YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GÖRÜNÜR BÖLGEDE IŞIK UYGULAMASININ HASAT SONRASI BROKOLİLERİN RAF ÖMRÜ VE KALİTESİ ÜZERİNE ETKİSİ

Diren DURAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Gıda Mühendisliği Programı

Danışman

Prof. Dr. Enes DERTLİ

Temmuz, 2024

T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GÖRÜNÜR BÖLGEDE IŞIK UYGULAMASININ HASAT SONRASI BROKOLİLERİN RAF ÖMRÜ VE KALİTESİ ÜZERİNE ETKİSİ

Diren DURAN tarafından hazırlanan tez çalışması 01.07.2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Gıda Mühendisliği Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Enes DERTLİ
Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Enes DERTLİ, Danışman
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Prof. Dr. Muhammet ARICI, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Dr. Öğr. Üyesi Hamza GÖKTAŞ, Üye
İstinye Üniversitesi _____

Danışmanım Prof. Dr. Enes DERTLİ sorumluluğunda tarafımca hazırlanan "GÖRÜNÜR BÖLGEDE IŞIK UYGULAMASININ HASAT SONRASI BROKOLİLERİN RAF ÖMRÜ VE KALİTESİ ÜZERİNE ETKİSİ" başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Diren DURAN

İmza

,

Aileme ve ailem olanlara,

TEŞEKKÜR

Sonsuz şükranlarımı ve teşekkürlerimi, teknik rehberliği, tavsiyeleri ve destekleri için değerli tez danışmanım Prof. Dr. Enes DERTLİ'ye sunmak isterim.

Deneylerimin devam etmesi için mali, altyapısal, personel ve zaman kaynak desteği sağlayan Beko Ar-Ge Müdürlüğü ekibine minnettarım. Bu şirketin bir parçası olmaktan gurur ve mutluluk duyuyorum. Çalışmalarım boyunca bana gösterdiği destek ve rehberlik için, Dr. Aylin MET ÖZYURT'a içten teşekkürlerimi sunmak istiyorum. Yüksek lisans eğitimime başlamam konusunda bana yön gösteren Doç. Dr. İbrahim Sani ÖZDEMİR'e özel teşekkürlerimi iletmek isterim.

Çalışmalarıma iş birliği ve destek sağlayan takım arkadaşlarım, başta mentorum Edanur KÖMÜRLÜ, Cihan Kaan COŞKUN, Eren Can TOSUN, Deniz ÇAVDAR, Serra AKTAY ve tüm gıda ve pişirme ailesine teşekkür borçluyum.

Lisans ve yüksek lisans eğitim hayatım boyunca birlikte olduğum, sevgili arkadaşlarım Ece ERCAN ve Hasan Buğra GEÇİCİ'ye teşekkürlerimi iletmek isterim.

Sevgili anne ve babam Aynur DURAN ve Kemal DURAN'a, yıllar süren eğitimim boyunca gösterdikleri koşulsuz destek, sevgi, sabır ve teşvik için teşekkür etmek istiyorum.

Son olarak sevgilim Hazal ARSLAN'a çalışmalarım boyunca gösterdiği anlayış ve sonsuz destek için özel teşekkürlerimi sunmak isterim.

Diren DURAN

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR iv
SİMGE LİSTESİ viii
KISALTMA LİSTESİ ix
ŞEKİL LİSTESİ x
TABLO LİSTESİ xii
ÖZET xiii
ABSTRACT xv
1 GİRİŞ 1
1.1 Tezin Amacı 3
1.2 Hipotez 3
2 LİTERATÜR ARAŞTIRMASI 5
2.1 Meyve-Sebzelerde Hasattan Sonra Saklama Esnasında Kalitede Meydana Gelen Değişimler 5
2.1.1 Meyve-Sebzelerin Hasat Sonrası Kalitesini Etkileyen Faktörler 6
2.1.2 Meyve-Sebzelerin Soğukta Depolanması 7
2.2 Görünür Işık Teknolojisi 9
2.2.1 Floresan Lambalar 10
2.2.2 Işık yayan diyot (LED)....10
2.3 Hasat Sonrası Ürünlerde Işık Uygulamalarının Etkileri 12
2.3.1 Gıda Ürünlerinin Klorofil İçeriğine Işık Teknolojisinin Etkisi 12
2.3.2 Gıda Ürünlerinin Besin İçeriğine Işık Teknolojisinin Etkisi....20
2.3.3 Işık Teknolojisinin Mikrobiyal Bozulma Üzerine Etkisi 24
3 MATERYAL VE METOT 26
3.1 Materyal 26
3.1.1 Brokoli Örneklerinin Temini 26
3.1.2 Kimyasal analizler için kullanılan materyaller 26
3.1.3 Işık Uygulaması 26
3.1.4 Brokoli Örneklerinin Hazırlanması....28
3.2 Metot 28
3.2.1 Brokoli Örneklerinin Depolanması....28

3.2.2 Kimyasal ve Fiziksel Analizler....28
3.2.2.1 Vitamin A İçeriği Analizi....28
3.2.2.2 Vitamin C İçeriği Analizi....29
3.2.2.3 Toplam Klorofil Miktarının Belirlenmesi....30
3.2.2.4 Antioksidan Aktivite Tayini....30
3.2.2.5 Ağırlık Kaybı....31
3.2.2.6 Duyusal Analiz....32
3.2.2.7 Kuru Madde Miktarının Belirlenmesi....32
3.2.2.8 İstatistiksel Analiz....33
4 BULGULAR VE TARTIŞMA **34**
4.1 Fotoperiyodik Işık Uygulamasının Brokoli Üzerine Etkisi....34
4.1.1 Toplam Klorofil Miktarı....34
4.1.2 C Vitamini İçeriği....38
4.1.3 A Vitamini İçeriği....39
4.1.4 Antioksidan Aktivitesi (% İnhibisyon)....41
4.1.5 Ağırlık Kaybı....44
4.1.6 Duyusal Özellikler....45
4.2 Farklı Fotoperiyodik Işık Uygulamasının Brokoli Üzerine Etkisinin İncelenmesi....49
4.2.1 Toplam Klorofil Miktarı....49
4.2.2 C Vitamini İçeriği....53
4.2.3 A Vitamini İçeriği....55
4.2.4 Antioksidan Aktivitesi (% İnhibisyon)....57
4.2.5 Ağırlık Kaybı....58
4.2.6 Duyusal Özellikler....60
5 SONUÇ **65**
KAYNAKÇA **71**
A EK **78**

TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR **80**

SİMGE LİSTESİ

Δ	Delta
g	Gram
kg	Kilogram
µg	Mikrogram derece
µL	Mikrolitre
mg	Miligram
mL	Mililitre
mM	Milimolar
nm	Nanometre
h	Saat
s	Saniye
°C	Santigrat
%	Yüzde

KISALTMA LİSTESİ

ANOVA	Analysis of Variance
ATP	Adenozin Trifosfat
DDPH	1,1-Difenil-2-pikrilhidrazil Radikali
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
GAE	Gallik Asit Eşdeğeri
HPLC	Yüksek Basınç Sıvı Kromatografisi
LED	Light Emitting Diode
RGB	Red Green Blue
UV	Ultraviyole

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Elektromanyetik ve Görünür Bölge Spektrumu (Nayak vd., 2020).....10
Şekil 2.2 Klorofil a ve b'nin kimyasal yapısı (Pérez vd., 2006).....13
Şekil 2.3 Klorofil a, klorofil b ve karotenoid pigmentlerinin görünür bölge aralığındaki absorbans eğrileri (Løkke, 2012).....14
Şekil 3.1 12 saat yeşil ve 12 saat beyaz ışık uygulaması ile brokoli örneklerinin soğutmalı saklama haznesi içerisinde saklandığı deney koşulu.....27
Şekil 3.2 Farklı ışık renginin baskın olduğu fotoperiyodik uygulamaların brokoli örneklerinin soğutmalı saklama haznesi içerisinde saklandığı deney koşulu.....27
Şekil 4.1 12 saat yeşil + 12 saat beyaz ışık uygulanmış ve kontrol grubu brokoli ürünlerinin 14 gün boyunca toplam klorofil miktarındaki ilk tekrara ait değişimi.....34
Şekil 4.2 12 saat yeşil + 12 saat beyaz ışık uygulanmış ve kontrol grubu brokoli ürünlerinin 14 gün boyunca toplam klorofil miktarındaki ikinci tekrara ait değişimi.....36
Şekil 4.3 12 saat yeşil + 12 saat beyaz ışık uygulanmış ve uygulanmamış brokoli ürünlerinin 14 gün boyunca Vitamin C seviyesinde meydana gelen değişimi.....38
Şekil 4.4 12 saat yeşil + 12 saat beyaz ışık uygulanmış ve uygulanmamış brokoli ürünlerinin 14 günde meydana gelen A vitamini değişimi.....40
Şekil 4.5 12 saat yeşil + 12 saat beyaz ışık uygulanmış ve uygulanmamış brokoli ürünlerinin 14 gün boyunca % inhibisyon miktarındaki değişimi.....42
Şekil 4.6 12 saat yeşil + 12 saat beyaz ışık uygulanmış ve uygulanmamış brokoli ürünlerinin 14 günde meydana gelen % ağırlık kaybı değişimi 44
Şekil 4.7 12 saat yeşil + 12 saat beyaz ışık uygulanmış ve kontrol grubu brokoli ürünlerinin 14 gün boyunca renk beğeni değişimi.....46
Şekil 4.8 12 saat yeşil + 12 saat beyaz ışık uygulanmış ve kontrol grubu brokoli ürünlerinin 14 gün boyunca genel tüketilebilirlik değişimi.....47
Şekil 4.9 Duyusal değerlendirme için kullanılan örneklerin depolama süresi boyunca görünümü.....49
Şekil 4.10 Farklı fotoperiyodik döngülere sahip ışık uygulanmış ve kontrol grubu brokoli ürünlerinin 14 gün boyunca toplam klorofil miktarındaki ilk tekrara ait değişimi.....50
Şekil 4.11 Farklı fotoperiyodik döngülere sahip ışık uygulanmış ve kontrol grubu brokoli ürünlerinin 14 gün boyunca toplam klorofil miktarındaki ikinci tekrara ait değişimi.....52
Şekil 4.12 Farklı fotoperiyodik döngülere sahip ışık uygulanmış ve uygulanmamış brokolilerin 14 gün boyunca Vitamin C seviyesinde meydana gelen değişimi.....53
Şekil 4.13 Farklı fotoperiyodik döngülere sahip ışık uygulanmış ve uygulanmamış brokoli ürünlerinin 14 günde meydana gelen A vitamini değişimi.....55
Şekil 4.14 Farklı fotoperiyodik döngülere sahip ışık uygulanmış ve uygulanmamış brokoli ürünlerinin 14 günlük % İnhibisyon miktarı değişimi 57
Şekil 4.15 Farklı fotoperiyodik döngülere sahip ışık uygulanmış ve uygulanmamış brokoli ürünlerinin 14 günlük % ağırlık kaybı değişimi 59
Şekil 4.16 Farklı fotoperiyodik ışık uygulanmış ve uygulanmamış brokoli ürünlerinin 14 günlük renk beğeni değişimi.....60

Şekil 4.17 Farklı fotoperiyodik ışık uygulanmış ve kontrol grubu brokoli ürünlerinin 14 gün boyunca genel tüketilebilirlik değişimi.....62
Şekil 4.18 Duyusal değerlendirme için kullanılan örneklerin depolama süresi boyunca görünümü.....64

Şekil A.1 Brokoli örneklerinin renk değerlendirme skalası 78

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1 Bazı meyve türlerinde sıcaklığın solunum hızın üzerine etkisi (Erkan ve Pekmezci, 1997) 8
Tablo 2.2 Bazı taze meyve ve sebzelerin klorofil içerikleri 15
Tablo 3.1 Brokoli ürünlerinin hazne içerisinde saklandığı deneysel koşullar 33
Tablo 4. 1 12 saat yeşil + 12 saat beyaz ışık uygulanmış ve kontrol brokoli örneklerinin ilk tekrarına ait toplam klorofil miktarı ortalamalarının Tukey testi karşılaştırma sonuçları.....35
Tablo 4.2 12 saat yeşil + 12 saat beyaz ışık uygulanmış ve kontrol brokoli örneklerinin ikinci tekrarına ait toplam klorofil miktarı ortalamalarının Tukey testi karşılaştırma sonuçları.....37
Tablo 4.3 12 saat yeşil + 12 saat beyaz ışık uygulanmış ve uygulanmamış brokolilere ait C vitamini miktarlarının karşılaştırma testi sonuçları ...39
Tablo 4.4 12 saat yeşil + 12 saat beyaz ışık uygulanmış ve uygulanmamış brokolilere ait A vitamini miktarlarının karşılaştırma testi sonuçları ...41
Tablo 4.5 12 saat yeşil + 12 saat beyaz ışık uygulanmış ve uygulanmamış brokolilere ait % İnhibisyon değerlerinin karşılaştırma testi sonuçları.43
Tablo 4.6 12 saat yeşil + 12 saat beyaz ışık uygulanmış ve uygulanmamış brokolilere ait % ağırlık kaybı sonuçlarının karşılaştırma testi sonuçları 45
Tablo 4.7 12 saat yeşil + 12 saat beyaz ışık uygulanmış ve uygulanmamış brokolilere ait renk beğeni değerlerinin karşılaştırma testi sonuçları ...46
Tablo 4.8 12 saat yeşil + 12 saat beyaz ışık uygulanmış ve uygulanmamış brokolilere ait genel tüketilebilirlik değerlerinin karşılaştırma testi sonuçları.....48
Tablo 4. 9 Farklı fotoperiyodik döngülere sahip ışık uygulanan ve kontrol örneklerine ilk tekrarına ait toplam klorofil miktarı ortalamalarının Tukey testi karşılaştırma sonuçları.....51
Tablo 4.10 Farklı fotoperiyodik döngülere sahip ışık uygulanan ve kontrol örneklerine ikinci tekrarına ait toplam klorofil miktarı ortalamalarının Tukey testi karşılaştırma sonuçları.....52
Tablo 4.11 Farklı fotoperiyodik döngülere sahip ışık uygulanmış ve uygulanmamış brokolilere ait C vitamini değerlerinin karşılaştırma testi sonuçları 54
Tablo 4.12 Farklı fotoperiyodik döngülere sahip ışık uygulanmış ve kontrol grubu örneklerine ait A vitamini miktarlarının Tukey testi sonuçları.....56
Tablo 4.13 Farklı fotoperiyodik döngülere sahip ışık uygulanmış ve kontrol grubu örneklerine ait % İnhibisyon değerlerinin Tukey testi sonuçları 58
Tablo 4.14 Farklı fotoperiyodik döngülere sahip ışık uygulanmış ve kontrol grubu brokolilerinin % ağırlık kaybı değerlerinin karşılaştırma testi sonuçları 60
Tablo 4.15 Farklı fotoperiyodik ışık uygulanmış ve uygulanmamış brokolilere ait renk beğeni değerlerinin karşılaştırma testi sonuçları.....61
Tablo 4.16 12 saat yeşil + 12 saat beyaz ışık uygulanmış ve uygulanmamış brokolilerin genel tüketilebilirlik değerlerinin karşılaştırma testi sonuçları.....63

ÖZET

Görünür Bölgede Işık Uygulamasının Hasat Sonrası Brokolilerin Raf Ömrü ve Kalitesi Üzerine Etkisi

Diren DURAN

Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Gıda Mühendisliği Programı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. Enes DERTLİ

Son yıllarda, meyve-sebze ürünlerinin depolanmasındaki yaklaşımlar, raf ömrünü uzatmanın yanı sıra ürünün besin içeriği, renk gibi duyusal özelliklerinin korunmasına da odaklanmaktadır. Bu bağlamda, bu çalışmada +4°C sıcaklıkta ve %95 bağıl nem koşullarında depolanan brokoli örneklerine, farklı dalga boylarındaki LED ışıkların uygulanması ve değişken fotoperiyodik döngülerin uygulanması yoluyla, klorofil miktarı, C vitamini, A vitamini, antioksidan aktivitesi, ağırlık kaybı, renk değişimi ve genel tüketilebilirlik hususları incelenmiştir. Bu amaçla testlerde 525 nm dalga boyunda yeşil ışık kullanılmış, beyaz ışık ise kırmızı (625 nm), yeşil (525 nm) ve mavi (465 nm) ışıklarının aynı anda yakılmasıyla elde edilip uygulanmıştır. İlk olarak, karanlıkta depolanan ve eşit sürelere (12 saat yeşil + 12 saat beyaz) sahip fotoperiyodik ışık uygulaması altında saklanan brokoli örneklerinin besin içeriği, raf ömrü ve duyusal kalitesi karşılaştırılmıştır. Eşit süreli fotoperiyodik ışık uygulaması, başlangıçta 682 mg/100g olan brokoli örneklerinin toplam klorofil miktarını 10. günde 1,6 kat daha iyi korumuştur. C vitamini miktarı, 10. günde eşit süreli ışık uygulanan örneklerde 440 mg/100g olarak tespit edilirken, karanlıkta depolanan örneklerde 344,9

mg/100g olarak belirlenmiştir. Ayrıca eşit süreli fotoperiyodik ışık uygulamasının örneklerin antioksidan aktivitesini ve rengini daha iyi koruduğu, raf ömrünü de artırdığı tespit edilmiştir. Fakat ışık uygulamasının A vitamini üzerinde bir etkisinin olmadığı ve daha fazla ağırlık kaybına sebebiyet verdiği gözlemlenmiştir. İkinci aşamada, farklı renklerin daha yoğun olarak uygulandığı iki farklı fotoperiyodik döngünün etkisi incelenmiştir. İki farklı ışık uygulamasının da brokolilerin toplam klorofil miktarı, C vitamini, antioksidan aktivitesi ve rengini daha iyi koruduğu, ayrıca raf ömrünü de artırdığı tespit edilmiştir. Ancak, yeşil ağırlıklı ışık uygulanan örneklerin toplam klorofil miktarı, beyaz ağırlıklı ışık uygulanan örneklere göre 1,5 kat daha fazla korunmuş, A vitamini miktarı ise %10 oranında daha yüksek düzeyde korunmuştur. Ayrıca yeşil ağırlıklı ışık uygulanan örneklerde gerçekleşen ağırlık kaybı, beyaz ağırlıklı ışık uygulanan örneklerden daha az gerçekleşmiştir. Fakat iki farklı fotoperiyodik ışık uygulamasının brokolilerin renk beğeni ve genel tüketilebilirlik değerleri açısından birbirinden farksız olduğu tespit edilmiştir. Sonuç olarak, bu çalışmada kapsamında görünür bölgede yeşil ve beyaz ışık kullanılarak oluşturulan farklı fotoperiyodik döngülerin +4°C sıcaklıkta ve %95 bağıl nem koşullarında depolanan brokolilerin besin içeriği, raf ömrü ve duyusal kalitesinde iyileştirmeler sağladığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Fotoperiyodik ışık, klorofil, brokoli, raf ömrü, besin içeriği.

ABSTRACT

The Effect Of Visible Light Treatment On Storage Life and Quality Parameters Of Post Harvest Broccoli

Diren DURAN

Department of Food Engineering

Master of Science Thesis

Supervisor: Prof. Dr. Enes DERTLİ

In recent years, approaches to the storage of fruit and vegetable products have focused not only on extending shelf life but also on preserving the nutritional content and sensory qualities, such as color, of the products. In this context, this study examines the effects of applying LED lights with different wavelengths and variable photoperiodic cycles on broccoli samples stored at +4°C and 95% relative humidity. The parameters investigated include chlorophyll content, vitamin C, vitamin A, antioxidant activity, weight loss, color change, and overall edibility. For these tests, green light at a wavelength of 525 nm was used, and white light was obtained and applied by simultaneously illuminating red (625 nm), green (525 nm), and blue (465 nm) lights. Initially, the nutritional content, shelf life, and sensory quality of broccoli samples stored in darkness and under an equal-duration photoperiodic light regime (12 hours green + 12 hours white) were compared. The equal-duration photoperiodic light treatment preserved the total chlorophyll content of broccoli samples, initially 682 mg/100g, 1.6 times better by the 10th day. The vitamin C content on the 10th day was 440 mg/100g in samples under the equal-duration light regime, compared to 344,9 mg/100g in those stored in darkness. Additionally, the equal-duration photoperiodic light treatment was found to better

preserve the antioxidant activity and color of the samples, as well as extend their shelf life. However, the light treatment had no effect on vitamin A and resulted in greater weight loss. In the second phase, the effects of two different photoperiodic cycles with more intense application of different colors were investigated. Both light treatments were found to better preserve the total chlorophyll content, vitamin C, antioxidant activity, and color of the broccoli, as well as extend their shelf life. However, the samples exposed to the green-dominant light had a total chlorophyll content that was preserved 1.5 times better and a vitamin A content that was 10% higher compared to those exposed to the white-dominant light. Additionally, the weight loss in samples under the green-dominant light was less than in those under the white-dominant light. However, no significant differences were found between the two photoperiodic light treatments in terms of color preference and overall edibility of the broccoli. In conclusion, this study demonstrated that different photoperiodic cycles using green and white light in the visible spectrum led to improvements in the nutritional content, shelf life, and sensory quality of broccoli stored at +4°C and 95% relative humidity.

Keywords: Photoperiodic light, chlorophyll, broccoli, shelf life, nutritional content.

1
GİRİŞ

Günümüzde, sağlıklı beslenme eğilimlerindeki artış ve vejetaryen beslenme tercihleri, meyve-sebze tüketimini oldukça yaygın hale getirmiştir. Ayrıca, uzun çalışma saatleri nedeniyle evde geçirilen sürenin azalması ve bireylerin yalnız yaşama eğiliminin artması gibi faktörler, hazırlanan yemek sayısındaki azalmayla birlikte, satın alınan gıdaların uzun süre tazeliğini koruma gerekliliğini ön plana çıkarmaktadır (Pekcan, 2022). Tüketicilerin tercihlerindeki değişimle birlikte, gıda saklama yöntemlerinde yeni teknolojilere yönelik araştırmalar da öne çıkmaktadır.

Gıda raf ömrü, gıda güvenliğinin ve kalite özelliklerinin en iyi şekilde korunarak muhafaza edildiği süreyi belirtir (Valero vd., 2012). Taze gıdalar genellikle buzdolabında +4°C'de depolanarak raf ömrü süresince optimum koşullarda tutulur. Ancak, bazı meyve-sebzelerin bu sıcaklık değerlerinde saklanması, ürünün yaşlanma sürecinin hızlanmasına neden olabilir. Sıcaklığın düşürülemeyeceği durumlarda, ürün yaşlanmasını geciktirmek amacıyla alternatif teknolojilerin bulunması son derece önemlidir (El-Ramady vd., 2015).

Meyve ve sebzeler, sağlığı destekleyen özellikleri ile tanınmaktadır. Zengin vitamin, mineral ve antioksidan içeriği sayesinde kronik hastalıklar, kanser, kardiyovasküler rahatsızlıklar, felç ve katarakt riskini azaltmaktadır (Yahia vd., 2019), bu da tüketicilerin diyetinde taleplerini artırmaktadır. Ancak, Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) raporuna göre, meyve ve sebzeler, yüksek bozulabilirlik özellikleri nedeniyle en çok israf edilen tarım ürünleri arasında yer almaktadır (Parfitt vd. 2010). Bu israfın temel sebepleri, verimsiz hasat sonrası altyapı, düşük kaliteli hasat ve depolama teknikleri ile uygun olmayan pazarlama imkanlarıdır (Moustafa, 2016).

Son yıllarda meyve-sebzelerin muhafazası konusunda, raf ömrünü artırmakla birlikte, besin değeri, renk, tat, yapı ve görünüş özelliklerini geliştirmeye odaklanan yaklaşımlar öne çıkmaktadır (Sridhar vd., 2021). Bu sebeple, buzdolaplarında sadece raf ömrünü uzatma ve ürün tazeliğini koruma amaçlarına odaklanmanın ötesinde, yeni teknolojilere de yer açılması gerekmektedir. Bu teknolojiler arasında, görünür ışık bölgesinde LED (ışık yayan diyot) uygulamaları da bulunmaktadır.

Tarım sektöründe, LED'lerin kullanımı, gıda üretimi ve bahçe ürünlerinin fizyolojik parametrelerinin artırılması amacıyla rapor edilmiştir (D'Souza vd., 2015). Işık, fotoesentez gibi fitokimyasal reaksiyonları düzenleme ve fenolik bileşikler gibi ikincil metabolitlerin üretiminde önemli bir rol oynadığından dolayı bu yöntem tercih edilmektedir (Xu vd., 2014). LED sistemlerinin, uzun ömürlülükleri, diğer aydınlatma kaynaklarına kıyasla daha düşük enerji tüketimleri, kompakt boyutları, kolay montaj özellikleri, belirli dalga boylarında lineer ışık yayma yetenekleri ve düşük maliyetleri, önemli bir potansiyele işaret etmektedir. Monokromatik doğa, uzun ömür, termal bozulmanın önlenmesi ve yüksek fotona verimlilik gibi diğer özellikler de LED sistemlerini daha cazip kılan faktörler arasında yer almaktadır. Bu avantajlı özelliklerin tümü, LED sistemlerinin taze ürünlerin raf ömrünü uzatma konusundaki etkinliğini artırmaktadır (Bourget, 2008; Kusuma vd., 2020).

Brokoli, *Brassica oleracea* ailesine ait olan bitkisinin besin değeri yüksek ve sağlık açısından faydalı olan bir sebzesidir. Bu sebze, A, C ve K vitaminleri, folat, lif, demir, potasyum ve diğer mineraller açısından zengin bir içeriğe sahiptir. Antioksidan özelliği sayesinde sağlık üzerinde olumlu etkiler sağladığı bilinmektedir. Ayrıca, brokoli içinde bulunan glukosinolat bileşenleri kanserle mücadelede potansiyel bir rol oynayabilir (Melim vd., 2020).

Brokoli, taze ve doğru koşullarda saklandığında bu değerli besin içeriğini daha uzun süre muhafaza edebilir. Brokoli, optimum tazelik ve besin değerini korumak için düşük sıcaklıkta (0-4°C) nem kontrolü yapılmış bir ortamda depolanmalıdır. Ancak, hasat sonrası dönemde uygun olmayan şartlar, depolama süreçleri ve çevresel etmenler brokoli kalitesini olumsuz etkileyebilir. Bu sebeple, brokoli yetiştiricileri ve tüketicileri, bu sebzenin besin değerini ve organoleptik özelliklerini korumak için doğru hasat sonrası yönetim stratejilerini benimsemelidir. Bu konudaki araştırmalar, brokoli endüstrisinin kalite ve raf ömrünü optimize etmek için önemli bilgiler sağlamaktadır (Ilahy vd., 2020).

Brokoli tüketimi dünya genelinde yaygındır ve bu sebzenin sağlık üzerindeki etkilerine dair farkındalık her geçen gün artmaktadır. Bu da brokoli endüstrisinin kalite ve raf ömrü üzerindeki etkilerini daha iyi anlama ve optimize etme ihtiyacını doğurmaktadır. Görünür bölgede uygulanan ışık stratejileri, brokoli yetiştiriciliğinde potansiyel bir strateji olarak öne çıkmaktadır. Tüketicilerin sağlık bilinci arttıkça, brokoli üreticileri ve araştırmacıları, besin değerini artırmak ve raf

ömrünü uzatmak için LED sistemli aydınlatma stratejilerini değerlendirmektedir. Bu bağlamda, brokoli kalitesi ve raf ömrü üzerinde görünür bölgede uygulanan ışığın potansiyel etkilerini araştırmak hem tüketicilere uygun ürünler sunmak hem de tarım endüstrisine sürdürülebilir ve yenilikçi çözümler sunmak için önemli bir araştırma alanını temsil etmektedir.

Bu çalışma kapsamında ilk aşamada, yeşil ve beyaz ışığın eşit sürelerde (12 saat yeşil + 12 saat beyaz) aydınlatıldığı fotoperiyodik döngü, +4°C'de ve %95 bağıl nem seviyesinde depolanan brokoli örneklerine uygulanmıştır. Brokoli örneklerinin toplam klorofil miktarı, C vitamini, A vitamini, antioksidan aktivitesi, renk beğenisi, genel tüketilebilirliği ve ağırlık kaybında meydana gelen değişimler incelenmiştir. İkinci aşamada ise yeşil ağırlıklı (12 saat yeşil + 8 saat beyaz + 4 saat karanlık) ve beyaz ağırlıklı (12 saat beyaz + 8 saat yeşil + 4 saat karanlık) iki farklı fotoperiyodik döngü oluşturularak brokoliler örneklerinin toplam klorofil miktarı, C vitamini, A vitamini, antioksidan aktivitesi, renk beğenisi, genel tüketilebilirliği ve ağırlık kaybında meydana gelen değişimler incelenmiştir. Her iki aşamada da kontrol grubu olarak karanlıkta muhafaza edilen brokoli örnekleriyle kıyaslanmıştır.

1.1 Tezin Amacı

Bu tez çalışması ile görünür bölge aralığında bulunan yeşil ve beyaz ışık ile oluşturulan farklı fotoperiyodik uygulamaların hasat sonrası brokolinin kalite parametreleri ve raf ömrü üzerindeki etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır. Farklı renkteki iki ışığın eşit süreli uygulandığı ilk aşamada, 24 saatlik fotoperiyodik uygulamanın etkisi araştırılmıştır. İkinci aşamada ise, yeşil ve beyaz ağırlıklı iki farklı döngü oluşturularak hem farklı baskınlıktaki ışık uygulamaları hem de kontrol grubu olarak karanlıkla kıyaslanmak istenmiştir.

1.2 Hipotez

Brokoli örnekleri, fotosentez mekanizmasını sürdürebilmek için su, karbondioksit ve ışık enerjisine ihtiyaç duyar. Uygulanan ışık döngüsü sayesinde brokolilerin, ihtiyaç duydukları ışık enerjisini absorbe ederek kimyasal enerjiye dönüştürmeleri beklenmektedir. Bu kimyasal enerji, fotosentez, klorofil sentezi ve diğer metabolik aktiviteler için kullanılır. Böylece brokoliler, daha uzun süre taze kalabilir ve besin

bileşenlerini daha uzun süre koruyabilir. Işık döngüsü ile sağlanan bu enerji, brokolinin hücresel aktivitelerini optimize ederek, tazelik ve besin değeri açısından daha yüksek bir kalite sunmasına olanak tanır

2
LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1 Meyve-Sebzelerde Hasattan Sonra Saklama Esnasında Kalitede Meydana Gelen Değişimler

Hasat edilen ürünler metabolik olarak aktif olup, olgunlaşma ve yaşlanma süreçlerine tabidir ve bu süreçlerin kontrol altına alınması, hasat sonrası kaliteyi uzatmak için gereklidir (Brasil ve Siddiqui, 2018). Bu süreçlerin yönetimi yetersiz olduğunda, besin değeri ve kalite özelliklerinde önemli kayıplar, gıda kaynaklı patojen salgınları ve üreticilerden tüketiciye kadar tüm zincirde finansal kayıplar meydana gelebilir. Taze meyve ve sebzeler, niteliklerini korumak ve gıda kaybını ve israfını azaltmak için üreticiler, depo işletmecileri, işleyiciler ve perakendeciler tarafından koordine edilen bir çalışma gerektiren bozulabilir canlı ürünlerdir. Ayrıca, insan sağlığı için gerekli olan A vitamini, C vitamini ve potasyum gibi temel vitaminler ve minerallerin ana kaynağıdırlar (Mahajan vd., 2016).

Meyve ve sebzeler, diğer gıda ürünlerinden farklı olarak, hasat sonrası süreçte solunum yaparak ve canlılıklarını sürdürme yetenekleriyle öne çıkarlar. Yapılarındaki karbonhidratlar ve organik asitleri kullanarak hayatta kalabilirler. Bu süreçte kimyasal ve biyokimyasal etkileşimler meydana gelirken, tüketilen besinlerin azalmasıyla birlikte yaşamsal süreçlerde düzensizlikler oluşur ve organizmanın dayanıklılığı azalır. Bu durum, bozulma süreçlerinin başlamasına neden olur (Ayala vd., 2009).

