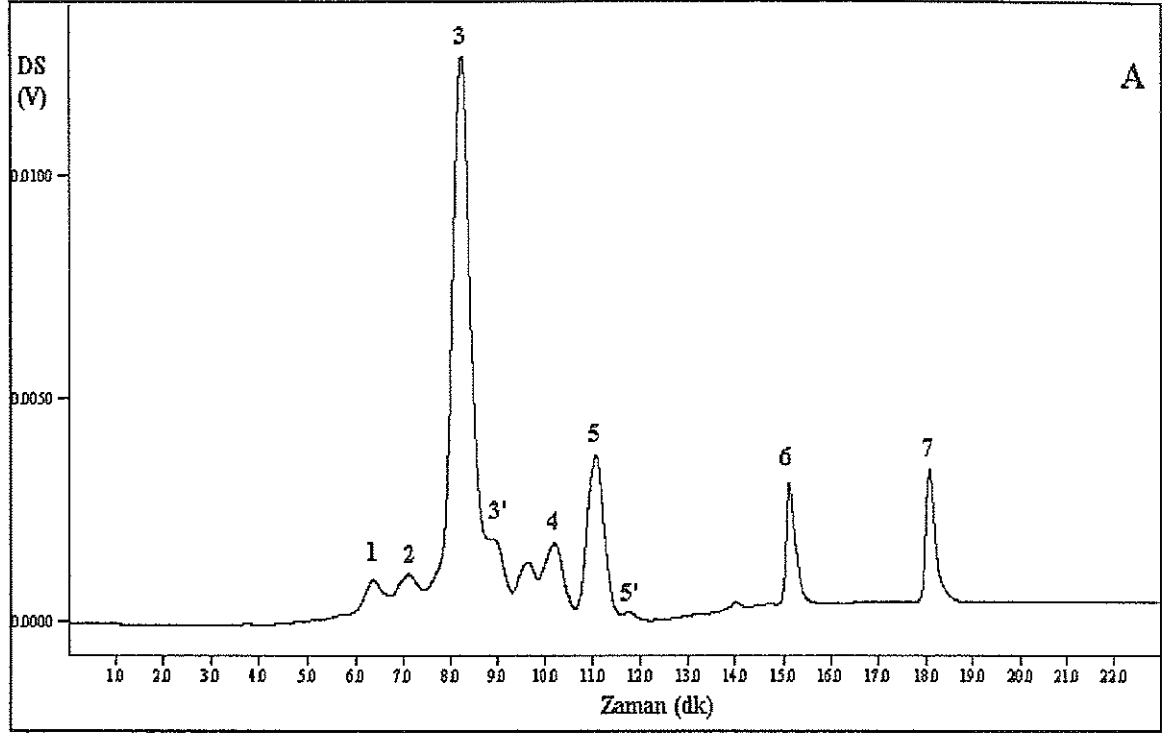
- OSUNA-GARCIA, J.A., WALL, M.M. and WADDELL, C.A. 1997. Natural antioxidants for preventing color loss in stored paprika. *Journal of Food Science*, 62 (5): 1017-1021.
- ÖZBEY, F. 1997. Kırmızıbiber, karabiber ve kimyonun bazı kimyasal özellikleri üzerine farklı dozda uygulanan gamma ışınlamanın etkisi. Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara (Yüksek Lisans Tezi) 73 ss.
- PEREZ-GALVEZ, A. and MINGUEZ-MOSQUERA, M.I. 2001. Structure-reactivity relationship in the oxidation of carotenoid pigments of pepper (*Capsicum annuum* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49: 4864-4869.
- PERUCKA, I. and OLESZEK, W. 2000. Extraction and determination of capsaicinoids in fruit of hot pepper *Capsicum annuum* L. by spectrophotometry and high performance liquid chromatography. *Food Chemistry*, 71: 287-291.
- PEUSCH, M., MULLER-SEITZ, E., PETZ, M., MULLER, A. and ANKLAM, E., 1997. Extraction of capsaicinoids from chilies (*Capsicum frutescens* L.) and paprika (*Capsicum annuum* L.) using supercritical fluids and organic solvents. *Zeitschrift für Lebensmittel Untersuchung und Forschung*, 204: 351-355.
- PRIYA-SETHU, K.M., PRABHA, T.N. and THARANATHAN, R.N. 1996. Post-harvest biochemical changes associated with the softening phenomenon in *Capsicum annuum* fruits. *Phytochemistry*, 42 (4): 961-966.
- RAMESH, M.N., WOLF, W., TEVINI, D. and JUNG, G. 2001. Influence of processing parameters on the drying of the spice paprika. *Journal of Food Engineering*, 49: 63-72.
- ROBBINS, W. 2000. Clinical application of capsaicinoids. *Clinical Journal of Pain*, 16 (2): 86-89.
- SATO, K., SASAKI, S.S., GODA, Y., YAMADA, T., NUNOMURA, O., ISHIKAWA, K. and MAITANI, T. 1999. Direct connection of supercritical fluid extraction and supercritical fluid chromatography as a rapid quantitative method for capsaicinoids in placentas of *Capsicum*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47: 4665-4668.
- SHARMA, A., GHANEKAR, A.S., PADWAL-DESAI, S.R. and NADKARNI, G.B. 1984. Microbiological status and antifungal properties of irradiated spices. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 32: 1061-1063.

- SHARMA, A., PADWAL-DESAI, S.R. and NAIR, P.M. 1989. Assessment of microbiological quality of some gamma irradiated Indian spices. *Journal of Food Science*, 54 (2): 489-490.
- SHIGEMURA, R., GERDES, D.L. and HALL, W.R. 1991. Effect of gamma processing on prepackaged black and white pepper (*Piper nigrum* L). *Lebensmittel. Wissenschaft und Technologie*, 24: 135-138.
- SUBBULAKSHMI, G., UDIPI, S., RAHEJA, R., SHARMA, A., PADWAL-DESAI, S.R. and NAIR, P.M. 1991. Evaluation of sensory attributes and some quality indices of irradiated spices. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 28 (6): 396-397.
- TAYDAŞ, E. ve AŞKIN, O. 1995. Kırmızı biberlerde aflatoksin oluşumu. *Gıda* 20: 3-8.
- THAYER, D.W., BOYD, G., FOX, J.B., LAKRITZ, J.L. and HAMPSON, J.W. 1995. Variations in radiation sensitivity of foodborne pathogens associated with the suspending meat. *Journal of Food Science*, 60 (1) 63-67.
- THAYER, D.W. 1996. Radiation pasteurization of food. <http://www.cast.htmcast.htm>
- THOMAS, B.V., SCHREIBER, A.A. and WEISSKOPF, C.P. 1998. Simple method for quantitation of capsaicinoids in peppers using capillary gas chromatography. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46: 2655-2663.
- THOMAS, P. 1999. Control of post-harvest loss of grain, fruit and vegetables by radiation processing. FAO/IAEA/WHO International Confence on Ensuring the Safety and Quality of Food Through Radiation Processing. 19-22 October, Antalya
- TOPAL, Ş. 1996. Gıda güvenliği ve kalite yönetim sistemleri. Tübitak-Marmara Araştırma Merkezi Matbaası, Gebze, 225 ss.
- UĞUR, F.A. 1997. Işınlama yöntemi ile gıda ürünlerinin korunması ve kalite arttırımı. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana (Yüksek Lisans Tezi) 64 ss.
- UYLAŞER, V. 2000. Karotenoidler ve bazı özellikleri. *Gıda* (Dünya Yayınları), 6 (12): 79-84.
- ÜÇÜNCÜ, M., 2000. Gıdaların ambalajlanması. Ege Üniversitesi Basımevi. Bornova-İzmir, 689 ss.
- VAJDA, M. and PEREIRA, R.R. 1973. Comparative effects of etilen oxide, gamma irradiation and microwave treatments on selected spices. *Journal of Food*

- Science*, 38: 893-895.
- VAN CALENBERG, S., VANHAELEWYN, G., VAN CLEEMPUT, S., CALLENS, F., MONDELAERS, W. and HUYGHEBAERT, A. 1998. Comparison of the effect of X ray and electron beam irradiation on some selected spices. *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie*, 31: 252-258.
- VAN CALENBERG, S., PHILIPS, B., MONDELAERS, W., VAN CLEEMPUT, O. and HUYGHEBAERT, A. 1999. Effect of irradiation, packaging and postirradiation cooking on the thiamin content of chicken meat. *Journal of Food Protection*, 62 (11): 1303-1307.
- VENUGOPAL, V., DOKE S, N. and THOMAS, P. 1999. Radiation processing to improve the quality of fishery products. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 39 (5), 391-440.
- VON SONNTAG 1980. Free radikal reaktion of karbohydrates as studies by irradiation techniques. *Chemistry and Biochemistry*, 37: 7.
- WALL, M.M. and BOSLAND, P.W. 1998. Analytical methods for color and pungency of chiles (*Capsicum*). In: Wetzel D. and Charalambous G. (Ed.) *Instrumental Methods in Food and Beverage Analysis*. Elsevier Science Publishers, Amsterdam, pp 347-373.
- WÜST, O. 1931. Preserving foods. *Chem Abstracts*, 25, 4068.
- YAO, J., NAIR, M.G. and CHANDRA, A. 1994. Supercritical carbon dioxide extraction of Scotch Bonnet (*Capsicum annuum*) and quantification of capsaicin and dihydrocapsaicin. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 42: 1303-1305.
- ZACHARIEV, G., KISS, I., SZABOLCS, J., TOTH, G., MOLNAR, P. and MATUS, Z. 1991. HPLC analysis of carotenoids in irradiated and ethylene oxide treated red pepper. *Acta Alimentaria*. 20 (2): 115-122.
- ZEWDIE, Y. and BOSLAND, P.W. 2000. Evaluation of genotype, environment and genotype by-environment interaction for capsaicinoids in *Capsicum annuum* L. *Euphytica*, 111: 185-190.
- ZEWDIE, Y. and BOSLAND, P.W. 2001. Capsaicinoid profiles are not good chemotaxonomic indicators for *Capsicum* species. *Biochemical Systematics and Ecology*, 29: 161-169.

