

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**GÖRÜNÜR BÖLGEDE IŞIK UYGULAMASININ HASAT SONRASI
DOMATESLERİN RAF ÖMRÜ VE KALİTESİ ÜZERİNE ETKİSİNİN
İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Halime Esin AKIN

Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Gıda Mühendisliği Programı

ARALIK 2015

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**GÖRÜNÜR BÖLGEDE IŞIK UYGULAMASININ HASAT SONRASI
DOMATESLERİN RAF ÖMRÜ VE KALİTESİ ÜZERİNE ETKİSİNİN
İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Halime Esin AKIN

(506131511)

Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Gıda Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Neşe ŞAHİN YEŞİLÇUBUK

ARALIK 2015

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 506131511 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Halime Esin AKIN, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “GÖRÜNÜR BÖLGEDE FARKLI DALGA BOYLARINDA IŞIK UYGULAMASININ HASAT SONRASI DOMATESLERİN RAF ÖMRÜ VE KALİTESİ ÜZERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Doç. Dr. Neşe ŞAHİN YEŞİLÇUBUK**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Doç. Dr. Esra ÇAPANOĞLU GÜVEN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Gamze TOYDEMİR
Okan Üniversitesi

Teslim Tarihi : 20 Kasım 2015
Savunma Tarihi : 23 Aralık 2015

ÖNSÖZ

Yüksek lisans öğrenimim boyunca yardımlarını ve yönlendirmelerini esirgemeyen değerli bilgi, fikir ve önerileri ile yol gösteren danışmanım Sn. Doç. Dr. Neşe ŞAHİN YEŞİLÇUBUK'a teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmamı gerçekleştirebilmem için teknik olanak ve finans desteği sağlayan Arçelik A.Ş. Ar-Ge Direktörü Sn. Cem KURAL'a ve Mekanik Teknolojiler Yöneticisi Sn. Dr. Faruk BAYRAKTAR'a teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmamın tamamlanmasında farklı bakış açılarıyla önemli katkıları olan, çalışmamın her aşamasında beni sabırla dinleyip motive eden Termodinamik Teknoloji Ailesi Lideri Sn. Dr. Tolga Nurettin AYNUR'a ve çalışmalarımın her aşamasında bilgi ve tecrübelerini esirgemeyen Kıdemli Ar-Ge Uzmanı Sn. Gıda Yük. Müh. Aylin MET' e ayırdıkları değerli zaman ve harcadıkları emekten dolayı teşekkürü bir borç bilirim.

Prototip çalışmaları sırasında büyük yardımlarından dolayı Ar-Ge Teknisyeni Sn. Yasin İĞİT'e ve deneysel çalışmalarda tecrübelerini benden hiçbir zaman esirgemeyen Sn. Zülbiye EKİZKUYU'ya ve Sn. Emre Yavuz Türk'e sağladıkları destekler nedeniyle çok teşekkür ederim.

Değerli bilgi, fikir ve yönlendirmelerine her alanda her zaman başvurduğum, her konuda desteklerini hep yanımda hissettiğim Sn. Yrd. Doç. Dr. Melike SAKİN YILMAZER'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Hayatımın her alanında olduğu gibi eğitim hayatım boyunca da, karşılaştığım her türlü zorluk ve sevincimde, aldığım kararlarda desteklerini her zaman yanımda hissettiğim sevgili aileme, bütün destek ve fedakarlıklarından dolayı sevgi ve şükranlarımı sunarım.

Aralık 2015

Halime Esin AKIN
(Gıda Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER	vii
KISALTMALAR	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiii
ÖZET.....	xv
SUMMARY	xvii
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	5
2.1 Hasat Sonrası Depolama Sırasında Meyve-Sebzelerde Gerçekleşen Kalite Değişimleri.....	5
2.2 Tüketicilerin Yeni Beslenme Eğilimleri.....	10
2.3 Fitobesin Öğeleri.....	11
2.3.1 C vitamini (askorbik asit).....	11
2.3.2 Renk maddeleri	15
2.3.3 Fenolik bileşikler	20
2.4 Işık Uygulamasının Bitki Üzerine Etkisi	22
2.4.1 Işık şiddeti	25
2.4.2 Işık ortamı	25
2.4.3 Fotosentetik aktif radyasyon (FAR).....	26
2.4.4 Fotosentetik foton akısı (PPF).....	26
2.4.5 Fotoperiyot	26
2.5 Aydınlatma.....	27
2.5.1 Yüksek şiddetli deşarjlı (HID) lambalar.....	27
2.5.2 Floresan Lambalar.....	28
2.5.3 Işık yayan diyot (LED)	29
2.6 Hasat Sonrası Ürünlerde Işık Uygulamalarının Etkileri	31
2.6.1 Işık uygulamasının hasat sonrası yaşlanma üzerine etkisi	31
2.6.2 Işık uygulamasının hasat sonrası ürünün kalitesi ve fitobesin içeriği üzerine etkisi.....	32
2.6.3 Hasat sonrası ışık uygulamasının domates üzerine etkisi	35

2.7 Patent Araştırması.....	37
3. MATERYAL METOT	43
3.1 Materyal.....	43
3.1.1 Ürün temini	43
3.1.2 Analizlerde kullanılan kimyasallar	43
3.1.3 Işık uygulaması	43
3.1.4 Domates örneklerinin hazırlanması	44
3.2 Metot	44
3.2.1 Depolama işlemleri.....	44
3.2.2 Analizler	45
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	49
4.1 Mavi LED Uygulamasının Domates Üzerindeki Etkisinin Belirlenmesi	49
4.1.1 C vitamini içeriği	49
4.1.2 Likopen içeriği.....	52
4.1.3 Suda çözünür kuru madde içeriği	54
4.1.4 Dış kabuk rengi	55
4.1.5 Ağırlık kaybı	59
4.1.6 Stoma görselleme.....	61
4.1.7 Duyusal analiz.....	63
4.2 Mavi LED Işıklı Fotoperiyot Uygulamasının Domates Üzerine Etkisinin Belirlenmesi	65
4.2.1 C vitamini içeriği	65
4.2.2 Likopen içeriği.....	67
4.2.3 Suda çözünür kuru madde içeriği	69
4.2.4 Dış kabuk rengi	70
4.2.5 Ağırlık kaybı	72
4.2.6 Stoma görselleme.....	74
4.2.7 Duyusal analiz.....	76
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	81
KAYNAKLAR.....	85
EKLER.....	95
EK A.....	96
Domates Duyusal Analiz Formu	96
ÖZGEÇMİŞ.....	99

KISALTMALAR

AA	: Askorbik Asit
ANOVA	: Analysis of Variance
ATP	: Adenozin Trifosfat
BHT	: Bütillenmiş Hidroksi Toluen
DHA	: Dehidro Askorbik Asit
FAO	: Food and Agriculture Organization of the United Nations
FAR	: Fotosentetik Aktif Radyasyon
GAE	: Gallik Asit Eşdeğeri
HID	: High Intensity Discharge
HPS	: High Pressure Sodium
LDL	: Low Density Lipoprotein
LED	: Light Emitting Diode
MH	: Metal Halojen
PPF	: Photosynthetically Photon Flux
RGB	: Red Green Blue
PPO	: Polifenol Oksidaz
UV	: Ultraviyole

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1: Hasat sonrası dönemde meyve-sebzelerde görülen fiziksel kalite değişimleri	7
Çizelge 2.2: Bazı meyve-sebzelerin 5°C'deki solunum hızları	9
Çizelge 2.3: 20°C'de depolanan farklı meyve-sebzelerin askorbik asit ve DHA miktarlarının zamana bağlı değişimi	14
Çizelge 2.4: Bazı taze sebze ve meyvelerin içerdiği askorbik asit (AA), dehidro askorbik asit (DHA) ve toplam C vitamini içerikleri (mg/100g).	15
Çizelge 2.5: Işık uygulamasına yönelik patent araştırması sonuçları.....	39
Çizelge 4.1: Domates örneklerinin soğutmalı saklama haznesi içinde depolandığı deney koşulları.....	49
Çizelge 4.2: 24 saat mavi LED ışık uygulanan ve kontrol grubu domates örneklerine ait C vitamini ortalamalarının Tukey testi karşılaştırma sonuçları. ...	50
Çizelge 4.3: 24 saat mavi LED ışık uygulanan ve kontrol grubu domates örneklerine ait likopen miktarı ortalamalarının Tukey testi karşılaştırma sonuçları.	53
Çizelge 4.4: 24 saat mavi LED ışık uygulanan ve uygulanmayan kontrol grubu domates örneklerine ait suda çözünür kuru madde ortalamalarının Tukey testi karşılaştırma sonuçları.	55
Çizelge 4.5: 24 saat mavi LED ışık uygulanan ve kontrol grubu domates örneklerine ait dış kabuk a* değeri değişim ortalamalarının Tukey testi karşılaştırma sonuçları.	56
Çizelge 4.6: 24 saat mavi LED ışık uygulanan ve kontrol grubu domates örneklerine ait L* değeri ortalamalarının Tukey testi karşılaştırma sonuçları.	58
Çizelge 4.7: 24 saat mavi LED ışık uygulanan ve kontrol grubu domates örneklerine ait % ağırlık kaybı ortalamalarının Tukey testi karşılaştırma sonuçları.	60
Çizelge 4.8: Karanlıkta saklanan ve 24 saat mavi LED ışık uygulanan domates örneklerine ait dış kabuk stoma çapları ortalamalarının Tukey testi karşılaştırma sonuçları.	62
Çizelge 4.9: 24 saat mavi LED ışık uygulanan ve kontrol grubu domates örneklerine ait genel tüketilebilirlik ortalamalarının Tukey testi karşılaştırma sonuçları.	64
Çizelge 4.10: 24 saat mavi LED ışık uygulanan ve kontrol grubu domates örneklerine ait C vitamini ortalamalarının Tukey testi karşılaştırma sonuçları.	66
Çizelge 4.11: 24 saat ve 12 saat mavi LED ışık uygulanan domates örneklerine ait C vitamin ortalamalarının Tukey testi karşılaştırma sonuçları.	68

Çizelge 4.12: 24 saat ve 12 saat mavi LED ışık uygulanan domates örneklerine ait suda çözünür kuru madde ortalamalarının Tukey testi karşılaştırma sonuçları.....	69
Çizelge 4.13: 24 saat ve 12 saat mavi LED ışık uygulanan domates örneklerine ait dış kabuk a* değeri değişim ortalamalarının Tukey testi karşılaştırma sonuçları.....	71
Çizelge 4.14: 24 saat ve 12 saat mavi LED ışık uygulanan domates örneklerine ait dış kabuk L* değeri değişim ortalamalarının Tukey testi karşılaştırma sonuçları.....	72
Çizelge 4.15: 24 saat ve 12 saat mavi LED ışık uygulanan domates örneklerine ait % ağırlık kaybı ortalamalarının Tukey testi karşılaştırma sonuçları.	73
Çizelge 4.16: 24 saat mavi ve 12 saat periyodik mavi LED ışık uygulanan domates örneklerine ait dış kabuk stoma çapları ortalamalarının Tukey testi karşılaştırma sonuçları.	75
Çizelge 4.17: 24 saat ve 12 saat mavi LED ışık uygulanan domates örneklerinin görsel kalite ortalamalarının Tukey testi karşılaştırma sonuçları.	77
Çizelge 4.18: 24 saat ve 12 saat mavi LED ışık uygulanan domates örneklerinin duyu analizlerde doku ortalamalarının Tukey testi karşılaştırma sonuçları.....	79