Hasat sonrası çevresel koşullar, özellikle sıcaklık, meyve ve sebzelerin görsel, besinsel ve tüketim kalitesi üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Sıcaklık, aslında taze meyve ve sebzelerin kalitesi üzerinde en büyük etkiye sahip olan çevre bileşenidir. İyi bir sıcaklık yönetimi, ürün bozulmasını geciktirmenin en önemli ve en basit yöntemidir (Mercier, 2017). Meyve ve sebzelerin kalitesinin optimum şekilde korunması, ürünün hasattan hemen sonra mümkün olan en kısa sürede optimum sıcaklığına soğutulmasıyla sağlanabilir. Genel olarak, her bir tarımsal ürün için, ürün bozulma hızının en aza indirildiği varsayılan bir optimal hasat sonrası depolama sıcaklığı olduğu kabul edilir (Duan vd., 2020). Meyve ve sebzelerin optimum sıcaklıkta depolanması, yaşlanma, yumuşama, dokusal ve renk

değişimlerini, istenmeyen metabolik değişimleri, nem kaybını ve patojen istilasından kaynaklanan kayıpları yavaşlatır.

2.1.1 Meyve-Sebzelerin Hasat Sonrası Kalitesini Etkileyen Faktörler

Genellikle, meyve ve sebzelerin kalitesini etkileyen faktörler, içsel ve dışsal olmak üzere iki temel kategoride sınıflandırılabilir. İçsel faktörler, genetik özellikler (türler, çeşitler vb.), hasat zamanındaki olgunluk seviyesi ve fizyolojik bozukluklara olan duyarlılık gibi doğal özelliklerle ilgilidir. Dışsal faktörler ise, gelişim ortamı ve teknolojik işlemlerle bağlantılıdır; örneğin hasat, paketleme, taşıma, depolama ve pazarlama gibi işlemler ile sıcaklık kontrolü, nem düzenlemesi, ışınlama ve kimyasal muameleler gibi teknolojik yöntemlerdir (Nunes, 2009).

Aşağıda belirtilen şekilde sıralanan önemli faktörler, hasat sonrası raf ömrünü etkileyebilir (Barman vd., 2015).

Sıcaklık: Ürünlerin kalitesini korumak için hala en yaygın kullanılan yöntemlerden biri ürünleri soğutmaktır. Bu yöntem, solunum hızlarını azaltarak, metabolik aktiviteyi yavaşlatarak ve mikrobiyolojik gelişimi engelleyerek kaliteyi sağlamaktadır.

Bağıl nem: Meyve ve sebzelerin depolanması, her bir ürünün özgün gereksinimlerine göre dikkatle ayarlanmalıdır. Bazı meyve ve sebzeler yüksek göreli nem seviyelerinde depolanmaya ihtiyaç duyarken, diğerleri daha düşük nem seviyelerini tercih edebilir. Bu nedenle, her bir ürün için uygun depolama koşullarının belirlenmesi ve sağlanması önemlidir. Bu sayede, ürünlerin kalitesi korunabilir ve mikrobiyolojik gelişimin önüne geçilebilir.

Mekanik hasar: Hasat esnasında ürüne uygulanan mekanik zararlar, mikrobiyal aktiviteyi artırarak ürünün raf ömrünü kısaltır.

Atmosfer Gaz Konsantrasyonu: Meyve ve sebzeler gibi bozulabilir ürünlerin raf ömrü, atmosferdeki gaz kompozisyonunun değiştirilmesi yoluyla uzatılabilir. Taze meyve ve sebzeler için ambalaj atmosferindeki oksijen miktarının azaltılması ve karbon dioksit miktarının artırılması, solunum hızlarını azaltabilir ve mikrobiyolojik ile böcek gelişimini engelleyebilir.

Depolama esnasındaki bozulmalar: Depolama sürecinde meydana gelen bozulmalar genellikle mekanik hasarların neden olduğu enfeksiyonlarla ilişkilidir. Zararlı mikroorganizmalar, ürün yüzeyine veya açıklıklarına nüfuz eder ve bu enfeksiyonlar genellikle hasat sonrası depolama veya olgunlaşma sürecinde fark edilir.

Brokoli, yenilebilir birim ağırlığı başına en yüksek besin değerine sahip sebze olarak tanımlanmaktadır. Hasat edilen brokoli, olgunlaşmamış çiçek tomurcukları ile kalın, etli çiçek dalları veya saplarını içeren bir kütle oluşturur. Taze brokolinin, 20°C'deki hava koşullarında depolama ömrü oldukça kısadır ve genellikle 2-3 gün sürmektedir. Brokoli bozulmaya başladığında, çiçeklerindeki klorofilin parçalanması başın renginde değişikliğe (yeşilden sarıya) neden olur, hücreler turgorlarını kaybeder, dokular gevşer ve hücre nekrozu yaşlanmanın ileri aşamalarında gelişir. Brokoli dalları, hasatın ilk 6 saati içinde önemli ölçüde şeker, organik asit ve protein kaybına uğrar; buna serbest amino asit havuzlarının artışı (özellikle glutamin ve asparagin gibi amidler) ve amonyak birikimi eşlik eder. Ayrıca, brokoli yaşlanmasının bir diğer belirtisi zar membran yağ asitlerinin kaybıdır. Brokoli tomurcuklarının solunumu (karbondioksit üretimi), hasattan sonraki ilk 12 saat içinde hızla azalır. Hasat sonrasında brokoli başları hızlı bir yaşlanma sürecine girer ve ürün bozulmasına yol açar, bu da çiçeklerdeki yeşilliğin kaybı ile fark edilir. Şeker eksikliğinin yaşlanma sürecindeki hücresel değişiklikleri tetiklediği bilinmektedir. (Eason vd., 2007).

2.1.2 Meyve-Sebzelerin Soğukta Depolanması

Meyve ve sebzeler gibi hızlı bozulan gıda maddelerinde kalite üzerinde belirgin bir etkiye sahip olan ana faktörlerden biri saklama sıcaklığıdır. Hasat sonrasında, kalite kayıplarını en aza indirmek ve tüketicilere güvenilir ürünler sunmak için, hasat edilen ürünlerin derhal soğutulması ve saklama süresi boyunca düşük sıcaklıkların korunması büyük önem taşır. Düşük sıcaklık uygulamalarının en önemli etkisi, meyve ve sebzelerde olgunlaşma ile meydana gelen bozulma mekanizmalarının ve kalite kayıplarının azaltılmasıdır (Thompson, 2008). Solunum hızı değeri, meyve ve sebzelerde metabolik aktiviteyi tanımlayan temel bir parametredir ve bu değer genellikle bozulma ile ilişkilendirilir. Tablo 2.1'de gösterildiği gibi, meyve ve sebzeler için saklama sıcaklığı değerinin artmasıyla birlikte solunum hızı değeri artar (Erkan ve Pekmezci, 1997).

Tablo 2.1 Bazı meyve türlerinde sıcaklığın solunum hızın üzerine etkisi (Erkan ve Pekmezci, 1997)

Tür	Çeşit	Sıcaklık (°C)	Solunum Hızı (ml CO_2/kg^{-1} h^{-1})
Elma	Bramleys Seedling	5	3.9
		10	6.6
		15	10.1
		22.5	17.2
Avokado	Fuerte	7.5	27
		10	41
		15	76
		20	165
		25	200
		30	120
Muz	Gros Michel	12.5	23
		15	38
		20	64
		25	79
		31	130
Armut	Williams	4.5	8
		10	15
		15.5	25
		21	36
Erik	Wickson	20	21
		25	42
		30	17

Soğuk depolamanın bir avantajı, özellikle klimakterik meyveler için, etilen üretimini ve duyarlılığını azaltarak olgunlaşma sürecini geciktirmesidir. Klimakterik meyvelerden olan elma ve muz gibi ürünlerde, genellikle maksimum etilen üretimi yaklaşık olarak 40°C sıcaklıkta gerçekleşir ve sıcaklık azaldıkça etilen üretimi azalır. Ayrıca, her meyvenin türüne bağlı olarak, etilen üretimi farklı sıcaklık değerlerinde değişiklik gösterebilir (Valero ve Serrano, 2010).

Solunum hızı ve etilen üretimi gibi iki ana faktörün denetimi, meyve ve sebzelerdeki renk, asitlik ve dokular gibi temel kalite ölçütlerini doğrudan etkiler. Örneğin, brokoli gibi ürünler yüksek sıcaklıklarda muhafaza edildiğinde, renk değişimi hızlanırken, aynı zamanda dokulardaki yumuşama da belirgin şekilde

artar. Optimal saklama sıcaklığı sağlanmadığında, meyve ve sebzelerin olgunluk göstergesi olan renkte istenmeyen değişiklikler meydana gelebilir. Dolayısıyla, sıcaklığın renk değişimine önemli bir etkisi olduğu vurgulanmaktadır (Nunes ve Emond, 2002).

2.2 Görünür Işık Teknolojisi

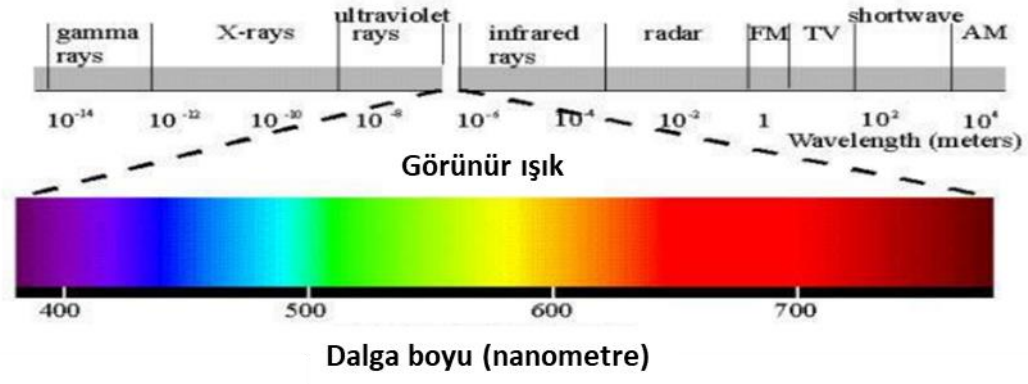
Dünya üzerindeki yaşam, Güneş'ten gelen enerjinin biyosferdeki dönüşümü ve akışıyla sürer. Fotosentez sayesinde, ışık enerjisi bitkilerde gizli kimyasal enerjiye çevrilir. Bu enerji, besin zincirindeki biyolojik süreçlerde çeşitli şekillerde kullanılır. Güneş ışınımı, organik maddelerin sentezi için temel enerji kaynağıdır ve bitkiler, ısı ile su dengelerini dengede tutarak yeryüzüne ve hayata ihtiyaç duyulan enerjiyi sağlar (Larcher, 2003).

Ancak bitkiler için güneş ışığı yalnızca bir enerji kaynağı değildir; aynı zamanda fotosentez gibi temel süreçleri yönlendiren bir faktördür (foto-enerjik etki). Işık, bitkinin büyüme ve gelişim süreçlerini harekete geçiren foto-sibernetik etkisiyle de önemli bir rol oynar. Bununla birlikte, bazı durumlarda ise stres faktörü olarak işlev görür (foto-inhibitör etki). Klorofilin parçalanmasına ve fotosentezin durmasına neden olan foto-inhibitör etkisi, maruz kalınan ışığın yoğunluğuna, süresine ve spektral özelliklerine bağlı olarak farklılık gösterebilir (Larcher, 2003).

Görünür ışık, insan gözünün algılayabildiği elektromanyetik spektrumun belirli bir bölgesini oluşturur. Bu spektrum, yaklaşık 380 nm ile 700 nm dalga boyu aralığına sahiptir. Görünür ışığın farklılaştığı her ışık tayfının yansıdığı spesifik bir rengi ve nm vardır. Bu renkler sırasıyla mor, mavi, açık mavi (cyan), yeşil, sarı, turuncu ve kırmızıdır. Işık, nesneler tarafından belli aralıklarda absorbe edildiği durumda ve farklı aralıklarda yansıma yaptığında birer renk oluşur. Görünür olan ışık opak olan cisme çarptığında, madde beyaz, bir kısmı absorbe olduğunda gri ve tamamen absorbe olduğunda siyah görünür. (Lokke, 2012; Altuğ-Önoğur vd., 2011). Şekil 2.1'de görünür ışık dalga boyuna ait spektrum paylaşılmıştır (Nayak vd., 2020).

Işık, bitkilerin büyüme, gelişme ve metabolik süreçleri üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Bitkiler, fotosentez yoluyla güneş ışığını kimyasal enerjiye dönüştürerek besin sentezi gerçekleştirir. Bu süreç, besin içeriği açısından zengin ürünlerin oluşması ve bitkilerin büyümesi için kritik önem taşır. Ancak bitkilerin gelişim

döngüsü, uygulanan veya maruz bırakılan ışık boyutuna, spektrumuna ve süresine göre değişkenlik göstermektedir.



Şekil 2.1 Elektromanyetik ve Görünür Bölge Spektrumu (Nayak vd., 2020)

2.2.1 Floresan Lambalar

Floresan olarak adlandırılan lambalar, esnek bir ışık spektrumunu yayarlar ve bu özellikleri, çeşitli aydınlatma ihtiyaçlarını karşılamak için tercih edilmelerini sağlar. Bununla birlikte, enerji tasarrufu sağlamaları ve görece ekonomik olmaları, bu lambaların kullanımında belirgin bir avantaj sunar. Diğer aydınlatma seçeneklerine göre daha az ısı ürettikleri için, özellikle kapalı ortamlarda kullanımları tercih edilir. Bu nedenle, floresan lambalar, çeşitli uygulamalarda yaygın olarak kullanılan bir aydınlatma çözümüdür (Roberto, 2005).

2.2.2 Işık yayan diyot (LED)

LED (Light Emitting Diode-Işık Yayan Diyot), yarı iletken bir ışık kaynağı olarak tanımlanır. Elektronların gerilim uygulanarak uyarılması sonucunda, LED görünür bölgede ışık yaymaktadır (Bourget, 2008). Bu cihazlar, dar spektral aralıklarda tek renkli ışık üretebilme özelliğine sahiptirler, dolayısıyla bitki fotosentezi için gerekli dalga boylarında ışık uygulamaları yapılabilir. Bilimsel literatürde belirtilenlere göre, bir LED'in ortalama ömrü yaklaşık 100.000 saat veya 11,5 yıl kadardır. LED'lerin uzun ömürlü olması, enerji tasarrufu sağlamaları, kompakt yapıları, kolay montaj edilebilirlikleri, spesifik dalga boylarında lineer ışık yayabilme özellikleri ve maliyet açısından avantajlı olmaları, bu teknolojinin diğer ışık kaynaklarına göre önemli avantajları arasındadır (Massa vd., 2008). Bu avantajlar, gıda saklama uygulamalarında da LED'lerin kullanımını artırmaktadır. LED'lerin direkt olarak ısı yaymamaları, hassas gıda ürünlerine zarar vermeden

kullanılabilmelerini sağlar. Bu nedenle, buzdolabı, dondurucu gibi düşük sıcaklık gerektiren ortamlarda LED'ler tercih edilmektedir (Kim vd., 2004).

Seracılıkta ihtiyaç duyulan ve bitki olgunlaştırma yapılarında sıklıkla floresan metal olan halojen ve yüksek basıncın olduğu sodyum lambalar tercih edilebilmektedir. Fakat, böyle lambaların, fotosentetik foton akışını artırırken aynı zamanda bitkinin gelişimini olumsuz etkileyebilecek gereksiz dalga boylarına sahip ışık yaydığı da gözlemlenmektedir (Kim vd., 2004). Son zamanlarda ise LED'lerin tekil dalga boyunca ışık uygulama kabiliyeti, kompakt yapısı, uzun ömürlü ve daha yüksek performansı gibi avantajları, bitki yetiştirme sistemlerinde güneş ışığının yerini almak üzere tercih edilmektedir (Bourget, 2008). Bazı araştırmalar, bitki yetiştirmede görünür bölgede LED lambalarının, floresan lambaların kullanımına kıyasla bitki gelişimini daha olumlu yönde etkilediğini göstermektedir (Kim vd., 2004). Bununla birlikte, floresan lambaların içerisinde cıva bulunması ve kırıldıklarında tehlike oluşturması gibi durumlar, LED'lerin zararlı madde içermemesiyle güvenli kullanımlarını sağlamaktadır (Bourget, 2008). Uzay ortamında topraksız bitki yetiştirmek amacıyla sistemlerin kurulumunda da LED'lerin tercih edilmesi, yaygın bir uygulama alanı bulmaktadır (Avercheva vd., 2014).

LED kontrol sistemleri, kullanıcıların ışık parlaklığını, fotoperiyodu (ışığın açık kalma süresi) ve RGB LED'lerin renk kombinasyonlarını manuel olarak veya bilgisayar sistemleri aracılığıyla ayarlayabilmesine olanak tanır. RGB LED'ler, tek bir gövdede üç LED çipi içererek farklı renk kombinasyonları oluşturulmasına imkân verir. Kırmızı (R), yeşil (G) ve mavi (B) LED'ler birlikte kullanılarak renk karışımları yapılabilir veya her bir renk LED'i ayrı ayrı kullanılabilir (Bourget, 2008).

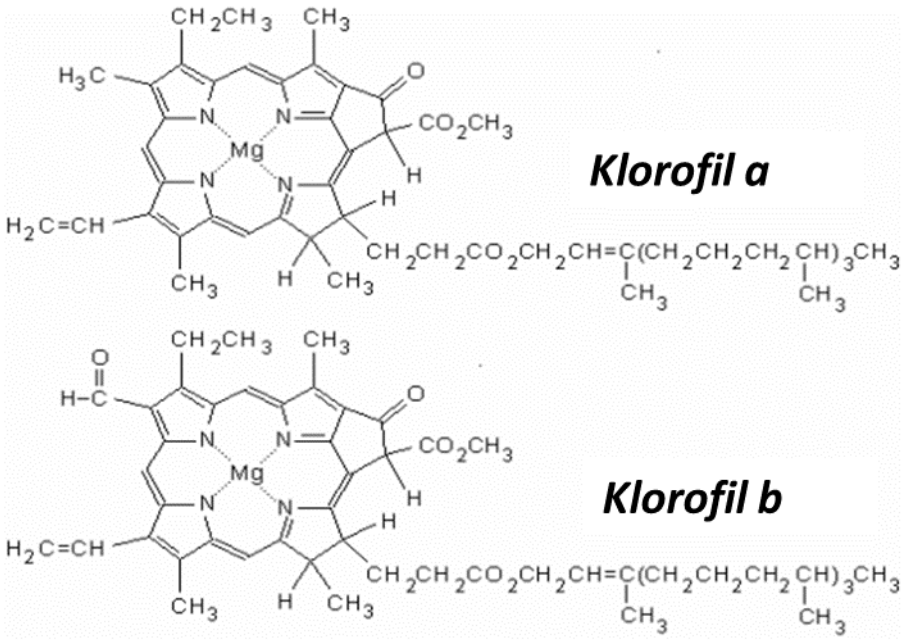
2.3 Hasat Sonrası Ürünlerde Işık Uygulamalarının Etkileri

Meyve ve sebzeler, insan beslenmesi için temel olan vitaminler, mineraller, lifler ve antioksidanlar gibi çeşitli besin maddelerini içeren değerli gıdalardır. Bu doğal ürünler, sağlıklı bir yaşam tarzının sürdürülmesinde kilit bir rol oynar ve bir dizi önemli biyolojik fonksiyonun desteklenmesinde hayati bir öneme sahiptir (Yahia vd., 2019). Ancak, meyve ve sebzelerin besin içerikleri, çeşitli faktörlerden kaynaklanan bozulma süreçleri sonucunda olumsuz etkilenebilir. Bu nedenle, bu değerli gıdaların besin değerlerini koruma stratejileri üzerine yapılan araştırmalar hem bireysel tüketicilerin hem de gıda endüstrisinin dikkatini çekmektedir (Ziv ve Fallik, 2021).

2.3.1 Gıda Ürünlerinin Klorofil İçeriğine Işık Teknolojisinin Etkisi

Bitkilerde, alglerde ve belirli bakterilerde mevcut olan klorofil, ışık enerjisini absorbe ederek ve kimyasal enerjiye dönüştürerek fotosentez sürecinde kritik bir rol oynar. Yeşil meyve ve sebzelerin renginden sorumlu olan ve fotosentez mekanizmasında görev alan klorofil, karmaşık bir molekül olup, porfirin halkasıyla birlikte bir magnezyum iyonu ve bağlı bir hidrokarbon kuyruğundan oluşmaktadır. Porfirin halkası, ışık enerjisinin emilmesinden sorumlu olduğu gibi, magnezyum iyonu da bir elektron alıcısı olarak görev yapmaktadır. (Martins vd., 2023; Pareek vd., 2017)

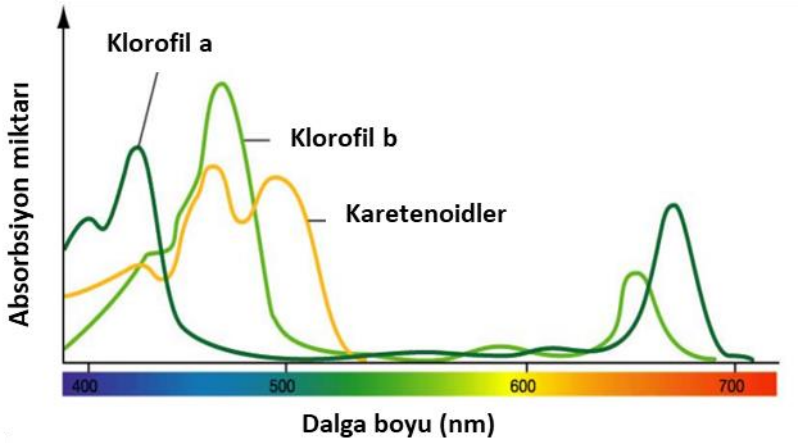
Klorofilin yapısal olarak, porfirin halkasının bir kenarının hidrofilik olduğu ve C17 pozisyonuna bağlı olan 20 karbon içeren fitol zincirinin ise güçlü hidrofobik özelliklere sahip olduğu görülmektedir. Bu yapı, fosfolipit çift katmanlı zar içindeki klorofil düzenlemeleri için avantajlıdır. Ayrıca, klorofilün çeşitli konjuge çift bağlara sahip olması, görünür ışığı emme kabiliyetine bir avantaj sağlar (Singh vd., 2020). Klorofil, farklı formlarda var olan klorofil a, klorofil b, klorofil c, klorofil d ve klorofil e gibi birçok türe sahiptir. Bitkilerde en sık bulunan klorofil formları ise klorofil a ve b'ye aittir. Şekil 2.2'de klorofil a ve b'ye ait kimyasal yapılar verilmiştir (Pérez vd., 2006).



Şekil 2.2 Klorofil a ve b'nin kimyasal yapısı (Pérez vd., 2006)

Klorofil a'nın kimyasal yapısı, merkezinde bir magnezyum iyonu bulunan bir porfirin halkası ve fitol adı verilen bir hidrokarbon kuyruğu içeren bir yapıya sahiptir. Porfirin halkası, dört nitrojen içeren pirol grubundan oluşurken, fitol kuyruğu ise izoprenoid birimlerden meydana gelir. Klorofil a, kırmızı ve mavi spektrum bölgelerinde ışığı en verimli biçimde emer ve sırasıyla yaklaşık 430 ve 662 nanometrede maksimum absorpsiyona sahiptir (Durrett ve Welti, 2021). Klorofil b'nin kimyasal yapısı klorofil a'ya benzer, ancak biraz farklı bir porfirin halkasına sahiptir. Bu fark, klorofil b'nin mavi-yeşil spektrum bölgesinde ışığı absorbe etmesine ve yaklaşık 460 nanometrede tepe absorpsiyona yol açar. Klorofil b, fotosentezde de rol oynar, ancak temel görevi klorofil a'yı aşırı ışıktan korumaktır. Klorofil a ve b'nin yanı sıra, algler gibi çeşitli organizmalarda bulunan klorofil c, klorofil d ve klorofil e gibi diğer klorofil formları farklı absorpsiyon spektrumlarına ve işlevlere sahiptir. Klorofil c mavi-yeşil spektrum bölgesindeki ışığı absorbe ederken, klorofil d kırmızı spektrum bölgesindeki ışığı emer ve klorofil e uzak kırmızı spektrum bölgesindeki ışığı absorbe eder (Kume vd., 2016). Sebzelerin yeşil rengi, klorofil pigmentinin baskın olmasıyla, sarı/turuncu renk ise karotenoidlerin baskınlığıyla oluşur. Klorofil, birçok dalga boyundaki ışığı emer ancak 500 ila 600 nm aralığındaki ışığı yansıtır, bu yüzden klorofil içeriğine sahip gıdalar yeşil olarak görülmektedir. Klorofil a, klorofil b ve karotenoid

pigmentlerinin görünür bölge aralığındaki absorbans eğrileri Şekil 2.3'te paylaşılmıştır.



Şekil 2.3 Klorofil a, klorofil b ve karotenoid pigmentlerinin görünür bölge aralığındaki absorbans eğrileri (Løkke, 2012)

Hasat edildikten sonraki zamanda, raf ömrünü oluşturan oldukça önem taşıyan kalite parametrelerinden biri de renktir. Klorofilin yeşil rengi, tüketiciler tarafından tazelik indeksi ve yeşil sebzelerin genel kalitesi olarak değerlendirilir ve ürün satın alma kararları üzerinde belirleyici bir faktördür (Rodriguez-Amaya ve Carle, 2021). Asit, sıcaklık, oksijen gibi çeşitli fiziksel faktörlerin neden olduğu klorofilin bozulması, fitolün klorofilaz ile uzaklaştırılması, Mg'nin magnezyum deşelataz ile uzaklaştırılması ve klorofil makrosiklikinin feoforbid oksijenaz ile oksidatif bölünmesi de dahil olmak üzere, enzimatik bir işlemle gerçekleşir. Buna ek olarak, metabolik olaylar klorofil yıkımını tetikleyebilir ve yeşil sebzelerde sararma, klorofil yıkımının başlıca sonucu olarak kabul edilmektedir (Solovchenko vd., 2019). Bazı taze meyve ve sebzelerin klorofil içerikleri aşağıdaki Tablo 2.2'de belirtilmiştir.

Tablo 2.2 Bazı taze meyve ve sebzelerin klorofil içerikleri

Meyve / Sebze	Toplam Klorofil İçeriği	Kaynak
Brokoli	72,6 mg/kg (f.w.)	(Khachik vd., 1986)
	128,2 mg/kg (f.w.)	(Sánchez vd., 2014)
Brüksel lahanası	31,8 mg/kg (f.w.)	(Olivera vd., 2008)
	57,5 mg/kg (f.w.)	(Khachik vd., 1986)
Lahana	15,3 mg/kg (f.w.)	(Khachik vd., 1986)
Kereviz sapı	23 mg/kg (f.w.)	(Bohn vd., 2004)
	34,5 mg/kg (f.w.)	(Vina vd., 2007)
Salatalık	15,3 mg/kg (f.w.)	(Khachik vd., 1986)
Taze fasulye	75 mg/kg (f.w.)	(Bohn vd., 2004)
Bezelye	87 mg/kg (f.w.)	(Bohn vd., 2004)
Maydanoz	632 mg/kg (f.w.)	(Bohn vd., 2004)
	995 mg/kg (f.w.)	(Arnold vd., 2014)
Ispanak	791 mg/kg (f.w.)	(Bohn vd., 2004)
	1083,4 mg/kg (f.w.)	(Sánchez vd., 2014)

Brokolilerin depolama sürecinde, farklı dozlarda ve sürekli/periyodik olarak uygulanan görünür beyaz ışığın etkisi incelenmiştir (Büchert vd., 2011). Sürekli ışık uygulamasının, periyodik ışık uygulamasına göre yeşil renk kaybını geciktirdiği tespit edilmiştir. Sürekli ışık uygulamasının, 12, 25 ve 50 µmol m^{-2} s^{-1} şiddetlerinde gerçekleştirildiği belirlenmiştir. Periyodik uygulama ise 16 saat beyaz/8 saat karanlık periyodu içinde 25 µmol m^{-2} s^{-1} şiddetinde yapılmıştır. Depolama süresince uygulanan sürekli ışık, brokolilerdeki klorofil bozulmasını geciktirmiş ve deneyin beşinci gününde klorofil miktarı kontrol grubuna kıyasla yaklaşık %40 oranında yüksek çıkmıştır. Karanlıkta depolanan brokolilerde üç gün içinde sararma belirtileri gözlemlenirken, ışık uygulanan brokolilerin tamamen yeşil kaldığı gözlemlenmiştir. Beş günün sonunda kontrol grubu tamamen sararırken, ışık uygulanan grup ise yeşilliklerini kısmen korumuştur (Büchert vd., 2011).

40 µmol m^{-2} s^{-1} ışık şiddetine sahip sürekli kırmızı, yeşil, beyaz, sarı, mavi ve mor ışık uygulamalarının hasat edilmiş brokoliler üzerindeki etkisi araştırılmıştır (Xie vd., 2022). Brokoliler, polistiren ambalajlar içinde 20°C sıcaklıkta ve %68 bağıl nemde beş gün boyunca muhafaza edilmiştir. Kontrol grubu aynı koşullarda karanlıkta muhafaza edilmiştir. Depolama süresince, tüm koşullarda brokolilerin klorofil miktarı azalma eğilimi göstermiştir. Ancak, ışık uygulanan örneklerde klorofil seviyeleri, kontrol grubuna kıyasla belirgin şekilde daha yüksekti. Beş günün sonunda, brokolilerin yaş bazında klorofil miktarı, sırasıyla mor (0,90 ± 0,05 g/kg), sarı (0,73 ± 0,05 g/kg), mavi (0,67 ± 0,04 g/kg), beyaz (0,60 ± 0,03 g/kg), yeşil (0,39 ± 0,05 g/kg) ve kırmızı (0,34 ± 0,04 g/kg) ışık uygulaması ile azalırken, kontrol grubunda en düşük klorofil miktarı tespit edilmiştir (0,22 ± 0,04 g/kg). Mavi, sarı ve mor ışık uygulanan brokolilerin klorofil miktarları, sırasıyla kontrol grubunun 3,05, 3,32 ve 4,09 katı olarak belirlenmiştir.

Düşük yoğunlukta kırmızı ve beyaz ışık uygulamasının hasat sonrası brokoli çiçekleri üzerindeki etkisi incelenmiştir (Bárcena vd., 2020). Deney, 20°C sıcaklıkta gerçekleştirilmiş olup, kırmızı ve beyaz ışık uygulamaları için floresan lambalar kullanılmıştır. Her iki renk için de 20-25 µmol m^{-2} s^{-1} ışık şiddetleri, günde 2 saat olacak şekilde, 4 gün boyunca uygulanmıştır. Kontrol grubu, ışık uygulaması almadan, ortam depolama süresince karanlık koşullarda tutulmuştur. Dört günün sonunda, ışık uygulamalı örneklerin sararma miktarı kontrol grubuna göre daha azdır. Sararmayı ifade eden ΔH° değerleri sırasıyla; kontrol grubu için 29, kırmızı ışık için 16.5, beyaz ışık için 12,6 olarak belirlenmiştir. Kontrol grubunun toplam klorofil miktarında %22'lik bir azalma gözlenirken, ışık uygulamalı brokolilerde anlamlı bir değişiklik saptanmamıştır. Başlangıçta yaş bazında toplam klorofil miktarı 125,5 mg/kg iken, deneyin sonunda bu değer sırasıyla; kontrol grubu için 92,9 mg/kg, beyaz ışık uygulamalı brokoliler için 113,6 mg/kg ve kırmızı ışık uygulamalı brokoliler için 114,7 mg/kg olarak belirlenmiştir.

Brokoli çiçeklerinde hasat sonrası yeşil ışığın etkisi araştırılmıştır (Jin vd., 2015). Floresan ve LED lambalar kullanılarak uygulanan 12-13 µmol m^{-2} s^{-1} ışık şiddeti, 25°C'de, %95 bağıl nemde, 2 gün boyunca devam etmiştir. Kontrol grubu karanlık koşullarda depolanmıştır. İki günün sonunda, floresan ve LED uygulamalı brokolilerde daha az klorofil düşüşü gözlenmiştir. Kontrole göre, floresan uygulamalı brokolilerde %39,8, LED uygulamalı brokolilerde ise %59,1 daha

yüksek klorofil miktarı belirlenmiştir. L* değerlerinde artış ve H° değerlerinde azalış gözlenmiştir. Kontrol ve floresan gruplarının L* değerleri benzer olmasına rağmen, LED uygulamalı brokolilerin L* değeri daha düşük bulunmuştur. Depolama sonunda en yüksek H° değeri LED uygulamalı brokolilerde tespit edilmiştir.