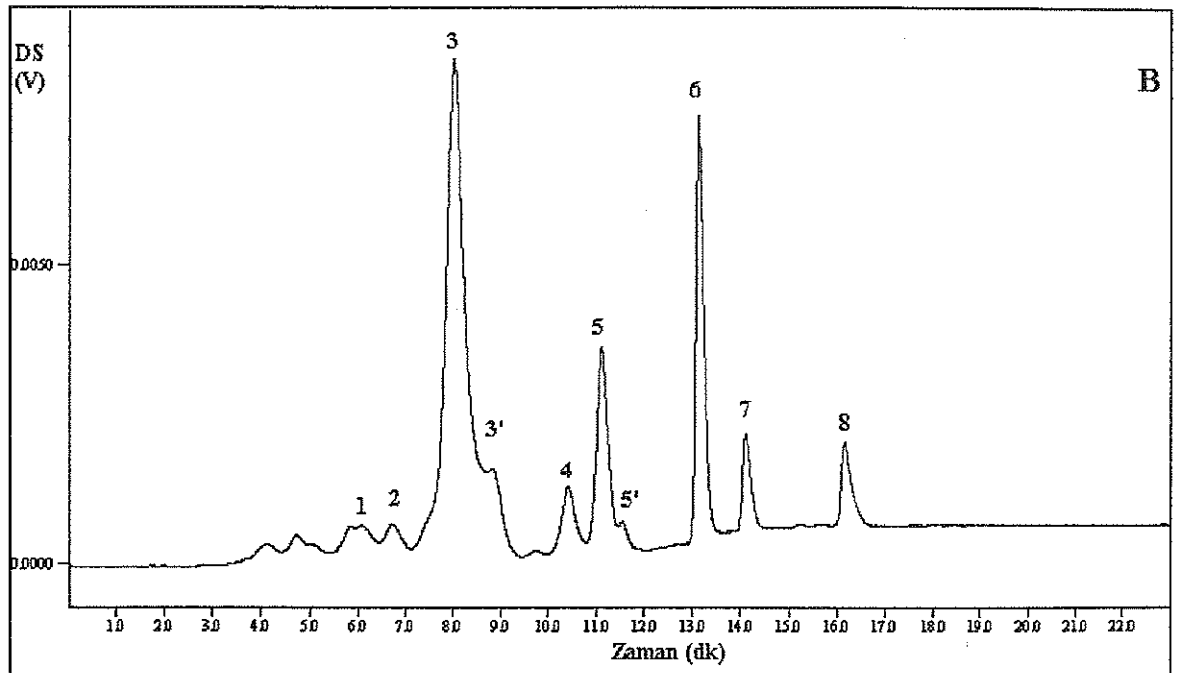
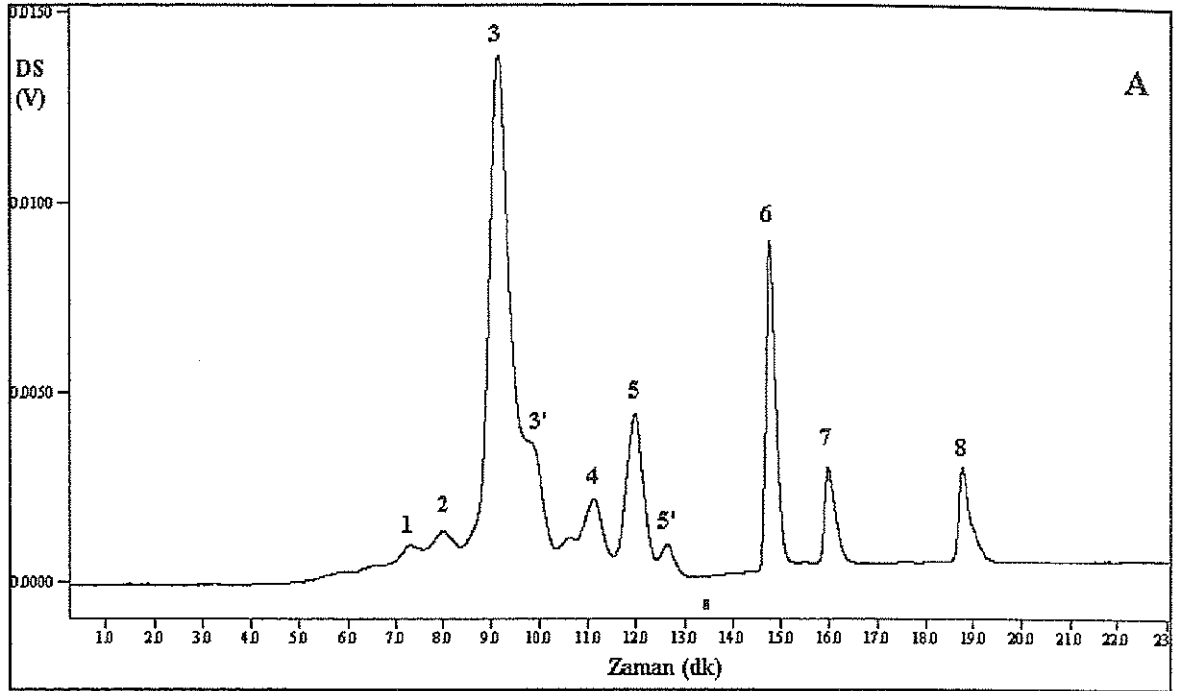
7. EKLER

Ek 1. Taze kırmızı biberin karotenoid analizine ait HPLC kromatogramı



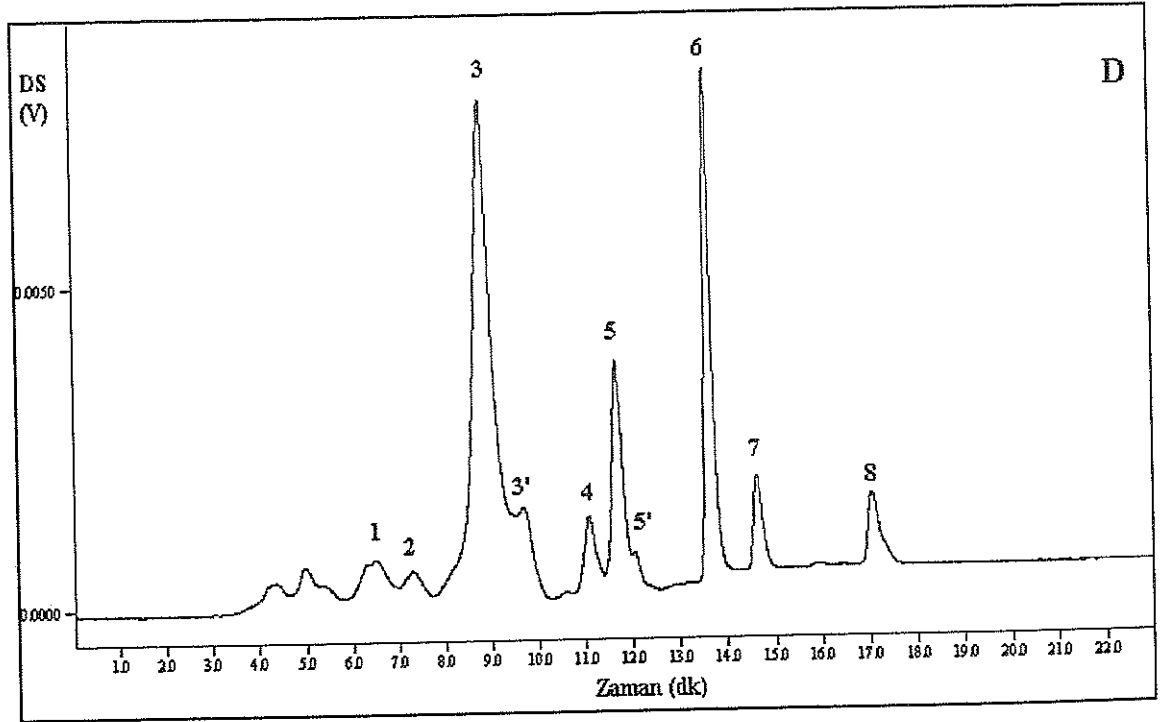
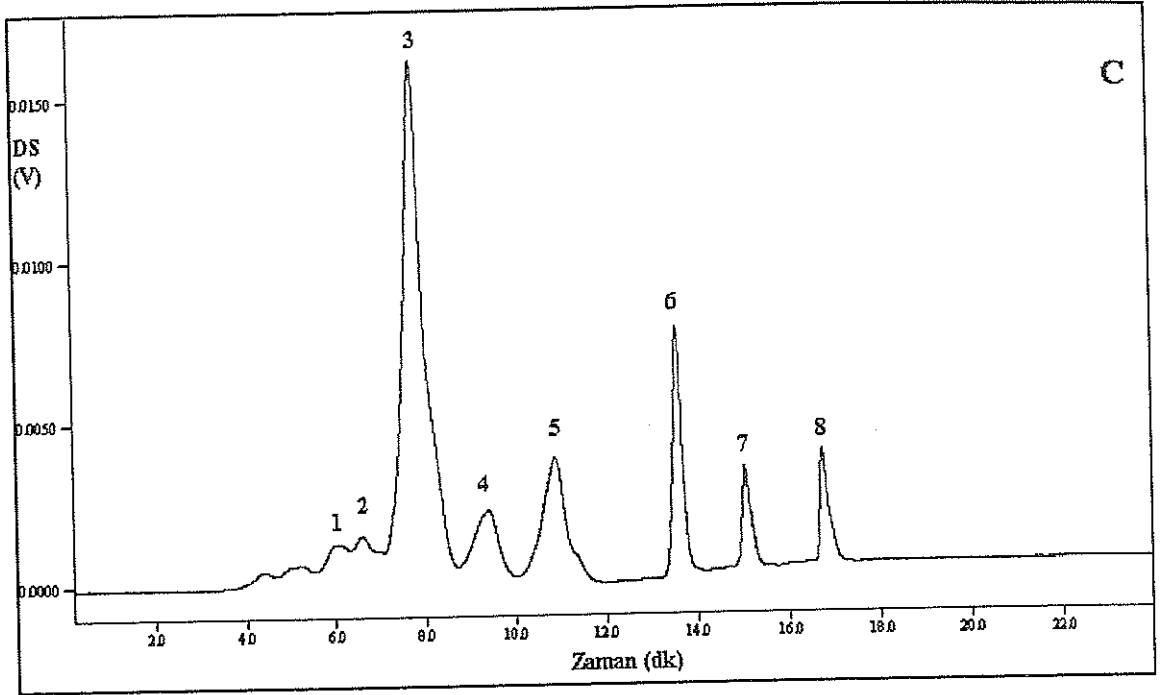
A: 1, kapsorubin; 2, violaksantin; 3, kapsantin; 3', cis-kapsantin; 4, kapsolutein; 5, zeaksantin; 5', cis-zeaksantin; 6, β -kriptoksantin; 7, β -karoten.