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1: Depolama süresi boyunca rokalarda oluşan görsel kalite değişimi.....	8
Şekil 2.2: Kapalı bir sistemde (A) ve gaz geçirgen özellikli ambalaj yapısı içinde (B) saklanan rokanın solunumunun şematik gösterimi.....	9
Şekil 2.3: Askorbik asitin dehidroaskorbik asite dönüşümü	13
Şekil 2.4: (a) Klorofil a; (b) Klorofil b'nin kimyasal yapısı.....	16
Şekil 2.5: Klorofil a (düz çizgi) ve klorofil b (kesikli çizgi)'nin absorpsiyon spektrumu).....	17
Şekil 2.6: Alfa-karotenin yapısı.....	18
Şekil 2.7: Zeaksantin yapısı.....	19
Şekil 2.8: Beta kriptoksantin yapısı.....	19
Şekil 2.9: Beta-karotenin yapısı.....	19
Şekil 2.10: Luteinin yapısı.....	19
Şekil 2.11: Violaksantin yapısı.....	19
Şekil 2.12: Yapraklarda bulunan başlıca karotenoidlerin absorpsiyonu	20
Şekil 2.13: Görünür bölge ışık dalga boyu spektrumu	22
Şekil 2.14: Görünür ışık.....	23
Şekil 2.15: Klorofil a, klorofil b ve karotenoidlerin görünür bölgede absorpsiyonu.....	24
Şekil 2.16: a) Beyaz/mavi tonda metal halojen lamba b) Daha sıcak, sarı/turuncu tonda yüksek basınçlı sodyum lambası	28
Şekil 2.17: Farklı ışık kaynaklarının görünür bölgedeki spektrumu	29
Şekil 2.18: Işık uygulanan ve uygulanmayan brokoli örneklerinde 5 günlük depolama süresi boyunca oluşan renk değişimi	32
Şekil 2.19: Likopenin yapısı.....	35
Şekil 3.1: Farklı ışık uygulamaları ile domateslerin soğutmalı saklama haznesi içinde depolandığı deney koşulları.....	44
Şekil 4.1: 24 saat mavi ışık uygulanan ve kontrol grubu domates örneklerinin 14 gün depolama boyunca C vitamini miktarındaki değişimi.....	50
Şekil 4.2: 24 saat mavi LED ışık uygulanan ve kontrol grubu domates örneklerinde 14 gün depolama boyunca likopen miktarındaki değişim.....	52
Şekil 4.3: 24 saat mavi LED ışık uygulanan ve kontrol grubu domates örneklerinde 14 gün boyunca dış kabuğun a* değeri değişimi.....	56
Şekil 4.4: 24 saat mavi LED ışık uygulanan ve kontrol grubu domates örneklerinde 14 gün boyunca dış kabuğun L* değeri değişimi.....	58
Şekil 4.5: 24 saat mavi LED ışık uygulanan ve kontrol grubu domates örneklerinde 14 gün boyunca % ağırlık kaybı değişimi.....	60
Şekil 4.6: 14 gün boyunca karanlıkta ve 24 saat mavi LED ışık altında saklanan domates örneklerinin stoma çapı ortalamaları değişimi.....	61
Şekil 4.7: Depolamanın 0.günü domates dış kabuk stoma görüntüsü.....	62

Şekil 4.8: Depolamanın 14.günü (a) karanlıkta (b) 24 saat mavi LED altında saklanan domateslerin dış kabuk stoma görüntüsü.....	63
Şekil 4.9: 24 saat mavi LED ışık uygulanan ve kontrol grubu domates örneklerinde 14 günlük depolama süresi boyunca genel tüketilebilirlik değişimi. .	63
Şekil 4.10: 24 saat ve 12 saat mavi LED ışık uygulanan domates örneklerinde 14 günlük C vitamini içeriklerinin değişimi.....	65
Şekil 4.11: 14 gün boyunca 24 saat ve 12 saat mavi LED ışık uygulanan domates örneklerinde likopen miktarı değişimi.....	67
Şekil 4.12: 14 gün boyunca 24 saat ve 12 saat mavi LED uygulanan domates örneklerinde dış kabuğun a* değeri değişimi.	70
Şekil 4.13: 14 gün boyunca 24 saat ve 12 saat mavi LED ışık uygulanan domates örneklerinde dış kabuğun L* değeri değişimi.	71
Şekil 4.14: 24 saat ve 12 saat mavi LED ışık uygulanan domates örneklerinde 14 günlük % ağırlık kaybı değişimi.....	73
Şekil 4.15: 14 gün boyunca 24 saat mavi ve 12 saat periyodik mavi LED ışık altında saklanan domates örneklerinin stoma çapı ortalamaları değişimi.	75
Şekil 4.16: Depolamanın 0.günü domates dış kabuk stoma görüntüsü.	76
Şekil 4.17: Depolamanın 14.günü (a) 24 saat mavi (b) 12 saat mavi LED altında saklanan domateslerin dış kabuk stoma görüntüsü.....	76
Şekil 4.18: 14 gün boyunca 24 saat ve 12 saat mavi LED ışık uygulanan domates örneklerinde genel tüketilebilirlik değişimi.....	76
Şekil 4.19: 14 gün boyunca 24 saat ve 12 saat mavi LED ışık uygulanan domates örneklerinin duyu analizlerde doku değişimi.	78
Şekil A.1: (a) Homojen renk dağılımlı, kırmızı domates ve (b) Renk dağılımı homojenitesi azalmış, çillenme oluşmuş domates görünümü.	96
Şekil A.2: Domateste su batması görünümü.....	96
Şekil A.3: Domateste yüzeyde çukurlanma görünümü.	97
Şekil A.4: Domateste buruşukluk görünümü.....	97
Şekil A.5: Domateste <i>Alternia</i> küfü gelişimi.....	98

GÖRÜNÜR BÖLGEDE IŞIK UYGULAMASININ HASAT SONRASI DOMATESLERİN RAF ÖMRÜ VE KALİTESİ ÜZERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

ÖZET

Son yıllarda meyve-sebzelerin saklanması raf ömrünün uzatılmasının yanı sıra ürünün fitobesin içeriği ve tekstür gibi duyuşal özelliklerinin de mümkün olduğunca korunduğu yaklaşımlar oldukça önem kazanmaktadır.

Buzdolabında meyve-sebzelerin saklanması genellikle, sıcaklık ve nem kontrol edilirken; ışık çoğunlukla göz ardı edilmektedir. Buzdolaplarında raf ömrünü uzatma, ürün tazeliğini ve besin kalitesini koruma amaçlı dikkat edilmesi gereken yeni teknolojiler uygulama alanı bulmaktadır. Bunlar arasında başlıca görünür bölgede LED (light emitting diode) uygulamaları yer almaktadır.

Bu çalışmada, +4°C sıcaklıkta %90 bağıl nem koşullarında saklanan domates örneklerine görünür bölgede mavi LED ışık uygulamasının ürünün fitobesin içeriği, stoma çapı, ağırlık kaybı ve duyuşal kalitesi üzerine etkisi incelenmiştir. Bu amaçla, testlerde 460 nm dalga boyunda mavi LED kullanılmıştır. Öncelikle karanlıkta depolanan ve 24 saat çalışan mavi LED altında raf ömrü boyunca saklanan domates örnekleri arasındaki fitobesin içeriği ve duyuşal kalite karşılaştırılmıştır. 24 saat mavi LED uygulamasının domateslerin C vitamini, ve kabuk rengi gibi özelliklerin iyileşmesini ve depolama süresince C vitamini ve kabuk renginin yanı sıra likopen içeriğinin de daha iyi korunmasını sağladığı görülmüştür. Her ne kadar, 24 saat mavi ışık uygulamasında ürünün fitobesin içeriğinin depolama süresince daha iyi korunduğu görülmüş olsa da, ürünün raf ömründe bir farklılık tespit edilmemiştir.

İkinci aşamada, 24 saat mavi LED uygulaması ile 12 saat mavi LED uygulaması karşılaştırılmıştır. C vitamini miktarı, kabuk rengi değerlerinin her iki grupta da benzer seyrettiği görülmüştür. Ayrıca, likopen içeriğinin 12 saat mavi LED uygulaması yapılmış ürünlerde daha iyi korunması nedeniyle ışık uygulamasının fotoperiyot süresinin 12 saat olmasına karar verilmiştir. Bu sayede, enerji tasarrufu da sağlanmıştır. Mavi ışık uygulamasının periyotlu ya da sürekli çalışıyor olmasının da domateslerin raf ömründe bir farklılık oluşturmadığı görülmüştür. Duyusal analizlerde, panelistlerce raf ömrünün belirlenmesinde en önemli kalite kriterinin doku değişimi olduğu yorumu yapılmıştır.

Ağırlık kayıplarının her iki testte de 24 saat mavi LED uygulamasında daha yüksek seyrettiği görülmüştür. Bu durumun nedeni, mavi LED ışık altında ürün stomalarının uyarılması sonucu olabileceği yorumu yapılmıştır. Ancak, stoma görselleme çalışmalarında bu durum stoma çapı uzunluklarında istatistiksel fark yaratmazken,

yine de stoma çaplarının ortalama uzunluklarının depolama suresince 24 saat mavi LED ışık altında saklanan örneklerde daha yüksek olduğu görülmüştür.

Sonuç olarak, bu çalışma kapsamında görünür bölgede mavi LED ışık uygulamasının, +4°C ve %90 bağıl nem koşullarında depolanan domateslerin fitobesin içeriğinde (zellikle C vitamini ve likopen miktarı açısından) iyileştirmeler sağladığı görülmüştür.

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF VISIBLE LIGHT TREATMENT ON STORAGE LIFE AND QUALITY PARAMETERS OF POST HARVEST TOMATOES

SUMMARY

In recent years, the studies about extending the storage life also with preventing fitonutrition content and sensory qualities of fruits and vegetables are very popular while post harvest storage.

In most studies about fresh produce in refrigerators while postharvest storage time, although temperature and humidity are controlled, the light effect is mostly ignored. Novel technologies have found the area of application about prolonging the storage life, preventing the fitonutrition quality and freshness of foods. LED applications in visible region are also located among them.

First of all, for this topic, the most appropriate light sources to the fruits and vegetables were researched. In literature, it is seen that there are 4 types of lamps basically that are used in pre- and postharvest period of fruits and vegetables. These are high intensity discharge lamps, metal halogen lamps, fluorescents and LEDs. However it is also seen that high intensity discharge lamps and metal halogen lamps are used mostly in greenhouses mostly for hydroponically growing plant systems because of their large sizes.

Fluorescents and LEDs can be used both in preharvest plant growing systems and also to improve quality parameters of fresh products while postharvest period as well. However since they have bigger sizes and irradiate light with a broad spectrum, it is not preferred to use fluorescent lamps in this study.

In this study, LEDs are selected to use in visible spectrum, which irradiate blue coloured light at the wavelength of 460 nm. LEDs are a semi-conducted light supply that irradiate in visible light spectrum. They can radiate monochromatically in a narrow light spectrum. With this feature, they can radiate only the necessary light spectrum for plants. The average life of LEDs are 100.000 hours, so it is approximately 11,5 years. They are very long-stable. The other advantages of LEDs are that they spend less energy than the other lamps, have less small sizes, are easily mountable, can radiate linear light in a specific wavelength and also are cheaper than the other types of lamps. With these advantages, it is seen in the literature that they are becoming more popular to use in food storage systems. They do not give any harm to the fresh produce, since they do not radiate heat directly. So, they are also very advantageous to use in food storage systems which they should be cold. In addition, with LED control systems, the brightness and photoperiod of light could be adjusted manually or through computer systems.

In this study, the effect of LED application which irradiate blue colour in visible spectrum to the fitonutrition content and sensory qualities of tomatoes at +4°C temperature, %90 relative humidity conditions were determined.

The studies regarding to the effect of visible light on the products are mostly about green vegetables. In these studies, the effect of light was not determined exactly. However, the increase of vitamin C content was supposed to be continuity of the photosynthesis reactions in post harvest storage period (photo-energetic effect). This study was done to determine the effect of visible light to products which are not green vegetables.