Düşük şiddetli görünür beyaz ışığın (448-549 nm) hasat sonrası Çin lahanasının kalitesi üzerindeki etkisi araştırılmıştır (Zhou vd., 2020). LED lamba ile uygulanan ışık şiddeti sabit olarak 10 µmol m^{-2} s^{-1} seviyesinde tutulmuş, örnekler polietilen torbalarda 20°C sıcaklıkta ve %90 bağıl nemde 7 gün boyunca depolanmıştır. Kontrol grubu karanlık koşullarda muhafaza edilmiştir. Işık uygulamalı örneklerin klorofil miktarı beşinci gün en yüksek seviyeye (0.45 g/kg) ulaşmıştır, yedinci gün ise 0.3 g/kg seviyelerine düşmüştür. Kontrol grubunda klorofil miktarı yedinci gün yaklaşık 0.25 g/kg'a ulaşmıştır. Işık uygulanan grup, 3, 5 ve 7. günlerde kontrol grubuna göre anlamlı şekilde yüksek klorofil miktarı sergilemiştir. Yedinci gün, ışık uygulanan örneklerin ağırlık kaybı miktarı (%3,5 civarı) kontrol grubundan (%2,5 civarı) daha yüksek bulunmuştur. Duyusal değerlendirme sonuçlarına göre, ışık uygulanan örnekler 5. ve 7. günlerde kontrol grubundan daha yüksek puanlar almış ve daha yüksek tüketilebilirlik sergilemiştir.

Hasat sonrası brokoli ve yeşil ile kırmızı kale yapraklarında, düşük, orta ve yüksek şiddette beyaz ışığın etkisi araştırılmıştır (Pintos vd., 2023). Brokoli ve kale yaprakları, aşırı dehidrasyonu önlemek için PVC ile sarılarak depolanmıştır. Brokoli örnekleri 17 gün boyunca 5°C'de, %90 ± 1 bağıl nemde saklanmış, yeşil ve kırmızı kale yaprakları ise aynı koşullarda 11 gün depolanmıştır. Beyaz ışık uygulaması, düşük (10 µmol m^{-2} s^{-1}), orta (30 µmol m^{-2} s^{-1}) ve yüksek (80 µmol m^{-2} s^{-1}) şiddetlerde sürekli olarak gerçekleştirilmiştir. Kontrol grubu karanlık ortamda depolanmıştır. Depolama süresince brokolilerin klorofil miktarı azalmıştır. Orta şiddette uygulanan ışık, klorofil bozulmasını geciktirirken, yüksek şiddetli uygulama aynı etkiyi daha az göstermiştir. Düşük şiddette uygulanan ışık ise klorofil bozulmasını geciktirememiştir. Yeşil kale yaprağında, orta şiddette ışık uygulanan brokoli örneklerinin klorofil miktarı kontrol grubuna kıyasla %33 daha yüksektir. Kırmızı kale yaprağında ise, orta şiddette uygulama yapılan örneklerde klorofil miktarı en yüksek düzeydedir.

2016 yılında yapılan bir araştırmada, brokoli örneklerinin hasat sonrası muhafazası üzerine beyaz ve mavi ışık karışımının etkileri incelenmiştir (Hasperué vd., 2016b). Örnekler, %68 ± 1 bağıl nemde delikli PVC'lerle sarılarak muhafaza edilmiştir. Muhafaza işlemi 5°C ve 22°C olmak üzere iki farklı ortam sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Beş derecede muhafaza edilen örnekler 42 gün boyunca, yirmi iki derecede muhafaza edilenler 4 gün süresince depolanmıştır. LED lambaları kullanılarak örneklerin üzerine sürekli beyaz ve mavi ışık karışımı uygulanmıştır (μmol m^{-2} s^{-1}). Sonuçlar, ışık uygulanan örneklerin her iki ortam sıcaklığında da kontrol gruplarına kıyasla daha yüksek klorofil a ve b içeriğine sahip olduğunu göstermektedir. Örneğin, 4. ve 42. günlerde, 5°C'de depolanan ışık uygulamalı örneklerin klorofil miktarı %38 daha yüksekken, 22°C'de depolananlar %53 daha yüksektir. Beyaz ve mavi ışık karışımının, brokoli örneklerinin yeşilliğini korumada etkili olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, ışık uygulanan örneklerin L* değerleri kontrol gruplarına göre daha düşük, H° değerleri ise daha yüksektir

2017'de yapılan bir araştırmada, kıvırcık marul örneklerinin kalite parametreleri üzerinde görünür beyaz, yeşil, kırmızı ve mavi ışık uygulamalarının etkisi incelenmiştir (Kasim ve Kasim, 2017). LED lambaları aracılığıyla 10 μmol m^{-2} s^{-1} şiddetinde dört farklı renkte ışık uygulanmıştır. Örnekler, 5°C ± 1°C sıcaklık ve %90-%95 bağıl nemde 21 gün depolandıktan sonra oda sıcaklığında bekletilmiştir. Analizler, depolama süresi boyunca (0. gün, 21. gün ve 21 gün + 96 saat sonrası) gerçekleştirilmiştir. Klorofil miktarı genel olarak depolama süresi boyunca azalmıştır. Ancak, beyaz ve kırmızı ışık uygulanan örneklerdeki klorofil azalması, diğerlerine göre anlamlı olarak daha düşüktür. Özellikle mavi ışık uygulanan örneklerin klorofil azalması en düşük seviyededir. Renk ölçümlerine göre, mavi ışık uygulanan örneklerin L* değeri istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık göstermektedir.

2019'da brokoli örneklerine uygulanan görünür kırmızı ışığın etkisini incelenmiştir (Jiang vd., 2017). Örnekler 20°C ± 1°C sıcaklık ve %90 bağıl nemde 5 gün boyunca muhafaza edilmiştir. Kırmızı ışık, 50 μmol m^{-2} s^{-1} şiddetinde sürekli olarak uygulanırken, kontrol grubu karanlık koşullarda tutulmuştur. Depolama süresince örneklerin klorofil miktarında genel bir düşüş tespit edilmiştir. Ancak bu düşüş kırmızı ışık uygulanan örneklerde daha az meydana gelmiştir. Başlangıçta, örneklerin klorofil miktarı yaklaşık 0,7 mg/g iken, 5 gün sonra ışık uygulamalı

örneklerde 0.4 mg/g, kontrol grubunda ise 0.2 mg/g seviyelerine düşmüştür. Duyusal değerlendirme sonuçları da kırmızı ışık uygulanan örneklerin daha yüksek puanlar aldığını göstermiştir. Özellikle, 5 günün sonunda ışık uygulamalı örneklerin puanı 9 üzerinden 7 iken, kontrol grubu örneklerinin puanı 3 olarak belirlenmiştir.

2018'de brokoli örneklerine görünür ışığın süresi ve farklı renklerin etkisini araştırmışlardır (Favre vd., 2018). İlk aşamada, beyaz ışığın farklı sürelerdeki etkisi değerlendirilmiştir; 30 dakika, 1 saat ve 2 saat boyunca 20-25 μmol m^{-2} s^{-1} şiddetinde uygulanmıştır. Örnekler 4 gün boyunca 20°C sıcaklıkta depolanmıştır. Kontrol grupları aynı şartlar altında karanlıkta muhafaza edilmiştir. İlk aşamanın sonunda, 2 saat beyaz ışık uygulanan örneklerde klorofil miktarında düşüş gözlenmediği belirlenmiştir. İkinci aşamada, brokoli örneklerine günde 2 saat boyunca beyaz, kırmızı ve yoğun kırmızı ışık uygulanmıştır. Kontrol grupları depolama süresince karanlıkta muhafaza edilmiştir. Sonuçlar, ışık uygulamasının toplam klorofil miktarını etkilediğini göstermiştir. Yoğun kırmızı ışığa maruz kalan örneklerde klorofil kaybının daha yüksek olduğu, kırmızı ve beyaz ışık uygulanan örneklerde ise daha az kayıp olduğu tespit edilmiştir.

2019'da farklı renkteki görünür ışık uygulamalarının hasat edilmiş brokoli örneklerinin kalite parametreleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Çalışma kapsamında, mavi, yeşil, sarı, beyaz ve kırmızı ışık gruplarına belirli şiddetlerde sürekli olarak uygulanmıştır (Loi vd., 2019). Kontrol grubu ise karanlık koşullarda saklanmıştır. Tüm brokoli örnekleri, 20 gün boyunca 4 ± 0,5°C sıcaklıkta ve 68 ± %2 bağıl nem seviyesinde saklanmıştır. Brokoli örneklerinin başlangıçta toplam klorofil miktarı 1.19 g/kg olarak ölçülmüştür. Yeşil ışık uygulaması yapılan brokolilerin toplam klorofil miktarı, 10. gün itibariyle en yüksek seviyeye (3.60 g/kg) ulaşmıştır ve depolama süresinin sonunda yaklaşık 3.0 g/kg ile en yüksek klorofil miktarına sahip olmuştur. Yeşil uygulamalı örnekleri takip eden grup, kontrol grubu olmuştur ve diğer ışık uygulamalarının brokolilerin toplam klorofil miktarı üzerinde olumsuz bir etkiye sebep olduğu görülmüştür. En düşük toplam klorofil miktarına sahip grup ise sarı ışık uygulanmış örnekler olmuştur.

2.3.2 Gıda Ürünlerinin Besin İçeriğine Işık Teknolojisinin Etkisi

Meyve ve sebzelerin besin içerikleri, özellikle oksidasyon, enzimatik aktiviteler ve mikrobiyal aktiviteler gibi çeşitli fizikokimyasal süreçlere maruz kalarak bozulabilir. Bu süreçler, özellikle depolama, taşıma ve raf ömrü boyunca, meyve ve sebzelerin tüketilebilirlik ve besin değerleri üzerinde olumsuz bir etkiye yol açabilir. Bu bağlamda, meyve ve sebzelerin besin içeriklerini koruma amacıyla çeşitli teknolojik yaklaşımlar ve yöntemler geliştirilmiştir (Giannakourou ve Taoukis, 2021). Meyve ve sebzelerin besin içeriklerini koruma çabaları, ürünlerin raf ömrünü uzatma, tüketilebilirliklerini artırma ve israfı minimize etme amacını taşır. Bu bağlamda, günümüzde bilimsel araştırmalarda sıklıkla ele alınan bir konu da görünür ışık uygulamasının meyve ve sebzelerin besin içeriği üzerindeki etkileridir. Görünür ışık, özellikle fotosentez ve pigmentlerin bozulması gibi biyokimyasal süreçlerde önemli bir rol oynamaktadır (Perera vd., 2022).

Bitkinin doğrudan bir ışık kaynağından ışık alabilmesi, hayati öneme sahiptir. Fotosentez, karmaşık bir süreç olmasına rağmen, bu sürecin başlaması, öncelikle ağırlıklı olarak klorofil a yapısı ve klorofil b yapısında bulunan klorofil ve karotenoid pigmentleri gibi fotosentezde görev alan bileşenler tarafından emilen ışığa bağlıdır. Emilen ışıktan gelen enerji, kloroplast içindeki elektron transfer zincirinin faaliyeti sonucunda adenozin trifosfat (ATP) molekülünün sentezlenmesine yol açar. Bitkiler, atmosferdeki karbondioksitten (CO2) elde edilen bu ATP enerjisiyle besin sentezlerler (Avercheva vd., 2014).

$$CO_2 + H_2O + ATP \rightarrow C_6H_{12}O_6 + O_2 \quad (2.1)$$

Xu vd. (2014), görünür mavi ışığın (470 nm) hasat edilmiş çilek örneklerinin antosiyanin miktarı üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Mavi ışık, 12 gün boyunca 5°C sıcaklıkta ve %80-90 bağıl nemde, 40 μmol m^{-2} s^{-1} şiddetinde sürekli olarak uygulanmıştır. Kontrol grubu aynı koşullar altında karanlıkta depolanmıştır. Çilek örneklerinin başlangıçtaki toplam antosiyanin miktarı yaklaşık 20 mg/100g'dir. Karanlıkta muhafaza edilen örneklerin antosiyanin miktarı 4 gün boyunca artmış, ancak depolama sonunda yaklaşık 40 mg/100g'ye ulaşmıştır. Mavi ışık uygulanan örneklerde antosiyanin miktarı ise depolama süresince artarak, 12 günün sonunda yaklaşık 70 mg/100g'ye ulaşmıştır. Işık uygulanan örneklerin antosiyanin miktarı

4. günden itibaren kontrol grubuna göre daha yüksek olmuş ve gruplar arasındaki fark giderek artmıştır.

Hasat edilmiş yeşil muz örneklerine mavi, yeşil ve kırmızı ışık uygulamalarının etkisi incelenmiştir (Huang vd., 2018). Işık gruplarına belirli şiddetlerde sürekli olarak maruz bırakılmış ve kontrol grubu karanlıkta depolanmıştır. Örnekler, 20 ± 2°C sıcaklıkta, %85-90 bağıl nemde 8 gün boyunca saklanmıştır. Başlangıçta askorbik asit miktarı 40,7 mg/kg olarak ölçülmüş ve depolama süresince artış göstermiştir. Kontrol grubunda artış en düşük seviyede gerçekleşirken, ışık uygulanan gruplarda artış daha belirgindir. Depolama sonunda, mavi ışık uygulamasında 75,8 mg/kg, kırmızı ışık uygulamasında 70 mg/kg ve yeşil ışık uygulamasında 63,2 mg/kg askorbik asit içeriği saptanmıştır. Başlangıçta tespit edilen toplam fenolik madde içeriği 99,4 mg GAE/kg iken, depolama süresince artmıştır. Kontrol grubunda artış en düşükken, ışık uygulanan gruplarda belirgin artışlar gözlenmiştir. Depolama sonunda, mavi ışık uygulamasında 195,5 mg GAE/kg, kırmızı ışık uygulamasında 148,9 mg GAE/kg ve yeşil ışık uygulamasında 127,8 mg GAE/kg toplam fenolik madde içeriği ölçülmüştür. Işık uygulanan örneklerin toplam fenolik madde miktarları, kontrol grubuna kıyasla sırasıyla %67, %27 ve %9,2 oranında belirgin bir şekilde artmıştır.

Baenas vd. (2021) mavi ve kırmızı ışık kombinasyonunun soğuk depolanan yeşil domatesler üzerindeki etkisini araştırmıştır. Işık şiddeti 25.4 µmol m^{-2} s^{-1} olarak belirlenmiş ve örnekler 6 ± 1°C sıcaklık ve %90 ± 1 bağıl nemde 7 gün boyunca saklanmıştır. Başlangıçta tüm domates örneklerinde toplam karotenoid miktarı 4.23 ± 0,33 mg/kg iken, depolama sonunda bu miktar kontrol grubunda 6.93 ± 1,65 mg/kg'a yükselmiş, mavi-kırmızı ışık grubunda ise 21.02 ± 8,14 mg/kg olarak ölçülmüştür. Başlangıçta toplam likopen içeriği 1.00 ± 0,07 mg/kg iken, depolama sonunda kontrol grubunda 2.98 ± 0,93 mg/kg'a, mavi-kırmızı ışık grubunda ise 14.44 ± 7,05 mg/kg'a çıkmıştır.

Sarı, yeşil ve kırmızı biberler üzerinde farklı renklerdeki ışık uygulamalarının etkisi incelenmiştir (Maroga vd., 2019). Tüm örnekler, 14 gün boyunca 7°C sıcaklıkta ve %85 bağıl nemde depolanmıştır. Kırmızı ışık uygulanan gruplarda sarı biberlerdeki askorbik asit miktarı 1.26 g/kg, yeşil biberlerdeki askorbik asit miktarı 1.45 g/kg ve kırmızı biberlerdeki askorbik asit miktarı 1.23 g/kg olarak belirlenmiştir. Aynı süreçte mavi ışık uygulanan gruplarda bu değerler sırasıyla sarı biberlerde 1.20

g/kg, yeşil biberlerde 1.30 g/kg ve kırmızı biberlerde 1.45 g/kg olmuştur. Beyaz ışık uygulanan gruplarda sarı biberlerdeki askorbik asit miktarı 1.17 g/kg, yeşil biberlerdeki askorbik asit miktarı 1.18 g/kg ve kırmızı biberlerdeki askorbik asit miktarı 1.10 g/kg olarak tespit edilmiştir. Karanlık ortamda bekletilen kontrol gruplarında ise bu değerler sırasıyla sarı biberlerde 0.78 g/kg, yeşil biberlerde 1.14 g/kg ve kırmızı biberlerde 0.97 g/kg olarak belirlenmiştir. Ayrıca, beyaz ışık uygulamasının üç farklı biber örneğinde en yüksek ağırlık kaybına neden olduğu, ancak kırmızı ve mavi ışık uygulamalarının kontrol gruplarına kıyasla daha düşük düzeyde ağırlık kaybına yol açtığı gözlemlenmiştir.

Kokalj vd. (2016) çalışmasında, 590 nm sarı ışığın domates, elma ve kırmızı dolma biber örnekleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Tüm örnekler 7 gün boyunca 10°C'de depolanmıştır. Depolama süresi sonunda sarı ışık uygulanan ve kontrol grupları arasında askorbik asit miktarında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık bulunmamıştır (Elma: kontrol 36.97 ± 3,72 mg/100g, ışık uygulanan 39.55 ± 1,05 mg/100g). Ancak, sarı ışık uygulanan elma örneklerinde toplam fenolik madde miktarında belirgin bir artış gözlenmiştir (Kontrol: 118.4 ± 3,26 mg/100g, ışık uygulanan: 204.20 ± 3,26 mg/100g). Benzer şekilde, domates örneklerinde kontrol grubuna göre sarı ışık uygulanan gruplarda toplam fenolik madde miktarında azalma tespit edilmiş ve bu fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur (Kontrol: 24.22 ± 0,93 mg/100g, ışık uygulanan: 23.29 ± 1,90 mg/100g). Kırmızı dolma biber örneklerinde ise sarı ışık uygulamasının toplam fenolik madde miktarına herhangi bir etkisi gözlenmemiştir.

Panjai vd. (2019) çalışmasında, 665 nm görünür kırmızı ışığın hasat sonrası yeşil domateslerin bileşenleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Domates örnekleri, 20 gün boyunca 20°C sıcaklıkta ve %75-85 bağıl nem seviyesinde saklanmıştır. Kontrol grubu, depolama süresi boyunca karanlık ortamda muhafaza edilirken, bir gruba 10 gün boyunca, bir gruba 15 gün boyunca ve bir diğer gruba 20 gün boyunca sürekli kırmızı ışık uygulanmış ve ışığın şiddeti 113 μmol m^{-2} s^{-1} olarak belirlenmiştir. Depolama süresinin sonunda, 20 gün boyunca ışık uygulanan grup en yüksek toplam fenolik madde içeriğine sahipken, kontrol grubu en düşük içeriğe sahip olmuştur. Işık uygulamalı örneklerde likopen miktarında 5. günden itibaren belirgin bir artış gözlenmiş, 20 günün sonunda en yüksek likopen miktarına sahip gruplar

sırasıyla 20 gün, 15 gün ve 10 gün ışık uygulanan gruplar olmuştur. En düşük likopen miktarına sahip grup ise kontrol grubu olmuştur.

Nassarawa vd. (2022) çalışmasında, hasat sonrası üzümler üzerinde kırmızı ve mavi ışık uygulamasının etkisi incelenmiştir. 660 nm kırmızı ve 450 nm mavi ışık, 500 LUX şiddetinde ve 20 cm uzaklıkta uygulanmıştır. Tüm örnekler 21 gün boyunca 4°C'de muhafaza edilmiş, kontrol grubu ise karanlık koşullarda tutulmuştur. Toplam fenolik madde içeriği depolama süresi boyunca artmıştır. Depolama sonunda, kırmızı ışık uygulanan örneklerde fenolik miktarı 3.58 g/kg, mavi ışık uygulananlarda 3.22 g/kg ve kontrol grubunda ise 3.01 g/kg olarak belirlenmiştir. Ayrıca, kırmızı ve mavi ışık uygulanan örneklerin flavonoid miktarı kontrol grubundan daha yüksek bulunmuştur (sırasıyla kırmızı 1.09 g/kg, mavi 1.03 g/kg, kontrol 0.97 g/kg). Kırmızı ışık uygulanan örneklerin toplam antosiyanin miktarı, mavi ışık ve kontrol grubuna göre daha yüksek seviyede bulunmuştur.

Hasperué vd. (2016a) çalışmasında, beyaz ve mavi ışık karışımının hasat sonrası Brüksel lahanası üzerindeki etkisi incelenmiştir. Tüm örnekler 10 gün boyunca 22°C sıcaklıkta ve %68 bağıl nem seviyesinde depolanmıştır. Beyaz ve mavi ışık karışımı, örneklere 20 μmol m^{-2} s^{-1} şiddetinde uygulanırken, kontrol grubu örnekleri aynı şartlar altında karanlıkta muhafaza edilmiştir. Depolama sonunda, ışık uygulanan örneklerin dış yapraklarında bulunan toplam karotenoid miktarı önemli ölçüde artmış ve kontrol grubuna göre daha yüksek seviyede belirlenmiştir. Ancak, iç yapraklarda toplam karotenoid miktarında anlamlı farklılık tespit edilmemiştir. Toplam flavonoid miktarları ise ışık uygulanan örneklerde kontrol grubuna göre daha yüksek bulunmuştur. Ayrıca, ışık uygulanan örneklerde daha fazla ağırlık kaybı meydana gelmiştir.

Zhan vd. (2012) çalışmasında, beyaz ışık uygulamasının brokoli örnekleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Floresan lamba kullanılarak sağlanan 24 μmol m^{-2} s^{-1} ışık şiddeti altında 10 gün boyunca 7°C'de depolanan örneklerde, toplam fenolik madde içeriği 7 günün sonunda 1,6 kat artarak zirveye ulaşmıştır. Işık uygulanmayan kontrol grubundaki örneklerde ise fenolik madde içeriği değişmemiştir. Işık uygulanan örneklerde askorbik asit miktarında anlamlı bir artış gözlenmiş, ancak 10 günün sonunda başlangıç miktarından %20'lik bir kayıp yaşanmıştır. Karanlıkta muhafaza edilen örneklerde ise askorbik asit miktarında sürekli bir azalma meydana gelmiş ve 10 günün sonunda %33'lük bir kayıp tespit

edilmiştir. Ayrıca, ışık uygulanan örneklerde 5. günden itibaren ağırlık kaybı kontrol grubuna göre daha yüksek seviyede olmuştur.

2.3.3 Işık Teknolojisinin Mikrobiyal Bozulma Üzerine Etkisi

Gıda sektöründe, mikrobiyal yükten arındırılmış, güvenli gıda üretmek, işlemek ve teslim etmek hayati önem taşır. Bu amaca ulaşmak için birçok teknik geliştirilmekte, tanıtılmakta ve iyileştirilmektedir. LED sistemlerinin uygulanması da bu tekniklerden biridir. Bitkiler LED ışığı ile aydınlatıldığında, fotosensitizerler veya fotoreseptörler ışığı emer ve reaktif oksijen türleri (ROS) oluşturur. Bu ROS'lar mikrobiyal hücre yapısına müdahale ederek parçalanmasını sağlar ve bozulmayı önler (Luksiene ve Zukauskas, 2009). Ayrıca, LED ışığının uygulanması meyve ve sebzelerde savunma ile ilgili genleri tetikler veya savunma hormonlarının birikimine yol açar, bu da mikrobiyal büyüme ve hasara karşı direnç sağlar. Ancak, farklı LED dalga boyları mikrobiyal hücrelerde farklı moleküler tepkilere neden olabilir (Hasan vd., 2017). Değişken dalga boyları ve yoğunluklarda LED'lerin mikrobiyal hasar üzerindeki etkisini araştırmak için birçok çalışma yapılmaktadır.

Kasim ve Kasim (2017) tarafından yapılan bir çalışmada, marulların kırmızı (630 nm), yeşil (516 nm), mavi (450 nm) ve beyaz (400-700 nm) ışıklarla işlenmesinin enfeksiyon oranına etkisi incelenmiştir. LED'lerle işlenen marullar 21 gün boyunca 10 $\mu molm^{-2}\ s^{-1}$ foton akısı yoğunluğunda tutulmuştur. Muamele sonrası örnekler, enfeksiyon oranı üzerindeki ışığın etkisini incelemek için oda sıcaklığında 96 saat tutulmuştur. Tüm LED renklerinin çürüme oranını azaltmada etkili olduğu görüldü, ancak kırmızı ışığın mantar enfeksiyonuna karşı diğerlerinden daha etkili olduğu belirtilmiştir. Bunula birlikte marulun raf ömrü parametreleri incelendiğinde yeşil ve beyaz ışıkların daha etkili olduğu bulunmuştur. Ancak, çalışmada sadece mantar enfeksiyonları ele alınmış ve mikroorganizma suşları incelenmemiştir. Daha fazla çalışmanın, mikrobiyal yükü nasıl etkileyeceğini belirlemek için önemli olabileceği vurgulanmıştır.

Liao vd. (2013) tarafından yapılan bir çalışmada, Fallglo mandarin ve tatlı portakal meyveleri mavi, yeşil ve kırmızı renkli LED'lerle işlenmiştir. 40 $\mu molm^{-2}\ s^{-1}$ foton akısı yoğunluğunda 12 ve 24 saatlik bir işlem süresi boyunca meyvelere uygulanan LED'lerin *Penicillium digitatum, Penicillium italicum* ve *Penicillium citri* mantarlarına karşı etkili olduğu gözlemlenmiştir. Yazarlar, bir saatlik işlemin yeşil

küf, mavi küf ve sap ucunda çürüme gibi enfeksiyonları kontrol etmek için yeterli olduğunu rapor etmişlerdir. Ancak, mavi ışığın uygulanmasının etkinliği meyve yüzeyiyle sınırlı kalmış ve düşük yoğunluklarda etkili olmamıştır. Mavi LED'lerin kullanımı, mantar enfeksiyonlarını ve meyve çürümesini azaltarak hasat sonrası kayıpları en aza indirme potansiyeline sahiptir. Benzer sonuçlar, mandalinalarda *Penicillium digitatum*'a karşı mavi ışığın etkisiyle 40 $\mu molm^{-2}$ s^{-1} foton akısı yoğunluğunda Alferez vd. (2012) tarafından rapor edilmiştir.

Başka bir çalışmada, LED sisteminin *S. aureus, S.* Typhimurium *ve E.* coli'ye karşı antibakteriyel etkisinin rapor edildiği görülmüştür (Ghate vd., 2013). 461 nm (mavi), 521 nm (yeşil) ve 642 nm (kırmızı) gibi belirli dalga boyları, 22.1, 16 ve 25.4 mW/cm^2 ışınlama yoğunluğunda tedavi için kullanılmıştır. 461 nm dalga boyuna sahip LED'ler, 7,5 saatlik işlemin ardından 10-15ºC'de 4.6-5.2 log KOB/ml'lik bir azalma ile tüm bakteriyel kültürlere karşı en etkili bulunmuştur. Ancak, 642 nm dalga boyuna sahip LED'ler bakterilere karşı etkili değildir. Çalışma, bakteri suşlarının yüksek sıcaklıklarda aydınlatılmasının önemli bir etki göstermediğini sonuçlandırdı. Bununla birlikte, daha düşük bir dalga boyunda (461 nm) ve daha düşük bir sıcaklıkta, LED teknolojisinden antibakteriyel etki açısından daha yüksek bir etki görülmektedir (Ghate vd., 2013). Bakterilerin LED uygulaması altında inaktivasyonu için muhtemel mekanizma fotodinamik inaktivasyon (PDI) fenomenidir. 400-430 nm aralığındaki görünür ışık, porfirin gibi fotosensitizör moleküllerinin ışıkla aydınlatılmasıyla uyarılmış hale geçer. Temel duruma geri dönerken, oksijen moleküllerine enerji aktarımı ROS üretimine neden olur ve bu da lipit peroksidasyonu ve DNA oksidasyonuna müdahale ederek hücrenin ölümüne neden olur (Kim vd., 2017).

Başka bir çalışmaya göre, turunçgillerde mantar bazlı enfeksiyonlar, mavi LED ışığının kullanımıyla kontrol altına alınabilmektedir (Lafuente ve Alférez, 2015). Mavi LED ışığının uygulama, turunçgillerin hasat sonrası patojenleri olan *Penicillium digitatum* ve *Penicillium italicum*'a karşı etkili olmuştur. Meyvelere, mantar bazlı enfeksiyonu önlemek için 120 $\mu molm^{-2}$ s^{-1} yoğunluğunda 18 saat, sporların çimlenmesini engellemek için 700 $\mu mol\ m^{-2}$ s^{-1} yoğunluğunda ışık uygulanmıştır. Bu alanda yapılan çalışmalar, mikrobiyal bozulmanın gıda endüstrisinde hasat sonrası kayıpların ana nedeni olduğu için gıdanın hasat sonrası yönetimi açısından büyük öneme sahiptir.

3
MATERYAL VE METOT

3.1 Materyal

3.1.1 Brokoli Örneklerinin Temini

Deneylerde kullanılan brokoli (*Brassica oleracea* var. *italica*) örnekleri, İstanbul Kadıköy Sebze ve Meyve Hali'nden temin edilmiştir. Hasat sonrası durumuna ulaşmış brokoli örnekleri temin edilmiş ve aynı gün içinde bu ürünler, çalışmaların yürütüldüğü Beko Merkez Arge Laboratuvarı'na taşınmış ve deneyler hemen başlatılmıştır.

3.1.2 Kimyasal analizler için kullanılan materyaller

Kimyasal analizlerde; aseton, L-Askorbik asit, metanol, metafosforik asit, tetra-n-bütilamonyum hidrojen sülfat, DPPH ve deiyonize su kullanılmıştır; her bir materyal Merck (Darmstadt, Almanya) firmasından temin edilmiştir.

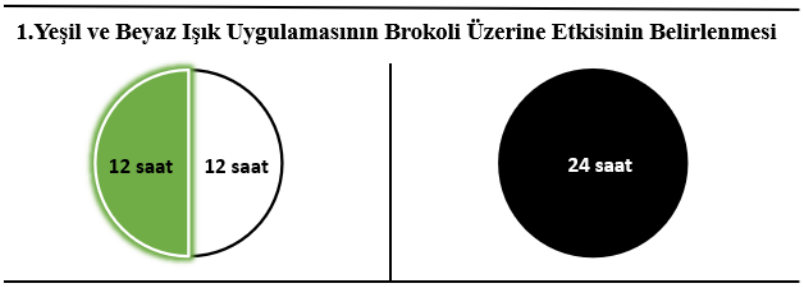
3.1.3 Işık Uygulaması

Saklama hazneleri için Beko Merkez Arge tarafından geliştirilen prototipler kullanılmıştır. Bu saklama haznelerine RGB (kırmızı, yeşil, mavi) LED'ler entegre edilerek ışık uygulaması sağlanmıştır.

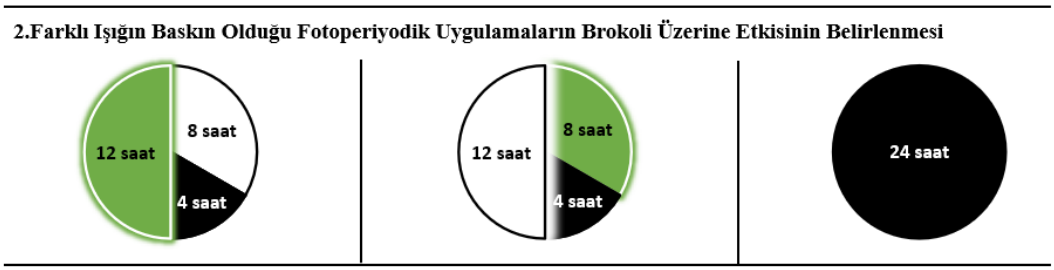
Örnekler, prototiplerin kapalı saklama haznelerinde depolanmıştır. Deneylerin yürütüldüğü saklama haznelerine, yeşil ışık 525 nm dalga boyunda fotoperiyodik biçimde uygulanmıştır. Fotoperiyodik uygulamada kullanılan beyaz renk ışık ise kırmızı (625 nm), yeşil (525 nm) ve mavi (465 nm) ışıklarının aynı anda yakılmasıyla elde edilip uygulanmıştır. Yeşil ışık en yüksek 6,5 µmol m^{-2} s^{-1} şiddetine ulaşırken beyaz ışık ise 19 µmol m^{-2} s^{-1} şiddetine ulaşmıştır.