Ek 2. Kırmızı pul biberlerin karotenoid analizine ait HPLC kromatogramları



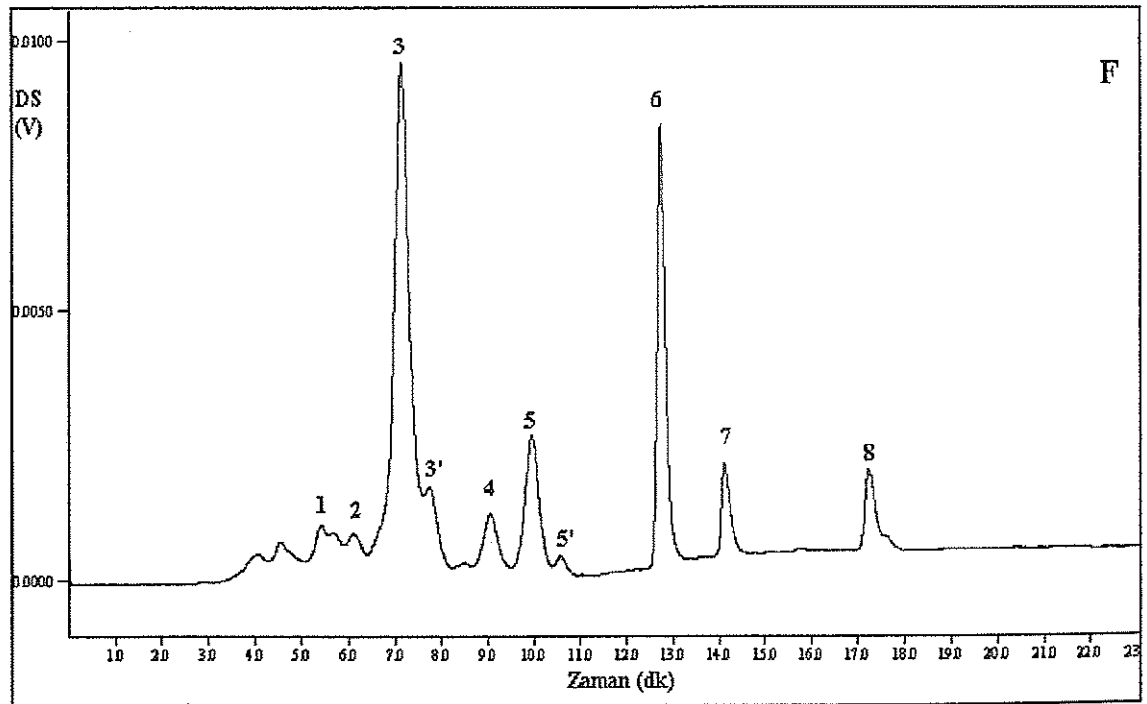
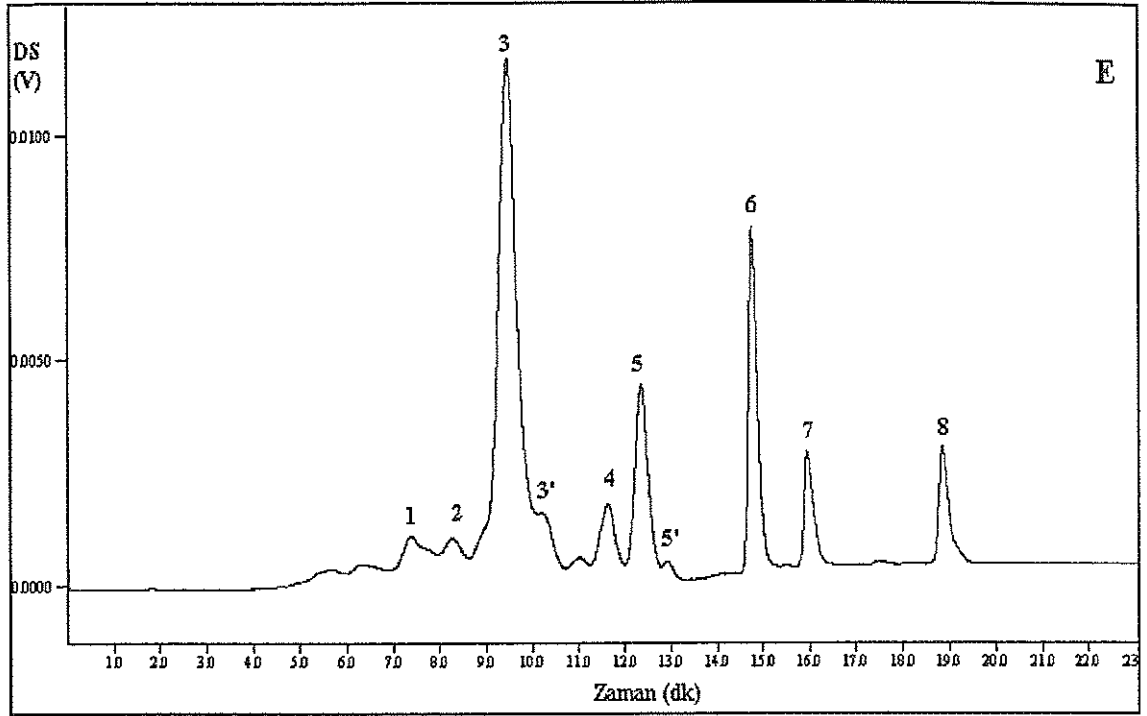
A: Güneşte kurutma yöntemi ile üretilmiş kırmızı pul biberin karotenoid kromatogramı; B: Güneşte kurutma yöntemi ile üretilmiş ve 10 ay süre ile depolanmış kırmızı pul biberin karotenoid kromatogramı (1, kapsorubin; 2, violaksantin; 3, kapsantin; 3', cis-kapsantin; 4, kapsolutein; 5, zeaksantin; 5', cis-zeaksantin; 6, iç standard (β -apo-8'-carotenal); 7, β -kriptoksantin; 8, β -karoten)