For storage tests, tomatoes were selected which are one of the the most consumed fruits of the world. In addition, tomatoes have much nutritive value with substances such as dietary fiber, folic acid, potassium, vitamin E and C, flavanoids, carotenoids, phenolic compounds and antioxidant content. The most important quality criteria of tomatoes are the colour, texture and taste for consumer acceptance.

After literature and patent applications researches, it was decided to study with blue and red wavelengths of visible light. Firstly, the effect of continuous blue LED light to the micronutirional and sensorical qualities of tomatoes with respect to darkness as control group. The contents of vitamin C, lycopene, total soluble solids, the changeness of outer shell colour, weight loss and sensory qualities were investigated. The initial 13,2 mg/100 vitamin C content was determined 9,0 mg/100 g in control group and 11,6 mg/100 g in samples which are treated with 24-hour blue LED after 14 days which was the last day of storage. In the storage period, the vitamin C content of 24-hour blue LED light treated samples was statistically higher than control samples. According to this, it was interpreted that the blue light treatment has a preventing effect of vitamin C. This situation proves that photosynthesis reactions are not the only way increasing vitamin C content in post harvest products. Although the effect of light to post harvest products is not exactly, it could be photo-cybernetic effect.

When the effect of blue LED application on lycopene content of tomatoes were investigated; it was obviously seen that the lycopene content of tomatoes which are treated with 24-hour LED application was prevented better. In addition the lycopene content of 24-hour LED treated samples were increased until the second day of storage period. According to this, lycopene accumulation was also triggered by 24-hour blue LED light. Similarly, the outer shell colour of the tomatoes which are treated with 24-hour blue LED was more reddish than the products which were stored in the darkness. Tomatoe is a climacteric fruit, as known. Therefore maturing of tomatoes continues also in the darkness. For this reason, the redness of the outer colour of the products increased in first two days which were stored even in the darkness. However, this increase was less than the products which were stored under 24-hour blue LED light. In addition, there was not any regression between lycopene changeness and outer colour changeness in storage time period.

Also, °Brix values of the tomatoes which were stored under 24-hour blue LED light were higher than control group samples. This stituation illustrates that the sweetness of tomatoes which were treated with blue light was better in longer time of storage. In addition, on blue LED light application, the average % weight loss of products

was higher than control samples. The weight loss of samples at the last day of storage which were treated and untreated with blue LED light were % 1,40 and %1,08 respectively. The overall quality values of tomatoes in sensory analysis were quite similar, so the weight loss differences of samples did not create any difference on overall quality determination in sensory analysis. In addition in stoma visualization studies, it is also seen that the average stoma diameters were being bigger during storage in the samples that are treated with 24 hour blue LED than darkness. However the difference between these two groups and the 14-day changes are not found important statistically.

The light dose and intensity are very important to prevent light damage on product. Therefore, in the second part of this study, LED light application time was selected as 12-hour period, which is a common photoperiod time of short-day, long-day and day-neutral plants. In this situation, energy saving was targeted while selecting 12-hour application rather than 24-hour. The quality of products which were stored at the same conditions (as temperature and relative humidity) with previous, were treated with 12-hour blue LED light application and were compared with 24-hour LED blue LED light application.

Among the situations of 12-hour and 24-hour blue LED light applications, there were no important differences on vitamin C content, total soluble solids, outer colour and sensory analysis results.

Although, there were no any difference on lycopene contents among groups in the first 7 days of storage, at the end of the storage time period on the 14 day, the lycopene content of products which were stored under 12-hour LED light were statistically higher. At the end of the storage time period the lycopene contents of products were 18,6 mg/100 g and 19,6 mg/100 g which were treated with 24-hour and 12-hour blue LED, respectively, while the initial lycopene content of groups were 35,4 mg/100g.

The average % weight loss of products which were treated with 24-hour LED light was significantly higher than samples treated with 12-hour LED application. The weight loss of samples which were treated with 24-hour and 12-hour blue LED light applications, were found % 1,69 and % 1,30 respectively. The overall quality values of tomatoes in sensory analysis were quite similar, so the weight loss differences of samples did not create any difference on overall quality determination in sensory analysis. It is also seen that the average stoma diameters were being bigger during storage in the samples that are treated with 24-hour blue LED than 12-hour blue LED in stoma visualization studies. Since more light application trigger more weight loss, the average diameter of stomata and weight loss are higher in 24-hour blue LED light application. However the difference between these two groups and the 14-day changes are not found important statistically.

Finally, within this study, it is seen that the blue LED light application has a positive effect on the fitonutritional quality (especially the point of vitamin C and lycopene content view). For the sensory quality and storage time there is not seen any difference with the samples which stored between under blue LED and in the darkness. On the continuous blue LED light application, vitamin C increased more and also was prevented more. The vitamin C content is similar within groups which

are treated with 24-hour and 12-hour blue LED light. So blue LED light application is significantly better both to increase and prevent vitamin C content of tomatoes.

In the future studies, this study could be repeated with the other wavelengths and on the other fruits and vegetables in different temperature conditions. As a recommendation, to prevent light damage, the photoperiods could be done as 0,5 hour light and then 0,5 hour darkness or 1 hour light and then 1 hour darkness. It is thought that, with this situation the fitonutrient and visual quality of products would be better than continuous light treatment during photoperiod time. Therefore, in studies after this, the effects of different photoperiod times and different wavelenthths of LEDs and also the effects of different flashing periods of LED applications could be studied.

1. GİRİŞ

Son yıllarda sağlıklı beslenme yönünde artan eğilimler ve vejetaryen beslenme nedeniyle meyve-sebze tüketimi oldukça popüler hale gelmiştir (Nicola ve diğ., 2009). Ayrıca uzun çalışma saatleri nedeniyle evde geçirilen zamanın kısalması sonucu yemek hazırlama sıklıklarının azalması, yalnız yaşayan birey sayısında artış olması gibi nedenlerden dolayı satın alınan gıdaların tazeliğini uzun süre koruyor olması önemli hale gelmiştir. Tüketici tercihlerinin değişmesi ile birlikte, gıda saklama yöntemlerinde de yeni teknolojilerin araştırılması ön plana çıkmaktadır.

“Gıdanın raf ömrü”, uygun depolama koşullarında gıda güvenliğinin ve kalite özelliklerinin en iyi şekilde korunarak saklandığı sürenin uzunluğudur (Anonim). Taze gıdalar raf ömrü süresince genellikle +4°C’de buzdolabında depolanırlar. Bazı meyve-sebzelerin bu sıcaklık değerlerinde saklanması sonucu üründe soğuk zararlanmaları oluşmakta, yaşlanma hızlanmaktadır. Sıcaklığın yükseltilmesinin mümkün olmadığı durumlar için ürünün yaşlanmasının geciktirileceği alternatif teknolojilerin bulunması oldukça önem taşımaktadır (Halloran ve diğ., 1996; Costa ve diğ., 2013).

Gelişmekte olan ülkelerde gıda ürünlerinin %50’si raf ömrü süresince tüketilmeden kayba uğramaktadır (Delian ve diğ., 2013). Raf ömrü boyunca gıdalarda oluşan kimyasal, enzimatik ve mikrobiyolojik bozulma reaksiyonlarını yavaşlatmaya veya önlemeye yönelik engel teknolojisi yöntemlerinden yararlanılarak gıdaların raf ömrü uzatılabilir. Uygulanacak gıda muhafaza yöntemi seçimi, gıdanın yapısına bağlı olarak değişmektedir.

Son yıllarda meyve-sebzelerin muhafazasında; raf ömrünün uzatılmasının yanısıra, kalitesinin de dikkate alınarak; besleyici değeri, renk, tat, yapı ve görünüş özelliklerinin iyileştirilmesine yönelik yaklaşımlara önem verilmektedir (Arsan, 2012). Bu nedenle buzdolaplarında, raf ömrünü uzatma, ürün tazeliğini ve besin kalitesini koruma amaçlı dikkat edilmesi gereken muhafaza yöntemlerinin dışında

yeni teknolojiler de uygulama alanı bulmaktadır. Bunlar arasında görünür bölgede LED (light emitting diode) uygulamaları yer almaktadır.

LED (ışık yayan diyot), yarı iletken bir ışık kaynağıdır. Gerilim uygulanarak elektronları harekete geçirilen LED görünür bölgede ışın yayar. LED'ler dar aralıklı spektrumlarda tek renkli ışın yayabilirler (Bourget, 2008; Held, 2009; Url-1). Bu özellikleri sayesinde sadece meyve-sebzeler için gerekli olan dalga boyu aralıklarında ışık uygulamaları yapılabilir. Bir LED'in ortalama ömrü 100.000 saattir, yani yaklaşık 11,5 yıldır (Url-1). LED'lerin daha uzun ömürlü olmaları, diğer lambalara göre daha az enerji harcamaları, küçük boyutlu olmaları, kolay monte edilebilirlikleri, spesifik dalga boylarında lineer ışık yayabilmeleri ve ucuz olmaları önemli diğer avantajlarıdır (Bourget, 2008; Url-1; Massa ve diğ., 2008; Kim ve diğ., 2004). LED'lerin bu avantajları sayesinde gıda saklama uygulamalarında kullanımları artmaktadır. Doğrudan ısı yaymamaları sayesinde meyve ve sebzeler gibi hassas ürünlere zarar vermezler (Url-1). Bu sayede buzdolabı, derin dondurucu gibi soğuk tutulması gereken ortamlarda kullanımları uygun olmaktadır (Bourget, 2008; Url-1).

Buzdolabında meyve-sebzelerin saklanması genellikle, sıcaklık ve nem kontrol edilirken; ışık göz ardı edilmektedir. Son yıllarda yapılan çalışmalarda, hasat sonrası dönemde, depo edilen meyve-sebzelerin raf ömrü ve kalitesi üzerinde yüksek şiddette olmamak kaydıyla ışığın olumlu etkilerinin bulunduğu bildirilmektedir (Zhan ve diğ., 2012a).

Karanlıkta saklama bazı meyve-sebzelerin yaşlanmasını tetiklemekte iken, ışık uygulaması ile yaşlanmanın ilk safhasının geri döndürülmesi mümkündür (Zavaleta-Mancera ve diğ., 1999). Örneğin yeşil sebzelerin hasat sonrası saklanması sırasında sararmaları yaşlanma belirtilerinden biridir. Yeşil sebzelerde klorofilin zamanla yıkımı sonucu yeşil renkte kayıplar ve marul gibi pigmentsiz ürünlerde kararmalar görülür (Nilsson, 2000). Depolama sırasında ürünün ışığa maruz kalması klorofil sentezinin sürdürülmesi yoluyla bazı durumlarda bu yaşlanma belirtisi olan sararmayı geciktirmektedir (Perrin, 1982).

Ayrıca elma, brokoli, narenciye, üzüm, biber ve ıspanak üzerinde yapılmış çalışmalarda yetiştirme sırasında ışık uygulamalarının meyve-sebzelerde C vitaminini arttırdığı görülmüştür (Lester, 2006).

Domates, dünya üzerinde patatesten sonra en çok yetişen ikinci üründür (Delian ve diğ., 2013). Hasat sonrası dönemde olgunlaşmaya devam etmektedir (klimakterik özelliktedir) (Luthria ve diğ., 2006). Raf ömrü 2-3 hafta gibi kısa bir süre olup, kolay zarar gören bir yapıya sahiptir (Delian ve diğ., 2013). İçerdiği diyet lifi, folik asit, potasyum, E ve C vitaminleri, flavonoidler, karotenoidler, fenolik bileşikler ile antioksidan içeriği bakımından oldukça zengindir (Dolatabadi, ve diğ., 2016; Dhakal ve Baek, 2014; Liu ve diğ., 2009). Domatesin kabul edilebilirliğinde en önemli kalite kriterleri rengi, sertliği ve tadıdır (Dhakal ve Baek, 2014; Liu ve diğ., 2009).