EBI 20-TH1 (Ebro) cihazı sayesinde saklama haznelerinin sıcaklık ve nem değerleri sürekli olarak takip edilmiştir. Ortam koşulları, %95 bağıl nem değerleriyle 4°C'de sabitlenmiştir. Saklama çalışmaları öncesinde, prototip saklama haznelerinin sıcaklıkları, çalışma sıcaklıklarına ulaşması için yaklaşık bir haftalık sürede ayarlanmış ve talep edilen aralıklarda sabit kalması beklenmiştir.

Brokoli örneklerinin saklandığı deney koşulları, Şekil 3.1'de ve Şekil 3.2'de şematik olarak gösterilmiştir. Deneyler 2 farklı deneyi seti olarak gerçekleştirilmiş olup, ilk deney setinde 2 adet, ikinci deney setinde 3 adet prototip saklama haznesi kullanılmıştır.



Şekil 3.1 12 saat yeşil ve 12 saat beyaz ışık uygulaması ile brokoli örneklerinin soğutmalı saklama haznesi içerisinde saklandığı deney koşulu



Şekil 3.2 Farklı ışık renginin baskın olduğu fotoperiyodik uygulamaların brokoli örneklerinin soğutmalı saklama haznesi içerisinde saklandığı deney koşulu

Gerçekleştirilen ilk deney setinde; bir saklama haznesinde bulunan brokoli örneklerine muhafaza süresi boyunca 12 saat yeşil, 12 saat beyaz ışık fotoperiyodik şekilde uygulanmış, diğer haznedeki brokoli örnekleri ise kontrol grubu olarak muhafaza süresi boyunca karanlıkta bırakılmıştır.

İkinci deney setinde bir saklama haznesinde bulunan brokoli örneklerine muhafaza süresi boyunca 12 saat yeşil, 8 saat beyaz ışık uygulanmış ve 4 saat ise ışık uygulamadan karanlıkta bekletilmiştir. Bir diğer saklama haznesinde bulunan örneklere muhafaza süresi boyunca 12 saat beyaz, 8 saat yeşil ışık uygulanmış ve 4 saat ışık uygulamadan karanlıkta bekletilmiştir. Son saklama haznesindeki örnekler ise kontrol grubu olarak muhafaza süresi boyunca karanlıkta bırakılmıştır.

3.1.4 Brokoli Örneklerinin Hazırlanması

Brokoli örneklerinin sapları bıçak yardımıyla kesilerek benzer ağırlıkta olmaları sağlanmıştır. Brokoliler, fiziksel hasara uğramamış, küf veya çürük belirtisi olmayan, homojen ve benzer şekilde yeşil renge sahip olanlar arasından seçilmiş ve deney koşulları ayarlanmış haznelere eşit miktarda yerleştirilmiştir. Ayrıca her hazneye iki adet brokoli örneği duyusal analiz testleri için kodlanarak yerleştirilmiştir. Duyusal analizler için yerleştirilen ikişer adet örneğin görseli, kimyasal analiz günlerinde kaydedilmiştir. Depolama süresinin son gününde duyusal analiz testleri için ayrılmış örnekler kimyasal analizlerde kullanılmıştır.

3.2 Metot

3.2.1 Brokoli Örneklerinin Depolanması

Brokoli örnekleri soğutmalı saklama haznelerinde 14 gün boyunca %95 bağıl nem seviyesinde +4°C sıcaklık değerinde depolanmıştır.

3.2.2 Kimyasal ve Fiziksel Analizler

3.2.2.1 Vitamin A İçeriği Analizi

Vitamin A analizi, Lambda 35 UV Spektroskopi (PerkinElmer, ABD) cihazı kullanılarak spektrofotometrik metotla gerçekleştirilmiştir. Brokoli örnekleri, öncelikle öğütücü yardımıyla homojen hale getirilmiştir. Homojenize edilen örnekten 1 g, havana tartılarak alınmıştır. Tartılan örneğe +4°C'de soğutulmuş asetondan 5 mL eklenmiştir. Aseton ve örnek birlikte dikkatlice karıştırılmıştır. Her örnekte, eşit süre boyunca ezilmesine özen gösterilmiştir. Ezilen karışım, tüpe alınarak +4°C'de 15 dakika bekletilmiş ve bu süre boyunca belli aralıklarla tüpler çalkalanmıştır, sonra, tüp vortekslenerek iyice karıştırılmıştır. Karışım daha sonra 1370 rpm'de 10 dakika süreyle santrifüjlenmiş ve tüpteki üst kısımda kalan sıvı, başka bir deney tüpüne aktarılmıştır. Tüpte kalan alt katı faz üzerine tekrar 5 mL aseton eklenmiş ve tüp tekrar vortekslenmiştir. Daha sonra tüpler, 1370 rpm'de 10 dakika daha santrifüjlenerek 2. üst faz ile 1. üst faz birleştirilmiştir. Elde edilen üst fazlar, Whatman 42 filtre kâğıdı kullanılarak süzülmüştür. Ardından elde edilen süzüntü, 449 nm dalga boyunda asetona karşı okunmuştur. Okunan absorbans değeri ile kalibrasyon grafiğindeki karşılık gelen A vitamini miktarı belirlenmiştir. (Biswass vd., 2011).

3.2.2.2 Vitamin C İçeriği Analizi

Askorbik asit (C vitamini) değişimlerinin incelenmesi amacıyla brokoli örneklerinin ekstraksiyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda, örnekler 1:10 (ağırlık/hacim) oranında olacak şekilde 5 gramı tartılarak 50 ml %6'lık metafosforik asit çözeltisiyle birleştirilmiş ve el blenderi kullanılarak karıştırılmıştır. Örneklerde bulunan askorbik asit, ışıkla temas ettiğinde önemli ölçüde kayba uğrayabilir, bu nedenle karışım, ışığı almayacak şekilde alüminyum folyo ile sarılmıştır. Daha sonra, ultrasonik su banyosunda 20 dakika boyunca homojenize edilmesi sağlanmıştır. Süre sonunda örnekler, kaba filtre kağıdından süzülerek elde edilen süzüntü, 0,45 µm'lik nylon membran filtreden geçirilerek amber viale aktarılmıştır. Viallenen numuneler, HPLC'nin oto-örnekleyicisine yüklenerek tanımlı metot ile analiz edilmiştir. Analizler boyunca kromotografi koşulları aşağıda verildiği gibi ayarlanmıştır (Rückemann, 1980).

- Dedektör: PDA
- Dalga boyu: 244 nm
- Sıcaklık: 20°C
- Kolon Akış: 0,6 ml/dak
- Enjeksiyon miktarı: 20 µl
- Kolon: GL Sciences Inertsil ODS-4 5µm, 4,6 x 250 mm (UP)
- Mobil Faz: Tetrabutilamonyum hidrojen sülfat : metanol (94,5:5,5;v:v)

Askorbik asidin (C vitamini) belirlenmesi ve miktarının ölçülmesi için yüksek performanslı sıvı kromatografisi (HPLC) (Shimadzu, Prominence-i LC-2030C 3D Plus, Japonya) cihazı kullanılmıştır. Kromatogramlar, "Shimadzu LC solution" yazılımı ile analiz edilmiştir. Askorbik asit pikinin ve konsantrasyonunun tespit edilmesi için farklı konsantrasyonlarda standart enjeksiyonu yapılmış ve kalibrasyon eğrisi elde edilmiştir (Rückemann, 1980).

Denklem 3.1'den yararlanılarak brokoli örneklerinin C vitamini miktarı hesaplanmıştır;

$$\text{Askorbik Asit Konsantrasyonu}(\text{mg}/100\text{g}) = (\text{W x C x A1})/\text{A2} \qquad (3.1)$$

Denklem 3.1'de;

W: Seyreltme katsayısı

C: Standardın konsantrasyonu

A1: Numunenin pik alanı

A2: Standardın pik alanı

3.2.2.3 Toplam Klorofil Miktarının Belirlenmesi

Toplam klorofil miktarı analizi, spektrometre (PerkinElmer Lambda 35 UV, ABD) cihazı kullanılarak spektrofotometrik metotla gerçekleştirilmiştir. Brokoli örnekleri, öncelikle öğütücü yardımıyla homojen hale getirilmiştir. Ekstraksiyonun gerçekleşmesi için, örnekler 1:20 (ağırlık/hacim) oranında olacak şekilde 1 gram tartılarak 20 ml %80'lik aseton çözeltisiyle karıştırılarak ve el blenderi yardımıyla homojenize edilmiştir. Her örneğin, eşit süre boyunca el blenderiyle homojenize edilmesine özen gösterilmiştir. Elde edilen karışım Whatman 1 filtre kâğıdı kullanılarak süzdürülmüştür. Süzülme işlemi tamamlandıktan sonra elde edilen süzüntü 644 ve 662nm'de UV cihazında okutulmuştur. Okunan absorbans değeri klorofil a ve klorofil b miktarlarını tespit etmek için kullanılan formülasyonlarda kullanılmıştır. Toplam klorofil miktarı (Denklem 3.4) klorofil a (Denklem 3.2) ve b (Denklem3.3) miktarlarının toplanmasıyla elde edilmiştir (Ašimović vd., 2016).

$$\text{Klorofil a miktarı}(mg/mL) = (9{,}78\text{xA662} - 0{,}990\text{xA644}) \quad (3.2)$$

$$\text{Klorofil b miktarı}\ (mg/mL) = (21{,}426\text{xA644} - 4{,}650\text{xA662}) \quad (3.3)$$

$$\text{Toplam klorofil miktarı}(mg/mL) = \text{Klorofil a} + \text{Klorofil b} \quad (3.4)$$

Denklem 3.2 ve 3.3'te;

A662: 662nm dalga boyunda okunan absorbans değeri

A644: 644 nm dalga boyunda okunan absorbans değeri

3.2.2.4 Antioksidan Aktivite Tayini

Antioksidan aktivitesinin belirlenmesinde DPPH metotu kullanılmış olup Lambda 35 UV Spektroskopi (PerkinElmer, ABD) cihazı kullanılarak spektrofotometrik yöntemle gerçekleştirilmiştir. Brokoli örnekleri, öncelikle öğütücü yardımıyla homojen hale getirilmiştir. Ekstraksiyonun gerçekleşmesi için, örnekler 1:4 (ağırlık/hacim) oranında olacak şekilde 2,5 g tartılarak 10 mL %80'lik metanol çözeltisiyle karıştırılarak ve el blenderi yardımıyla homojenize edilmiştir. Her örneğin, eşit süre boyunca el blenderiyle homojenize edilmesine özen

gösterilmiştir. Elde edilen karışım santrifüj tüplerine alınarak önce vortekslenmiş sonra 4000 rpm değerinde 10 dakika boyunca santrifüjlenmiştir. Santrifüj işlemi tamamlandıktan sonra üst sıvı Whatman 1 filtre kağıdından süzülmüştür. Elde edilen süzüntüden 200 µL alınarak üzerine 4 ml 0,1mM DPPH çözeltisi eklenmiş ve vortekslenmiştir. 25 dakika boyunca karanlık ortamda bekletildikten sonra 517nm'de okuma işlemi gerçekleşmiştir. Blank için ise 200 µL %80'lik metanol alınarak üzerine 4ml DPPH çözeltisi eklenmiştir (Kumaran, 2006).

Denklem 3.5'ten yararlanılarak brokoli örneklerinin toplam antioksidan aktivitesi yüzde inhibisyon cinsinden hesaplanmıştır.

$$\%\text{İnhibisyon} = \left[\frac{(\text{Ab}-\text{Aö})}{\text{Ab}}\right] \text{x } 100 \qquad (3.5)$$

Denklem 3.5'te;

Ab: 517nm dalga boyunda okunan blank absorbans değeri

Aö: 517nm dalga boyunda okunan örnek absorbans değeri

3.2.2.5 Ağırlık Kaybı

Ağırlıkta meydana gelen kaybın belirlenmesi için soğutmalı haznelerde bulunan kodlanmış ikişer adet duyusal değerlendirme numunesi, her biri tartılarak başlangıç ağırlıkları kaydedildikten sonra iki hazneye tekrar yerleştirilmiştir. Ürünlerin ağırlığı, yapılan kimyasal analiz gününde tekrar kaydedilerek, başlangıç ağırlıkları ile karşılaştırılmış ve ağırlık kaybı yüzdesi hesaplanmıştır. Her hazne için ağırlık kaybının ortalaması alınarak, bu ortalamalar arasında karşılaştırmalar yapılmıştır. Deneysel çalışmalar boyunca örneklerin ağırlık değişimleri, hassas terazi (Mettler Toledo MS6002S/01 model, ABD) kullanılarak takip edilmiştir. Denklem 3.6'dan yararlanılarak brokoli örneklerinin ağırlık kaybı hesaplanmıştır;

$$\text{Ağırlık Kaybı } (\%) = \frac{\text{M0}-\text{M1}}{\text{M0}} \text{x } 100 \qquad (3.6)$$

Denklem 3.6'da;

M0: Örnek başlangıç ağırlığı

M1: Örnek son ağırlığı

3.2.2.6 Duyusal Analiz

Brokoli örnekleri duyusal değerlendirmenin gerçekleşmesi için hemen soğutmalı saklama haznelerinden çıkarılarak analize alınmıştır. Her bir koşul altında, iki adet numune için değerlendirme yapılmıştır.

Çalışmada, sebzelerin duyusal niteliklerini değerlendirmek için hem çoklu karşılaştırma testi hem de puanlama testi kullanılmıştır. Bu deneylerde, değerlendirilen özellikler, az veya fazla derecede olmalarına göre sıralanabilir ve puanlanabilir. Bu deneyler, farklılıkların varlığını belirlemenin yanı sıra, bu farklılıkların derecesini de tespit edebilir ve örneklerde herhangi bir iyileşme veya bozulma olup olmadığını belirleme konusunda yardımcı olabilir (Altuğ, 1993). Bu sebeple, panelistlerin değerlendirme yapması için bir derecelendirme skalası kullanılmaktadır. Bu skalalar, kalite derecelendirmelerini ya rakamsal bir değerle ifade etmek ya da tanımlayıcı ifadelerle tanımlamak amacıyla gerçekleşmektedir. Puanlama testler sonrası ulaşılan sonuçlar, ortalama değerleri belirlenerek veya istatistiksel metot olan varyans analiz yardımıyla değerlendirilebilmektedir (Küşümler, 2011).

Çalışma kapsamında, brokolilerin değerlendirilmesi genel görünüm ve duyusal olarak kalite kriterlerine dayandırılmıştır. Duyusal puanlandırmalar, Beko Ar-Ge personelinden meydana gelen eğitimli altı kişilik bir panel tarafından Beko Merkez Ar-Ge duyusal laboratuvarında yapılmıştır.

Brokoli örneklerinin duyusal kalitesinin belirlenmesinde, üründe meydana gelen renkte değişimi, büzüşme, küf – çürük oluşumu ve doku kriterleri dikkate alınmıştır.

Örneklerin duyusal kaliteleri, 5 noktalı bir skalada değerlendirilmiştir. Bu skalada 5, tüketilebilirliğin son derecede iyi, 1 ise tüketilebilirliğin son derece kötü ve tüketilemez anlamına geldiğini göstermektedir.

3.2.2.7 Kuru Madde Miktarının Belirlenmesi

Kuru madde analizi için öncelikle analiz yapılacak brokoli örnekleri öğütücü yardımı ile homojenize edilmiştir. Bu işlemde örnekler, darası alınan ve sabit tartım ağırlığına getirilen cam petrilere 3-5 g aralığında tartılmıştır. Daha sonra, tartılan örnekler 105ºC sıcaklıkta etüvde kurutulmuştur. Kurutma işlemi tamamlandıktan sonra örnekler, desikatöre 5 dakika süreyle konularak soğumaları sağlanmıştır.

Soğuyan örnekler tekrar tartılarak kuru madde oranı hesaplanmıştır (Lisiewska vd., 2004).

Denklem 3.2'den yararlanılarak brokoli örneklerinin kuru madde miktarı hesaplanmıştır;

$$\text{Kuru Madde (\%)} = (\text{M3} - \text{M1})/(\text{M2} - \text{M1})\ x100 \qquad (3.7)$$

Denklem 3.7'de;

M1: Boş cam petri ağırlığı (g)

M2: Deney örneği ve cam petrinin kurutma işlemi öncesi ağırlığı (g)

M3: Deney örneği ve cam petrinin kurutma işlemi sonrası ağırlığı (g)

(Lisiewska vd., 2004)

3.2.2.8 İstatistiksel Analiz

Tüm istatistiksel analizler, Pennsylvania, ABD merkezli Minitab Inc. tarafından geliştirilen Minitab 21 İstatistik Yazılımı for Windows® kullanılarak yapılmıştır. Farklı ışık renkleriyle oluşturulmuş fotoperiyodik ışık uygulamalarının brokoli örneklerinin besin içeriği ve kalitesi üzerindeki etkisinin incelendiği çalışmalarda, Bu etkinin önem düzeyi saptamak amacıyla, analiz sonuçları varyans analizi (ANOVA) ile incelenmiştir. Varyans analizindeki farklılıkların hangi seviyeler arasında anlamlı olduğunun tespiti için %95 güven aralığında Tukey testi uygulanmıştır.

Depolama süresi boyunca uygulanmış ışık döngüleri Tablo 3.1'de paylaşılmıştır.

Tablo 3.1 Brokoli ürünlerinin hazne içerisinde saklandığı deneysel koşullar

1. Fotoperiyodik Işık Uygulamasının Brokoli Üzerine Etkisinin İncelenmesi		
12 Saat Yeşil + 12 Saat Beyaz Işık	24 Saat Karanlık Uygulaması	
2. Farklı Fotoperiyodik Işık Uygulamasının Brokoli Üzerine Etkisinin İncelenmesi		
12 Saat Yeşil + 8 Saat Beyaz + 4 Saat Karanlık	12 Saat Beyaz + 8 Saat Yeşil + 4 Saat Karanlık	24 Saat Karanlık Uygulaması

4
BULGULAR VE TARTIŞMA

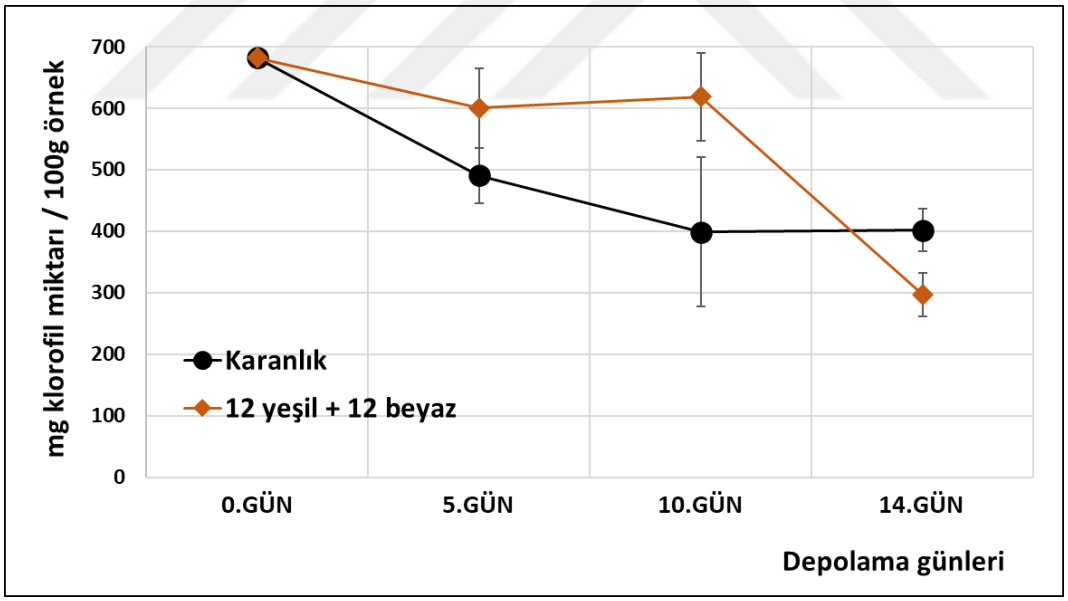
4.1 Fotoperiyodik Işık Uygulamasının Brokoli Üzerine Etkisi

4.1.1 Toplam Klorofil Miktarı

İki tekrarlı gerçekleştirilen toplam klorofil miktarı analizlerine ait sonuçlar 1.ve 2.tekrar şeklinde ayrı grafiklerde verilmiştir.

Brokoli örneklerinin ilk tekrarına ait toplam klorofil miktarı deneyinin çıktıları Şekil 4.1'de paylaşılmıştır.

İki koşul için 682,2 mg/100g ölçülen başlangıçtaki toplam klorofil miktarı, depolama süresi boyunca azalmaktadır (Tablo 4.1). Şekil 4.1'de de paylaşıldığı gibi 12 saat yeşil + 12 saat beyaz ışık uygulanmış örneklere ait toplam klorofil miktarı 5. ve 10.günlerde karanlıkta saklanan kontrol grubuna kıyasla daha yüksek seviyede tespit edilmiştir.



Şekil 4.1 12 saat yeşil + 12 saat beyaz ışık uygulanmış ve kontrol grubu brokoli ürünlerinin 14 gün boyunca toplam klorofil miktarındaki ilk tekrara ait değişimi

Tukey testi sonuçları kapsamında; her iki grupta saklanan brokoli örneklerinin toplam klorofil miktarındaki 14 gün boyunca meydana gelen değişim, istatistiksel açıdan anlamlı olarak tespit edilmiştir ($p<0,05$). Fakat 12 saat yeşil + 12 saat beyaz ışık uygulanmış örneklerin toplam klorofil miktarı 5.ve 10.günlerde kontrol

grubuna kıyasla daha yüksek seviyede bulunmuş olup, bu durum fotoperiyodik yeşil ve beyaz ışık uygulamasının toplam klorofil miktarını karanlığa kıyasla 10.güne kadar daha etkili bir şekilde koruduğunu göstermektedir.

Her ne kadar toplam klorofil miktarı her iki grupta da azalış gösterse de ışık uygulanmış brokolilerin klorofil miktarı 10.günde Tukey testine göre başlangıç klorofil miktarından farksız çıkmıştır (Tablo 4.1). İki grubun klorofil miktarları arasındaki farkın en yüksek olduğu gün 10.gün olarak tespit edilmiştir. Bu günde ışık uygulamalı örnekler klorofil miktarlarını %9 oranında kaybederken, kontrol grubundaki brokoliler ise %41 oranında kayıp yaşamıştır. Sonuç olarak 12 saat yeşil + 12 saat beyaz ışık uygulaması ile brokoli örneklerinin toplam klorofil miktarı, kontrol grubuna kıyasla 10.günde %78 daha fazla korunmuştur. Depolama süresinin sonunda ise ışık uygulanmış örneklerin klorofil miktarı önemli bir düşüş yaşayarak 296,9 mg/100g ölçülürken, kontrol grubundaki örneklerin klorofil miktarı 401,9 mg/100g ölçülmüştür.

Tablo 4. 1 12 saat yeşil + 12 saat beyaz ışık uygulanmış ve kontrol brokoli örneklerinin ilk tekrarına ait toplam klorofil miktarı ortalamalarının Tukey testi karşılaştırma sonuçları

Toplam Klorofil Miktarı (Kuru Baz) (mg/100g)		
Gün	**Kontrol (Karanlık)**	**12 Saat Yeşil + 12 Saat Beyaz Işık Uygulaması**
0	$682,2\pm7,3^{a}{}_{a}$	$682,2\pm7,3^{a}{}_{a}$
5	$490,9\pm44,9^{b}{}_{b}$	$600,6\pm64,9^{b}{}_{a}$
10	$399,1\pm122,1^{b}{}_{b}$	$619,0\pm71,8^{ab}{}_{a}$
14	$401,9\pm34,7^{b}{}_{a}$	$296,9\pm35,4^{c}{}_{b}$

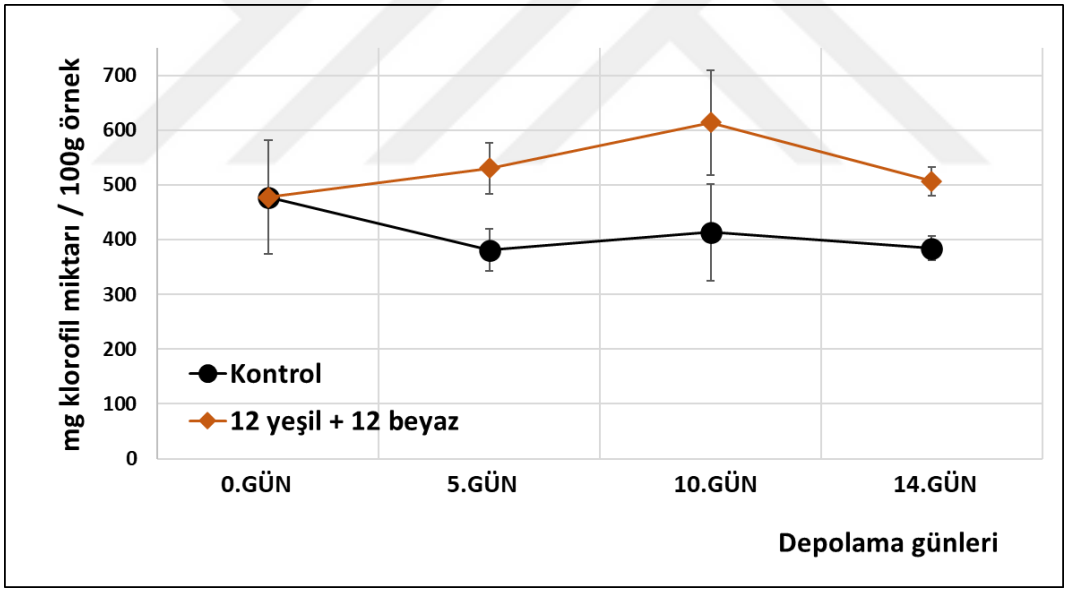
Sütundaki farklı üst simge harfle belirtilen değerler istatistiksel fark göstermektedir ($p<0,05$).
Satırdaki farklı alt simge harfle belirtilen değerler istatistiksel fark göstermektedir ($p<0,05$).

Klorofil miktarı değerleri Şekil 4.1'de dalgalanırken, bunun sebebi örneklerin farklı dokularından alınmış olmalarından veya hasat sonrasında ışık gören ve görmeyen bölgeler arasındaki farklılıklardan kaynaklanabileceği yorumuna açık olduğu gözlemlenmiştir.

Pintos vd. (2023) yaptıkları çalışmada, 5°C sıcaklıkta 17 gün boyunca depolanan beyaz ışık uygulanmış brokoli örneklerinin klorofil miktarının ışık uygulanmamış kontrol grubu örneklerine kıyasla önemli ölçüde daha iyi korunduğu bildirilmiştir.

Xie vd. (2022) yapmış olduğu çalışmada brokoli örnekleri, beş gün boyunca farklı dalga boylarına sahip ışık uygulamaları altında 20°C sıcaklıkta muhafaza edilmiş ve karanlık bir ortamda muhafaza edilen kontrol grubu örnekleriyle kıyaslanmıştır. Beş günün sonunda beyaz ve yeşil ışık uygulanmış örneklerin klorofil miktarının kontrol grubuna kıyasla istatistiksel olarak anlamlı seviyede yüksek çıktığı belirtilmiştir.

Brokoli örneklerinin ikinci tekrarına ait toplam klorofil miktarı testi sonuçları Şekil 4.2'de paylaşılmıştır. İki koşul için 477,4 mg/100g olan başlangıçtaki toplam klorofil miktarı, 14 gün depolama süresinin sonunda ışık uygulamalı örnekler için 506,6 mg/100g olarak ölçülürken kontrol grubu örnekleri için ise 383,9 mg/100g olarak ölçülmüştür (Tablo 4.2).



Şekil 4.2 12 saat yeşil + 12 saat beyaz ışık uygulanmış ve kontrol grubu brokoli ürünlerinin 14 gün boyunca toplam klorofil miktarındaki ikinci tekrara ait değişimi

Tukey testine göre; fotoperiyodik ışık uygulanmış brokoli örneklerine ait klorofil miktarı 5.ve 14.günlerde başlangıç miktarına kıyasla istatistiksel olarak anlamlı olmasa da artış göstermiştir. Işık uygulamalı örneklerin klorofil miktarı 10.günde ise en yüksek noktaya ulaşmış ve istatistiksel olarak anlamlı bir yükseliş tespit

edilmiştir. Kontrol grubu örneklerinin klorofil miktarı ise istatistiksel açıdan anlamlı olmasa da başlangıç miktarına kıyasla azalış göstermiştir ($p<0,05$).

Tablo 4.2 12 saat yeşil + 12 saat beyaz ışık uygulanmış ve kontrol brokoli örneklerinin ikinci tekrarına ait toplam klorofil miktarı ortalamalarının Tukey testi karşılaştırma sonuçları

Toplam Klorofil Miktarı (Kuru Baz) (mg/100g)		
Gün	**Kontrol (Karanlık)**	**12 Saat Yeşil + 12 Saat Beyaz Işık Uygulaması**
0	$477,4\pm 103,9^{a}{}_{a}$	$477,4\pm 103,9^{b}{}_{a}$
5	$381,1\pm 38,8^{a}{}_{b}$	$530,5\pm 46,8^{ab}{}_{a}$
10	$413,5\pm 88,4^{a}{}_{b}$	$614,0\pm 95,5^{a}{}_{a}$
14	$383,9\pm 21,9^{a}{}_{b}$	$506,6\pm 26,7^{ab}{}_{a}$

Sütundaki farklı üst simge harfle belirtilen değerler istatistiksel fark göstermektedir ($p<0,05$).
Satırdaki farklı alt simge harfle belirtilen değerler istatistiksel fark göstermektedir ($p<0,05$).

Depolama süresi boyunca ışık uygulanan brokoli örneklerinin klorofil miktarı, istatistiksel olarak kontrol grubundan daha yüksek ölçülmüştür ($p<0,05$). Bu durum, ışık uygulamasının brokoli örneklerinin fotosentez mekanizmasını tetikleyerek, fotosentezde önemli bir rol oynayan klorofil sentezini artırdığı ve bu nedenle klorofil miktarının depolama süresi boyunca arttığı şeklinde yorumlanmıştır (Noichinda vd., 2007).

Zhou vd. (2020) yapmış olduğu çalışmada, 10 μmol m^{-2} s^{-1} şiddetinde beyaz ışık uygulanmış çin lahanası örneklerine ait klorofil miktarı 7 günlük depolama süresi boyunca artış göstermiş ve 5.günde en yüksek noktaya ulaşmıştır. Ayrıca ışık uygulanan örneklerin klorofil miktarı, depolama süresi boyunca karanlıkta muhafaza edilen örneklerin klorofil miktarından daha yüksek ölçüldüğü belirtilmiştir.

Loi vd. (2019) yaptığı çalışmada, 24 μmol m^{-2} s^{-1} şiddetinde uygulanan yeşil ışığın brokoli örneklerinin klorofil miktarını başlangıca kıyasla önemli derecede artış göstermiştir. Işık uygulanmış örneklerin klorofil miktarının 10.günde en yüksek seviyeye ulaştığı, bunun sebebinin metabolik aktivitelerin tetiklenmesi ve olgunlaşmamış çiçek tomurcuklarının gelişmesi olduğu belirtilmiştir.