Ek 2'nin devamı



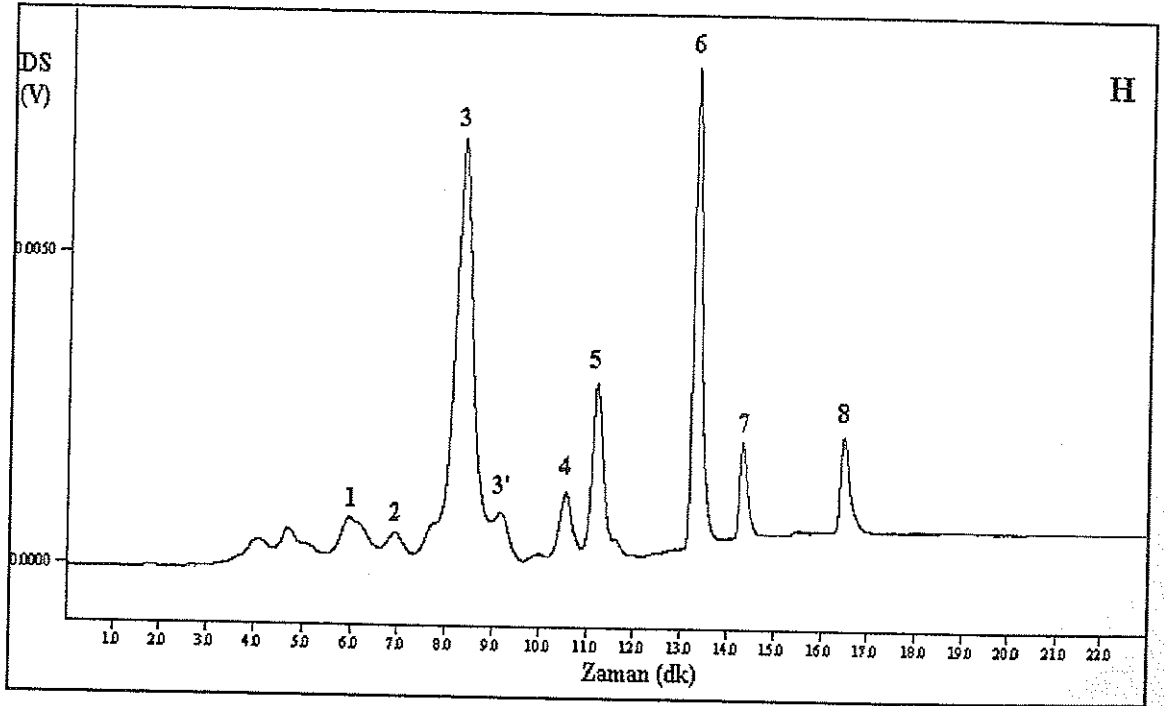
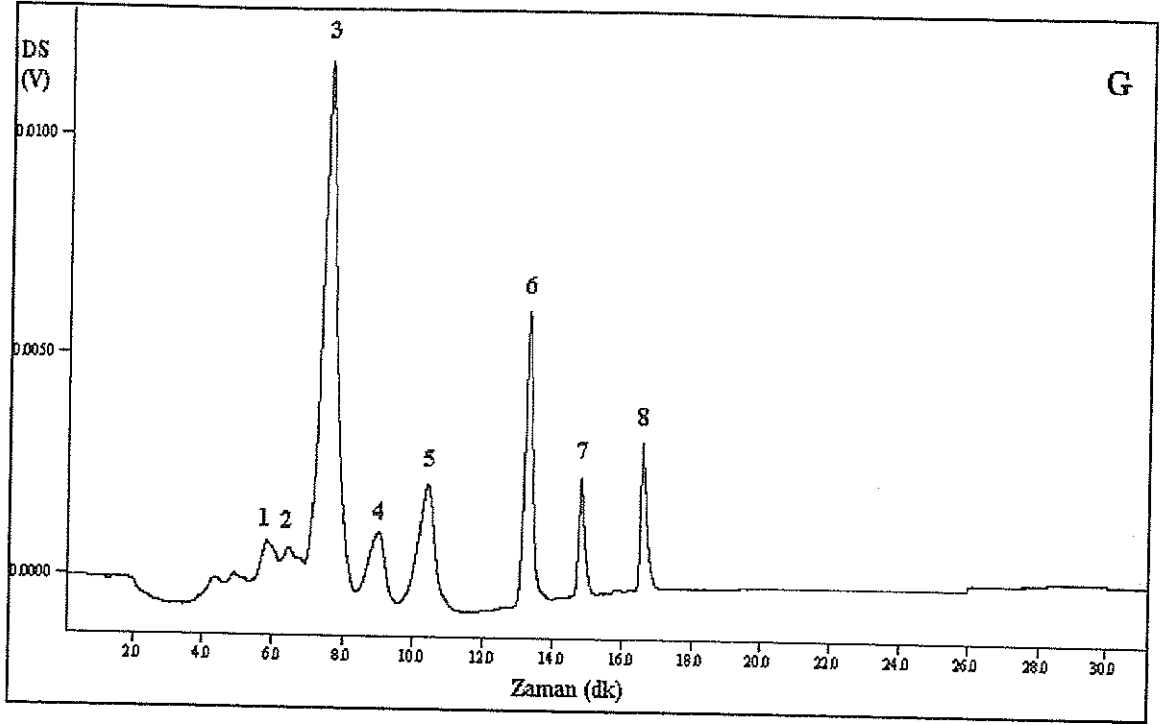
C: Güneşte kurutma yöntemi ile üretilmiş ve 10 kGy dozda ışınlanmış kırmızı pul biberin karotenoid kromatogramı; **D:** Güneşte kurutma yöntemi ile üretilmiş, 10 kGy dozda ışınlanmış ve 10 ay süre ile depolanmış kırmızı pul biberin karotenoid kromatogramı (1, kapsorubin; 2, violaksantin; 3, kapsantin; 3', cis-kapsantin; 4, kapsolutein; 5, zeaksantin; 5', cis-zeaksantin; 6, iç standard (β -apo-8'-carotenal); 7, β -kriptoksantin; 8, β -karoten)

Ek 2'nin devamı



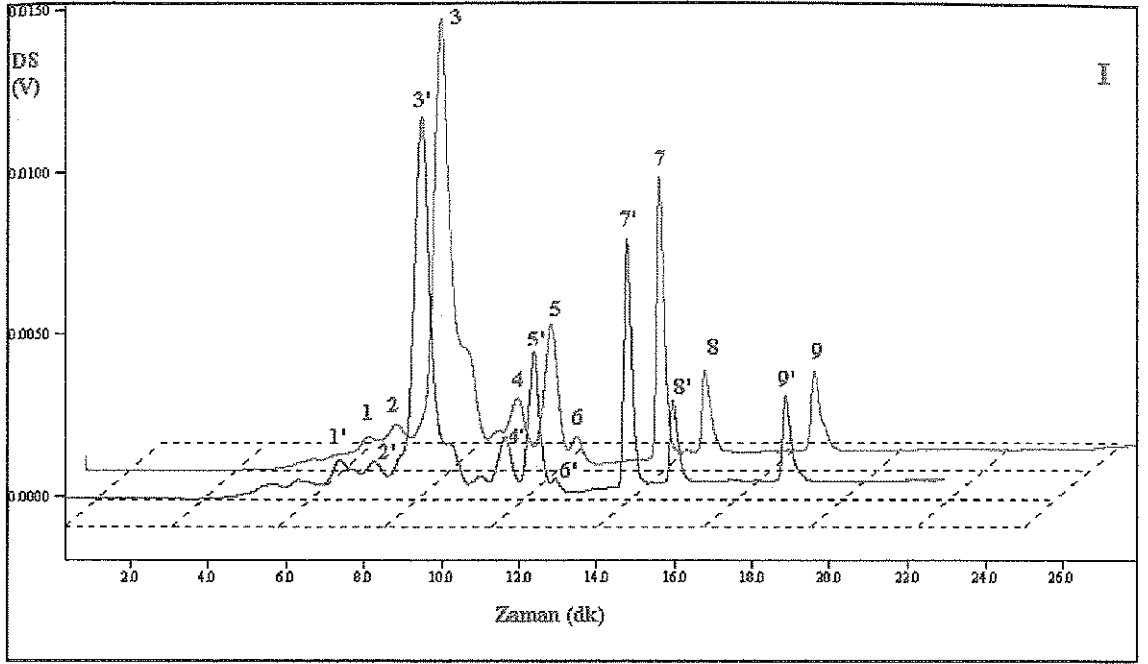
E: Fırında kurutma yöntemi ile üretilmiş kırmızı pul biberin karotenoid kromatogramı;
F: Fırında kurutma yöntemi ile üretilmiş ve 10 ay süre ile depolanmış kırmızı pul biberin karotenoid kromatogramı (1, kapsorubin; 2, violaksantin; 3, kapsantin; 3', cis-kapsantin; 4, kapsolutein; 5, zeaksantin; 5', cis-zeaksantin; 6, iç standard (β-apo-8'-carotenal); 7, β-kriptoksantin; 8, β-karoten)

Ek 2'nin devamı

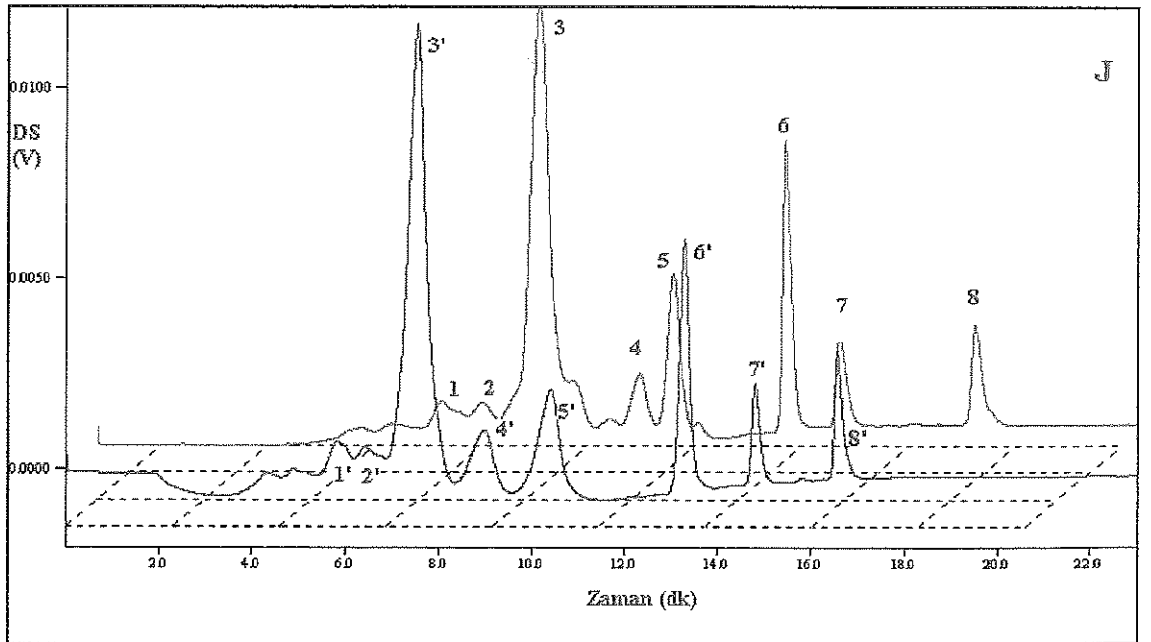


G: Fırında kurutma yöntemi ile üretilmiş ve 10 kGy dozda ışınlanmış kırmızı pul biberin karotenoid kromatogramı; H: Fırında kurutma yöntemi ile üretilmiş, 10 kGy dozda ışınlanmış ve 10 ay süre ile depolanmış kırmızı pul biberin karotenoid kromatogramı (1, kapsorubin; 2, violaksantin; 3, kapsantin; 3', cis-kapsantin; 4, kapsolutein; 5, zeaksantin; 5', cis-zeaksantin; 6, iç standard (β -apo-8'-carotenal); 7, β -kriptoksantin; 8, β -karoten)