Literatürde, domates üzerine yapılmış ışık uygulaması çalışmalarında genel olarak sertlik, likopen içeriği ve renk değişiminin incelendiği görülmüştür. Bu çalışmada, görünür bölgede LED ışık uygulaması ile hasat sonrası domatesteki sertlik, likopen içeriği ve renk değişiminin yanısıra; C vitamini, toplam fenolik madde ve genel tüketilebilirlik (raf ömrü) değişimi de ele alınmıştır. Ayrıca, LED uygulamasının fotoperiyot süresinin değişiminin, farklı dalga boylarında LED'lerin ve bunların bir arada kullanımının +4°C'de saklanan ürünün belirtilen kalite özelliklerinde ve raf ömrü üzerindeki etkilerinin araştırılması amaçlanmıştır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1 Hasat Sonrası Depolama Sırasında Meyve-Sebzelerde Gerçekleşen Kalite Değişimleri

Meyve-sebzeler hasat sonrası dönemde solunum yapmaları ve canlılıklarını devam ettirmeleri nedeni ile diğer gıda ürünlerinden ayrılmaktadır (Ayala ve diğ., 2009). Meyve-sebzelerde raf ömrü canlı kalabildikleri süredir. Yapılarındaki karbonhidratları ve organik asitleri kullanabildikleri süre boyunca canlılıklarını sürdürürler (Arsan, 2012). Kimyasal ve biyokimyasal olaylarla metabolik faaliyetler gerçekleşmekte, besinler harcandıkça yaşamsal olaylar zamanla düzensiz bir hal almakta ve canlı organizmada direnç azalmaktadır. Bunun sonucu olarak bozulmalar başlamaktadır. Bozulmaları solunum hızı ve ortam sıcaklığı hızlandırmaktadır. Hasat sonrası üründe kalite kayıpları, tat, koku ve aromada değişiklikler “fizyolojik yaşlanma” olarak tanımlanmaktadır (Arsan, 2012).

Hasat sonrası raf ömrünü etkileyen faktörler aşağıdaki şekilde sıralanabilir (FAO, 1989):

- Sıcaklık: Sıcaklığın artması ile bitkide solunum artar ve doğal bozulma hızlanır. Ürünün soğutulması raf ömrünü uzatmaktadır.
- Nem kaybı: Yüksek sıcaklık ve üründe tahribatlar, depolanan üründe nem kaybını arttırmaktadır. Maksimum raf ömrü; zarar görmemiş ürünlerin en düşük sıcaklık değerlerinde depolanması ile sağlanmaktadır.
- Mekanik hasar: Hasat sırasında ürünün maruz kaldığı mekanik tahribatlar mikroorganizma faaliyetini arttırarak ürünün raf ömrünün kısılmasına neden olmaktadır.
- Depolama esnasındaki bozulmalar: Taze ürünlerde bozulmalar genellikle mekanik hasarlanmalar sonucu oluşan enfeksiyonlarla gerçekleşmektedir. Zararlı mikroorganizmalar ürün açıklıklarına ya da yüzeyine penetre olmakta ve oluşan enfeksiyonlar hasat sonrasında ancak depolama ya da olgunlaşma sırasında görülmeye başlamaktadır.

Hasat sonrası dönemde meyve-sebzelerde istenmeyen kalite değişimlerini ve metabolik olayları yavaşlatmak amacıyla hızlı soğutma ve soğukta saklama tercih edilen en etkili yöntemlerdir (An ve diğ., 2005). 7°C'nin altındaki buzdolabı sıcaklıklarında ve %95 bağıl nem koşullarında solunum hızı, enzimatik reaksiyonlar ve mikrobiyal aktivite yavaşlar (Nicola ve diğ., 2009). Taze meyve-sebzeler için genel olarak önerilen saklama sıcaklığı 0-4°C aralığındadır (Jacxsens ve diğ., 2002). Ancak bu durumda bazı meyve-sebzelerde sıcaklık 10°C'nin altına düşürüldüğünde “soğuk zararlanması” olarak bilinen, donmayı gerektirmeyen fizyolojik zararlanmalar oluşur. En sık görülen soğuk zararlanması belirtileri ürün yüzeyinde oluşan zedelenmeler, dokuların camsı bir görünüm alması, ürün yüzeyinde ve iç kısmında oluşan renk değişimleri, dokusal bozulmalar, olgunlaşmanın gecikmesi, mikroorganizma faaliyetinde artış, tat ve aromanın bozulması ve tüm bunların sonucu olarak gıda saklama süresi ve raf ömrünün azalmasıdır (Halloran ve diğ., 1996).

Soğuk zararlanması ve diğer hasat sonrası stres koşulları nedeniyle meyve etinde renk ve dokuda bozulmalar görülür (Davidek ve diğ., 1990; Acar ve Gökmen, 2005). Bu durum vakuollerde bulunan fenolik bileşiklerle polifenoloksidaz enziminin reaksiyona girmesinin sonucu olarak açıklanmaktadır (Halloran ve diğ., 1996). Meyvelerin hücre duvarındaki enzimatik değişimler nedeniyle tekstürde gerçekleşen yumuşalar; genel olarak hemiselüloz ve pektik bileşenler gibi polimerik karbonhidratların yıkımından kaynaklanmaktadır (Lee ve diğ., 1997).

Saklama koşulları ürünün tekstüründe bazı değişiklikler yaratabilir (Ayala ve diğ., 2009). Örneğin PPO enzimi sonucu yeşil sebzelerde oluşan kararmalar ürün tekstüründe bazı problemlere neden olmaktadır (Lokke, 2012).

Lamikanra ve Watson (2003) 4°C ve 15°C'de 24 saat saklanan taze kesilmiş kavunlarda enzimatik aktivitenin sırası ile %40 ve %10 azaldığını bildirmiştir. Her iki sıcaklık koşulunda da pektinmetilesteraz aktivitesi 24 saat depolama sonucunda %25 azalmış, ancak 72 saatin sonunda 15°C'de oldukça yükselmiştir (Lamikanra ve Watson, 2003). Hasat sonrası dönemde olgunlaşmaya devam eden klimakterik meyvelerin tekstüründe poligalakturonaz enzimi faaliyeti nedeniyle de yumuşama gerçekleşmektedir (Eskin ve Goff, 2013).

Meyve-sebzelerde bir tekstür özelliği olan sertlik sıcaklığa bağlı olarak değişim göstermektedir. Düşük sıcaklıklarda depolama bu değişimleri en az seviyelerde tutmaktadır. Olgunlaşma sırasında açığa çıkan etilen gazı da ürünlerin yumuşamasına neden olur. Ayrıca, soğuk zararlanmasına neden olan kritik sıcaklıklar da doku zararlanmalarına yol açar. Tüm bu değişimler hücre duvarının metabolizmasındaki değişimlerle bağlantılıdır (Küşümler, 2011).

Çizelge 2.1’de hasat sonrası depolama döneminde meyve ve sebzelerde görülen fiziksel kalite değişimleri gösterilmektedir.

Çizelge 2.1: Hasat sonrası dönemde meyve-sebzelerde görülen fiziksel kalite değişimleri (Lokke, 2012).

Fiziksel değişimler:	
Renk	: Yeşil rengin azalması
Tekstür	: Yumuşama Büzüşme, solma Kuruma
Patojenlere karşı direncin azalması :	Enfeksiyon gelişimi Lezyon oluşumu

Hasat sonrası dönemde, raf ömrünü belirleyen en önemli kalite özelliklerinden birisi renktir (Hutchings, 1999). Metabolik olaylar sonucu renk pigmentlerinde yıkımlar gerçekleşir ve renk değişimi oluşmaktadır. Örneğin, yeşil sebzelerde klorofilin zamanla yıkımı sonucu yeşil renkte kayıplar ve pigmentsiz ürünlerde ortam oksijeni varlığında polifenol oksidaz (PPO) enzimi nedeni ile kararmalar gerçekleşmektedir (Nilsson, 2000; Cervera ve diğ., 2007; Lokke, 2012). Yeşil bitkilerde sararmanın başlıca nedenin klorofilin yıkımı sonucu oluştuğu düşünülür (Jin ve diğ., 2015).

Hasat sonrası dönemde meyve-sebzelerin yaşlanması ile birlikte görünüşünde olan değişime örnek olarak Şekil 2.1’de hasat sonrası depolanan rokalardaki renk değişimi görülmektedir. Depolamanın ilk zamanlarında görüntü tamamen homojen, yeşil renkli ve diri iken; sonlarına doğru heterojen sararmalar, hücre ölümleri nedeniyle kararmalar ve çürümeler oluşmaktadır. Böylece depolama süresince hem renkte hem de tekstürde değişikliklerin gerçekleştiği görülmektedir (Lokke, 2012).



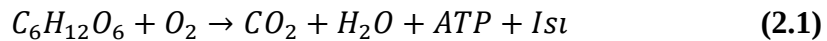
Şekil 2.1: Depolama süresi boyunca rokalarda oluşan görsel kalite değişimi (Lokke, 2012).

Depolama esnasında ürünün nem kaybetmesi sonucu solma gerçekleşmektedir. Ürünün solması ile görünüşü ve tekstürü önemli oranda etkilenmektedir (Lokke, 2012). Solma terleme yoluyla gerçekleşen bir değişim olup, genellikle ürün %3'ten fazla nem kaybettiğinde markette satılamaz hale gelmektedir (Lokke, 2012).

Meyve-sebzeler, içerdikleri suyu koruyabildikleri ölçüde taze kalmaktadır. Bu nedenle, terleme sıklığının, canlılığın ve lezzetliliğin azalmasına, büzüşmeye, solmaya ve bunların sonucu olarak bozulmaya neden olmaktadır (Lokke, 2012).

Ortam oksijeni nedeniyle üründe hücresel hasara yol açan oksidatif zararlanmalar gerçekleşmektedir. Ürünün oksidatif zararlanmalardan korunması antioksidan enzimleri ve antioksidanlar yoluyla olmaktadır (Toivonen ve Sweeney, 1998). Süperoksitdismutaz, peroksidaz ve katalaz bitki dokularında bulunan önemli antioksidan enzimleridir (Salin, 1987). Ortam oksijeni modifiye atmosfer ya da kontrollü atmosfer uygulamaları ile denge halinde tutulabilir.

Hasat sonrası dönemde, meyve-sebzelerin raf ömrü boyunca canlı kalabilmeleri için enerjiye ihtiyaçları vardır. Bu enerjiyi sağlamak için solunum faaliyetlerini sürdürmektedirler (Lokke, 2012). Solunum reaksiyonlarında bitki; nişasta, şeker ve organik asitlerden enerji elde ederek, CO₂ ve su oluşturmaktadır. Teorik olarak bağ enerjisinin %60'lık bir kısmı (2870 kJ/mol glikoz) ısı olarak kaybedilirken, 37 mol Adenozin Trifosfat (ATP) meydana gelmektedir **(2.1)** (Fennema, 1996).