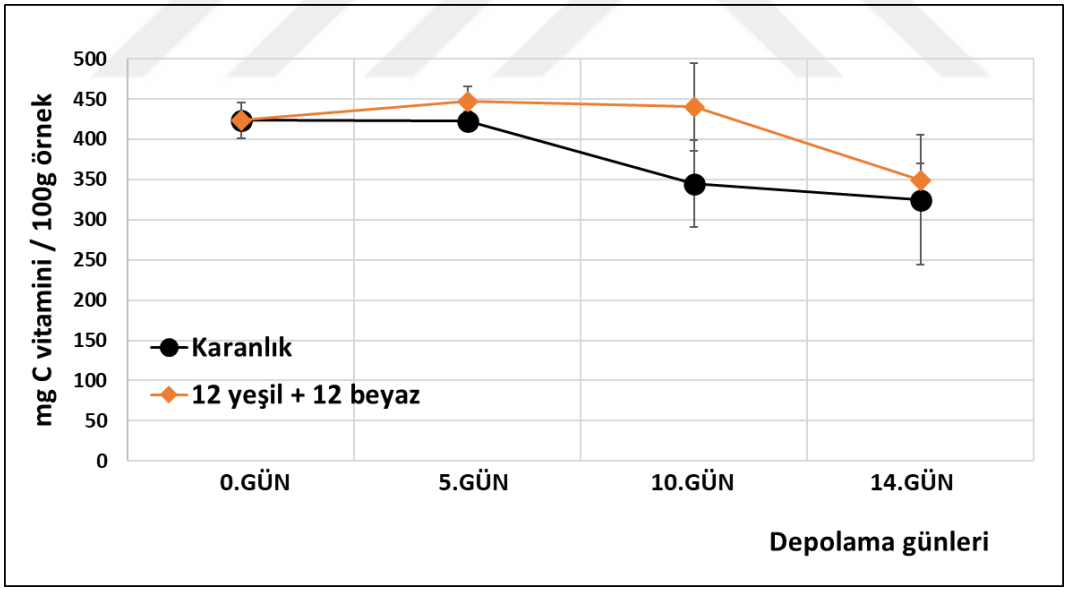
4.1.2 C Vitamini İçeriği

Fotoperiyodik ışık uygulanan ve uygulanmayan brokolilere ait 14 gün boyunca C vitamini miktarındaki yaşanan değişim sonuçları Şekil 4.3'te paylaşılmıştır.

İki koşul için de 423,9 mg/100g olan başlangıçtaki C vitamini seviyesi, 14 gün depolama süresinin sonunda ışık uygulamalı örnekler için 349,3 mg/100g olarak ölçülürken kontrol grubu örnekleri için ise 324,8 mg/100g olarak ölçülmüştür (Tablo 4.3).

Şekil 4.3'te paylaşıldığı gibi, ışık uygulanan örneklerin C vitamini miktarı, istatistiksel olarak anlamlı olmasa da 5. gün artmış ve 10. gün bu seviyeyi korumuştur. Ancak, 10. gün sonrasında C vitamini miktarı azalmaya başlamış ve 14 günün sonunda başlangıç değerine göre anlamlı bir düşüş tespit edilmiştir ($p<0,05$).

Kontrol grubu örneklerinin C vitamini miktarı, 5. günden sonra belirgin bir şekilde azalarak, 10. ve 14. günlerde başlangıç değerine kıyasla anlamlı düzeyde düşük olduğu belirlenmiştir ($p<0,05$).



Şekil 4.3 12 saat yeşil + 12 saat beyaz ışık uygulanmış ve uygulanmamış brokoli ürünlerinin 14 gün boyunca Vitamin C seviyesinde meydana gelen değişimi

Depolama süresi boyunca fotoperiyodik ışık uygulanmış örneklere ait C vitamini miktarı, kontrol grubuna kıyasla daha yüksek seviyede ölçülmüştür. C vitamini miktarlarındaki bu farklılık Tukey testine göre 5.ve 10.günlerde anlamlı iken, 14 günün sonunda ise oluşan fark anlamlı bulunmamıştır ($p<0,05$).

Tablo 4.3 12 saat yeşil + 12 saat beyaz ışık uygulanmış ve uygulanmamış brokolilere ait C vitamini miktarlarının karşılaştırma testi sonuçları

C Vitamini Miktarı (Kuru Baz) (mg/100g)		
Gün	**Kontrol (Karanlık)**	**12 Saat Yeşil + 12 Saat Beyaz Işık Uygulaması**
0	$423,9\pm22,3^{a}{}_{a}$	$423,9\pm22,3^{a}{}_{a}$
5	$422,7\pm12,0^{a}{}_{b}$	$447,1\pm18,2^{a}{}_{a}$
10	$344,9\pm53,8^{b}{}_{b}$	$440,2\pm54,7^{a}{}_{a}$
14	$324,8\pm80,3^{b}{}_{a}$	$349,3\pm21,1^{b}{}_{a}$

Sütundaki farklı üst simge harfle belirtilen değerler istatistiksel fark göstermektedir ($p<0,05$).
Satırdaki farklı alt simge harfle belirtilen değerler istatistiksel fark göstermektedir ($p<0,05$).

Zhan vd. (2012) tarafından yürütülen çalışmada, 7°C'de, 10 gün boyunca 24 μmol m^{-2} s^{-1} şiddetinde beyaz ışık uygulanan brokoli örneklerinin C vitamini miktarı, ilk 5 gün boyunca artış göstermiş ve ardından azalmaya başlamıştır. Depolama süresi sonunda, başlangıca göre anlamlı şekilde daha düşük seviyede olduğu belirlenmiştir. Karanlıkta muhafaza edilen örneklerin C vitamini miktarı ise artış göstermeksizin azalmaya başlamış ve 5. günden sonra meydana gelen düşüşün istatistiksel açıdan anlamlı olduğu rapor edilmiştir. Ek olarak, depolama süresi boyunca ışık uygulanan örneklerin C vitamini miktarının kontrol grubuna göre anlamlı derecede yüksek olduğu ifade edilmiştir.

Maroga vd. (2019) tarafından yürütülen çalışmada, 7°C sıcaklıkta 14 gün boyunca beyaz ışık uygulanan kırmızı, yeşil ve sarı biber örneklerinin C vitamini miktarı, depolama süresi sonunda kontrol grubuna göre daha yüksek seviyede tespit edilmiştir. Ancak, bu farkın sadece sarı biber örneklerinde anlamlı olduğu belirtilmiştir.

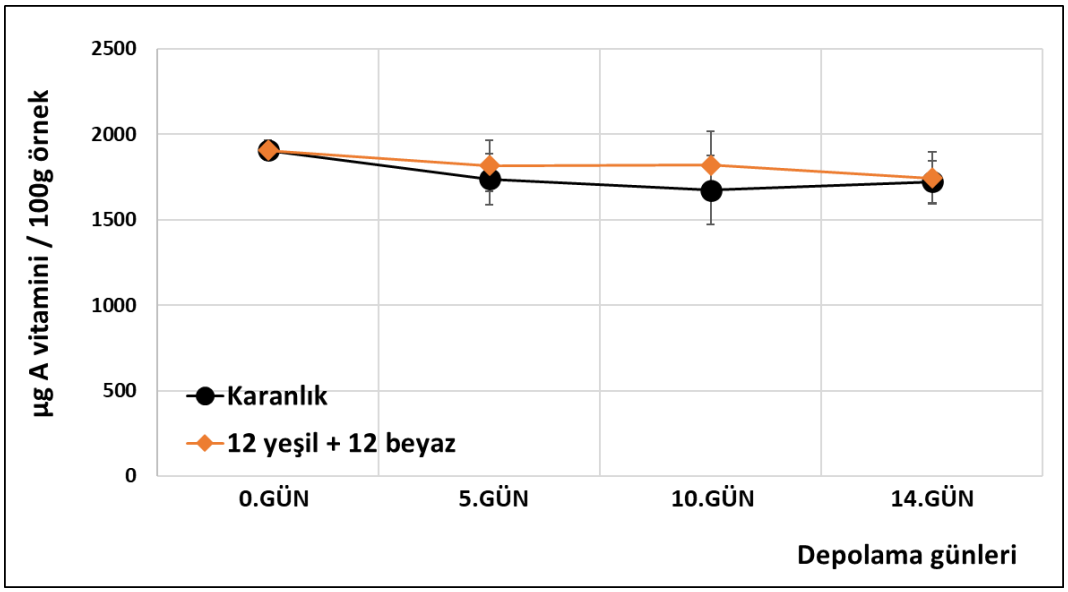
4.1.3 A Vitamini İçeriği

Fotoperiyodik ışık uygulanmış ve kontrol grubundaki brokoli örneklerine ait 14 günde meydana gelen A vitamini miktarı değişimi sonuçları Şekil 4.4'te paylaşılmıştır.

İki koşul için de 1908,2 µg/100g olan A vitamini seviyesi 14 günlük depolama süresi sonunda ışık uygulamalı örnekler için 1744,2 µg/100g ölçülürken, karanlıkta muhafaza edilen kontrol grubu örnekleri için ise 1722,6 µg/100g ölçülmüştür (Tablo 4.4).

Şekilde 4.4'te görüleceği üzere ışık uygulanmış ve uygulanmamış brokoli örneklerine ait A vitamini miktarı depolama süresince azalan bir trend göstermiştir. Depolama süresi boyunca ışık uygulanan örneklerin A vitamini miktarı karanlıkta muhafaza edilen örneklerin A vitamini miktarından daha yüksek seviyede ölçülmüştür fakat bu fark hiçbir günde istatistiksel açıdan anlamlı bulunmamıştır ($p<0,05$).

Işık uygulanmış örneklerin A vitamini miktarı azalan bir trend izlemesine rağmen, 5. ve 10. günlerde ölçülen A vitamini miktarı başlangıç değerinden istatistiksel açıdan anlamlı bir farklılık göstermemiştir. Karanlıkta muhafaza edilen örneklerin A vitamini miktarı ise 10. ve 14. günlerde, başlangıç değerine kıyasla istatistiksel açıdan anlamlı bir şekilde düşük ölçülmüştür ($p<0,05$). Bu durum, fotoperiyodik ışık uygulamasının brokoli örneklerinin A vitamini miktarını başlangıca göre karanlıkta muhafaza etmeye kıyasla daha etkili bir şekilde koruduğu şeklinde yorumlanmıştır.



Şekil 4.4 12 saat yeşil + 12 saat beyaz ışık uygulanmış ve uygulanmamış brokoli ürünlerinin 14 günde meydana gelen A vitamini değişimi

Literatür çalışmalarında meyve ve sebzelerin A vitamini miktarı üzerine ışık uygulamasının etkisi yeterince araştırılmamış ve bu konuda yapılan çalışmalar bulunmamaktadır. Ancak, Brothersen vd. (2016) tarafından yürütülen bir çalışmada, 24 saat depolanan süt örneklerine LED ve floresan ışık uygulanarak karanlıkta muhafaza edilen kontrol grubuyla karşılaştırılmıştır. Floresan ışık uygulanan süt örneklerinin A vitamini miktarı, 12. ve 24. saatlerde kontrol grubu örneklerine kıyasla önemli ölçüde düşük bulunmuştur. Ancak, LED ışık uygulanan örneklerin A vitamini miktarı kontrol grubuyla benzer bulunmuştur. Araştırmacılar, bu farklılığın LED ve floresan ışık arasındaki emisyon spektrumlarındaki farklılıklarla ilgili olabileceğini belirtmişlerdir.

Tablo 4.4 12 saat yeşil + 12 saat beyaz ışık uygulanmış ve uygulanmamış brokolilere ait A vitamini miktarlarının karşılaştırma testi sonuçları

A Vitamini Miktarı (Kuru Baz) (µg/100g)		
Gün	**Kontrol (Karanlık)**	**12 Saat Yeşil + 12 Saat Beyaz Işık Uygulaması**
0	$1908,2\pm57,1^{a}{}_{a}$	$1908,2\pm57,1^{a}{}_{a}$
5	$1738,8\pm149,3^{b}{}_{a}$	$1816,5\pm147,1^{ab}{}_{a}$
10	$1672,9\pm201,7^{b}{}_{a}$	$1819,5\pm198,1^{ab}{}_{a}$
14	$1722,6\pm121,8^{b}{}_{a}$	$1744,2\pm151,9^{b}{}_{a}$

Sütundaki farklı üst simge harfle belirtilen değerler istatistiksel fark göstermektedir ($p<0,05$).
Satırdaki farklı alt simge harfle belirtilen değerler istatistiksel fark göstermektedir ($p<0,05$).

Bu çalışmada kullanılan LED ışığının düşük şiddette uygulanması ve LED ışığının sahip olduğu emisyon spektrumunun farklılığı, A vitamini içeriğinin fotoliz yoluyla ışık maruziyetiyle azalmasına neden olmamıştır.

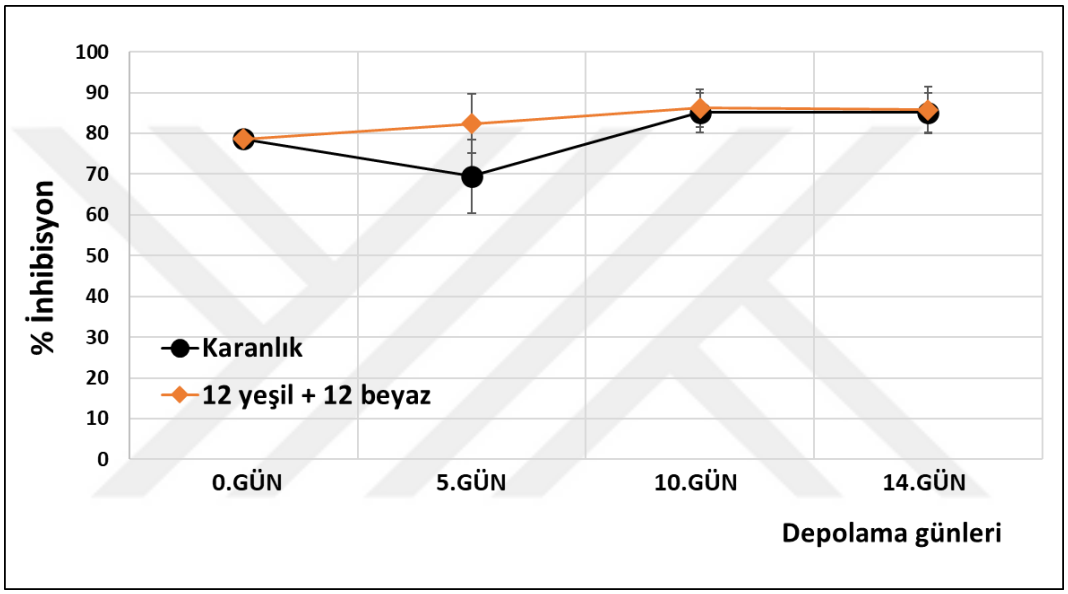
4.1.4 Antioksidan Aktivitesi (% İnhibisyon)

Antosiyaninler, fenolik bileşenler, likopen ve karotenler gibi bileşikler antioksidan aktiviteye sahiptir. Bu bileşikler, vücuttaki serbest radikalleri nötralize ederek oksidatif stresi azaltabilirler. Özellikle kırmızı, mor ve mavi renkli meyve ve sebzelerde bulunan antosiyaninler, domates, kavun ve kırmızı biber gibi kırmızı renkli meyve ve sebzelerde bol miktarda bulunan likopen ve turuncu ve sarı renkli meyve ve sebzelerde bulunan karotenler antioksidan aktiviteye sahiptir. Bu

bileşikler, hücresel düzeyde antioksidan koruma sağlayarak hücresel hasarı azaltabilir ve kronik hastalıkların gelişimini önleyebilirler (Lu vd., 2021).

Fotoperiyodik ışık uygulanmış ve kontrol grubu olan brokoli örneklerinde meydana gelen 14 günlük % İnhibisyon miktarı değişimi sonuçları Şekil 4.5'te paylaşılmıştır.

Işık uygulanmış ve uygulanmamış brokoli örneklerinin başlangıç anındaki DPPH radikalini inhibe etme aktivitesi %78,6 iken, 14 günlük depolama süresinin sonunda ışık uygulanmış örnekler için %85,8 ölçülürken, karanlıkta muhafaza edilen örnekler için de %85,1olarak ölçülmüştür (Tablo 4.5).



Şekil 4.5 12 saat yeşil + 12 saat beyaz ışık uygulanmış ve uygulanmamış brokoli ürünlerinin 14 gün boyunca % inhibisyon miktarındaki değişimi

Işık uygulanmış örneklerin antioksidan aktivitesi, 5. gün itibarıyla yükselen bir eğilim göstermiştir. 5. günde gözlemlenen artış istatistiksel olarak anlamlı olmasa da 10. ve 14. günlerde ölçülen antioksidan aktivitesinin başlangıç antioksidan aktivitesi değerine göre istatistiksel olarak daha fazla olduğu tespit edilmiştir ($p<0,05$). Karanlıkta muhafaza edilen örneklerin antioksidan aktivitesi ise 5.günde istatistiksel açıdan anlamı bir düşüş göstermiştir. 5.gün itibarıyla örneklerin antioksidan aktivitesi artan bir trend göstermiş ve başlangıç değerine kıyasla istatistiksel açıdan daha yüksek antioksidan aktivite değerleri ölçülmüştür ($p<0,05$).

Tablo 4.5 12 saat yeşil + 12 saat beyaz ışık uygulanmış ve uygulanmamış brokolilere ait % İnhibisyon değerlerinin karşılaştırma testi sonuçları

Antioksidan Aktivitesi (% İnhibisyon)		
Gün	**Kontrol (Karanlık)**	**12 Saat Yeşil + 12 Saat Beyaz Işık Uygulaması**
0	$78,6\pm0,6^{b}{}_{a}$	$78,6\pm0,6^{b}{}_{a}$
5	$69,5\pm9,1^{c}{}_{b}$	$82,4\pm7,2^{ab}{}_{a}$
10	$85,1\pm4,8^{a}{}_{a}$	$86,2\pm4,6^{a}{}_{a}$
14	$85,1\pm4,8^{a}{}_{a}$	$85,8\pm5,8^{a}{}_{a}$

Sütundaki farklı üst simge harfle belirtilen değerler istatistiksel fark göstermektedir ($p<0,05$).
Satırdaki farklı alt simge harfle belirtilen değerler istatistiksel fark göstermektedir ($p<0,05$).

Işık uygulanan örneklerin antioksidan aktivitesi, 5. günde ışık uygulanmayan örneklerin antioksidan aktivitesine kıyasla daha yüksek ölçülmüştür ve bu farklılık istatistiksel açıdan anlamlı bulunmuştur ($p<0,05$). Ancak depolama süresinin diğer günlerinde her iki grubun antioksidan aktivite değeri benzer seviyelerde seyretmiştir. Bu durum, fotoperiyodik ışık uygulamasının karanlıkta muhafazaya kıyasla antioksidan aktivitesini 5 güne kadar artırdığı şeklinde yorumlanmıştır.

Xu vd. (2014) tarafından yürütülen çalışmada, görünür ışık uygulamasının 5°C'de 12 gün boyunca depolanan çilek örnekleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Çalışma sonuçlarına göre, ışık uygulamasının çilek örneklerinin antioksidan etkisi olan antosiyanin miktarını 4. günden itibaren karanlığa kıyasla daha etkili bir şekilde artırdığı belirtilmiştir.

Arslan vd. (2021) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, 3,65 μmol m^{-2} s^{-1} şiddetinde yeşil ışığın, 42 gün boyunca 4°C'de depolanan domates örneklerinin toplam fenolik madde içeriğini ilk 7 gün artırdığı ve karanlığa kıyasla yüksek olduğu belirlenmiştir. Ancak, 7. günden sonra ışık uygulamasının bu etkiyi kaybettiği, her ne kadar tüm gruplara ait fenolik madde içeriği artarak devam etse de depolama süresinin sonunda karanlıkta muhafaza edilen domateslerin toplam fenolik içeriğinin en yüksek grup olduğu vurgulanmıştır.

Chalker-Scott ve Fuchigami (2018) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, ışık şiddetinin artması ile fenolik madde miktarı arasında pozitif bir ilişki bulunmuştur. Bu bağlamda, ışık uygulamasının brokoli örneklerinin antioksidan aktivitesini 5.

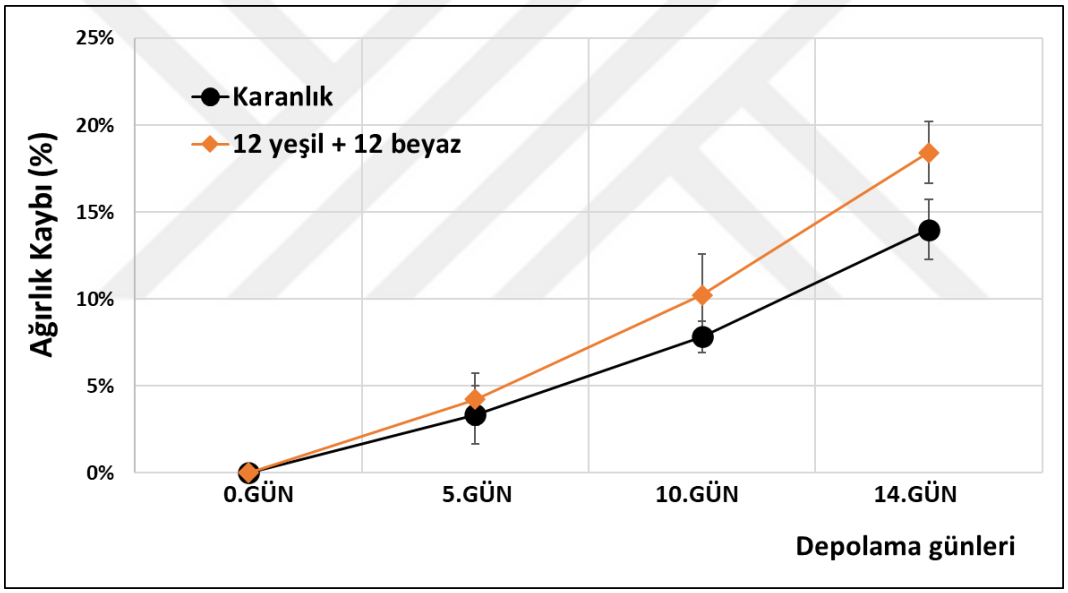
güne kadar daha etkili bir şekilde artırması ve sonrasında etkisini kaybetmesi, ışığın düşük şiddette uygulanmasının sonucu olabilir.

4.1.5 Ağırlık Kaybı

Fotoperiyodik ışık uygulanmış ve kontrol olarak depolanan brokolilere ait 14 günlük % ağırlık kaybı değişimi Şekil 4.6'da paylaşılmıştır.

Depolamam süresinin en sonunda kontrol örnekleri ve fotoperiyodik ışık uygulanan brokoli örneklerinin % ağırlık kayıpları sırasıyla %14,0 ve %18,4 olduğu kaydedilmiştir (Tablo 4.6).

Saklama süresi boyunca her iki grupta da meydana gelen ağırlık kaybının giderek arttığı fakat ışık uygulanmış örneklerin kontrol grubuna göre daha fazla ağırlık kaybettiği gözlemlenmiştir.



Şekil 4.6 12 saat yeşil + 12 saat beyaz ışık uygulanmış ve uygulanmamış brokoli ürünlerinin 14 günde meydana gelen % ağırlık kaybı değişimi

Tukey testi sonuçlarına göre; her iki grup için de tespit edilen % ağırlık kaybı, bir önceki analiz gününe kıyasla istatistiksel açıdan farklı bulunmuştur ($p<0,05$). Karanlıkta ve ışık altında saklanmış brokolilerin 5.ve 10.günlerdeki % ağırlık kaybı değişimleri arasındaki fark istatistiksel açıdan anlamlı bulunmasa da, 14.günde gruplar arasındaki fark anlamlı bulunmuştur ($p<0,05$).

Tablo 4.6 12 saat yeşil + 12 saat beyaz ışık uygulanmış ve uygulanmamış brokolilere ait % ağırlık kaybı sonuçlarının karşılaştırma testi sonuçları

Ağırlık Kaybı (%)		
Gün	**Kontrol (Karanlık)**	**12 Saat Yeşil + 12 Saat Beyaz Işık Uygulaması**
0	$0,0\pm0,0^{d}{}_{a}$	$0,0\pm0,0^{d}{}_{a}$
5	$3,4\pm1,7^{c}{}_{a}$	$4,2\pm1,5^{c}{}_{a}$
10	$7,8\pm0,9^{b}{}_{a}$	$10,2\pm2,3^{b}{}_{a}$
14	$14,0\pm1,7^{a}{}_{b}$	$18,4\pm1,8^{a}{}_{a}$

Sütundaki farklı üst simge harfle belirtilen değerler istatistiksel fark göstermektedir ($p<0,05$).
Satırdaki farklı alt simge harfle belirtilen değerler istatistiksel fark göstermektedir ($p<0,05$).

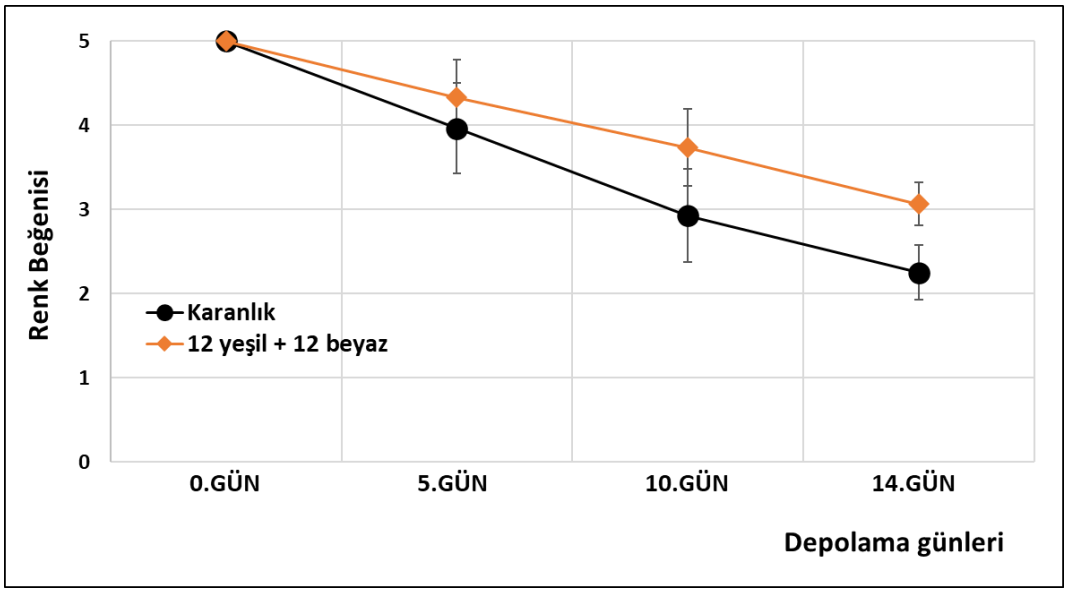
Zhan vd.(2012) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, 24 μmol m^{-2} s^{-1} şiddetinde beyaz ışık uygulanmış brokolilerde görülen ağırlık kaybının daha fazla olmasının nedeni olarak; ışık uygulamasında stomaların daha etkili bir şekilde açılması ve fotosentezin tetiklenmesiyle ağırlık kaybının artmış olabileceği yorumu yapılmıştır.

Önceki çalışmalarda; 10 μmol m^{-2} s^{-1} şiddetinde beyaz ışık uygulanmış Çin lahanası örneklerinin 7 günlük depolama süresi sonunda, karanlıkta muhafaza edilen örneklere kıyasla daha fazla ağırlık kaybettiği bildirilmiştir (Zhou vd., 2020).

4.1.6 Duyusal Özellikler

Fotoperiyodik ışık uygulanmış ve uygulanmamış brokoli örneklerine ait duyusal analizlerde panelistlerin renk beğenisi değişimi Şekil 4.7'de paylaşılmıştır.

Depolama süresinin sonunda ışık uygulanan örneklerin renk beğeni değerinin 3,07 iken karanlıkta muhafaza edilen örneklerin renk beğeni değerinin ise 2,25 olduğu görülmüştür (Tablo 4.7)



Şekil 4.7 12 saat yeşil + 12 saat beyaz ışık uygulanmış ve kontrol grubu brokoli ürünlerinin 14 gün boyunca renk beğeni değişimi

Örneklerin sararmasının artmasıyla, brokolilerin depolama süresince renk beğeni değerlerinin zamanla azaldığı görülmektedir. Işık uygulanan brokolilere ait renk beğeni değerlerindeki düşüşün karanlıkta muhafaza edilen örneklere kıyasla daha az olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 4.7 12 saat yeşil + 12 saat beyaz ışık uygulanmış ve uygulanmamış brokolilere ait renk beğeni değerlerinin karşılaştırma testi sonuçları

Renk Beğeni Değeri		
Gün	**Kontrol (Karanlık)**	**12 Saat Yeşil + 12 Saat Beyaz Işık Uygulaması**
0	$5,0\pm0,0^{a}{}_{a}$	$5,0\pm0,0^{a}{}_{a}$
5	$3,96\pm0,54^{b}{}_{a}$	$4,33\pm0,45^{b}{}_{a}$
10	$2,93\pm0,55^{c}{}_{b}$	$3,73\pm0,46^{c}{}_{a}$
14	$2,25\pm0,33^{d}{}_{b}$	$3,07\pm0,26^{d}{}_{a}$

Sütundaki farklı üst simge harfle belirtilen değerler istatistiksel fark göstermektedir ($p<0,05$).
Satırdaki farklı alt simge harfle belirtilen değerler istatistiksel fark göstermektedir ($p<0,05$).

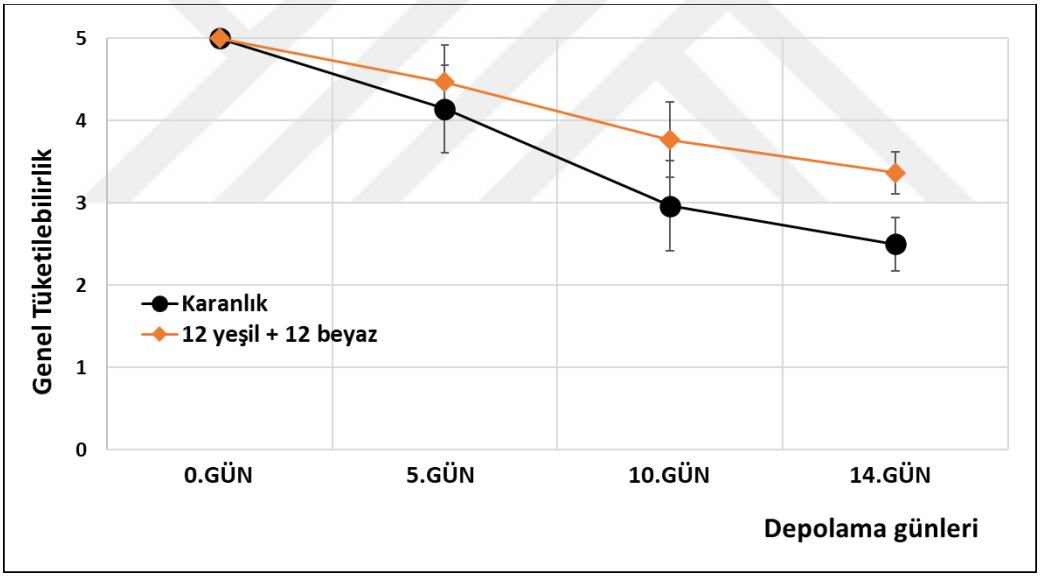
Saklama süresi boyunca ışık uygulanan örneklerin renk beğeni değeri, kontrol grubuna kıyasla daha yüksek belirlenmiştir. Tüm brokoli örneklerindeki renk beğeni değerlerindeki düşüş anlamlı olsa da Tukey testine göre; iki grup arasındaki oluşan fark 10.ve 14.günlerde anlamlı bulunmuştur ($p<0,05$).

Böylelikle panelistler tarafından belirlenen renk beğeni değerleri, 12 saat yeşil + 12 saat beyaz fotoperiyodik ışık uygulamasının brokolilerde meydana gelen sararmayı kontrol grubuna kıyasla yavaşlattığını göstermektedir.

Xie vd. (2022) tarafından yürütülen çalışmada, 40 µmol m^{-2} s^{-1} şiddetindeki yeşil ve beyaz ışık uygulamasının, 20°C'de 5 gün depolanan brokolilerde daha düşük L* ve daha yüksek -a/b değerine sebep olduğu raporlanmıştır.

Jin vd. (2015) yürüttüğü çalışmada 12 saat fotoperiyodik yeşil ışık uygulanmış brokoli örneklerinin, depolama süresi sonunda karanlıkta muhafaza edilen brokolilerden daha düşük L* ve daha yüksek H° değerine sahip olduğu belirtilmiştir.