Ek 2'nin devamı

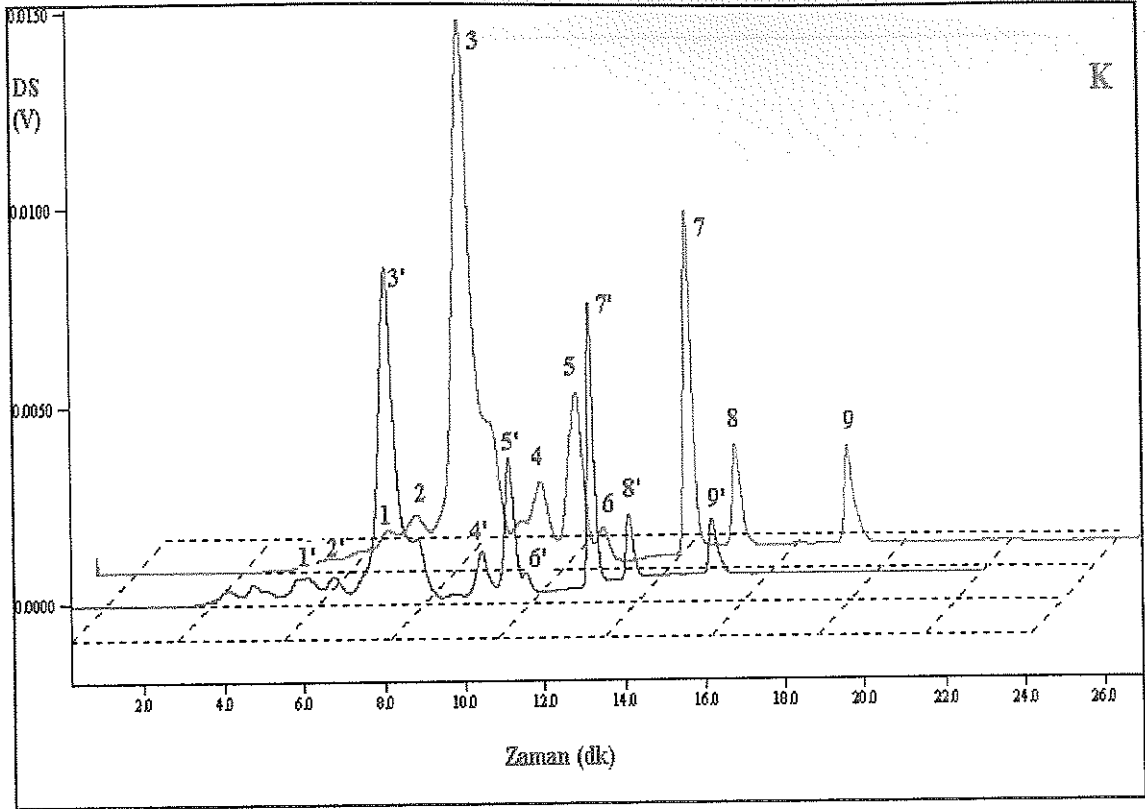


I: Fırında (kırmızı kromatogram) ve güneşte (yeşil kromatogram) kurutularak üretilen kırmızı pul biberlerin üretim sonrası karotenoid analizlerine ait HPLC kromatogramları .(1, 1' kapsorubin; 2, 2' violaksantin; 3, 3' kapsantin; 4, 4' kapsolutein; 5, 5' zeaksantin; 6, 6' cis-zeaksantin; 7, 7' iç standard (β -apo-8'-carotenal); 8, 8' β -kriptoksantin; 9, 9' β -karoten)



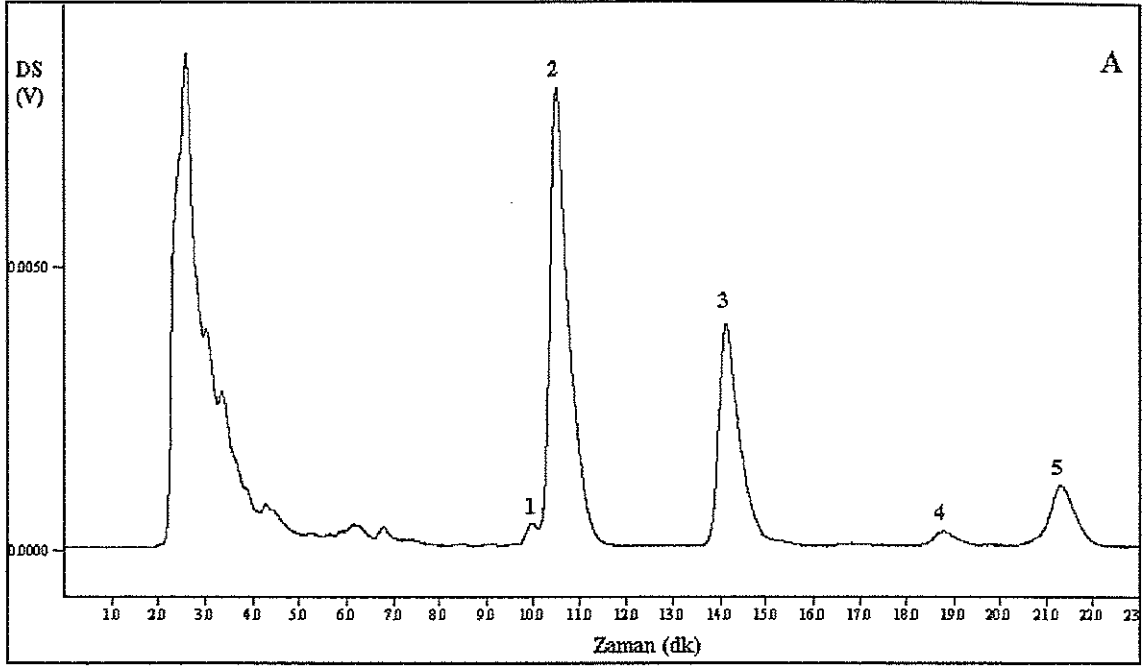
J: Fırında kurutularak üretilen, 10 kGy dozda ışınlanmış (kırmızı kromatogram) ve ışınlanmamış (yeşil kromatogram) kırmızı pul biber örneklerinin karotenoid analizlerine ait HPLC kromatogramları .(1, 1' kapsorubin; 2, 2' violaksantin; 3, 3' kapsantin; 4, 4' kapsolutein; 5, 5' zeaksantin; 6, 6' iç standard (β -apo-8'-carotenal); 7, 7' β -kriptoksantin; 8, 8' β -karoten)

Ek 2'nin devamı



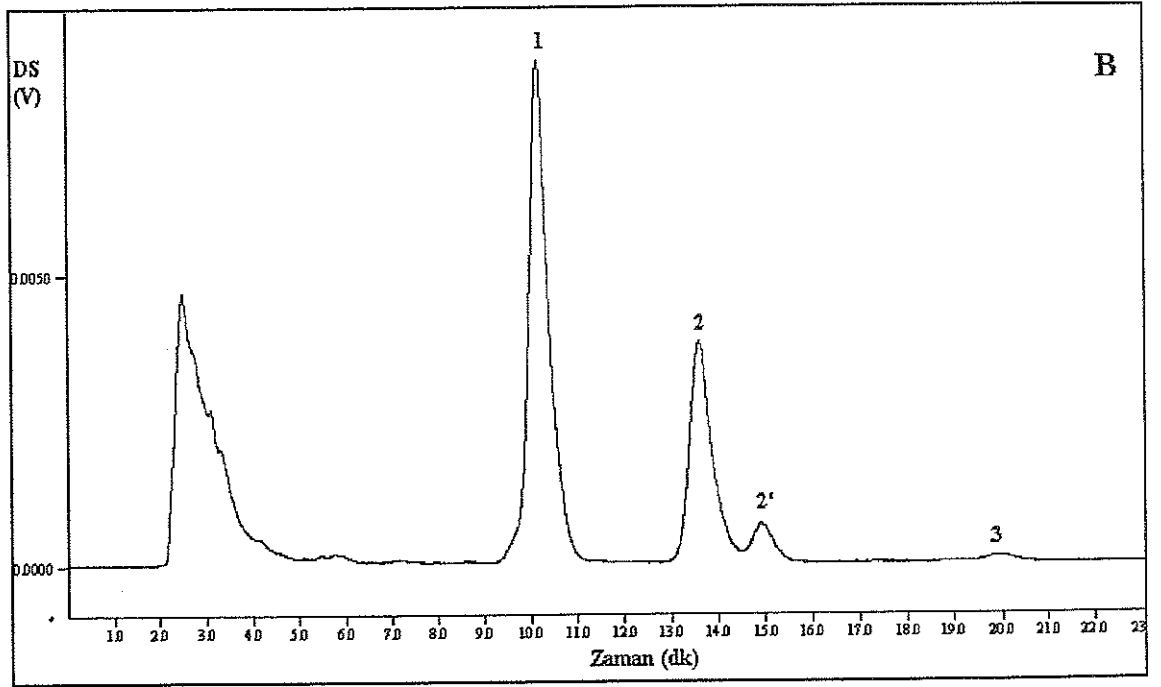
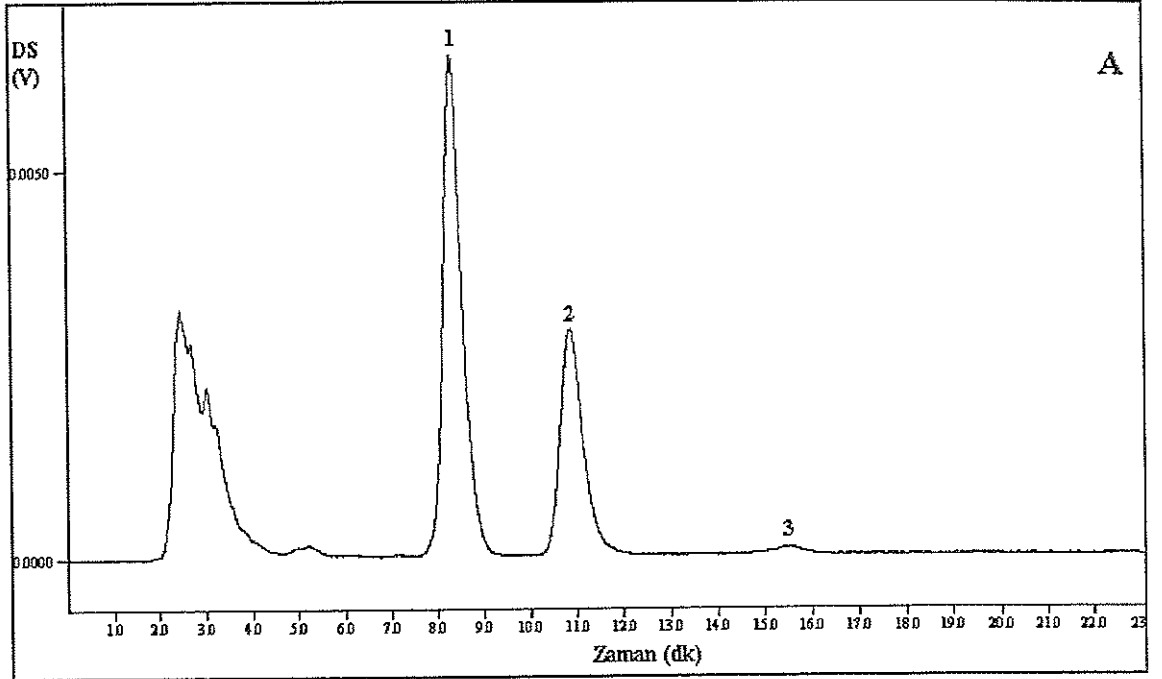
K: Güneşte kurutulularak üretilen kırmızı pul biberin üretim sonrası (Yeşil kromatogram) ve 10 ay süre ile depolanmış (Kırmızı kromatogram) örneklerinin karotenoid analizlerine ait HPLC kromatogramları. (1, 1' kapsorubin; 2, 2' violaksantin; 3, 3' kapsantin; 4, 4' kapsolutein; 5, 5' zeaksantin; 6, 6' cis-zeaksantin; 7, 7' iç standard (β -apo-8'-karotenal); 8, 8' β -kriptoksantin; 9, 9' β -karoten)