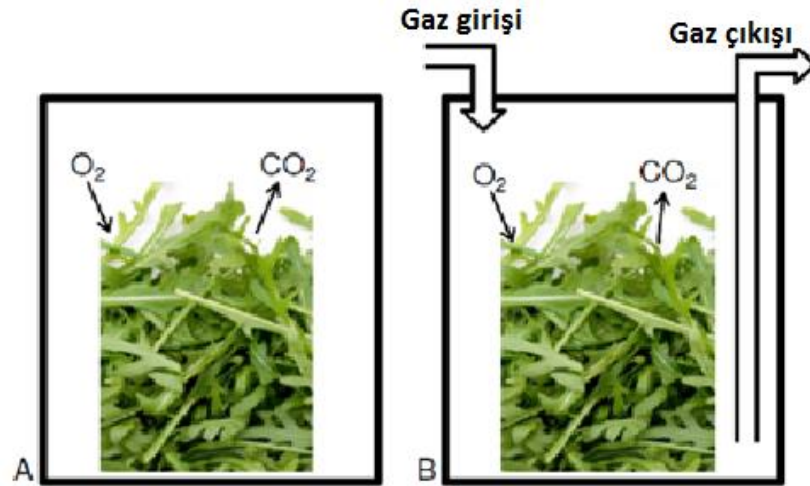
Hasat sonrası dönemde, meyve-sebzelerin metabolik solunumu sonucu fotosentetik rezervlerde depolanan besin yıkıma uğramaktadır (Lokke, 2012). Meyve-sebzelerin solunum hızı ile raf ömrü arasında yakın bir ilişki bulunmaktadır. Solunum hızı yüksek ürünlerin raf ömrü, bir o kadar kısa olmaktadır (Kartal ve diğ., 2010). Solunum hızı; ürünün cinsi, büyüklüğü, olgunluğu, doku tipi ile atmosferik kompozisyon ve ortam sıcaklığı gibi birçok iç ve dış faktörlere bağlıdır (Kartal ve

diğ., 2010). Çizelge 2.2’de bazı meyve-sebzelerin 5°C’deki solunum hızları gösterilmiştir.

Çizelge 2.2: Bazı meyve-sebzelerin 5°C’deki solunum hızları (Sinha, N. K., 2011).

Solunum hızı seviyesi	Solunum hızı (mg CO ₂ kg ⁻¹ h ⁻¹)	Ürünler
Çok düşük	<5	Fındık, kestane
Düşük	5-10	Soğan, patates, sarımsak
Orta	10-20	Lahana, havuç, marul, domates
Yüksek	20-40	Karnıbahar, avakado
Çok yüksek	40-60	Enginar, yeşil fasulye
Aşırı yüksek	>60	Kuşkonmaz, mantar, bezelye, ıspanak

Modifiye atmosfer ambalajlama (MAP), gıdaların çevre atmosfer koşullarından farklı atmosfer koşullarında saklandığı bir gıda muhafaza yöntemidir (Cervera ve diğ., 2007). Pasif modifiye atmosferde ambalajlama yöntemi, taze meyve-sebzelerin depolanmasında en çok kullanılan MAP yöntemidir. Bu yöntemde, ürünün solunumu sonucu ortam gaz konsantrasyonunun değişimi polimerik filmler yardımı ile gerçekleşmekte ve solunumun yavaşlaması sağlanmaktadır (Sakaldaş ve diğ., 2010; Lokke, 2012). Şekil 2.2’de kapalı bir sistem ve modifiye atmosfer yapısı içinde saklanan rokalar şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.2: Kapalı bir sistemde (A) ve gaz geçirgen özellikli ambalaj yapısı içinde (B) saklanan rokanın solunumunun şematik gösterimi (Lokke, 2012).

Meyve ve sebzelerin depolanmasında göz önüne alınması gereken en önemli problemlerden biri solunum sırasında ortaya çıkan ısıdır. Solunumla beraber

olgunlaşmaya başlayan meyve ve sebzelerde etilen üretiminin de başlaması, dokuların yumuşamasına ve raf ömrünün azalmasına neden olmaktadır (Kartal ve diğ., 2010). Ayrıca etilen gazının oluşumu ile üründe sararmalarda artış gözlenmektedir (Toivonen ve Sweeney, 1998). Sararmaların bir başka nedeni de lipidlerin peroksidasyonudur (Dhindsa, ve diğ., 1981; Dhindsa ve diğ., 1982; Zhuang ve Hildebrand, 1995).

Taze meyve-sebzelerin raf ömrü düşük ve yüksek sıcaklık, modifiye veya kontrollü atmosfer, UV-C ışık, gamma ışını, 1-metilsiklopropan, 6-benzilaminopürin, elektrostatik atomizasyon ve ışık gibi uygulamalarla değişebilir (Ayala ve diğ., 2009; Castagna ve diğ., 2013; Ma, ve diğ., 2014; Yuan ve diğ., 2010; Xu ve diğ., 2012a; Costa ve diğ., 2006). Bu yaklaşımlar ürünün karakteristik özelliklerine göre değişiklik gösterir (Ayala ve diğ., 2009). Hasat sonrası dönemde meyve-sebzelerin raf ömrünün arttırılmasının yanı sıra; bu süreçte ürünün fitobesin içeriği ve tekstürü de olabildiğince korunabilmektedir (Braidot ve diğ., 2014). Bu noktada ürünün yetiştiği mevsim, kısa ya da uzun gün bitkisi olması ile marul, ıspanak gibi yapraklı olması; karnabahar ve brokoli gibi çiçekli olması ya da havuç, turp gibi bir kök bitkisi olması önem taşır (Ayala ve diğ., 2009).

2.2 Tüketicilerin Yeni Beslenme Eğilimleri

Meyve-sebzeler; düşük yağ içerikleri ve yüksek miktarlarda vitamin, mineral, lif, biyoaktif bileşenler gibi insan vücudunda sentezlenemeyen besinsel değeri olan bileşenleri içermeleri nedeni ile beslenme açısından oldukça önemlidir (Nicola ve diğ., 2009).

Her ne kadar modern tıpta önemli gelişmeler elde edilmiş olsa da, günümüzde beslenme rehberleri özellikle kanser, diyabet ve kardiyovasküler hastalıklardan sağlığın korunmasına yönelik olarak hazırlanmakta ve son yıllarda zirai ürünlerin tüketimi sağlık ve besin değeri (vitamin içeriği, mineraller, antioksidanlar vb.) açısından tüketicilerin tercihinde önem kazanmaktadır (Saeed ve diğ., 2012; Ramos dos Reis ve diğ., 2015; Scalzo ve diğ., 2005). Bu besin öğelerinin doğal olmayan yollarla elde edilerek gıda takviyesi biçiminde alınmasının vücuda olan olumsuz etkisi net olarak bilinmemekle birlikte, genel olarak doğal zirai ürünlerden alınması daha güvenilir olarak kabul görmektedir (Saeed ve diğ., 2012).

Yapılan son araştırma bulguları kronik hastalıkların oluşumunun sebze ağırlıklı diyetle beslenme ile azaldığı yönündedir (Luthria ve diğ., 2006). Son yıllarda sağlıklı beslenme yönünde artan eğilimler ve vejetaryenlik ile tüketicilerde taze meyve-sebze tüketimi modern insanın yeni yaşam stiline uygun olmaktadır. Bu nedenle meyve-sebze tüketimi oldukça popüler hale gelmektedir (Nicola ve diğ., 2009).

Meyve-sebzelerin insan sağlığı açısından bulunan söz konusu yararlı etkileri içerdikleri fitobesin öğeleri ile ilgilidir (Luthria ve diğ., 2006).

2.3 Fitobesin Öğeleri

İnsan sağlığı için gerekli bileşenlerin vücuda alınmasında meyve-sebze ağırlıklı beslenme önemli rol oynamaktadır. Fitobesin öğeleri bitki orijinli olan ve insan sağlığına birçok yararı bulunan bileşenlerdir (Lester, 2006).

Son yıllarda bitki bilimcileri tarafından meyve-sebzelerin içerdiği insan sağlığı için önemli fitobesin öğelerinin artırılmasına yönelik çalışmalar yapılmaktadır. Kullanılan bitki gübreleri, bitkinin moleküler genetiği, yetiştirilen iklim koşulları ve yetiştirme teknikleri fitobesin öğeleri içeriği açısından önemlidir (Lester, 2006). Bunların yanı sıra, hasat etme, depolama ve işleme sırasında da içerikler değişiklik göstermektedir (Braidot ve diğ., 2014).

2.3.1 C vitamini (askorbik asit)

Askorbik asit ve dehidroaskorbik asit, C vitamini olarak bilinen organik asitlerdir (Davidek ve diğ., 1990). Askorbik asit, temel C vitamini formu olarak bilinirken, dehidroaskorbik asit sebzelerdeki toplam C vitamini içeriğinin %10'unu temsil etmektedir (Wills, ve diğ., 1984; Lee ve Kader, 2000).

Askorbik asit vücudun birçok hastalıklara karşı direncini arttıran, antiskorbütik ve diyetle birlikte alınması zorunlu bir vitamindir. Cildin ve bağ dokuların önemli bir unsuru olan ve sağlamlık veren kollagen proteinin oluşumu için gereklidir (Cemeroğlu, 2004; Cemeroğlu, 2010). Eksikliği kılcal damar çeperlerinin zayıf bir yapı kazanmasına, diş etlerinin kolayca kanamasına, dişlerin gevşemesine ve eklem hastalıklarına neden olmaktadır (Cemeroğlu, 2010). Önerilen günlük alım miktarı çeşitli kaynaklarda 40 mg ile 100 mg arasında farklılık göstermektedir (Url-1).

C vitamininin ayrıca damar içi hücrelerinin ve LDL kolesterolün oksidasyonunu önleme ve böylece koroner kalp rahatsızlığı oluşumu riskini azaltma özelliği bulunmaktadır (Saldamlı ve Sağlam, 2005).

C vitamini eksikliğinde ortaya çıkan skorbüt hastalığı gelişmiş ülkelerde seyrek görülür. Genellikle alkol ve uyuşturucu bağımlılarında ya da uzun süreli yolculuklara çıkan denizcilerde yetersiz diyetle beslenme sonucu görülen bu hastalık ancak plazma askorbat düzeyi 0,2 mg/100 ml altına düşecek kadar azaldığı zaman ortaya çıkar (Saldamlı ve Sağlam, 2005).

C vitamininin hafif yetersizliğinde; yorgunluk, iştah azalması, yaraların iyileşmesinde gecikme gibi belirtiler görülmekte iken eksiklik arttığında; sırası ile büyümede duraklama, anemi, enfeksiyonlara karşı direnç azalması ortaya çıkar (Saldamlı ve Sağlam, 2005). Ayrıca C vitamini oksijen tutma özelliğinden dolayı önemli bir antioksidandır (Cemeroğlu, 2004; Hounscome ve diğ., 2011). Askorbik asit sağlıklı bir bağışıklık sistemi için, soğuk algınlığından ve serbest radikallerin hasarından korunmada kritik rol oynar (Url-3).

Askorbik asit, genellikle meyve-sebzelerde bulunan suda çözünen ve antioksidan özellik gösteren vitaminlerdendir (Hounscome ve diğ., 2011; Lester, 2006).

İnsan beslenmesinde C vitamininin %90'dan fazlası taze meyve-sebzelerden sağlanır (Lee ve Kader, 2000).

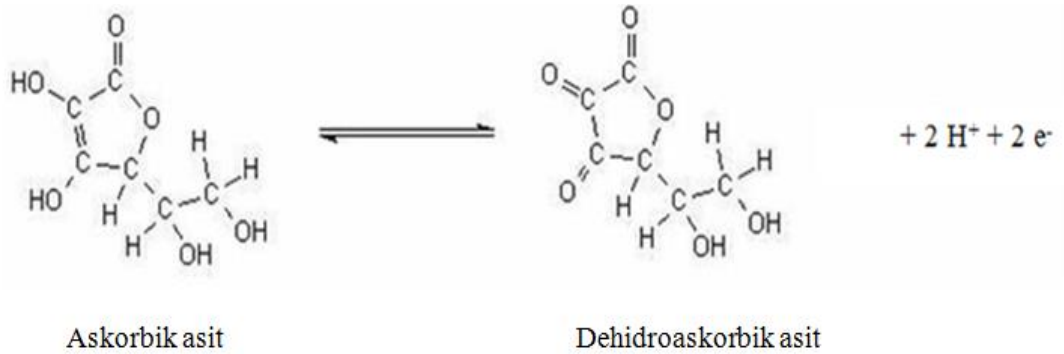
Meyve ve sebzelerde C vitamini içeriği bitkinin türüne, hasat öncesi iklim koşullarına, olgunluk derecesine, hasat yöntemlerine ve hasat sonrası saklama koşullarına göre değişiklik gösterir (Lee ve Kader, 2000; Cemeroğlu, 2004; Saldamlı ve Sağlam, 2005).