Fotoperiyodik ışık uygulanmış ve uygulanmamış brokoli örneklerine yönelik duyusal analiz testlerinde, panelistlerin değerlendirdiği genel tüketilebilirlik sonuçlarındaki değişim Şekil 4.8'de verilmiştir.



Şekil 4.8 12 saat yeşil + 12 saat beyaz ışık uygulanmış ve kontrol grubu brokoli ürünlerinin 14 gün boyunca genel tüketilebilirlik değişimi

Brokoli örneklerinin genel tüketilebilirlik değeri, depolama süresi boyunca düşüş göstermiştir. Depolamanın son gününde ışık uygulanan örneklerin genel tüketilebilirlik değeri 3,37 iken karanlıkta muhafaza edilen örneklerin genel tüketilebilirlik değer ise 2,50 olarak belirlenmiştir (Tablo 4.8). Böylelikle ışık uygulaması, brokoli örneklerinin genel tüketilebilirliğinin 3 (sınırlı koşullarda tüketilebilirlik) değerinin altına düşmesini engellemiştir. Fakat karanlıkta

depolanan brokoli örneklerinin genel tüketilebilirlik değeri 10. gün itibarı ile sınırın altına düşmüş ve panelistler tarafından tüketilemez durumda olduğu belirtilmiştir.

Tablo 4.8 12 saat yeşil + 12 saat beyaz ışık uygulanmış ve uygulanmamış brokolilere ait genel tüketilebilirlik değerlerinin karşılaştırma testi sonuçları

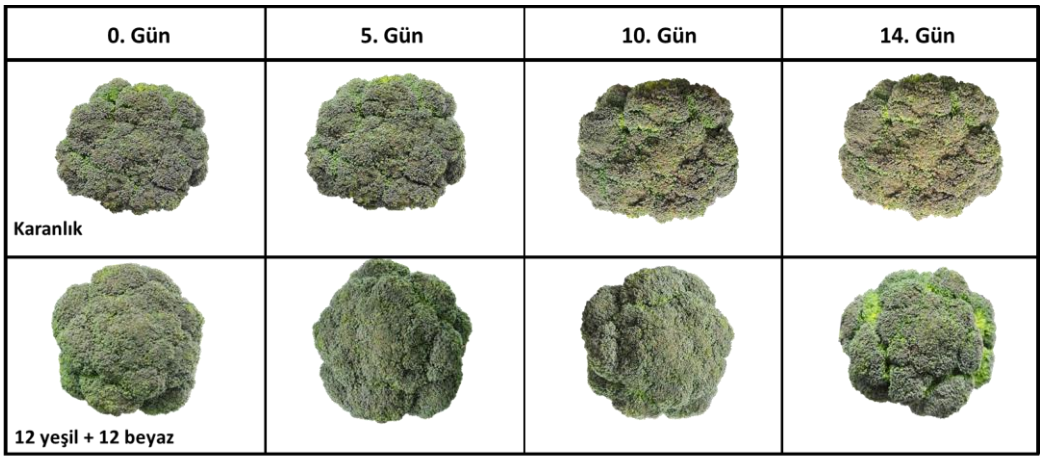
Genel Tüketilebilirlik		
Gün	**Kontrol (Karanlık)**	**12 Saat Yeşil + 12 Saat Beyaz Işık Uygulaması**
0	$5,0\pm0,0^{a}{}_{a}$	$5,0\pm0,0^{a}{}_{a}$
5	$4,14\pm0,60^{b}{}_{a}$	$4,47\pm0,61^{a}{}_{a}$
10	$2,96\pm0,63^{c}{}_{b}$	$3,77\pm0,75^{b}{}_{a}$
14	$2,50\pm0,39^{c}{}_{b}$	$3,37\pm0,55^{b}{}_{a}$

Sütundaki farklı üst simge harfle belirtilen değerler istatistiksel fark göstermektedir ($p<0,05$).
Satırdaki farklı alt simge harfle belirtilen değerler istatistiksel fark göstermektedir ($p<0,05$).

Çoklu karşılaştırma testi sonucunda; ışık uygulanan brokolilerin genel tüketilebiliriği 10.güne kadar duyusal kalitesini korumuş fakat karanlıkta muhafaza edilen brokolilerin genel tüketilebilirlik kalitesi 5.gün itibarı ile başlangıçtan düşük tespit edilmiş ve bu fark anlamlı bulunmuştur ($p<0,05$). Işık uygulanan örneklerin genel tüketilebilirlik değeri depolama süresince kontrol grubun kıyasla yüksek belirlenmiştir. Örnekler arasında oluşan bu fark 10.ve 14. günlerde anlamlı bulunmuştur ($p<0,05$).

Brokolilerde meydana gelen sararmalar ve büzüşmeler, örneklerde duyusal kalitenin azalmasına neden olmuştur. Işık uygulanan örneklerde klorofil miktarının daha iyi korunması sonucunda sararma daha az gerçekleşmiş, bu durum panelistlerin genel tüketilebilirlik değerlendirmelerine olumlu yansımış ve ışık uygulanan örneklerin tazeliğinin ve raf ömrünün korunmasında etkili olduğu görülmüştür.

Loi vd. (2019) tarafından yürütülen çalışmada, 4°C'de depolanan brokoli örneklerine 24 µmol m^{-2} s^{-1} şiddetinde yeşil ışık, 40 µmol m^{-2} s^{-1} şiddetinde beyaz ışık ayrı ayrı uygulanmış ve kontrol grubu (karanlık) ile kıyaslanmıştır. Ürünlerin tüketilebilirliği 5 üzerinden değerlendirilmiş olup, yeşil ve beyaz ışık uygulanan örneklerin sınır değere (3 puan) ulaşması 15 gün sürerken kontrol grubunun sınır değere ulaşmasının 10 gün sürdüğü rapor edilmiştir.



Şekil 4.9 Duyusal değerlendirme için kullanılan örneklerin depolama süresi boyunca görünümü

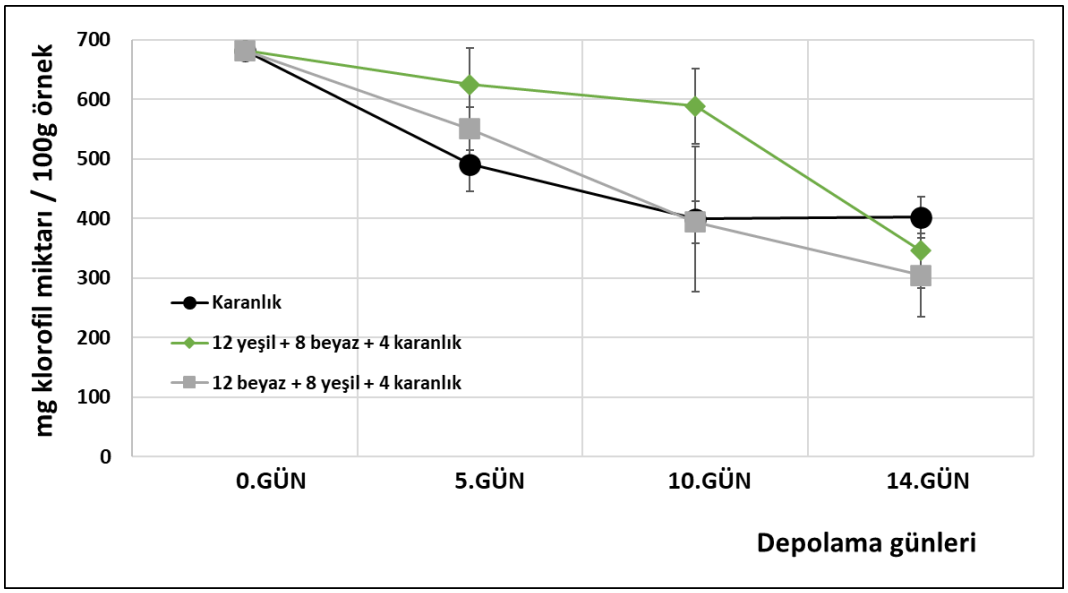
4.2 Farklı Fotoperiyodik Işık Uygulamasının Brokoli Üzerine Etkisinin İncelenmesi

4.2.1 Toplam Klorofil Miktarı

İki tekrarlı gerçekleştirilen toplam klorofil miktarı analizlerine ait sonuçlar 1.ve 2.tekrar şeklinde ayrı grafiklerde verilmiştir.

Brokoli örneklerinin ilk tekrarına ait toplam klorofil miktarı analizi çıktıları Şekil 4.10'da verilmektedir.

Üç koşul için de 682,2 mg/100g olan başlangıçtaki toplam klorofil miktarı seviyesi, 14 gün depolama süresinin sonunda yeşil ağırlık fotoperiyodik ışık uygulamalı örnekler için 345,8mg/100g, beyaz ağırlıklı fotoperiyodik ışık uygulamalı örnekler için 304,5 mg/100g ve kontrol grubu örnekleri için 401,9 mg/100g olarak ölçülmüştür (Tablo 4.9).



Şekil 4.10 Farklı fotoperiyodik döngülere sahip ışık uygulanmış ve kontrol grubu brokoli ürünlerinin 14 gün boyunca toplam klorofil miktarındaki ilk tekrara ait değişimi

Şekilde 4.10'da görüldüğü üzere toplam klorofil miktarı, depolama süresi boyunca üç koşul için de azalan bir trend göstermiştir. Yeşil ağırlıklı ışık uygulanan brokolilerin klorofil miktarı, depolama süresinin 10.gününe kadar kontrol grubuna kıyasla daha yüksek miktarda klorofil içermektedir. Beyaz ağırlıklı ışık uygulanan brokolilerin klorofil miktarı 10.güne kadar kontrol grubuna benzer şekilde seyretmiş fakat 14.günde en düşük klorofil miktarına sahip grup olarak tespit edilmiştir. Farklı fotoperiyodik döngülere sahip ışık uygulamalarının brokoli örneklerinin klorofil miktarına olan etkisi incelendiğinde; yeşil ağırlıklı ışık uygulamasının depolama süresi boyunca beyaz ağırlıklı ışık uygulamasına kıyasla brokolilerdeki klorofil miktarını daha etkili koruduğu ve depolama süresince daha yüksek klorofil miktarı ölçüldüğü görülmektedir.

Tablo 4. 9 Farklı fotoperiyodik döngülere sahip ışık uygulanan ve kontrol örneklerine ilk tekrarına ait toplam klorofil miktarı ortalamalarının Tukey testi karşılaştırma sonuçları

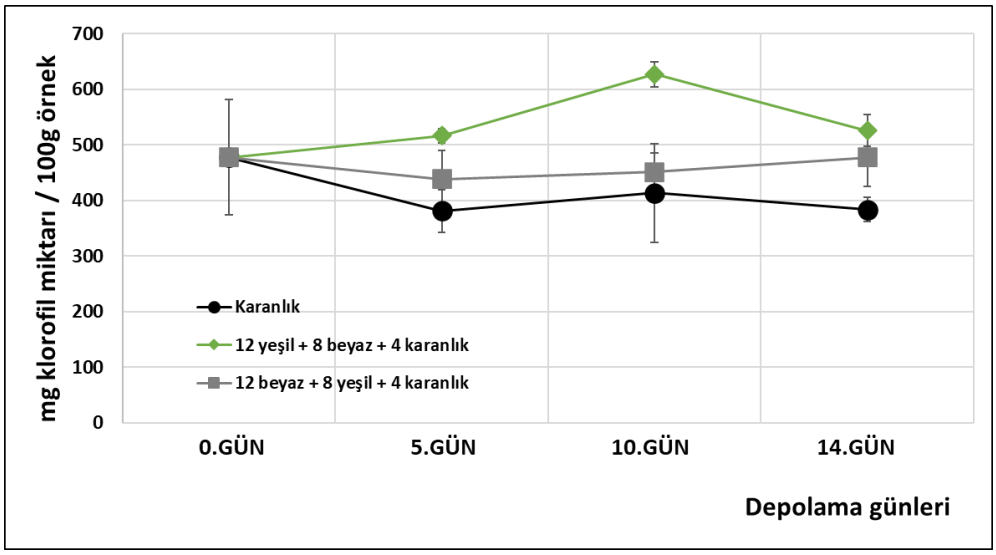
Toplam Klorofil Miktarı (Kuru Baz) (mg/100g)			
Gün	**Kontrol (Karanlık)**	**12 Saat Yeşil + 8 Saat Beyaz + 4 Saat Karanlık Uygulaması**	**12 Saat Beyaz + 8 Saat Yeşil + 4 Saat Karanlık Uygulaması**
0	$682,2\pm7,3^{a}{}_{a}$	$682,2\pm7,3^{a}{}_{a}$	$682,2\pm7,3^{a}{}_{a}$
5	$490,9\pm44,9^{b}{}_{b}$	$625,1\pm60,4^{ab}{}_{a}$	$550,7\pm36,6^{b}{}_{b}$
10	$399,1\pm122,1^{b}{}_{b}$	$588,4\pm63,7^{b}{}_{a}$	$393,9\pm35,3^{c}{}_{b}$
14	$401,9\pm34,7^{b}{}_{a}$	$345,8\pm63,4^{c}{}_{ab}$	$304,5\pm70,0^{c}{}_{b}$

Sütundaki farklı üst simge harfle belirtilen değerler istatistiksel fark göstermektedir ($p<0,05$).
Satırdaki farklı alt simge harfle belirtilen değerler istatistiksel fark göstermektedir ($p<0,05$).

Tukey testin göre; bütün brokoli örneklerinin klorofil miktarında meydana gelen değişim istatistiksel açıdan anlamlı bulunmuştur. Ancak yeşil ağırlıklı ışık uygulanmış örneklerin toplam klorofil miktarı 5.ve 10.günlerde kontrol grubuna ve beyaz ağırlık ışık grubuna kıyasla yüksek seviyede tespit edilmiş olup, koşullar arasında oluşan fark istatistiksel olarak anlamlı tespit edilmiştir ($p<0,05$). Bu durum, yeşil ağırlıklı ışık uygulamasının, toplam klorofil miktarını karanlığa ve beyaz ağırlıklı ışık uygulamasına kıyasla 10.güne kadar daha iyi koruduğu şeklinde yorumlanmıştır.

Beyaz ağırlıklı ışık uygulanan ve karanlıkta muhafaza edilen örneklerin klorofil miktarı, 5.ve 10.günlerde benzer seviyede ölçülmüş ve gruplar arasında istatistiksel açıdan fark tespit edilmemiştir ($p<0,05$). Ancak depolama süresinin sonunda karanlıkta muhafaza edilen örneklerin klorofil miktarı, beyaz ağırlıklı ışık uygulanan örneklerden daha yüksek ölçülmüş ve tespit edilen fark anlamlı bulunmuştur ($p<0,05$).

Brokoli örneklerinin ikinci tekrarına ait toplam klorofil miktarı analizi çıktıları Şekil 4.11'de verilmektedir. Üç koşul için 477,4 mg/100g olan başlangıçtaki toplam klorofil miktarı, 14 gün depolama süresinin sonunda yeşil ağırlık ışık uygulanan örnekler için 525,5 mg/100g, beyaz ağırlıklı ışık uygulanan örnekler için 477,5 mg/100g ve kontrol grubu örnekleri için 383,9 mg/100g olarak ölçülmüştür (Tablo 4.10).



Şekil 4.11 Farklı fotoperiyodik döngülere sahip ışık uygulanmış ve kontrol grubu brokoli ürünlerinin 14 gün boyunca toplam klorofil miktarındaki ikinci tekrara ait değişimi

Şekil 4.10'da görüldüğü üzere yeşil ağırlıklı ışık uygulanan örneklerin toplam klorofil miktarı depolama süresi sonunda başlangıç miktarına kıyasla daha yüksek ölçülmüş ve 10.günde en yüksek noktaya ulaşmıştır. Beyaz ağırlıklı ışık uygulanan örneklerin klorofil miktarı depolama süresince korunarak önemli ölçüde değişiklik göstermemiştir. Karanlıkta muhafaza edilen örneklerin klorofil miktarı ise depolama sonunda başlangıçtan biraz düşük seviyede ölçülmüştür.

Tablo 4.10 Farklı fotoperiyodik döngülere sahip ışık uygulanan ve kontrol örneklerine ikinci tekrarına ait toplam klorofil miktarı ortalamalarının Tukey testi karşılaştırma sonuçları

Toplam Klorofil Miktarı (Kuru Baz) (mg/100g)			
Gün	**Kontrol (Karanlık)**	**12 Saat Yeşil + 8 Saat Beyaz + 4 Saat Karanlık Uygulaması**	**12 Saat Beyaz + 8 Saat Yeşil + 4 Saat Karanlık Uygulaması**
0	$477,4\pm 103,9^{a}{}_{a}$	$477,4\pm 103,9^{b}{}_{a}$	$477,4\pm 103,9^{a}{}_{a}$
5	$381,1\pm 38,8^{a}{}_{c}$	$516,8\pm 12,8^{b}{}_{a}$	$438,0\pm 51,5^{a}{}_{b}$
10	$413,5\pm 88,4^{a}{}_{b}$	$627,2\pm 22,76^{a}{}_{a}$	$451,4\pm 34,3^{a}{}_{b}$
14	$383,9\pm 21,9^{a}{}_{b}$	$525,5\pm 28,6^{b}{}_{a}$	$477,5\pm 52,3^{a}{}_{a}$

Sütundaki farklı üst simge harfle belirtilen değerler istatistiksel fark göstermektedir ($p<0,05$).

Satırdaki farklı alt simge harfle belirtilen değerler istatistiksel fark göstermektedir ($p<0,05$).

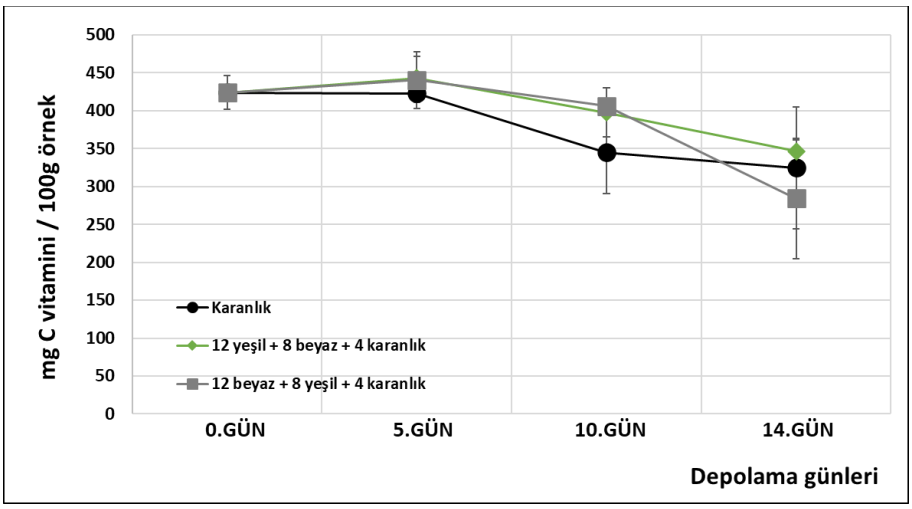
Çoklu karşılaştırma testi sonucunda; yeşil ağırlık ışık uygulanan brokolilerin klorofil miktarı depolama süresince beyaz ağırlık gruptan daha yüksek seviyede ölçülmüş, 5.ve 10. günlerde tespit edilen fark istatistiksel açıdan anlamlı bulunmuştur ($p<0,05$). Benzer şekilde yeşil ağırlıklı ışık uygulanan örneklerin klorofil miktarı depolama süresi boyunca kontrol grubuna kıyasla daha yüksek seviyede ölçülmüş ve oluşan fark tüm günlerde anlamlı bulunmuştur ($p<0,05$).

Beyaz ağırlıklı ışık uygulanan örneklerin klorofil miktarı, karanlıkta muhafaza edilen örneklere kıyasla depolama süresince daha yüksek ölçülmüştür. 5.ve 14. günlerde oluşan farklar istatistiksel açıdan anlamlı tespit edilmiştir. ($p<0,05$).

Beyaz ağırlıklı ışık uygulanan ve karanlıkta muhafaza edilen örneklerin klorofil miktarı depolama süresince anlamlı değişiklik göstermemiştir ($p<0,05$), yeşil ağırlık ışık uygulanan örneklerin klorofil miktarı ise 10. günde en yüksek noktaya ulaşmış ve meydana gelen bu değişim anlamlı bulunmuştur ($p<0,05$).

4.2.2 C Vitamini İçeriği

2 farklı fotoperiyodik ışık uygulanmış ve kontrol olarak depolanan brokoli örneklerine ait 14 günlük C vitamini miktarı değişimi sonuçları Şekil 4.12'de paylaşılmıştır. Üç grup için 423,9 mg/100g olan başlangıç C vitamini miktarı, 14 gün depolama süresinin sonunda yeşil ağırlıklı fotoperiyodik ışık uygulamalı örnekler için 346,6 mg/100g, beyaz ağırlıklı fotoperiyodik ışık uygulamalı örnekler için 284,2 mg/100g ve kontrol grubu örnekleri için 324,8 mg/100g olarak ölçülmüştür (Tablo 4.11).



Şekil 4.12 Farklı fotoperiyodik döngülere sahip ışık uygulanmış ve uygulanmamış brokolilerin 14 gün boyunca Vitamin C seviyesinde meydana gelen değişimi

Depolama süresi boyunca, fotoperiyodik ışık uygulanmış örneklere ait C vitamini miktarı 5. günde artış göstermiş, ancak bu artış istatistiksel açıdan anlamlı bulunmamıştır ($p<0,05$). Onuncu günde, bu gruplara ait C vitamini miktarı düşüş yaşamaya başlamıştır, ancak beyaz ağırlık ışık uygulanan örneklere ait düşüş istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır ($p<0,05$). Depolama süresinin son gününde, yeşil ağırlıklı ışık uygulanmış örneklerin C vitamini değeri azalmaya devam etmiş, ayrıca beyaz ağırlıklı ışık uygulanan örneklerin C vitamini miktarı 14. günde %30 oranında ciddi bir düşüş göstermiştir ($p<0,05$).

Karanlıkta muhafaza edilen kontrol grubu örneklerinin C vitamini miktarı, depolama süresi boyunca azalan bir trend göstermiş ve bu azalış, 10.günden itibaren istatistiksel olarak anlam kazanmıştır.

Tablo 4.11 Farklı fotoperiyodik döngülere sahip ışık uygulanmış ve uygulanmamış brokolilere ait C vitamini değerlerinin karşılaştırma testi sonuçları

C Vitamini Miktarı (Kuru Baz) (mg/100g)			
Gün	**Kontrol (Karanlık)**	**12 Saat Yeşil + 8 Saat Beyaz + 4 Saat Karanlık Uygulaması**	**12 Saat Beyaz + 8 Saat Yeşil + 4 Saat Karanlık Uygulaması**
0	$423,9\pm22,3^{a}{}_{a}$	$423,9\pm22,3^{a}{}_{a}$	$423,9\pm22,3^{a}{}_{a}$
5	$422,7\pm12,0^{a}{}_{b}$	$443,2\pm29,1^{a}{}_{a}$	$440,4\pm37,3^{a}{}_{a}$
10	$344,9\pm53,8^{b}{}_{b}$	$397,8\pm32,6^{b}{}_{a}$	$406,2\pm9,5^{a}{}_{a}$
14	$324,8\pm80,3^{b}{}_{a}$	$346,6\pm14,5^{c}{}_{a}$	$284,2\pm79,8^{b}{}_{a}$

Sütundaki farklı üst simge harfle belirtilen değerler istatistiksel fark göstermektedir ($p<0,05$).

Satırdaki farklı alt simge harfle belirtilen değerler istatistiksel fark göstermektedir ($p<0,05$).

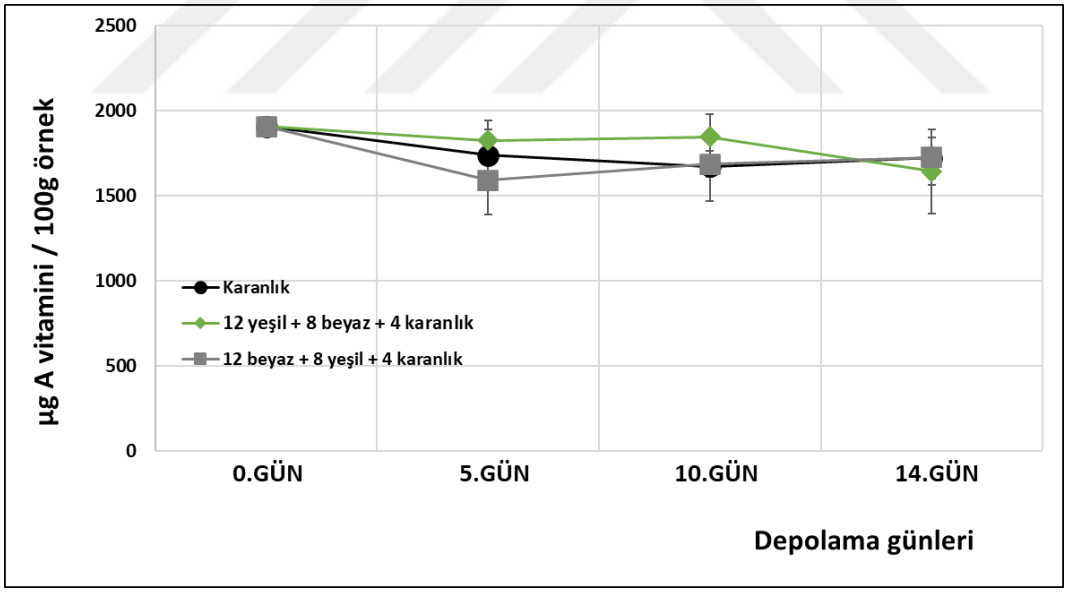
Yeşil ağırlıklı ışık uygulanan örneklerin C vitamini miktarı depolama süresi boyunca kontrol grubu örneklerinden daha yüksek ölçülmüştür. 5.ve 10.günlerde iki grup arasından tespit edilen fark istatistiksel açıdan anlamlı bulunurken, depolamanın son gününde fark anlamlı bulunmamıştır. ($p<0,05$). Benzer şekilde beyaz ağırlıklı ışık uygulanan brokolilerin C vitamini miktarı 10 gün boyunca kontrol grubuna kıyasla daha yüksek tespit edilmiş ve aradaki fark istatistiksel açıdan anlamlı bulunmuştur. Depolama süresinin son gününde beyaz ağırlık ışık uygulanan örneklerin C vitamini miktarı kontrol grubundan düşük tespit edilse de bu fark istatistiksel açıdan anlamlı değildir ($p<0,05$).

Yeşil ağırlıklı ışık uygulanmış brokoli örneklerinin C vitamini miktarı 10.güne kadar beyaz ağırlıklı ışık uygulanmış örneklerin C vitamini miktarına benzer ölçülmüş ve arada fark tespit edilmemiştir. Fakat depolamanın sonunda yeşil ağırlıklı grubun C vitamini miktarı beyaz ağırlıklı grubun vitamin miktarından daha fazla ölçülmüştür. Ancak bu fark istatistiksel açıdan anlamlı bulunmamıştır ($p<0,05$).

4.2.3 A Vitamini İçeriği

Farklı fotoperiyodik ışık uygulanmış ve kontrol olarak depolanan brokoli örneklerinde 14 günde meydana gelen A vitamini miktarındaki değişim Şekil 4.13'te paylaşılmıştır.

Tüm gruplar için 1908,2 µg/100g olan başlangıç A vitamini miktarı 14 günlük depolama süresi sonunda yeşil ağırlık fotoperiyodik ışık uygulamalı örnekler için 1772,6 µg/100g, beyaz ağırlıklı fotoperiyodik ışık uygulamalı örnekler için 1726,2 µg/100g ve kontrol grubu örnekleri için 1643 µg/100g olarak ölçülmüştür (Tablo 4.12).



Şekil 4.13 Farklı fotoperiyodik döngülere sahip ışık uygulanmış ve uygulanmamış brokoli ürünlerinin 14 günde meydana gelen A vitamini değişimi

Depolama süresinin sonunda tüm gruplardaki A vitamini miktarı düşüş göstermiştir ve 14 günün sonundaki bu düşüş istatistiksel açıdan anlamlı bulunmuştur ($p<0,05$). Fakat yeşil ağırlıklı ışık uygulanmış örneklerin A vitamini miktarı 14. Güne kadar başlangıçta sahip olduğu seviyeyi korumuşken, beyaz ağırlıklı ışık uygulanmış ve

kontrol grubu örneklerinin 5.günden itibaren A vitamini miktarında anlamlı bir düşüş gözlemlenmiştir ($p<0,05$).

Elde edilen sonuçlar, yeşil ağırlıklı fotoperiyodik ışık uygulamasının, beyaz ağırlıklı fotoperiyodik ışık uygulaması ve karanlıkta muhafaza işlemine kıyasla brokoli örneklerinin A vitamini seviyesini daha etkili bir şekilde koruduğunu göstermektedir.

Tablo 4.12 Farklı fotoperiyodik döngülere sahip ışık uygulanmış ve kontrol grubu örneklerine ait A vitamini miktarlarının Tukey testi sonuçları

A Vitamini Miktarı (Kuru Baz) (µg/100g)			
Gün	**Kontrol (Karanlık)**	**12 Saat Yeşil + 8 Saat Beyaz + 4 Saat Karanlık Uygulaması**	**12 Saat Beyaz + 8 Saat Yeşil + 4 Saat Karanlık Uygulaması**
0	$1908,2\pm57,1^{a}{}_{a}$	$1908,2\pm57,1^{a}{}_{a}$	$1908,2\pm57,1^{a}{}_{a}$
5	$1738,8\pm149,3^{b}{}_{ab}$	$1827\pm118,2^{a}{}_{a}$	$1591,6\pm203,8^{b}{}_{b}$
10	$1672,9\pm201,7^{b}{}_{b}$	$1848,4\pm132,5^{a}{}_{a}$	$1685,4\pm76,6^{b}{}_{b}$
14	$1722,6\pm121,8^{b}{}_{a}$	$1643\pm248,4^{b}{}_{a}$	$1726,2\pm164,5^{b}{}_{a}$

Sütundaki farklı üst simge harfle belirtilen değerler istatistiksel fark göstermektedir ($p<0,05$).

Satırdaki farklı alt simge harfle belirtilen değerler istatistiksel fark göstermektedir ($p<0,05$).

Yeşil ağırlıklı ışık uygulanmış örneklerin A vitamini miktarı 5.ve 10.günlerde beyaz ağırlıklı ışık uygulanan ve karanlıkta muhafaza edilen örneklerin A vitamini seviyesinden daha yüksek miktarda ölçülmüştür ve bu günlerdeki farklar istatistiksel açıdan anlamlı bulunmuştur ($p<0,05$).

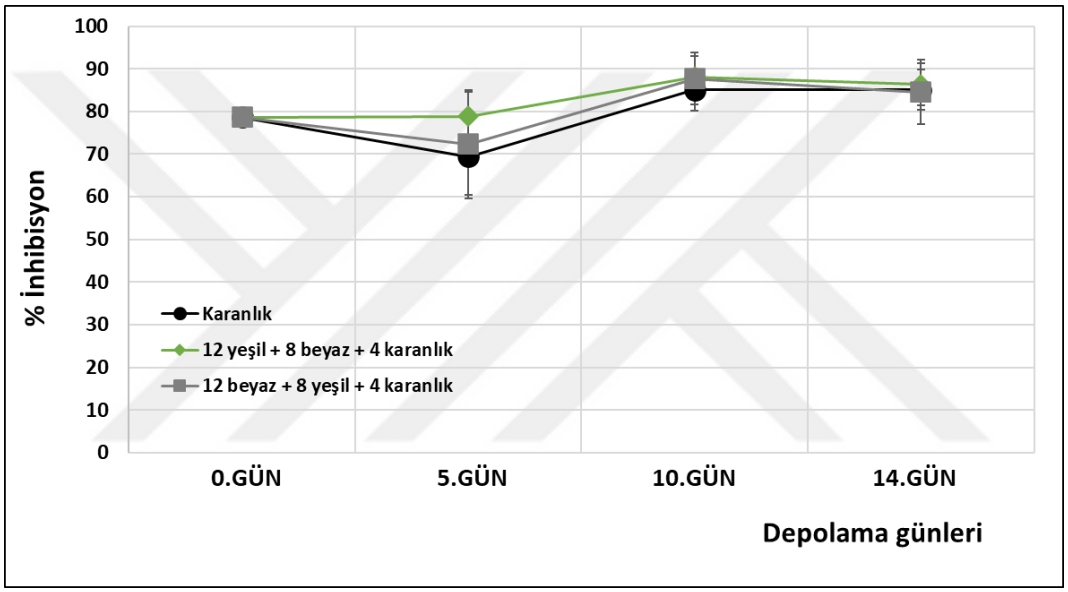
Fakat beyaz ağırlıklı ışık uygulamasının, karanlıkta muhafazaya kıyasla önemli bir etki oluşturmadığı ve depolama süresi boyunca iki grup arasında anlamlı bir fark oluşmadığı gözlemlenmiştir ($p<0,05$).