Ek 3. Taze kırmızı biberin kapsaisinoid analizine ait HPLC kromatogramı



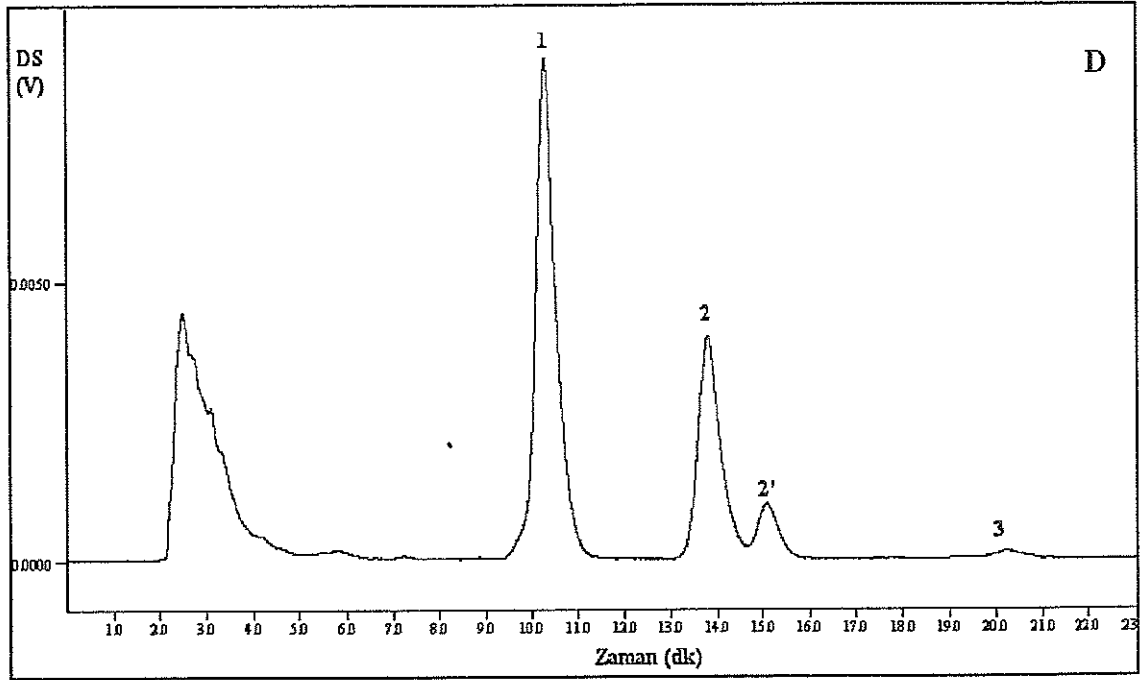
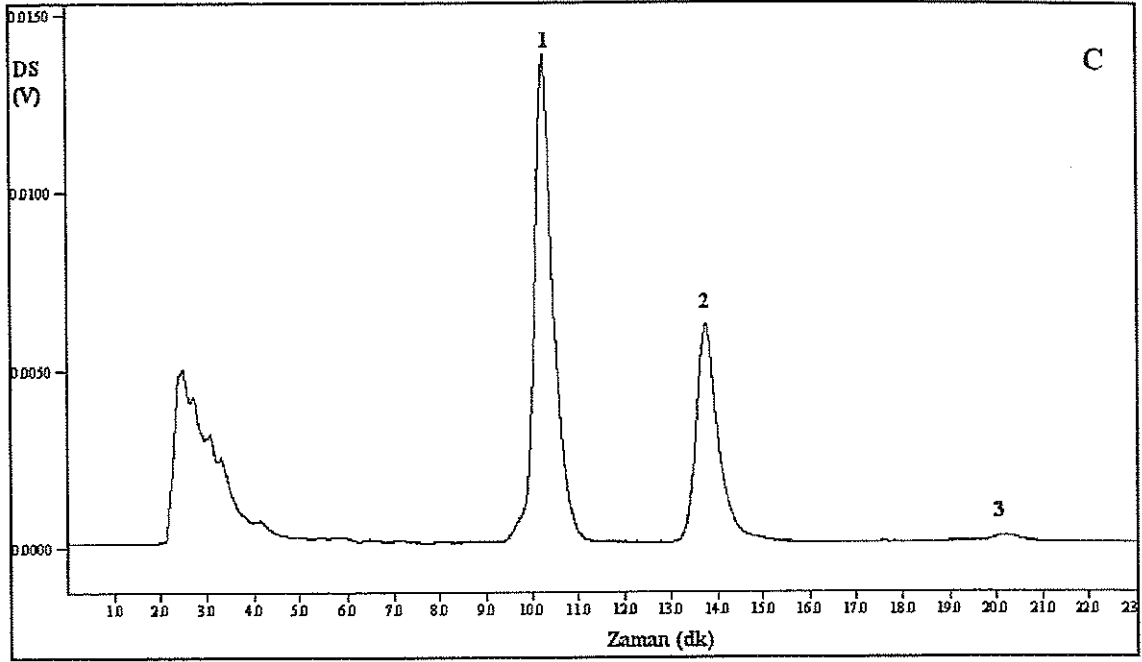
A: 1, Nordihidro kapsaisin; 2, kapsaisin; 3, dihidro kapsaisin; 4, homodihidro kapsaisin; 5, tanımlanamayan pik