Hasat öncesi dönemde yüksek ışık şiddetine maruz kalan bitki dokularında C vitamini içeriği daha fazla olur (Lee ve Kader, 2000). Hasat sonrası dönemde yüksek sıcaklıklarda ve uzun depolama sürelerinde C vitamini kaybı artmaktadır (Lee ve Kader, 2000). Bu nedenle C vitamininin korunmasına yönelik en önemli faktör meyve-sebzelerin soğukta saklanmasıdır. Cantwell ve Kasmire (2012) brokolinin 20°C'de oda sıcaklığında muhafaza edildiğinde C vitamini değerinin ilk 5 günde %25 oranında azaldığını; 0°C'de muhafaza edildiğinde ise ilk 25 günde C vitamini kaybının %30 oranında olduğunu bildirmişlerdir. Ayrıca, Kader ve Morris (1978)

yaptıkları çalışmada, hasat edilen domateslerin 30°C ve 40°C’lerde 24 saat boyunca depolanmaları sonucu askorbik asit içeriği kaybının sırasıyla %5 ve %12 mertebelerinde olduğunu bildirmişlerdir.

Oksidasyonla ve yüksek sıcaklıklarda termik yolla kolaylıkla parçalanan askorbik asit, gıdaların işlenmesi, depolanması ve pişirilmesi işlemlerinde en fazla kaybolan vitamindir (Cemeroğlu, 2010). Bu nedenle en az işlenmiş çiğ sebze tüketimi trendi yaygınlaşmaktadır.

Depolama ortamında uygun bir katalizör bulunduğunda, askorbik asit (L-askorbik asit) hava oksijeni ile okside olarak dehidroaskorbik aside dönüşür (Lee ve Kader, 2000; Cemeroğlu, 2010). Şekil 2.3’te askorbik asidin dehidroaskorbik aside dönüşümü gösterilmiştir. Oksidasyon ürünü olan dehidroaskorbik asit pH 4’ün altında az da olsa stabildir, ancak pH 4’ün üzerinde biyolojik bir aktivitesi olmaz ve daha ileri aşamalarındaki parçalanma ürünlerine dönüşür (Lee ve Kader, 2000; Cemeroğlu, 2010). Stabil kalan dehidroaskorbik asit, insan vücudunda askorbik aside indirgenebildiğinden az da olsa biyolojik aktivite gösterir (Cemeroğlu, 2010).



Şekil 2.3: Askorbik asitin dehidroaskorbik asite dönüşümü (Cemeroğlu, 2010).

Tarım ürünlerinin çoğunun DHA içeriği toplam askorbik asit miktarının yaklaşık %10’u seviyelerinde olmakla birlikte, DHA’nın depolama ile arttığı bildirilmiştir (Wills ve diğ., 1984). Çizelge 2.3’te 20°C’de depolanan farklı meyve-sebzelerin askorbik asit ve DHA miktarlarının zamana bağlı değişimi gösterilmiştir (Wills ve diğ., 1984).

Çizelge 2.3 incelendiğinde; 20°C’de saklanan meyve-sebzelerde askorbik asit miktarının sürekli azaldığı yorumu yapılabilir. Dehidroaskorbik asit içeriğinin zamana bağlı değişiminin düzenli bir eğilimi olmamakla birlikte genel olarak arttığı görülmektedir (Wills ve diğ., 1984).

Çizelge 2.3: 20°C’de depolanan farklı meyve-sebzelerin askorbik asit ve DHA miktarlarının zamana bağlı değişimi (Wills ve diğ., 1984).

		miktar, mg/100 g (depolama süresince)										
İçerik	Ürün	0	1	2	3	4	5	6	7	8	10	12
günlere göre değişim												
DHA, mg/100g	muz	0		0		0		0				
	brokoli	4,3		6,5		11,3						
	brüksel lahanası	4,6	0	1,3	1,6	4,6						
	kavun	1		2,5		3,2		6		10,2	11	16
	karnabahar	0	6	4,2	4,8							
	kereviz	4,2	4	4,2	5	4,5						
	salatalık	1,2		2,8		1,6		6,2		4,4	3,2	
	maydanoz	0	4,5	1	3,5							
	domates	1,5		3,6		1,1		1,4		2,3		
haftalara göre değişim												
DHA, mg/100g	limon	0	0	0	0	2,3	3,1	1	1,2			
	potakal	0	0	0	0	1,1	3					
	patates	0	0	0	0	0	0	3,3	4,2			
günlere göre değişim												
AA, mg/100g	muz	8		8		5,4		4				
	brokoli	75,7		52,5		32,3						
	brüksel lahanası	57,6	57,2	52,6	50,3	37						
	kavun	62		56,5		53		44,6		40	34,5	28,2
	karnabahar	48,6	41,5	40	36,5							
	kereviz	6	4,5	4,2	0	0						
	salatalık	12,3		11		8,5		4,5		2	2	
	maydanoz	152	146,5	132	125							
	domates	18,7		14,3		12,3		10,6		10		
haftalara göre değişim												
AA, mg/100g	limon	42,4	40,7	40,6	37,1	36,3	30,7	30,4	30,1			
	potakal	47,5	39,9	36,5	34,2	29,5	27,3					
	patates	13,8	13,5	13	11,3	10	9,6	5,9	4,7			

Meyve-sebzeler arasında; kuşburnu, kırmızıbiber, yeşil sivri biber, koyu yeşil yapraklı sebzeler, lahana ve türleri, brokoli, Brüksel lahanası, portakal ve limon gibi turunçgiller, domates, çilek, kivi, kavun, kızılcık, ananas, böğürtlen ve patates en iyi C vitamini kaynaklarıdır (Saldamlı ve Sağlam, 2005; Hounscome ve diğ., 2011; Lester, 2006). Maydanoz C vitamini bakımından çok zengindir, ancak az miktarlarda tüketildiği için günlük C vitamini alımına katkısı da azdır (Saldamlı ve Sağlam, 2005). Çizelge 2.4’te bazı taze sebze ve meyvelerin içerdiği askorbik asit,

dehidroaskorbik asit ve toplam C vitamini içerikleri (mg/100g) gösterilmiştir (Wills ve diğ., 1984).

Çizelge 2.4: Bazı taze sebze ve meyvelerin içerdiği askorbik asit (AA), dehidro askorbik asit (DHA) ve toplam C vitamini içerikleri (mg/100g) (Wills ve diğ., 1984).

Ürün	AA	DHA	Toplam
Brokoli	89	7,7	96,7
Lahana	54	—	54
Karnabahar	24	8,7	32,7
Hardal otu	92,7	—	92,7
Kırmızıbiber	151	4	155
Yeşilbiber	129	5	134
Patates	8	3	11
Ispanak	62	13	75
Pazı		45	45
Domates	10,6	3	13,6
Karpuz	8	1,7	9,7
Muz	15,3	3,3	18,6
Dut	18	3	21
Kavun	31,3	3	34,3
Greyfurt	21,3	2,3	23,6
Kivi	59,6	5,3	64,9
Limon	50,4	23,9	74,3
Mandarin	34	3,7	37,7
Portakal (Kaliforniya)	75	8,2	83,2
Portakal (Florida)	54,7	8,3	63
Ahududu	27	2	29
Çilek	60	5	65

2.3.2 Renk maddeleri

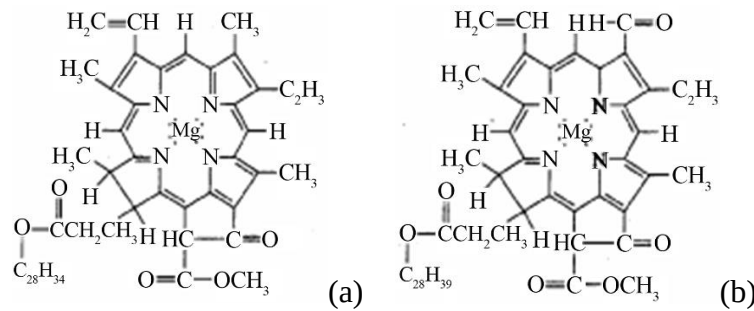
Raf ömrü süresince gıdaların tercih edilmelerinde en önemli özelliklerden birisi ürünün rengidir (Hutchings, 1999).

Gıdalardaki doğal renk pigmentleri genel olarak (Davidek ve diğ., 1990);

- fenolik maddeler ve onların oksidasyon ürünleri,
- porfirin türevleri ve klorofil,
- betalain ve türevleri,
- karotenoidler ve benzer pigmentler,
- enzimatik ve enzimatik olmayan (genellikle Maillard reaksiyonları) kararma reaksiyonları sonucu oluşan pigmentler,
- fenolik bileşiklerin ağır metallerle kompleks oluşturmaları sonucu oluşan pigmentlerden oluşur.

2.3.2.1 Klorofil

Klorofil, fotosentezin gerçekleştiği bitkilerde fotosentetik porfirin pigmentinin bütün sınıflarını kapsamaktadır (Acar ve Gökmen, 2005). Klorofil, yeşil yapraklara ve bazı ham meyvelere rengini verir. Klorofil-a mavi-yeşil ve klorofil-b sarı-yeşil renklidir (Acar ve Gökmen, 2005). Genellikle bitkilerdeki klorofil a ve klorofil b oranı 3:1 şeklindedir (Acar ve Gökmen, 2005; Lichtenthaler, 1987). Bitkinin büyüme koşulları ve çevresel faktörler bu oranın değişmesine neden olabilir; örneğin fazla ışık alan veya güneş gören bitkilerde bu oran 3,2- 4 değerleri arasına çıkabilirken, az ışık alan veya daha az güneş ışığına maruz kalan bitkilerde bu oran 2,5-2,9 arasında olabilir (Lichtenthaler, 1987). Şekil 2.4'te klorofil a ve klorofil b'nin kimyasal yapısı gösterilmiştir.



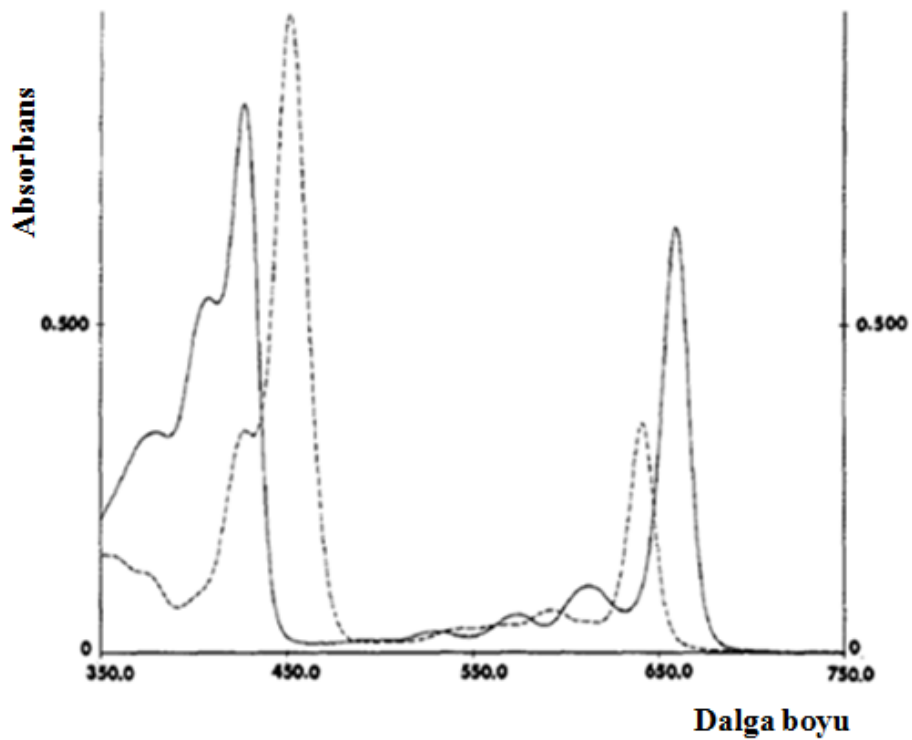
Şekil 2.4: (a) Klorofil a; (b) Klorofil b'nin kimyasal yapısı (Acar ve Gökmen, 2005).