Yeşil ağırlıklı fotoperiyodik ışık uygulamasında örneklerin beyaz ışığa maruziyeti daha azdır. Yeşil ışığın şiddetinin beyaz ışığın şiddetinden düşük olduğu göz önünde bulundurulunca, ışık uygulamalı örnekler arasında oluşan farkın bu sebeple olabileceği düşünülmektedir.

4.2.4 Antioksidan Aktivitesi (% İnhibisyon)

Farklı fotoperiyodik ışık uygulanmış ve kontrol olarak depolanan brokoli örneklerinin 14 günlük % inhibisyon miktarı değişimi sonuçları Şekil 4.14'te paylaşılmıştır.

Işık uygulanmış ve uygulanmamış brokoli örneklerinin başlangıç anındaki DPPH radikalini inhibe etme aktivitesi %78,6 iken, 14 günlük depolama süresinin sonunda yeşil ağırlıklı ışık uygulanmış örnekler için %86,3, beyaz ağırlık ışık uygulanmış örnekler için %84,6 ve karanlıkta muhafaza edilen örnekler için de %85,1 olarak ölçülmüştür (Tablo 4.13).



Şekil 4.14 Farklı fotoperiyodik döngülere sahip ışık uygulanmış ve uygulanmamış brokoli ürünlerinin 14 günlük % İnhibisyon miktarı değişimi

Depolama süresinin sonunda tüm gruplardaki örneklerin antioksidan aktivitesi başlangıca kıyasla daha yüksek ölçülmüştür ve meydana gelen artış istatistiksel açıdan anlamlı saptanmıştır ($p<0,05$).

Depolama süresince yeşil ağırlıklı ışık uygulanmış örneklerin antioksidan aktivitesi beyaz ışık uygulanan ve karanlıkta muhafaza edilen örneklerinden antioksidan aktivitesinden daha yüksek ölçülmüştür. Fakat depolama günlerinde oluşan bu farklılıklar istatistiksel açıdan anlamlı bulunmamıştır ($p<0,05$).

Farklı brokoli dokularından alınan örneklerin, sonuçlarda meydana gelen saçınıklığın sebebi olduğu düşünülmektedir.

Tablo 4.13 Farklı fotoperiyodik döngülere sahip ışık uygulanmış ve kontrol grubu örneklerine ait % İnhibisyon değerlerinin Tukey testi sonuçları

Antioksidan Aktivitesi (% İnhibisyon)			
Gün	**Kontrol (Karanlık)**	**12 Saat Yeşil + 8 Saat Beyaz + 4 Saat Karanlık Uygulaması**	**12 Saat Beyaz + 8 Saat Yeşil + 4 Saat Karanlık Uygulaması**
0	$78,6\pm0,6^{b}{}_{a}$	$78,6\pm0,6^{b}{}_{a}$	$78,6\pm0,6^{bc}{}_{a}$
5	$69,5\pm9,1^{c}{}_{a}$	$78,9\pm5,6^{b}{}_{a}$	$72,3\pm12,8^{c}{}_{a}$
10	$85,1\pm4,8^{a}{}_{a}$	$88,1\pm4,8^{a}{}_{a}$	$87,7\pm6,1^{a}{}_{a}$
14	$85,1\pm4,8^{a}{}_{a}$	$86,3\pm4,9^{a}{}_{a}$	$84,6\pm7,5^{ab}{}_{a}$

Sütundaki farklı üst simge harfle belirtilen değerler istatistiksel fark göstermektedir ($p<0,05$).
Satırdaki farklı alt simge harfle belirtilen değerler istatistiksel fark göstermektedir ($p<0,05$).

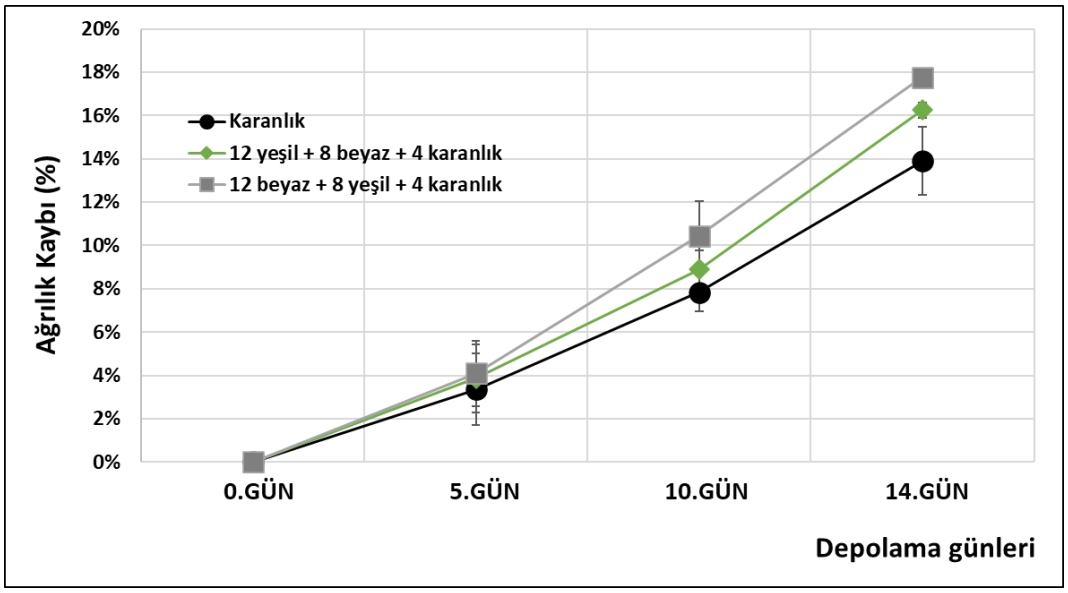
Fotoperiyodik ışık uygulaması gerçekleştirilen iki gruba ait brokolilerin antioksidan aktiviteleri anlamlı bir düşüş yaşamazken, karanlıkta muhafaza edilen örneklerin antioksidan aktivitesi 5.günde anlamlı bir düşüş yaşamıştır ($p<0,05$).

Arslan vd. (2021) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, 3,65 μmol m^{-2} s^{-1} şiddetinde yeşil ışığın, 42 gün boyunca 4°C'de depolanan domates örneklerinin toplam fenolik madde içeriğini ilk 7 gün artırdığı ve karanlığa kıyasla yüksek olduğu belirlenmiştir. Ancak, 7. günden sonra ışık uygulamasının bu etkiyi kaybettiği, her ne kadar tüm gruplara ait fenolik madde içeriği artarak devam etse de depolama süresinin sonunda karanlıkta muhafaza edilen domateslerin toplam fenolik içeriğinin en yüksek grup olduğu vurgulanmıştır.

4.2.5 Ağırlık Kaybı

Farklı fotoperiyodik ışık uygulanmış ve kontrol olarak depolanan brokoli örneklerinin 14 günlük % ağırlık kaybı değişimi Şekil 4.15'te paylaşılmıştır.

Saklama süresinin son gününde kontrol grubu, yeşil ağırlıklı ve beyaz ağırlıklı fotoperiyodik ışık uygulanmış brokolilerin yaşadığı % ağırlık kaybı sırasıyla %14,0, %16,3 ve %17,8 olarak tespit edilmiştir (Tablo 4.14).



Şekil 4.15 Farklı fotoperiyodik döngülere sahip ışık uygulanmış ve uygulanmamış brokoli ürünlerinin 14 günlük % ağırlık kaybı değişimi

Depolama süresi boyunca tüm brokoli örneklerinde meydana gelen ağırlık kaybı miktarı artış göstermiştir.

Tukey testi sonuçlarına göre; tüm gruplarda meydana gelen her gündeki artış anlamlı bulunmuştur ($p<0,05$). Beyaz ağırlıklı grup depolama süresi boyunca en yüksek ağırlık kaybına sahip grup olmuştur fakat gruplar arasındaki fark sadece 14.günde anlamlı bulunmuştur. Yeşil ağırlıklı grup ise depolama sonunda en fazla ağırlık kaybı yaşayan ikinci olurken karanlıkta muhafaza edilen örneklerle arasında oluşan fark anlamlı tespit edilmiştir. ($p<0,05$).

Zhan vd.(2012) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, 24 µmol m^{-2} s^{-1} şiddetinde beyaz ışık uygulanmış brokolilerde görülen ağırlık kaybının daha fazla olmasının nedeni olarak; ışık uygulamasında stomaların daha etkili bir şekilde açılması ve fotosentezin tetiklenmesiyle ağırlık kaybının artmış olabileceği yorumu yapılmıştır.

Önceki çalışmalarda; 10 µmol m^{-2} s^{-1} şiddetinde beyaz ışık uygulanmış Çin lahanası örneklerinin 7 günlük depolama süresi sonunda, karanlıkta muhafaza edilen örneklere kıyasla daha fazla ağırlık kaybettiği bildirilmiştir (Zhou vd., 2020).

Tablo 4.14 Farklı fotoperiyodik döngülere sahip ışık uygulanmış ve kontrol grubu brokolilerinin % ağırlık kaybı değerlerinin karşılaştırma testi sonuçları

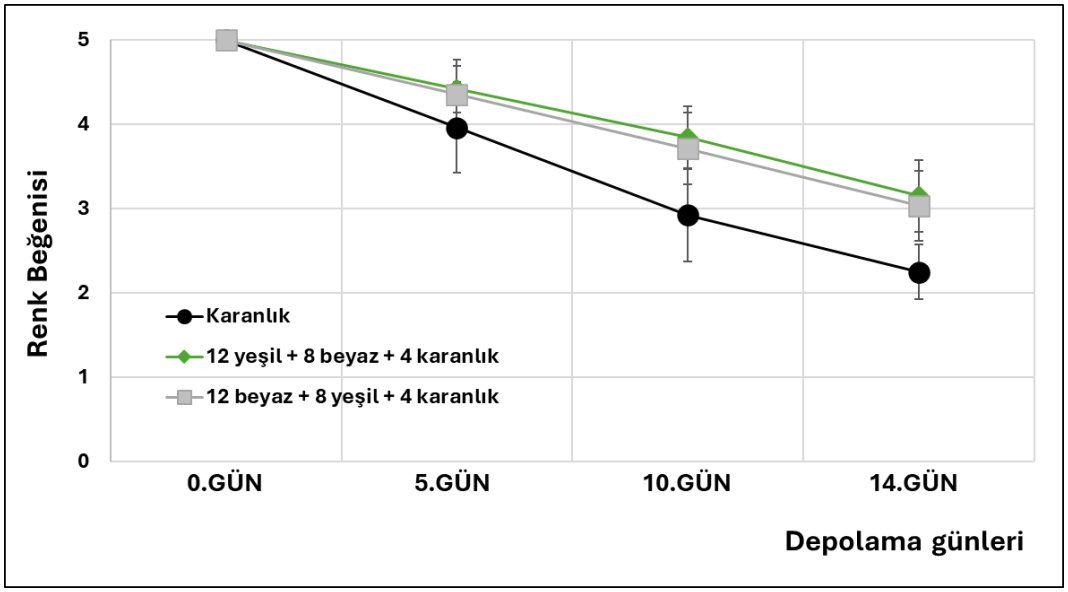
Ağırlık Kaybı (%)			
Gün	**Kontrol (Karanlık)**	**12 Saat Yeşil + 8 Saat Beyaz + 4 Saat Karanlık Uygulaması**	**12 Saat Beyaz + 8 Saat Yeşil + 4 Saat Karanlık Uygulaması**
0	$0,0\pm0,0^{d}{}_{a}$	$0,0\pm0,0^{d}{}_{a}$	$0,0\pm0,0^{d}{}_{a}$
5	$3,4\pm1,7^{c}{}_{a}$	$3,9\pm1,6^{c}{}_{a}$	$4,1\pm1,5^{c}{}_{a}$
10	$7,8\pm0,9^{b}{}_{a}$	$8,9\pm0,9^{b}{}_{a}$	$10,4\pm1,6^{b}{}_{a}$
14	$14,0\pm1,6^{a}{}_{c}$	$16,3\pm0,4^{a}{}_{b}$	$17,8\pm0,4^{a}{}_{a}$

Sütundaki farklı üst simge harfle belirtilen değerler istatistiksel fark göstermektedir ($p<0,05$).
Satırdaki farklı alt simge harfle belirtilen değerler istatistiksel fark göstermektedir ($p<0,05$).

Işık şiddetinin ve uygulama süresinin örneklerde meydana gelen ağırlık kaybını artırdığı görülmektedir. Beyaz ağırlıklı ve yeşil ağırlıklı ışık uygulamasının maruziyet süreleri aynı olsa da beyaz ışık şiddetinin daha yüksek olması, beyaz ağırlıklı ışık uygulanan örneklerdeki yüksek ağırlıklı kaybını açıklamaktadır.

4.2.6 Duyusal Özellikler

Farklı fotoperiyodik ışık uygulanmış ve uygulanmamış brokoli örneklerine ait duyusal analizlerde panelistlerin renk beğenisi değişimi 4.16'da paylaşılmıştır.



Şekil 4.16 Farklı fotoperiyodik ışık uygulanmış ve uygulanmamış brokoli ürünlerinin 14 günlük renk beğeni değişimi

Depolama süresi boyunca tüm gruplardaki brokolilere ait renk beğeni değeri azalmaktadır (Tablo 4.15) ve meydana gelen bu değişim istatistiksel olarak anlamlı tespit edilmiştir ($p<0,05$).

Tablo 4.15 Farklı fotoperiyodik ışık uygulanmış ve uygulanmamış brokolilere ait renk beğeni değerlerinin karşılaştırma testi sonuçları

Renk Beğeni Değeri			
Gün	**Kontrol (Karanlık)**	**12 Saat Yeşil + 8 Saat Beyaz + 4 Saat Karanlık Uygulaması**	**12 Saat Beyaz + 8 Saat Yeşil + 4 Saat Karanlık Uygulaması**
0	$5,0\pm0,0^{a}{}_{a}$	$5,0\pm0,0^{a}{}_{a}$	$0,0\pm0,0^{a}{}_{a}$
5	$4,14\pm0,60^{b}{}_{a}$	$4,42\pm0,28^{b}{}_{a}$	$4,36\pm0,41^{b}{}_{a}$
10	$2,96\pm0,63^{c}{}_{b}$	$3,85\pm0,38^{c}{}_{a}$	$3,71\pm0,43^{c}{}_{a}$
14	$2,50\pm0,39^{c}{}_{b}$	$3,15\pm0,43^{d}{}_{a}$	$3,04\pm0,41^{d}{}_{a}$

Sütundaki farklı üst simge harfle belirtilen değerler istatistiksel fark göstermektedir ($p<0,05$).
Satırdaki farklı alt simge harfle belirtilen değerler istatistiksel fark göstermektedir ($p<0,05$).

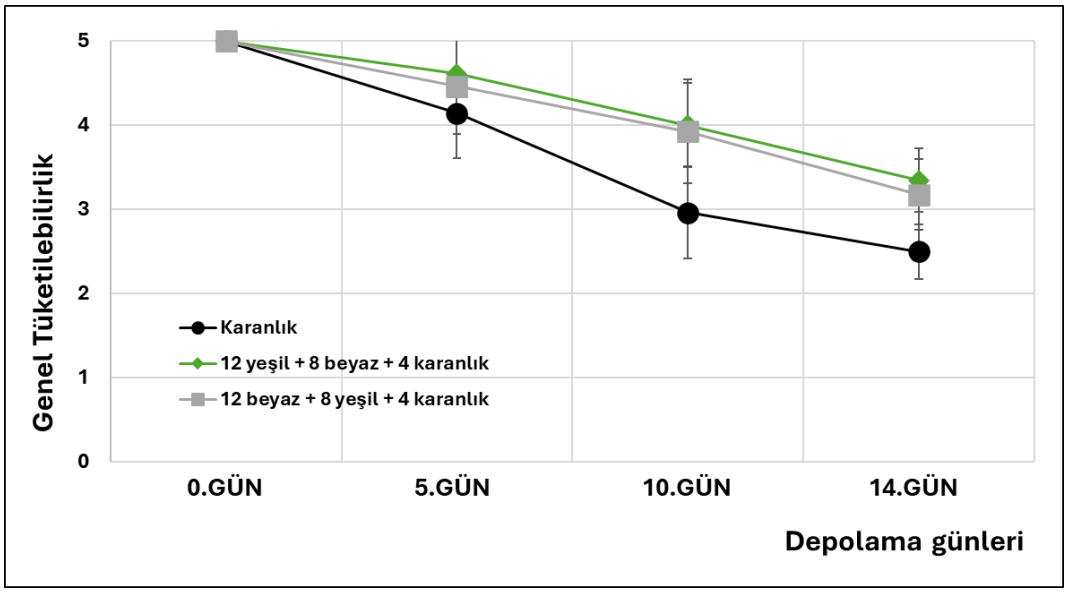
Yeşil ve beyaz ağırlıklı fotoperiyodik ışık uygulanan örneklerin renk beğeni değeri, karanlıkta muhafaza edilen örneklere kıyasla her gün daha yüksek belirlenmiş ve gruplar arasında oluşan bu fark anlamlı bulunmuştur ($p<0,05$).

Yeşil ışık uygulanan örneklerin renk beğeni değeri depolama süresine beyaz ağırlıklı ışık uygulanan örneklerinkinden yüksek olsa da gruplar arasındaki fark anlamlı bulunmamıştır. ($p<0,05$).

Xie vd. (2022) tarafından yürütülen çalışmada, 40 µmol m^{-2} s^{-1} şiddetindeki yeşil ve beyaz ışık uygulamasının, 20°C'de 5 gün depolanan brokolilerde daha düşük L* ve daha yüksek -a/b değerine sebep olduğu raporlanmıştır. Her iki ışık uygulanan grupların L* ve -a/b değerleri arasında bir fark tespit edilmediği de belirtilmiştir.

Büchert vd. (2011) yürüttüğü çalışmada brokoli örneklerine 16 saat, 25 µmol m^{-2} s^{-1} fotoperiyodik beyaz ışık uygulanmış ve 5 günlük depolama süresinin sonunda, ışık uygulanan örneklerdeki L* değerinin daha düşük ölçüldüğü bildirilmiştir.

Farklı fotoperiyodik ışık uygulanmış ve uygulanmamış brokoli örneklerine ait duyusal değerlendirmelerde, panelistlerin genel tüketilebilirlik puanlarındaki değişimi Şekil 4.17'de verilmektedir.



Şekil 4.17 Farklı fotoperiyodik ışık uygulanmış ve kontrol grubu brokoli ürünlerinin 14 gün boyunca genel tüketilebilirlik değişimi

Brokoli örneklerinin genel tüketilebilirlik değeri, depolama süresi boyunca düşüş göstermiştir. Depolamanın son gününde yeşil ağırlıklı ışık uygulanan örneklerin genel tüketilebilirlik değeri 3,35, beyaz ağırlıklı örneklerin 3,18 ve karanlıkta muhafaza edilen örneklerin genel tüketilebilirlik değer ise 2,50 olarak belirlenmiştir (Tablo 4.16). Böylelikle farklı fotoperiyodik ışık uygulamaları, brokoli örneklerinin genel tüketilebilirliğinin 3 (sınırlı koşullarda tüketilebilirlik) değerinin altına düşmesini engellemiştir. Fakat karanlıkta depolanan brokoli örneklerinin genel tüketilebilirlik değeri 10. gün itibarı ile sınırın altına düşmüş ve panelistler tarafından tüketilemez durumda olduğu belirtilmiştir.

Tukey testine göre; farklı fotoperiyodik ışık uygulanan brokolilerin genel tüketilebiliriği 10.güne kadar duyusal kalitesini korumuş fakat karanlıkta muhafaza edilen brokolilerin genel tüketilebilirlik kalitesi 5.gün itibarı ile başlangıçtan düşük tespit edilmiş ve bu fark anlamlı bulunmuştur ($p<0,05$). Işık uygulanan örneklerin genel tüketilebilirlik değeri depolama süresince kontrol grubun kıyasla yüksek belirlenmiştir. Örnekler arasında oluşan bu fark 10.ve 14. günlerde anlamlı bulunmuştur ($p<0,05$).

Yeşil ağırlıklı ışık uygulanan örneklerin genel tüketilebilirlik değeri depolama süresi boyunca beyaz ağırlıklı ışık uygulanmış örneklerinkinden yüksek olsa da gruplar arasında oluşan fark hiçbir gün anlamlı bulunmamıştır ($p<0,05$).

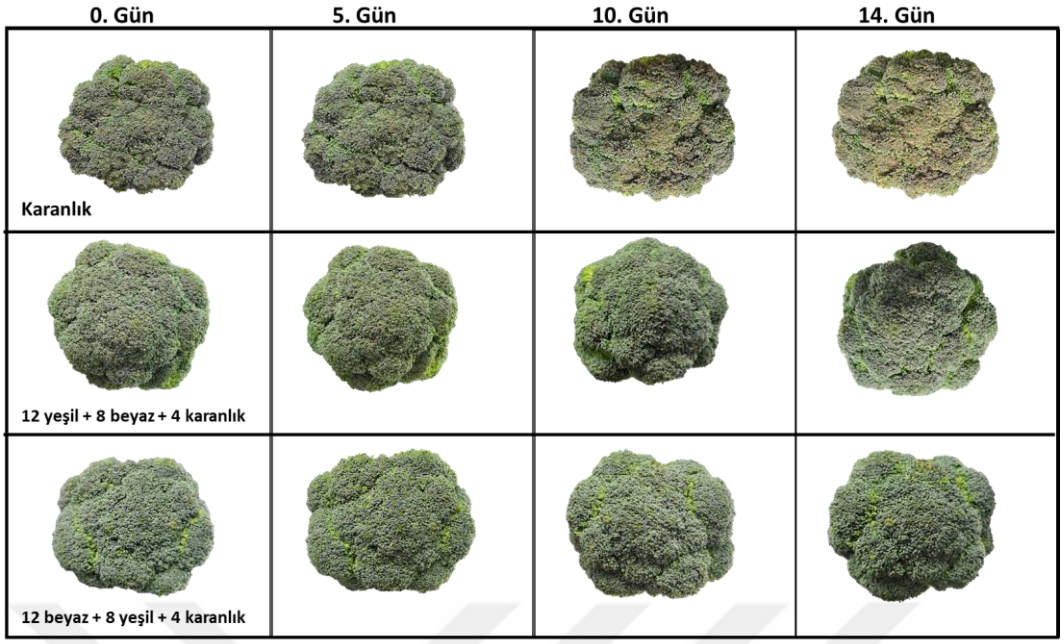
Tablo 4.16 12 saat yeşil + 12 saat beyaz ışık uygulanmış ve uygulanmamış brokolilerin genel tüketilebilirlik değerlerinin karşılaştırma testi sonuçları

Genel Tüketilebilirlik			
Gün	**Kontrol (Karanlık)**	**12 Saat Yeşil + 8 Saat Beyaz + 4 Saat Karanlık Uygulaması**	**12 Saat Beyaz + 8 Saat Yeşil + 4 Saat Karanlık Uygulaması**
0	$5,0\pm0,0^{a}{}_{a}$	$5,0\pm0,0^{a}{}_{a}$	$0,0\pm0,0^{a}{}_{a}$
5	$3,96\pm0,54^{b}{}_{a}$	$4,42\pm0,28^{a}{}_{a}$	$4,36\pm0,41^{ab}{}_{a}$
10	$2,93\pm0,55^{c}{}_{b}$	$3,85\pm0,38^{b}{}_{a}$	$3,71\pm0,43^{bc}{}_{a}$
14	$2,25\pm0,33^{d}{}_{b}$	$3,15\pm0,43^{c}{}_{a}$	$3,04\pm0,41^{c}{}_{a}$

Sütundaki farklı üst simge harfle belirtilen değerler istatistiksel fark göstermektedir ($p<0,05$).
Satırdaki farklı alt simge harfle belirtilen değerler istatistiksel fark göstermektedir ($p<0,05$).

Brokolilerde meydana gelen sararmalar ve büzüşmeler, örneklerde duyusal kalitenin azalmasına neden olmuştur. Farklı fotoperiyodik ışık uygulanan örneklerde klorofil miktarının daha iyi korunması sonucunda sararma daha az gerçekleşmiş, bu durum panelistlerin genel tüketilebilirlik değerlendirmelerine olumlu yansımış ve ışık uygulanan örneklerin tazeliğinin ve raf ömrünün korunmasında etkili olduğu görülmüştür. Ağırlıklı olan rengin değişmesinin ise genel tüketilebilirlik sonuçlarında etkili olmadığı anlaşılmıştır.

Loi vd. (2019) tarafından yürütülen çalışmada, 4°C'de depolanan brokoli örneklerine 24 μmol m^{-2} s^{-1} şiddetinde yeşil ışık, 40 μmol m^{-2} s^{-1} şiddetinde beyaz ışık ayrı ayrı uygulanmış ve kontrol grubu (karanlık) ile kıyaslanmıştır. Ürünlerin tüketilebilirliği 5 üzerinden değerlendirilmiş olup, yeşil ve beyaz ışık uygulanan örneklerin sınır değere (3 puan) ulaşması 15 gün sürerken kontrol grubunun sınır değere ulaşmasının 10 gün sürdüğü rapor edilmiştir.



Şekil 4.18 Duyusal değerlendirme için kullanılan örneklerin depolama süresi boyunca görünümü

5
SONUÇ

Günümüzde, meyve-sebzelerin hasattan sonra saklanması sürecinde raf ömrünün uzatılması ile gıdanın besin içeriği ve renk gibi duyusal kalitesinin de korunması son derece önemlidir.

Bu bağlamda, çalışma kapsamında +4°C sıcaklık ve %95 bağıl nem değeri şartlarında depolanan brokoli örneklerine, farklı dalga boylarında ve farklı fotoperiyodik döngülerle LED ışık uygulamasının brokoli örneklerinin bileşenleri, duyusal açıdan kalitesi ve raf ömrü üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Bu çalışma, ürünlerin kalitesinin arttırılması için yeni yaklaşımların tasarlanmasına katkı sağlamayı amaçlamaktadır.

Hasat sonrası dönemde, meyve ve sebzelerin kalitesi üzerindeki etkileri araştırmak için görünür bölgede ışık uygulamalarına yönelik çalışmalar bulunmaktadır. Ancak, söz konusu çalışmalar genellikle sürekli ve döngü oluşturulmayan tek bir dalga boyunda gerçekleştirilmektedir. Bu çalışma ise farklı renkte ışıklarla oluşturulan fotoperiyodik uygulamaların brokoli örnekleri üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla yapılmıştır. Bu çalışma, mevcut araştırmalara yeni bir bakış açısı sunarak, meyve ve sebze kalitesinin iyileştirilmesine yönelik yeni yaklaşımların geliştirilmesine katkıda bulunmayı hedeflemektedir. Saklama testleri için tüketiciler tarafından sıklıkla tüketilen brokoli tercih edilmiştir. Ayrıca brokoli içerdiği A, C ve K vitaminleri, folat, lif, demir, potasyum ve diğer mineraller açısından zengin bir içeriğe sahiptir. Antioksidan özelliği sayesinde sağlık üzerinde olumlu etkiler sağladığı bilinmektedir (Melim vd., 2020).

Bu çalışmada oluşturulan fotoperiyodik döngülerin oluşturulmasında RGB LED ile elde edilen yeşil ve beyaz ışık tercih edilmiştir.

Araştırmada ilk olarak, aynı fotoperiyodik döngü içinde eşit sürelerde (12 saat yeşil + 12 saat beyaz) aydınlatılan ışık uygulamasının brokoli örneklerinin besin içeriği, duyusal kalitesi ve raf ömrü üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Beyaz ve yeşil ışığın eşit sürelerle kullanıldığı fotoperiyodik döngü altında depolanan brokoli örnekleri 14 günlük depolama süresi boyunca klorofil miktarı, C vitamini, A vitamini,

antioksidan aktivitesi, ağırlık kaybı, renk değişimi ve genel tüketilebilirlik açısından incelenmiştir.

İki koşul için de 423,9 mg/100g olarak ölçülen başlangıçtaki C vitamini seviyesi, 14 gün depolama süresinin sonunda ışık uygulamalı örnekler için 349,3 mg/100g olarak ölçülürken kontrol grubu örnekleri için ise 324,8 mg/100g olarak ölçülmüştür. Depolama süresi boyunca, renklerin eşit sürelerde aydınlatıldığı fotoperiyodik döngü ile depolanan brokolilerin C vitamini seviyesinin, kontrol grubunda depolanan örneklerinkinden daha yüksek ölçüldüğü görülmüştür. Bu sonuç, fotoperiyodik ışık uygulamasının brokolilerde C vitamini koruyucu etkisi olduğunu göstermektedir. Bu durum, brokolilere uygulanan ışık enerjisinin fotosentez mekanizması ve diğer metabolik aktiviteler üzerinde etkili olduğunu işaret etmektedir.

Yeşil ve beyaz ışığın eşit sürelerle uygulandığı fotoperiyodik döngünün brokoli örneklerinin toplam klorofil miktarına etkisi incelendiğinde, fotoperiyodik ışık uygulanan örneklerde klorofil miktarının daha iyi korunduğu gözlemlenmiştir. Başlangıç klorofil miktarı yüksek olan örneklerde, 10. güne kadar fotoperiyodik ışık uygulanan brokolilerde meydana gelen klorofil kaybının daha az olduğu belirlenmiştir. Başlangıç klorofil miktarı düşük olan örneklerde ise klorofil miktarının 10. güne kadar arttığı ve sonrasında daha iyi korunduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, panelistler tarafından değerlendirilen brokoli örneklerinin renk beğeni değerleri, toplam klorofil miktarı sonuçlarıyla uyumlu bulunmuştur. Fotoperiyodik döngü altında eşit sürelerde aydınlatılan örneklerin renk beğeni değerleri, depolama süresi boyunca daha yüksek bulunmuştur. Fotoperiyodik ışık uygulamasının ardından klorofil miktarının daha iyi korunması, panelistlerin örnekleri değerlendirdiği renk beğeni sonuçlarına yansımıştır.

İki koşul için de 1908,2 µg/100g olan A vitamini seviyesi 14 günlük depolama süresi sonunda ışık uygulamalı örnekler için 1744,2 µg/100g ölçülürken, karanlıkta muhafaza edilen kontrol grubu örnekleri için ise 1722,6 µg/100g ölçülmüştür. Depolama süresi boyunca örnekler arasında A vitamini benzer seviyede bulunmuştur. Bu durum, yeşil ve beyaz ışığın eşit sürelerle uygulandığı fotoperiyodik döngünün örneklerin içerdiği A vitamini miktarını korumada etkili olmadığını ortaya koymaktadır.

Her iki grup için başlangıç anındaki DPPH radikalini inhibe etme aktivitesi %78,6 iken, 14 günlük depolama süresinin sonunda ışık uygulanmış örnekler için %85,8 ölçülürken, karanlıkta muhafaza edilen örnekler için de %85,1olarak ölçülmüştür. Depolama süresi sonunda grupların antioksidan etkisi benzer olsa da, 5. günde fotoperiyodik ışık uygulanmış örneklerin antioksidan aktivitesi artmışken, karanlıkta muhafaza edilen örneklerin antioksidan aktivitesi azalmıştır. Bu durum, yeşil ve beyaz ışığın eşit sürelerle uygulandığı fotoperiyodik döngünün örneklerin antioksidan aktivitesini 5 güne kadar daha iyi artırdığını göstermektedir.