Ek 4. Kırmızı pul biberlerin kapsaisinoid analizine ait HPLC kromatogramları



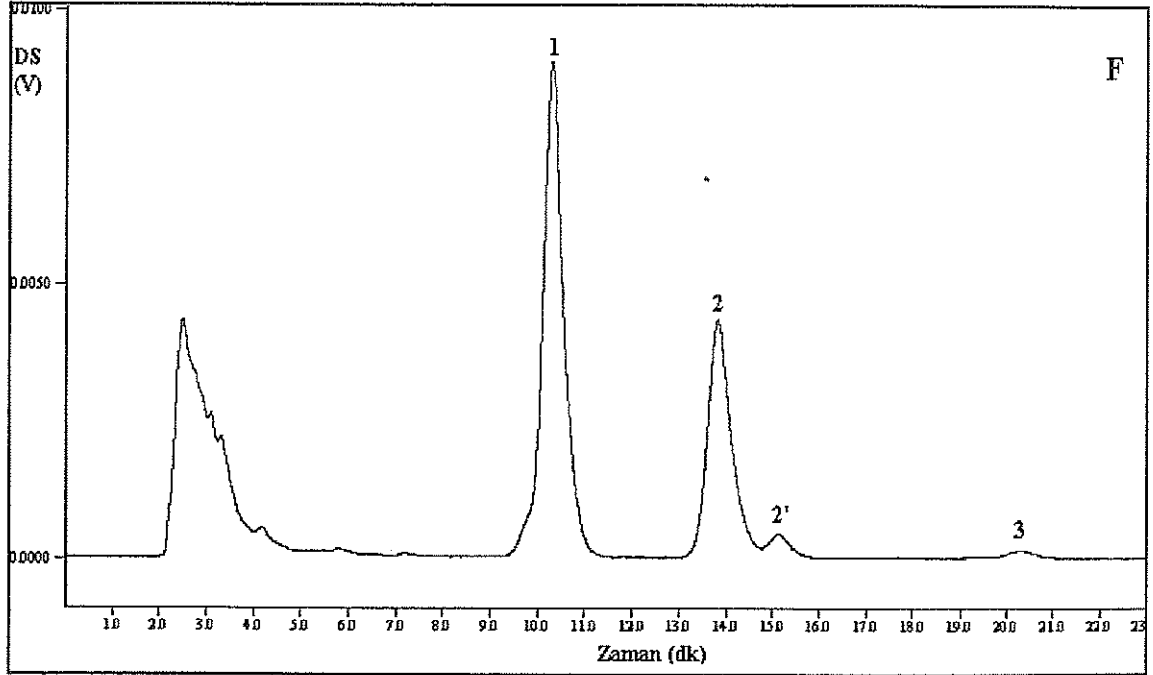
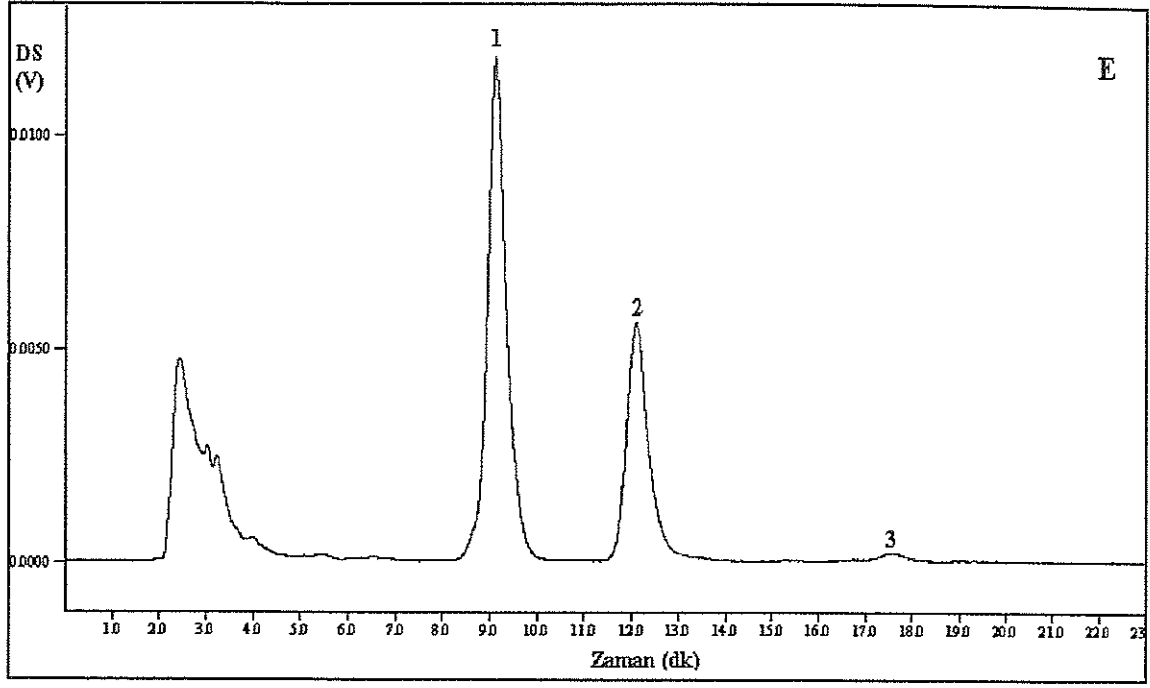
A: Güneşte kurutma yöntemi ile üretilmiş kırmızı pul biberin kapsaisinoid kromatogramı; B: Güneşte kurutma yöntemi ile üretilmiş ve 10 ay süre ile depolanmış kırmızı pul biberin kapsaisinoid kromatogramı (1, kapsaisin; 2, dihidrokapsaisin; 2', izodihidroksapsaisin; 3, homodihidroksapsaisin)

Ek 4'in devamı



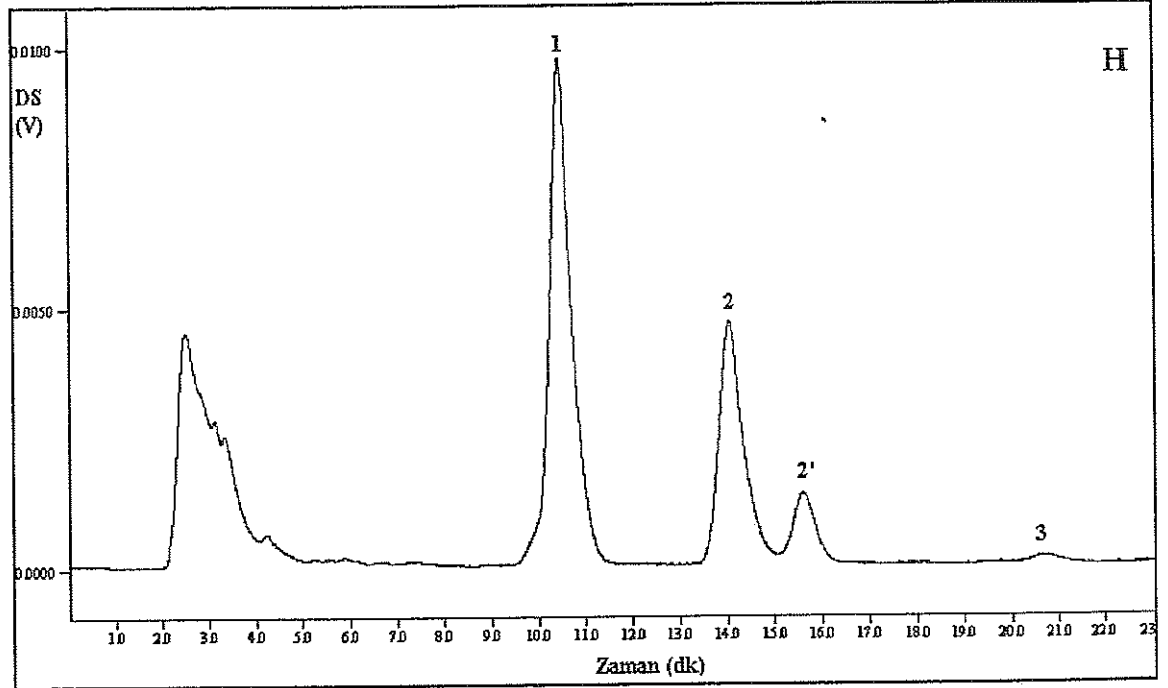
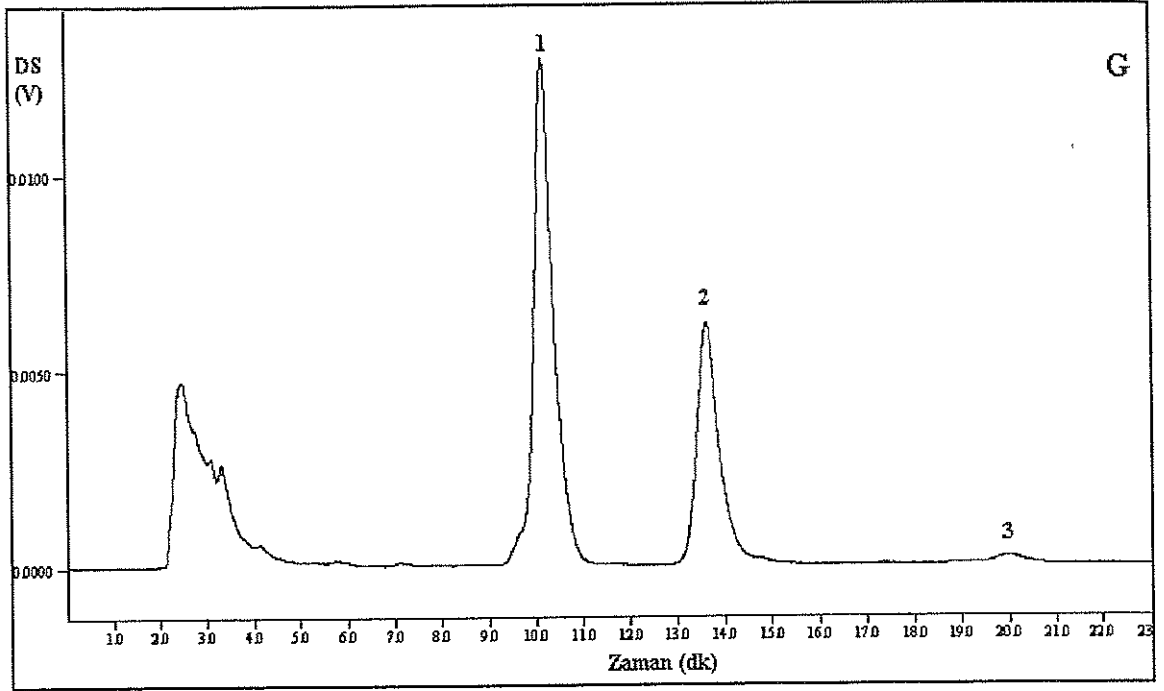
C: Güneşte kurutma yöntemi ile üretilmiş ve 10 kGy dozda ışınlanmış kırmızı pul biberin kapsaisinoid kromatogramı; D: Güneşte kurutma yöntemi ile üretilmiş, 10 kGy dozda ışınlanmış ve 10 ay süre ile depolanmış kırmızı pul biberin kapsaisinoid kromatogramı (1, kapsaisin; 2, dihidrokapsaisin; 2', İzodihidro-kapsaisin; 3, homodihidro-kapsaisin)