Klorofil a ve b yapılarında bulunan magnezyumun parçalanması sonucu feofitin a ve b oluşur ve renk zeytin yeşiline döner (Acar ve Gökmen, 2005). Aynı şekilde klorofil molekülündeki magnezyumun yerine Sn^{+2} , Fe^{+3} gibi diğer metal iyonlarının geçmesi de rengin yeşilden gri kahverengiye dönüşmesine neden olur (Acar ve Gökmen, 2005).

Feofitin, klorofil molekülüne benzer yapıda olup merkezinde magnezyum iyonu içermez (Schelbert ve diğ., 2009). Klorofilin indirgenme ürünü olarak da bilinmektedir (Schelbert ve diğ., 2009; Schwartz ve Lorenzo, 1990).

Klorofil molekülü meyve-sebzelerin işlenmesi ve depolanması sırasında sıcaklık, ortamın pH değeri gibi faktörlerin etkisi ile türevlerine parçalanır ve ürün renginde bozulma gerçekleşir (Acar ve Gökmen, 2005).

Şekil 2.5’de da görüldüğü gibi; klorofil, görünür bölge spektrumda kırmızı ve mavi bölgelerde maksimum absorpsiyon yapmaktadır (Lichtenthaler, 1987).



Şekil 2.5: Klorofil a (düz çizgi) ve klorofil b (kesikli çizgi)’nin absorpsiyon spektrumu (Lichtenthaler, 1987).

2.3.2.2 Karotenoidler

Karotenoidler; bitkiler, bakteriler, küfler ve algler tarafından sentezlenen, temel olarak 8 adet izoprenoid renk birimlerinden oluşan, bitkisel ve hayvansal ürünlere sarı-kırmızı aralığında renk ve aroma veren bileşiklerdir (Acar ve Gökmen, 2005; Ma ve diğ., 2014; Cazzonelli, 2011). Fotosentez yapan tüm bitkilerde sentezlenirler (Cuttriss ve diğ., 2011). Birçok meyvenin olgunlaşması sırasında renginin yeşilden

kırmızı veya turuncuya değişmesinin nedeni karotenoidlerdir. Bu durum klorofilin yıkımı ile yeşil rengin azalarak maskelenmesi sonucu oluşur (Eskin ve Goff, 2013).

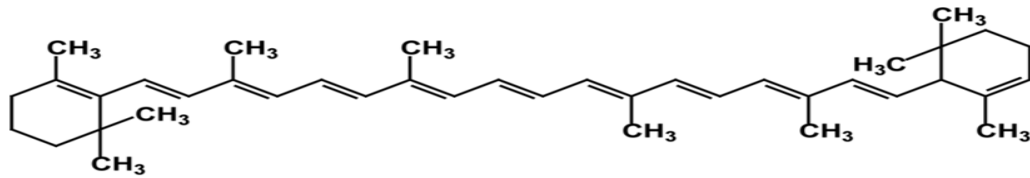
Karotenoidlerin sarıdan kırmızıya farklı renklere sahip olmalarının nedeni; konjuge çift bağların görünür bölgede ışık spektrumunun belirli dalgalı boylarını absorblamaları sonucudur. Kimyasal yapılarına göre ksantofiller (oksijen içerenler) ve karotenler (oksijen içermeyenler) olarak ikiye ayrılırlar. Genel olarak yağda çözünebilirler (Acar ve Gökmen, 2005).

Karotenoidler, A vitamininin öncül molekülü olması bakımından, memelilerin beslenmesinde hayati bileşenlerdendir (Cuttriss ve diğ., 2011). β -karoten, güçlü antioksidan özelliği bulunan ve en yüksek pro-vitamin A aktivitesi gösteren karotenoiddir (Lester, 2006; Cuttriss ve diğ., 2011). A vitamini eksikliği ile vücutta demir emiliminin azalması, çocuklarda büyüme geriliği, bağışıklık sisteminin baskılanması ve körlük meydana gelebilir (Sommer ve Davidson, 2002). Vücutta günde yaklaşık 6 mg β -karoten alımı günlük alınması gereken A vitamini ihtiyacını karşılamaktadır (IOM, 2000). Şeftali, brokoli, havuç, lahana, mango, kavun, nektarin, portakal, marul, papaya, kayısı ve ıspanak zengin β -karoten kaynaklarıdır (Lester, 2006).

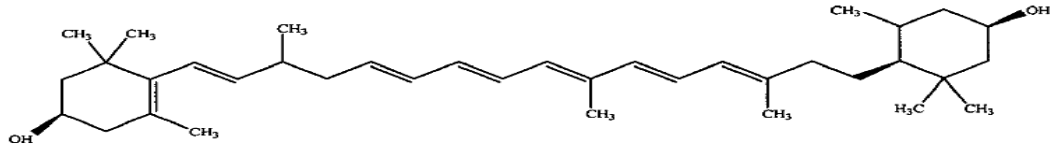
Bitkide β -karoten miktarının fazla olması ile renk; ışık nedenli ağarmalardan korunur, klorofil konsantrasyonu artar (Lester, 2006).

Proteinlere bağlı olarak bulunan karotenoidler, fotosentez yapan bitkilerde ışığın absorpsiyonunda rol oynarlar ve yeşil yapraklarda yer alan klorofili oksidatif parçalanmalara karşı korurlar (Watzl ve Bub, 2001).

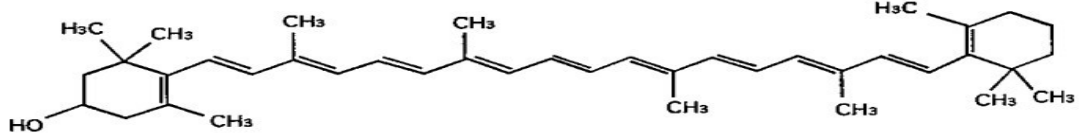
Aşağıdaki şekillerde bazı karotenoidlerin kimyasal yapıları paylaşılmıştır (Şekil 2.6, Şekil 2.7 ve Şekil 2.8).



Şekil 2.6: Alfa-karotenin yapısı (Acar ve Gökmen, 2005).

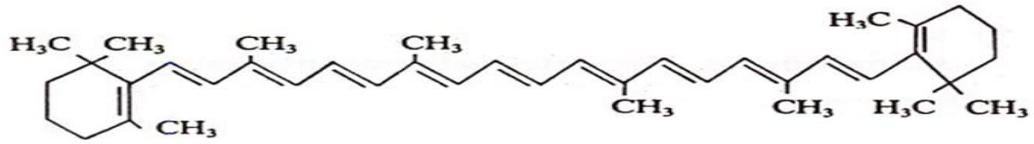


Şekil 2.7: Zeaksantin yapısı. (Acar ve Gökmen, 2005).

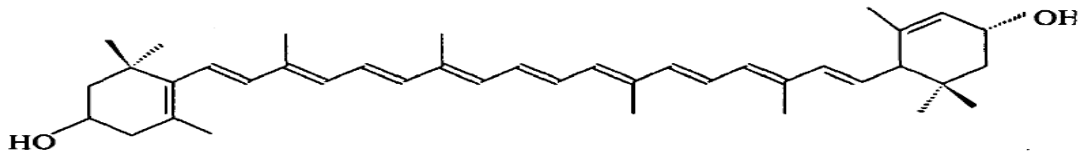


Şekil 2.8: Beta kriptoksantin yapısı (Acar ve Gökmen, 2005).

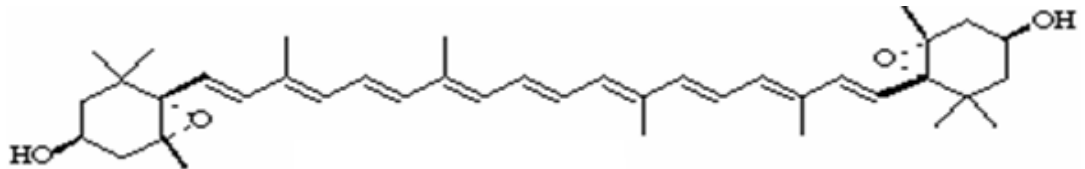
Fotosentez yapan bitki dokularında yer alan karotenoidler fotosentez fonksiyonları için gerekli olan ve kloroplastta bulunan β -karoten (Şekil 2.9), lutein (Şekil 2.10), violaksantin (Şekil 2.11) ve neoksantin gibi karotenoidler birincil karotenoidlerler iken, kırmızı meyve-sebze ve çiçeklerdeki karotenoidler ikincil karotenoidler olarak bilinir. Kütlece içerikleri gelişme koşulları ve stres faktörüne göre değişim göstermektedir (Lichtenthaler, 1987). Bitkinin ışık gören dokularında yoğun olarak bulunurlar (Cuttriss, 2011). Karotenoidlerin, bitkilerde fotosentez için gerekli olmalarının yanı sıra, ışığın zararlı etkisinden korunmada ve karotenoid türevi fitohormonların üretiminde de rol oynarlar (Cuttriss, 2011).



Şekil 2.9: Beta-karotenin yapısı. (Acar ve Gökmen, 2005).

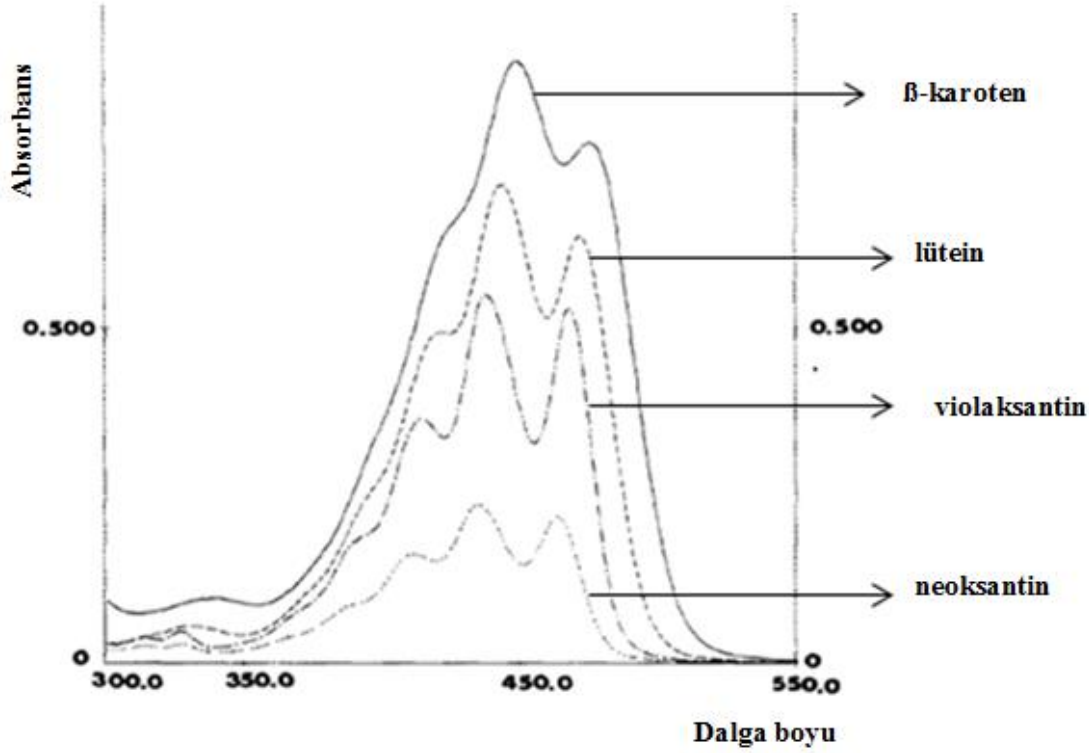


Şekil 2.10: Luteinin yapısı (Acar ve Gökmen, 2005).