Depolama süresinin 14.günü ışık uygulanmamış ve fotoperiyodik ışık uygulanmış brokoli ürünlerinin yaşadıkları ağırlık kaybı sırası ile %14,0 ve %18,4 olarak belirlenmiştir. Saklama süresi boyunca iki koşulda da ağırlıkta meydana gelene kaybın artış gösterdiği fakat ışık uygulanmış örneklerin kontrol grubuna göre daha fazla ağırlık kaybettiği gözlemlenmiştir. Bitkiler, fotosentez sırasında suya, karbondioksite ve ışığa ihtiyaç duymaktadır. Işık uygulanan örneklerdeki fotosentez reaksiyonunun artması, brokolinin daha fazla suya ihtiyaç duymasına ve bu ihtiyacı yapılarında bulunan suyla karşılamasına neden olmuştur. Bu nedenle, ışık uygulanan örneklerde ağırlık kaybı daha fazla görülmüştür.

Brokoli örneklerinin genel tüketilebilirlik değeri, depolama süresi boyunca düşüş göstermiştir. Depolamanın son gününde ışık uygulanan örneklerin genel tüketilebilirlik değeri 3,37 iken karanlıkta muhafaza edilen örneklerin genel tüketilebilirlik değer ise 2,50 olarak belirlenmiştir. Böylelikle ışık uygulaması, brokoli örneklerinin genel tüketilebilirliğinin 3 (sınırlı koşullarda tüketilebilirlik) değerinin altına düşmesini engellemiştir. Fakat karanlıkta depolanan brokoli örneklerinin genel tüketilebilirlik değeri 10. gün itibarı ile sınırın altına düşmüş ve panelistler tarafından tüketilemez durumda olduğu belirtilmiştir. Sonuç olarak fotoperiyodik ışık uygulamasının brokolilerin raf ömrünü artırdığı ortaya koyulmuştur.

Çalışmanın ikinci aşamasında, brokolilerin besin içeriği, raf ömrü ve duyusal kalitesi üzerinde farklı renklerin daha yoğun olarak uygulandığı iki farklı fotoperiyodik döngünün etkisi incelenmiştir. Bu kısımda, fotoperiyodik ışık sürekli

olarak değil, günde 20 saat boyunca uygulanmıştır. Böylelikle, 24 saat yerine 20 saatlik LED aydınlatma kullanımıyla enerji tasarrufu hedeflenmiştir.

Üç grup için 423,9 mg/100g olan başlangıç C vitamini miktarı, 14 gün depolama süresinin sonunda yeşil ağırlıklı (12 saat yeşil + 8 saat beyaz + 4 saat karanlık) fotoperiyodik ışık uygulamalı örnekler için 346,6 mg/100g, beyaz ağırlıklı (12 saat beyaz + 8 saat yeşil + 4 saat karanlık) fotoperiyodik ışık uygulamalı örnekler için 284,2 mg/100g ve kontrol grubu örnekleri için 324,8 mg/100g olarak ölçülmüştür Depolama süresinin 10.günüe kadar hem yeşil hem de beyaz ağırlıklı fotoperiyodik ışık altında saklanan örneklerin C vitamini miktarı daha iyi korunmuştur. Depolamanın son gününde örneklerin içerdiği C vitamini miktarı sırası yüksekten düşüğe; yeşil ağırlık, kontrol ve beyaz ağırlıklı grup şeklinde olsa da gruplar arasında fark bulunmamıştır.

Yeşil ağırlıklı ve beyaz ağırlıklı fotoperiyodik ışık uygulamasının brokolilerin toplam klorofil miktarı üzerindeki etkisi incelendiğinde, yeşil ağırlıklı ışık uygulamasının klorofil miktarını hem kontrol grubu hem de beyaz ağırlık ışık grubundan daha iyi koruduğu görülmüştür. Başlangıç klorofil miktarı yüksek olan örneklerde, yeşil ağırlıklı ışık uygulanan brokolilerde meydana gelen klorofil kaybı, beyaz ağırlıklı ışık uygulanan ve kontrol grubu örneklerine kıyasla 10. güne kadar daha az yaşanmıştır. Başlangıç klorofil miktarı düşük olan örneklerde ise sadece yeşil ağırlıklı fotoperiyodik ışık altında saklanan örneklerin klorofil miktarının 10.günde artış yaşadığı ve 10. güne kadar hem beyaz ağırlıklı hem de kontrol grubu örneklerinden daha yüksek klorofil miktarına sahip olduğu görülmüştür. Ayrıca başlangıç klorofil miktarı düşük olan örneklerde beyaz ağırlıklı fotoperiyodik ışık uygulamasının depolama süresi sonunda brokoli örneklerinin klorofil miktarını kontrol grubuna kıyasla daha iyi koruduğu görülmüştür. Benzer şekilde panelistler tarafından değerlendirilen brokolilerin renk beğeni değeri hem yeşil hem de beyaz ağırlıklı fotoperiyodik ışık uygulanan örneklerde daha yüksek belirlenmiştir. Ayrıca yeşil ağırlıklı ışık uygulanan örneklerin renk beğeni değeri depolama boyunca daha yüksek olsa da beyaz ağırlıklı ışık uygulanan örnekle arasındaki fark anlamlı bulunmamıştır.

Üç koşul için 1908,2 µg/100g olan başlangıç A vitamini miktarı 14 günlük depolama süresi sonunda yeşil ağırlık fotoperiyodik ışık uygulamalı örnekler için 1772,6 µg/100g, beyaz ağırlıklı fotoperiyodik ışık uygulamalı örnekler için 1726,2

µg/100g ve kontrol grubu örnekleri için 1643 µg/100g olarak ölçülmüştür. Elde edilen sonuçlar yeşil ağırlıklı ışık uygulaması altında depolanan brokoli örneklerindeki A vitamini miktarının 10. güne kadar hem kontrol hem de beyaz ağırlık ışık grubuna kıyasla daha iyi korunduğunu göstermektedir. Beyaz ağırlıklı ışık altında saklanan örneklerin depolama süresi boyunca A vitamini miktarı kontrol grubuna benzer çıkmıştır, bu sebeple beyaz ağırlıklı ışık uygulamasının A vitamini üstünde etkisinin olmadığı anlaşılmıştır.

Üç grup için de brokoli örneklerinin başlangıç anındaki DPPH radikalini inhibe etme aktivitesi %78,6 iken, 14 günlük depolama süresinin sonunda yeşil ağırlıklı ışık uygulanmış örnekler için %86,3, beyaz ağırlık ışık uygulanmış örnekler için %84,6 ve karanlıkta muhafaza edilen örnekler için de %85,1 olarak ölçülmüştür. Depolama süresi boyunca gruplar arasındaki antioksidan aktivitesi değerleri anlamlı farklılık göstermemiştir fakat depolamanın 5.gününde karanlıkta muhafaza edilen örneklerin antioksidan aktivitesinde anlamlı bir düşüş yaşanırken yeşil ağırlıklı ve beyaz ağırlıklı fotoperiyodik ışık altında saklanan örneklerde düşüş meydana gelmemiştir. Bu durum fotoperiyodik ışık uygulamasının 5.güne kadar antioksidan aktivitesini daha iyi koruduğunu göstermiştir. Beyaz ağırlıklı ve yeşil ağırlıklı ışık uygulamasının örneklerin antioksidan aktivitesine olan etkisi arasında fark gözlemlenmemiştir.

Saklama süresinin son günü kontrol grubu, yeşil ağırlıklı ve beyaz ağırlıklı fotoperiyodik ışık uygulanmış brokoli örneklerinde meydan gelen ağırlık kaybı sırasıyla; %14,0, %16,3 ve %17,8 olarak tespit edilmiştir. Fotoperiyodik ışık altında depolanan brokolilerde fotosentez reaksiyonunun artması sebebiyle bu gruplardaki brokolilerin yaşadığı ağırlık kaybı daha yüksek tespit edilmiştir. Fotoperiyodik ışık grupları kıyaslandığı zaman ise beyaz ağırlıklı ışık döngüsünün daha fazla ağırlık kaybına sebep olduğu görülmüştür. Bunun sebebinin ise beyaz ışık şiddetinin, yeşil ışığın şiddetinden daha yüksek olduğu tahmin edilmektedir. Beyaz ağırlıklı döngüde daha uzun süre uygulanan beyaz ışık, brokolilerde yaşanan stoma açıklığına sebebiyet verdiği düşünülmektedir.

Brokoli örneklerinin genel tüketilebilirlik değeri, depolama süresi boyunca düşüş göstermiştir. Depolamanın son gününde yeşil ağırlıklı ışık uygulanan örneklerin genel tüketilebilirlik değeri 3,35, beyaz ağırlıklı örneklerin 3,18 ve karanlıkta muhafaza edilen örneklerin genel tüketilebilirlik değer ise 2,50 olarak

belirlenmiştir. Böylelikle farklı fotoperiyodik ışık uygulamaları, brokoli örneklerinin genel tüketilebilirliğinin 3 (sınırlı koşullarda tüketilebilirlik) değerinin altına düşmesini engellemiştir. Fakat karanlıkta depolanan brokoli örneklerinin genel tüketilebilirlik değeri 10. gün itibarı ile sınırın altına düşmüş ve panelistler tarafından tüketilemez durumda olduğu belirtilmiştir. Beyaz ve yeşil ağırlıklı fotoperiyodik ışık uygulamaları kıyaslandığında yeşil ağırlıklı ışık uygulanmış örneklerin genel tüketilebilirlik değeri depolama süresi boyunca daha yüksek olsa da gruplar arasında anlamlı fark bulunmamıştır.

Nihayetinde bu çalışma doğrultusunda gerçekleştirilen farklı fotoperiyodik ışık uygulamalarının 4°C sıcaklıkta %95 bağıl nem koşullarında brokoli örneklerinin besin içeriği, raf ömrü ve duyusal kalitesinde iyileştirmeler yaptığı gözlemlenmiştir. Yeşil ağırlıklı ışık uygulamasının, örneklerdeki klorofil miktarını beyaz ağırlıklı ışıktan daha iyi koruyabildiği gözlemlenmiştir fakat bu durum duyusal beğeni ve raf ömrüne etki etmemiştir. Ayrıca ışık uygulama süresinin artması ve beyaz ağırlıklı ışığın brokoli örneklerinde meydana gelen ağırlık kaybına daha fazla sebebiyet verdiği tespit edilmiştir.

Gelecekte, bu araştırma içeriği farklı meyve ve sebze ürünleri üzerinde daha farklı dalga boylarındaki ışık maruziyeti ve çeşitli sıcaklık koşullarıyla yinelenebilir. Ayrıca, farklı renklere sahip ışıklar kullanılarak farklı fotoperiyot süreleri (örneğin 12 saat) oluşturmanın ürün üzerindeki etkilerinin araştırılması mümkün olabilir. Bunun yanı sıra, bu sürelerin belirli periyotlarla (örneğin 60 dakika) açılıp kapatılması planının farklı bir araştırma ile incelenmesi faydalı olabilir.

KAYNAKÇA

Alferez, F., Liao, H. L., & Burns, J. K. (2012). Blue light alters infection by Penicillium digitatum in tangerines. Postharvest biology and technology, 63(1), 11-15.

Altuğ, T., (1993). Duyusal Test Teknikleri, Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi. Ders Kitapları, Yayın No:28, İzmir, s 56.

Altuğ-Önoğur, T., Elmacı, Y., Demirağ, K., 2011. Gıda Kalite Sağlama. Sidas Medya, İzmir.

Arnold, C., Schwarzenbolz, U., & Böhm, V. (2014). Carotenoids and chlorophylls in processed xanthophyll-rich food. LWT-Food Science and Technology, 57(1), 442-445.

Ašimović, Z., Čengić, L., Hodžić, J., & Murtić, S. (2016). Spectrophotometric determination of total chlorophyll content in fresh vegetables. God. LXI Broj, 66, 104-108.

Avercheva, O., Berkovich, Y. A., Smolyanina, S., Bassarskaya, E., Pogosyan, S., Ptushenko, V., ... & Zhigalova, T. (2014). Biochemical, photosynthetic and productive parameters of Chinese cabbage grown under blue–red LED assembly designed for space agriculture. Advances in space research, 53(11), 1574-1581.

Ayala, F., Echávarri, J. F., Olarte, C., & Sanz, S. (2009). Quality characteristics of minimally processed leek packaged using different films and stored in lighting conditions. International journal of food science & technology, 44(7), 1333-1343.

Baenas, N., Iniesta, C., González-Barrio, R., Nuñez-Gómez, V., Periago, M. J., & García-Alonso, F. J. (2021). Post-harvest use of ultraviolet light (UV) and light emitting diode (LED) to enhance bioactive compounds in refrigerated tomatoes. Molecules, 26(7), 1847.

Bárcena, A., Bahima, J. V., Casajús, V., Martínez, G., Lauff, D., Guiamet, J. J., & Costa, L. (2020). The degradation of chloroplast components during postharvest senescence of broccoli florets is delayed by low-intensity visible light pulses. Postharvest Biology and Technology, 168, 111249.

Barman, K. A. L. Y. A. N., Ahmad, M. S., & Siddiqui, M. W. (2015). Factors affecting the quality of fruits and vegetables: recent understandings. Postharvest biology and technology of horticultural crops: Principles and practices for quality maintenance, 1-50.

Biswas, A.K, Sahoo,J & Chatli, M.K. (2011). A simple UV-Vis spectrophotometric method for determination of ß-carotene content in raw carrot, sweet potato and supplemented chicken meat nuggets. Food Science and Technology 44: 1809-1813.

Bohn, T., Walczyk, T., Leisibach, S., & Hurrell, R. F. (2004). Chlorophyll-bound magnesium in commonly consumed vegetables and fruits: relevance to magnesium nutrition. Journal of Food Science, 69(9), S347-S350.

Bourget, C. M. (2008). An introduction to light-emitting diodes. HortScience, 43(7), 1944-1946.

Bourget, C. M. (2008). An introduction to light-emitting diodes. HortScience, 43(7), 1944-1946.

Brasil, I. M., & Siddiqui, M. W. (2018). Postharvest quality of fruits and vegetables: An overview. Preharvest modulation of postharvest fruit and vegetable quality, 1-40.

Brothersen, C., McMahon, D. J., Legako, J., & Martini, S. (2016). Comparison of milk oxidation by exposure to LED and fluorescent light. Journal of Dairy Science, 99(4), 2537-2544.

Büchert, A. M., Gómez Lobato, M. E., Villarreal, N. M., Civello, P. M., & Martínez, G. A. (2011). Effect of visible light treatments on postharvest senescence of broccoli (Brassica oleracea L.). Journal of the Science of Food and Agriculture, 91(2), 355-361.

Chalker-Scott, L., & Fuchigami, L. H. (2018). The role of phenolic compounds in plant stress responses. In Low temperature stress physiology in crops (pp. 67-80). CRC press.

do Nascimento Nunes, M. C. (2008). Impact of environmental conditions on fruit and vegetable quality. Stewart Postharvest Review, 4(4), 1-14.

do Nascimento Nunes, M. C. (2009). Color atlas of postharvest quality of fruits and vegetables. John Wiley & Sons.

do Nascimento Nunes, M. C., & Emond, J. P. (2002). Storage temperature. In Postharvest physiology and pathology of vegetables (pp. 250-273). CRC Press.

D'Souza, C., Yuk, H. G., Khoo, G. H., & Zhou, W. (2015). Application of light emitting diodes in food production, postharvest preservation, and microbiological food safety. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 14(6), 719-740.

Duan, Y., Wang, G. B., Fawole, O. A., Verboven, P., Zhang, X. R., Wu, D., ... & Chen, K. (2020). Postharvest precooling of fruit and vegetables: A review. Trends in Food Science & Technology, 100, 278-291.

Durrett, T. P., & Welti, R. (2021). The tail of chlorophyll: fates for phytol. Journal of Biological Chemistry, 296.

Eason, J. R., Ryan, D., Page, B., Watson, L., & Coupe, S. A. (2007). Harvested broccoli (Brassica oleracea) responds to high carbon dioxide and low oxygen atmosphere by inducing stress-response genes. Postharvest biology and technology, 43(3), 358-365.

El-Ramady, H. R., Domokos-Szabolcsy, É., Abdalla, N. A., Taha, H. S., & Fári,M. (2015).Postharvest management of fruits and vegetables storage.Sustainable Agriculture Reviews: Volume 15, 65-152.

ERKAN, M., & PEKMEZCİ, M. (1997). Meyvelerde solunum ve solunuma etki eden faktörler. Akdeniz University Journal of the Faculty of Agriculture, 10(1), 261-273.

Favre, N., Bárcena, A., Bahima, J. V., Martínez, G., & Costa, L. (2018). Pulses of low intensity light as promising technology to delay postharvest senescence of broccoli. Postharvest Biology and Technology, 142, 107-114.

Ghate, V. S., Ng, K. S., Zhou, W., Yang, H., Khoo, G. H., Yoon, W. B., & Yuk, H. G. (2013). Antibacterial effect of light emitting diodes of visible wavelengths on selected foodborne pathogens at different illumination temperatures. International journal of food microbiology, 166(3), 399-406.

Giannakourou, M. C., & Taoukis, P. S. (2021). Effect of alternative preservation steps and storage on vitamin C stability in fruit and vegetable products: Critical review and kinetic modelling approaches. Foods, 10(11), 2630.

Hasan, M. M., Bashir, T., Ghosh, R., Lee, S. K., & Bae, H. (2017). An overview of LEDs' effects on the production of bioactive compounds and crop quality. Molecules, 22(9), 1420.

Hasperué, J. H., Guardianelli, L., Rodoni, L. M., Chaves, A. R., & Martínez, G. A. (2016b). Continuous white–blue LED light exposition delays postharvest senescence of broccoli. LWT-Food Science and Technology, 65, 495-502.

Hasperué, J. H., Rodoni, L. M., Guardianelli, L. M., Chaves, A. R., & Martínez, G. A. (2016a). Use of LED light for Brussels sprouts postharvest conservation. Scientia Horticulturae, 213, 281-286.

Huang, J. Y., Xu, F., & Zhou, W. (2018). Effect of LED irradiation on the ripening and nutritional quality of postharvest banana fruit. Journal of the science of food and agriculture, 98(14), 5486–5493.

Ilahy, R., Tlili, I., Pék, Z., Montefusco, A., Siddiqui, M. W., Homa, F., ... &Lenucci, M. S. (2020). Pre-and post-harvest factors affecting glucosinolate content in broccoli. Frontiers in nutrition, 7, 147.

Jiang, A., Zuo, J., Zheng, Q., Guo, L., Gao, L., Zhao, S., ... & Hu, W. (2019). Red LED irradiation maintains the postharvest quality of by elevating antioxidant enzyme activity and reducing the expression of senescence-related genes. Scientia Horticulturae, 251, 73-79.

Jin, P., Yao, D., Xu, F., Wang, H., & Zheng, Y. (2015). Effect of light on quality and bioactive compounds in postharvest broccoli florets. Food chemistry, 172, 705 709.

Kasim, M. U., & Kasim, R. (2017). While continuous white LED lighting increases chlorophyll content (SPAD), green LED light reduces the infection rate of lettuce during storage and shelf-life conditions. Journal of Food Processing and Preservation, 41(6), e13266.

Khachik, F., Beecher, G. R., & Whittaker, N. F. (1986). Separation, identification, and quantification of the major carotenoid and chlorophyll constituents in extracts of several green vegetables by liquid chromatography. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 34(4), 603-616.

Kim, M. J., Bang, W. S., & Yuk, H. G. (2017). 405±5 nm light emitting diode illumination causes photodynamic inactivation of Salmonella spp. on fresh-cut papaya without deterioration. Food Microbiology, 62, 124-132.

Kim, S. J., Hahn, E. J., Heo, J. W., & Paek, K. Y. (2004). Effects of LEDs on net photosynthetic rate, growth and leaf stomata of chrysanthemum plantlets in vitro. Scientia Horticulturae, 101(1-2), 143-151.

Kokalj, D., Hribar, J., Cigić, B., Zlatić, E., Demšar, L., Sinkovič, L., ... & Vidrih, R. (2016). Influence of yellow light-emitting diodes at 590 nm on storage of apple, tomato and bell pepper fruit. Food technology and biotechnology, 54(2), 228.

Kumaran, A. (2006). Antioxidant and free radical scavenging activity of an aqueous extract of Coleus aromaticus. Food chemistry, 97(1), 109-114.

Kume, A., Akitsu, T., & Nasahara, K. N. (2016). Leaf color is fine-tuned on the solar spectra to avoid strand direct solar radiation. Journal of plant research, 129, 615-624.

Kusuma, P., Pattison, P. M., & Bugbee, B. (2020). From physics to fixtures to food: Current and potential LED efficacy. Horticulture research, 7, 56.

Küşümler Seylam, A. (2011). Ultraviyole (UV-C) Işını Uygulamasının Patlıcan ve Salatalıklarda Soğuk Zararlanması Üzerine Etkisi" (Doctoral dissertation, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi).

Lafuente, M. T., & Alférez, F. (2015). Effect of LED Blue Light on P enicillium digitatum and P enicillium italicum Strains. Photochemistry and Photobiology, 91(6), 1412-1421.

Larcher, W. (2003). Physiological plant ecology: ecophysiology and stress physiology of functional groups. Springer Science & Business Media.

Liao, H. L., Alferez, F., & Burns, J. K. (2013). Assessment of blue light treatments on citrus postharvest diseases. Postharvest Biology and Technology, 81, 81-88.

Lisiewska, Z., Kmiecik, W. & Slupski, J. (2004). Contents of Chlorophylls and Carotenoids in Frozen Dill: Effect of Usable Part and Pre-Treatment on the Content of Chlorophylls and Carotenoids in Frozen Dill (Anethum Graveolens L.), Depending on the Time and Temperature of Storage. Food Chemistry, 84:511–518

Loi, M., Liuzzi, V. C., Fanelli, F., De Leonardis, S., Creanza, T. M., Ancona, N., ... & Mulè, G. (2019). Effect of different light-emitting diode (LED) irradiation on the shelf life and phytonutrient content of broccoli (Brassica oleracea L. var. italica). Food chemistry, 283, 206-214.

Løkke, M. M. (2012). Postharvest quality changes of leafy green vegetables. PhD thesis, Aarhus University Department of Food Science.

Lu, W., Shi, Y., Wang, R., Su, D., Tang, M., Liu, Y., & Li, Z. (2021). Antioxidant activity and healthy benefits of natural pigments in fruits: A review. International journal of molecular sciences, 22(9), 4945.

Luksienė, Z., & Zukauskas, A. (2009). Prospects of photosensitization in control of pathogenic and harmful micro-organisms. Journal of Applied Microbiology, 107(5), 1415-1424.

Mahajan, P. V., Caleb, O. J., Singh, Z., Watkins, C. B., & Geyer, M. (2014). Postharvest treatments of fresh produce. Philosophical Transactions of the

Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences, 372(2017), 20130309.

Maroga, G. M., Soundy, P., & Sivakumar, D. (2019). Different postharvest responses of fresh-cut sweet peppers related to quality and antioxidant and phenylalanine ammonia lyase activities during exposure to light-emitting diode treatments. Foods, 8(9), 359.

Martins, T., Barros, A. N., Rosa, E., & Antunes, L. (2023). Enhancing health benefits through chlorophylls and chlorophyll-rich agro-food: A comprehensive review. Molecules, 28(14), 5344.

Massa, G. D., Kim, H. H., Wheeler, R. M., & Mitchell, C. A. (2008). Plant productivity in response to LED lighting. HortScience, 43(7), 1951-1956.

Melim, C., Lauro, M. R., Pires, I. M., Oliveira, P. J., & Cabral, C. (2022). The role of glucosinolates from cruciferous vegetables (Brassicaceae) in gastrointestinal cancers: from prevention to therapeutics. Pharmaceutics, 14(1), 190.

Mercier, S., Villeneuve, S., Mondor, M., & Uysal, I. (2017). Time-Temperature Management Along the Food Cold Chain: A Review of Recent Developments. Comprehensive reviews in food science and food safety, 16(4), 647–667.

Moustafa, K. (2016). Food and sustainability challenges under climate changes. Science and engineering ethics, 22, 1831-1836.

Nassarawa, S. S., & Luo, Z. (2022). Effect of Light Irradiation on Sugar, Phenolics, and GABA Metabolism on Postharvest Grape (Vitis vinifera L.) During Storage. Food and Bioprocess Technology, 15(12), 2789-2802.

Nayak, A., Parui, K., Sharma, S., & Ratha, S. (2020). Study and analysis of atomic spectra. International Journal of Scientific and Research Publications (IJSRP), 10(11), 946-955.

Noichinda, S., Bodhipadma, K., Mahamontri, C., Narongruk, T., & Ketsa, S. (2007). Light during storage prevents loss of ascorbic acid, and increases glucose and fructose levels in Chinese kale (Brassica oleracea var. alboglabra). Postharvest biology and technology, 44(3), 312-315.

Olivera, D. F., Vina, S. Z., Marani, C. M., Ferreyra, R. M., Mugridge, A., Chaves, A. R., & Mascheroni, R. H. (2008). Effect of blanching on the quality of Brussels sprouts (Brassica oleracea L. gemmifera DC) after frozen storage. Journal of Food Engineering, 84(1), 148-155.

Panjai, L., Noga, G., Hunsche, M., & Fiebig, A. (2019). Optimal red light irradiation time to increase health-promoting compounds in tomato fruit postharvest. Scientia Horticulturae, 251, 189-196.

Pareek, S., Sagar, N. A., Sharma, S., Kumar, V., Agarwal, T., González-Aguilar, G. A., & Yahia, E. M. (2017). Chlorophylls: Chemistry and biological functions. Fruit and Vegetable Phytochemicals: Chemistry and Human Health, 2nd Edition, 269-284.

Parfitt, J., Barthel, M., & Macnaughton, S. (2010). Food waste within food supply chains: quantification and potential for change to 2050. Philosophical transactions of the royal society B: biological sciences, 365(1554), 3065 3081.

Pekcan, A. G. (2022). Dünya'da ve Türkiye'de Besine Dayalı BeslenmeRehberleri: Sürdürülebilir Beslenme Yaklaşımı ve G20 Ülkeleri.Beslenme ve Diyet Dergisi, 50(3),1-9.

Perera, W. P. T. D., Navaratne, S., & Wickramasinghe, I. (2022). Impact of spectra composition of light from light-emitting diodes (LEDs) on postharvest quality of vegetables: A review. Postharvest Biology and Technology, 191, 111955.

Pérez, M., Teixeira da Silva, J. A., & Lao, M. T. (2006). Light management in ornamental crops. Floric. Ornam. Plant Biotechnol, 4, 683-695.

Pintos, F., Rodoni, L., Patrignani, M., Ixtaina, P., Vicente, A., Martínez, G., & Hasperué, J. (2023). Advances in the use of white light on broccoli and kale postharvest shelf life. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 86, 103373.

Roberto, K. (2005). How-to hydroponics. Futuregarden, Inc..

Rodriguez-Amaya, D. B., & Carle, R. (2021). Alterations of natural pigments. In Chemical Changes During Processing and Storage of Foods (pp. 265-327). Academic Press.

Rückemann, H. (1980). Methods for the determination of l-ascorbic acid by means of High Performance Liquid Chromatography (HPLC). Z. Lebensm. Unters. Forsch. 171:446- 448.

Sánchez, C., Baranda, A. B., & de Marañón, I. M. (2014). The effect of high pressure and high temperature processing on carotenoids and chlorophylls content in some vegetables. Food chemistry, 163, 37-45.

Singh, A. K., Rana, H. K., & Pandey, A. K. (2020). Analysis of chlorophylls. In Recent advances in natural products analysis (pp. 635-650). Elsevier.

Solovchenko, A., Yahia, E. M. ve Chen, C., 2019, Pigments. Postharvest Physiology and Biochemistry of Fruits and Vegetables, 225–252.

Sridhar, A., Ponnuchamy, M., Kumar, P. S., & Kapoor, A. (2021). Food preservation techniques and nanotechnology for increased shelf life of fruits, vegetables, beverages and spices: a review. Environmental Chemistry Letters, 19, 1715-1735.

Thompson, A. K. (2008). Fruit and vegetables: harvesting, handling and storage. John Wiley & Sons.

Valero, A., Carrasco, E., & García-Gimeno, R. M. (2012). Principles andmethodologies for the determination of shelf-life in foods. Trends invital food and control engineering, 1, 3-42.

Valero, D., & Serrano, M. (2010). Postharvest Biology and Technology for Preserving Fruit Quality, pp 69-89. London: CRC Press.

Vina, S. Z., Osornio, M. M. L., & Chaves, A. R. (2007). Quality changes in fresh-cut celery as affected by heat treatment and storage. Journal of the Science of Food and Agriculture, 87(7), 1400-1407.

Xie, C., Tang, J., Xiao, J., Geng, X., & Guo, L. (2022). Purple light-emitting diode (LED) lights controls chlorophyll degradation and enhances nutraceutical quality of postharvest broccoli florets. Scientia Horticulturae, 294, 110768.

Xu, F., Shi, L., Chen, W., Cao, S., Su, X., & Yang, Z. (2014). Effect of blue light treatment on fruit quality, antioxidant enzymes and radical-scavenging activity in strawberry fruit. Scientia Horticulturae, 175, 181-186.

Yahia, E. M., García-Solís, P., & Celis, M. E. M. (2019). Contribution of fruitsand vegetables to human nutrition and health. In Postharvestphysiology and biochemistry of fruits and vegetables (pp. 19-45). Woodhead Publishing.

Yahia, E. M., García-Solís, P., & Celis, M. E. M. (2019). Contribution of fruits and vegetables to human nutrition and health. In Postharvest physiology and biochemistry of fruits and vegetables (pp. 19-45). Woodhead Publishing.

Zhan, L., Hu, J., Li, Y., & Pang, L. (2012). Combination of light exposure and low temperature in preserving quality and extending shelf-life of fresh-cut broccoli (Brassica oleracea L.). Postharvest Biology and Technology, 72, 76-81.

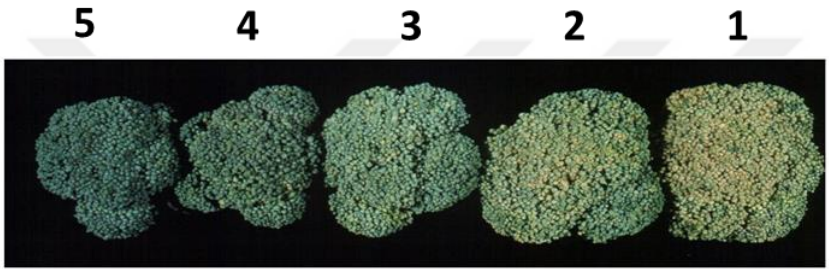
Zhou, F., Zuo, J., Xu, D., Gao, L., Wang, Q., & Jiang, A. (2020). Low intensity White light-emitting diodes (LED) application to delay senescence and maintain quality of postharvest pakchoi (Brassica campestris L. ssp. chinensis (L.) Makino var. communis Tsen et Lee). Scientia Horticulturae, 262, 109060.

Ziv, C., & Fallik, E. (2021). Postharvest storage techniques and quality evaluation of fruits and vegetables for reducing food loss. Agronomy, 11(6), 1133.

A
EK

Brokoli Duyusal Analiz Formu

Renk Beğeni



Şekil A.1 Brokoli örneklerinin renk değerlendirme skalası

Puan	Renk
1	Sarı
2	Yeşilimsi sarı
3	Sarımsı yeşil
4	Açık yeşil
5	Koyu yeşil

Büzüşme / Solma

Puan	Büzüşme / Solma
1	Kabul edilemeyecek seviyede
2	Şiddetli büzüşme-solma
3	Orta şiddetli büzüşme-solma
4	Hafif şiddetli büzüşme-solma
5	Hiç büzüşme-solma yok (diri)

Küf / Çürük

Puan	Küf / Çürük
1	Var-rahatsız ediyor
2	Var- rahatsız etmiyor
3	Küf/çürük yok

Genel Tüketilebilirlik

Puan	Genel Tüketilebilirlik
1	Kesinlikle tüketilemez
2	Tüketilebilirlik Kötü
3	Tüketilebilirlik Sınırda
4	Tüketilebilirlik İyi
5	Tüketilebilirlik Çok İyi

TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR

Konferans Bildirileri

1. Duran, D. ve Dertli, E. (2024, Mayıs). Impacts of visible light treatment on shelf life and quality parameter of post harvest broccoli [Poster sunumu]. International Food Innovation and Sustainability Congress, İstanbul.