Ek 4'ün devamı



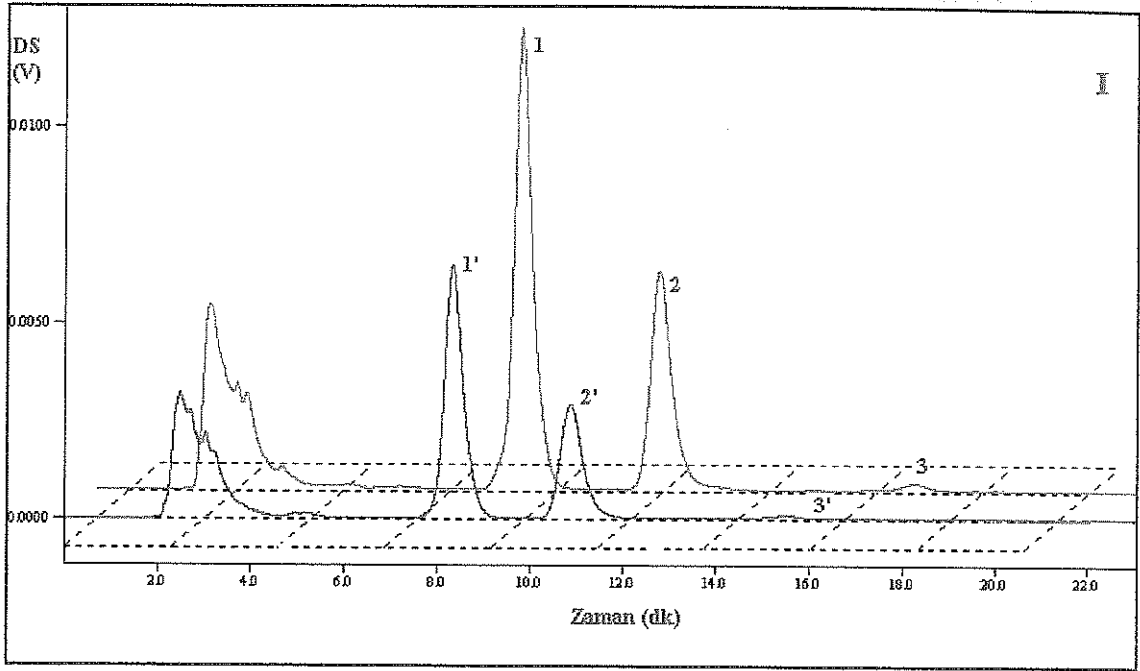
E: Fırında kurutma yöntemi ile üretilmiş kırmızı pul biberin kapsaisinoid kromatogramı; F: Fırında kurutma yöntemi ile üretilmiş ve 10 ay süre ile depolanmış kırmızı pul biberin kapsaisinoid kromatogramı (1, kapsaisin; 2, dihidrokapsaisin; 2', izodihidro-kapsaisin; 3, homodihidro-kapsaisin)

Ek 4'ün devamı

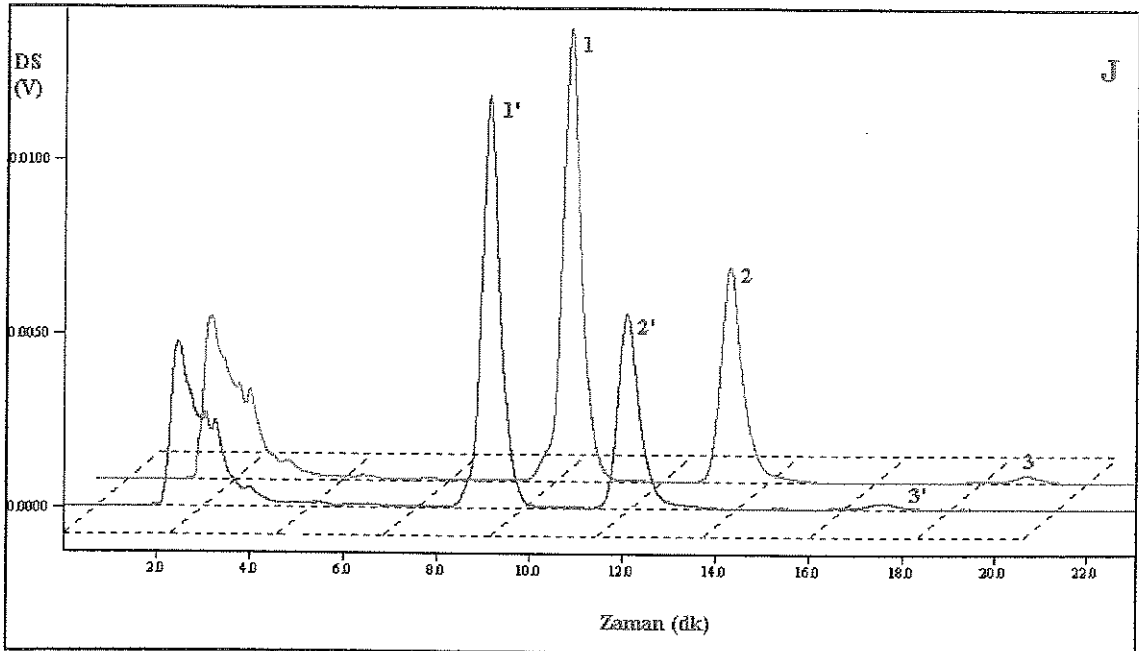


G: Fırında kurutma yöntemi ile üretilmiş ve 10 kGy dozda ışınlanmış kırmızı pul biberin kapsaisinoid kromatogramı; **H:** Fırında kurutma yöntemi ile üretilmiş, 10 kGy dozda ışınlanmış ve 10 ay süre ile depolanmış kırmızı pul biberin kapsaisinoid kromatogramı (1, kapsaisin; 2, dihidrokapsaisin; 2', izodihidroksapsaisin; 3, homodihidroksapsaisin)

Ek 4'ün devamı

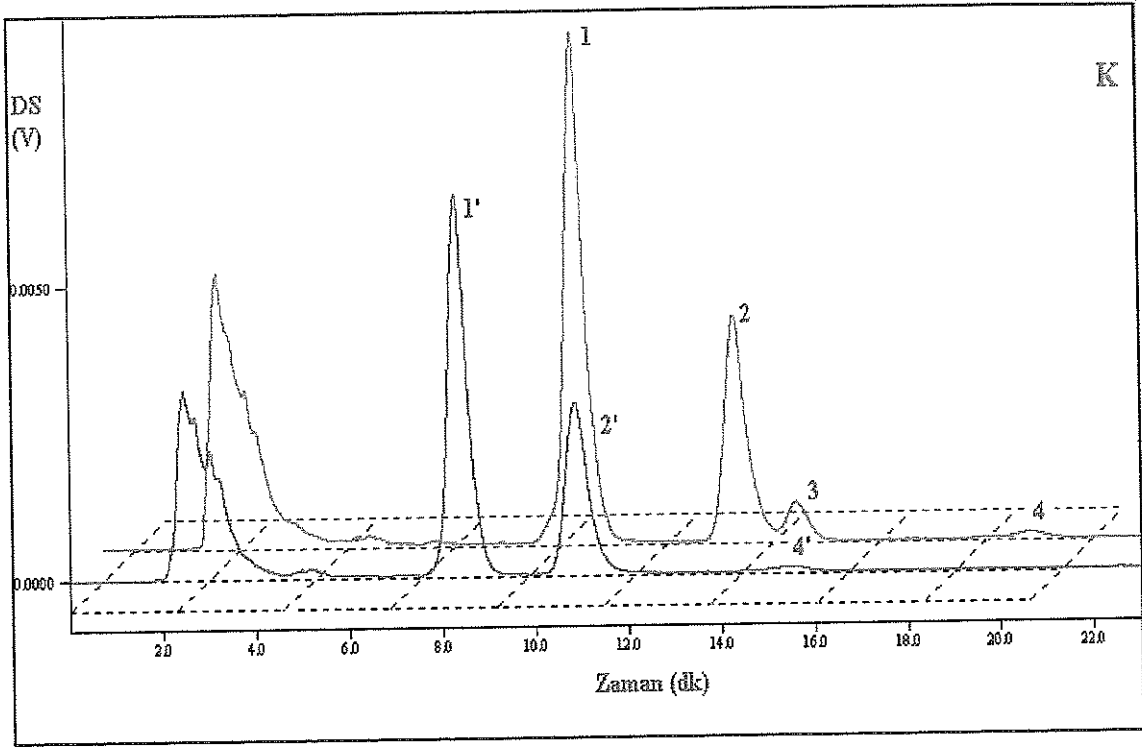


I: Güneşte (kırmızı kromatogram) ve fırında (yeşil kromatogram) kurutularak üretilen kırmızı pul biberlerin üretim sonrası kapsaisinoid analizlerine ait HPLC kromatogramları (1, 1', kapsaisin; 2, 2', dihidrokapsaisin; 3, 3', homodihidro-kapsaisin).



J: Fırında kurutularak üretilen, 10 kGy dozda ışılanmış (yeşil kromatogram) ve ışılanmamış (kırmızı kromatogram) kırmızı pul biber örneklerin kapsaisinoid analizlerine ait HPLC kromatogramları (1, 1', kapsaisin; 2, 2', dihidrokapsaisin; 3, 3', homodihidro-kapsaisin).

Ek 4'ün devamı



K: Güneşte kurutularak üretilen kırmızı pul biberin üretim sonfası (Kırmızı kromatogram) ve 10 ay depolanmış örneklerin (Yeşil kromatogram) kapsaisinoid analizlerine ait HPLC kromatogramları (1, 1', kapsaisin; 2, 2', dihidrokapsaisin; 3, izodihidrokapşaisin; 4, 4', homodihidrokapşaisin).

AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
REKTÖRLÜĞÜ KÜTÜPHANESİ

8. ÖZGEÇMİŞ

Ayhan TOPUZ 1972 yılında Antalya ilinin Serik ilçesinde doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Antalya'da tamamladı. 1989 yılında Gaziantep Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü'ne girdi. 1992 yılında yatay geçiş yaptığı Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü'nden 1995 yılında mezun oldu. Aynı yıl Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başladı. Ekim 1995'te aynı kurumda Araştırma Görevlisi kadrosuna atandı. 1998 yılında yüksek lisans eğitimini tamamladı ve aynı yıl Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı'nda doktora eğitimine başladı. 2002 yılının Temmuz ayında Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü'nde Öğretim Görevlisi kadrosuna atandı. Halen aynı kurumda görevini sürdürmektedir.