Şekil 2.11: Violaksantin yapısı (Acar ve Gökmen, 2005).

Şekil 2.12’de görüldüğü gibi karotenoidlerin spesifik özellikleri nedeniyle, görünür mavi spektral bölgede 2 veya 3 noktada absorpsiyonları maksimum olur (Lichtenthaler, 1987).



Şekil 2.12: Yapraklarda bulunan başlıca karotenoidlerin absorpsiyonu (Lichtenthaler, 1987).

2.3.3 Fenolik bileşikler

Fenolik bileşikler, genellikle bitki dokularında glikozitler gibi şekerlere bağlı halde bulunan, metabolizmada bitkilerin kendisini bazı zararlı koşullara karşı koruma amacıyla bulunduğu düşünülen, gıdalara kendine özgü renk veren, özellikle acı, buruk tat ve kokunun oluşumunu sağlayan maddelerdir (Davidek ve diğ., 1990; Cemeroğlu, 2004; Acar ve Gökmen, 2005; Ötleş ve diğ., 2014). Bir ya da daha fazla hidroksil grubunun aromatik halkaya bağlı olduğu bileşiklerdir (Ötleş ve diğ., 2014).

Bitkilerde 8000’den fazla fenolik bileşiğin bulunduğu belirlenmiştir (Luthria ve diğ., 2006). Bu bileşikler, meyve-sebzelerde; bitkilerin tohum, çiçek, yaprak, dal ve gövdelerinde bulunabilmektedir (Ötleş ve diğ., 2014). Meyve-sebzelerde farklı nitelikte ve miktarlarda çeşitli fenolik bileşikler bulunmaktadır. Ağızda bıraktıkları tadın fenolik bileşikler ile ağız mukozasında bulunan protein ve polisakkaritler arasında gerçekleşen tepkimelerden kaynaklandığı düşünülmektedir (Acar ve

Gökmen, 2005). Ayrıca, fenolik bileşiklerin bir kısmı, meyve ve sebzelerde sarı, sarı-esmer, kırmızı-mavi tonlarda renklerinin oluşmasında rol oynamaktadır (Ötleş ve diğ., 2014).

Bitkilerde bulunan fenolik bileşikler; fenolik asitler (fenolkarbonik asitler), flavonoidler ile küçük moleküllü ve genellikle uçucu olan bileşikler kapsarlar (Acar ve Gökmen, 2005). Fenolik bileşikler, gıdalarda renk maddesi olarak bulundukları gibi, renk değişimlerine de neden olabilirler. En çok görülen renk değişimleri, bu reaksiyonları katalize eden genellikle polifenoloksidaz enzimleri (PPO) ile fenolik bileşiklerin oksidasyonu sonucu enzimatik esmerleşme ile gerçekleşir (Acar ve Gökmen, 2005). Enzimatik esmerleşme reaksiyonları hasar görmüş bitki dokularında ve enzimatik reaksiyonlar kontrol edilmediğinde görülür. Meyve-sebzelerin işlenmesi ve depolanması sırasında oluşan fenolik maddelerin oksidasyonu genellikle kalite kaybı olarak değerlendirilir (Acar ve Gökmen, 2005). Ayrıca enzimatik olmayan kararar reaksiyonları da birçok gıda ürününde istenmeyen renk, tat, koku ve tekstür değişimine neden olmaktadır (Davidek ve diğ., 1990; Acar ve Gökmen, 2005).

Fenolik bileşiklerin karakteristik renk, tat ve koku oluşumuna etkilerinin yanı sıra, yapısında bulunan serbest radikaller sayesinde insan sağlığı açısından antikanserojenik özelliği oldukça önem taşımaktadır (Acar ve Gökmen, 2005). Ayrıca, fenolik bileşiklerin E vitamini, C vitamini ve karotenoidlerden daha fazla antioksidan etkiye sahip oldukları kanıtlanmıştır (Ötleş ve diğ., 2014).

Antioksidan özellikleri sayesinde LDL-lipoproteinlerin oksidasyonu, trombosit pıhtılaşması ve kırmızı kan hücrelerinin zarar görmesi engellenmektedir. Meyve-sebze tüketimi ile kardiyovasküler ve nörodejeneratif hastalıklar, diyabet ya da osteoporoz riski arasında ters ilişki olduğu belirlenmiştir (Ötleş ve diğ., 2014).

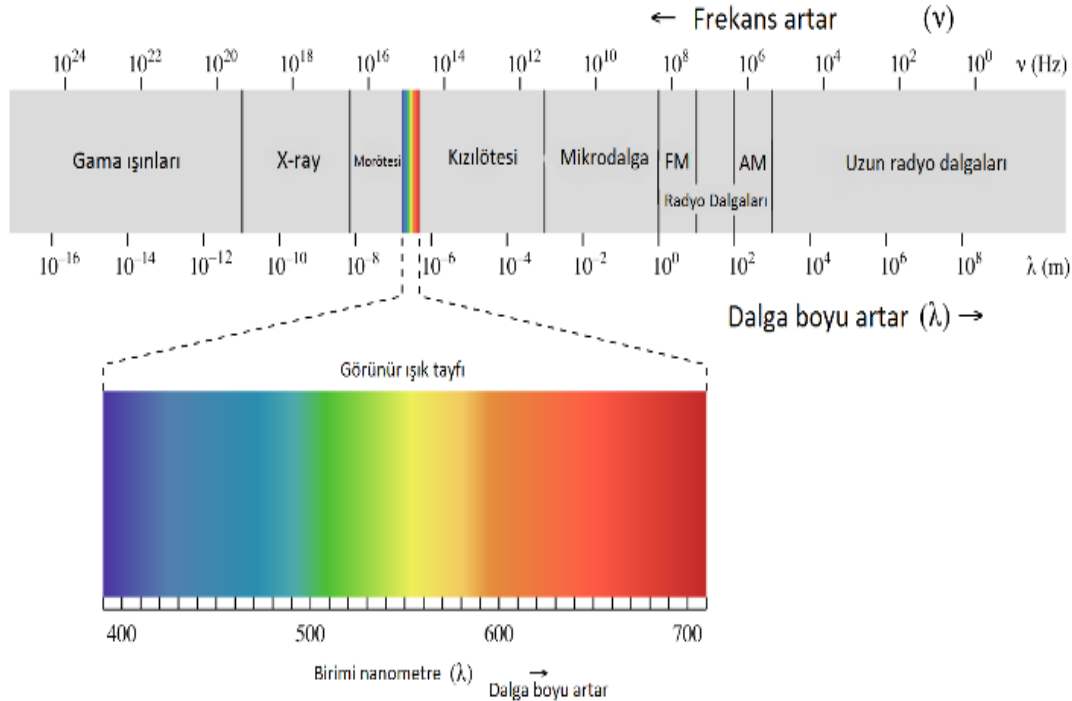
Antioksidan etkileri, yapılarında bulunan fenol halkasındaki –OH grubu sayısı arttıkça artar. Fenolik bileşikler içerisinde en fazla antioksidan etkiyi gallik asit, floroglusidik asit, kafeik asit ve gentisik asit gösterir (Acar ve Gökmen, 2005).

Fenolik bileşiklerin metal bağlama, antimutajenik, antikarsinojenik, antienflamatuar etkileri de bulunmaktadır (Ötleş ve diğ., 2014).

2.4 Işık Uygulamasının Bitki Üzerine Etkisi

Dünya üzerindeki yaşam, Güneş enerjisinin biyosferden geçmesi ve dönüşmesi ile sürdürülür. Fotosentez reaksiyonları ile ışınım enerjisi bitkide latent kimyasal enerjiye dönüştürülür. Bu enerji, yaşamsal süreçlerde gıda zincirinde farklı biçimlere dönüşür. Işınım organik materyallerin sentezinde kullanılan birincil enerjidir ve bitkilerin ısı ve su dengesini düzenleyerek dünya ve yaşam için gerekli enerjiyi sağlar (Larcher, W., 2003). Ancak bitkilerde solar ışınım sadece bir enerji kaynağı değildir (foto-enerjik etki). Işığın foto-enerjik etkisi sayesinde bitki fotosentez yapar. Işık bitkinin gelişimi işlemlerinde de uyarıcı faaliyet gösterir (foto-sibernetik etki). Ayrıca, bazı durumlarda stres faktörü olmaktadır (foto-inhibitör etki). Işığın foto-inhibitör etkisi fotosentezin durmasına ve klorofilin yıkımına neden olur (Url-4). Bu etkiler, maruz kalınan ışığın miktarına, süresine ve spektrumuna göre değişiklik göstermektedir (Larcher, W., 2003).

Işığın spektral dağılımının 380-700 nm aralığı insan gözü tarafından algılanmakta ve bu aralık “görünür bölge” olarak adlandırılmaktadır (Lokke, 2012; Altuğ-Önoğur ve diğ., 2011). Şekil 2.13’te görünür ışık dalga boyu spektrumu paylaşılmıştır.

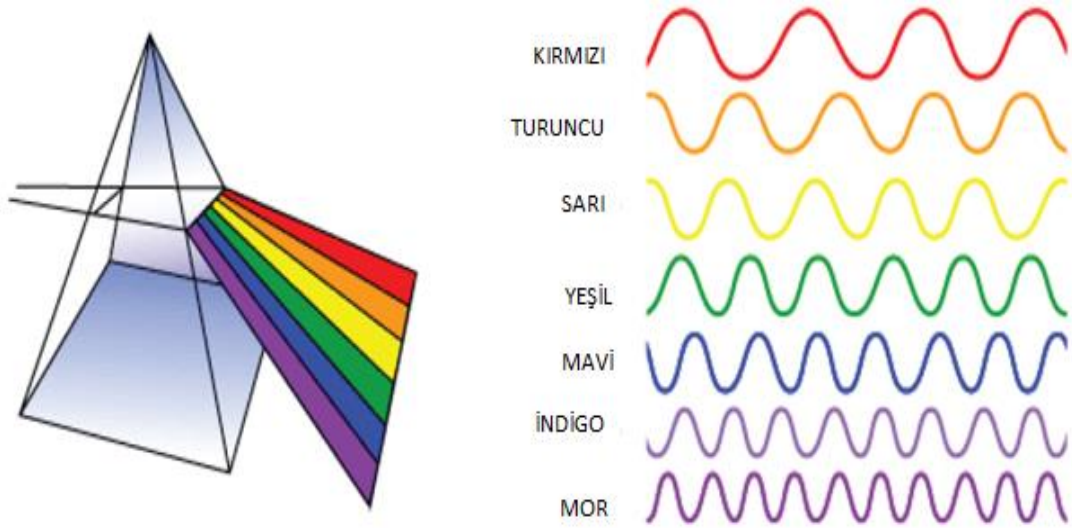


Şekil 2.13: Görünür bölge ışık dalga boyu spektrumu (Url-5).

Işığın belli aralıkları nesneler tarafından absorbe edildiğinde ve diğer aralıkları yansıtıldığında, bir renk meydana gelmektedir. Opak bir cisme gelen görünür ışığın tamamı yansıtıldığında, nesne beyaz; kısmen absorbe edildiğinde gri; tamamı absorbe edildiğinde ise siyah görünmektedir (Lokke, 2012; Altuğ-Önoğur ve diğ., 2011).

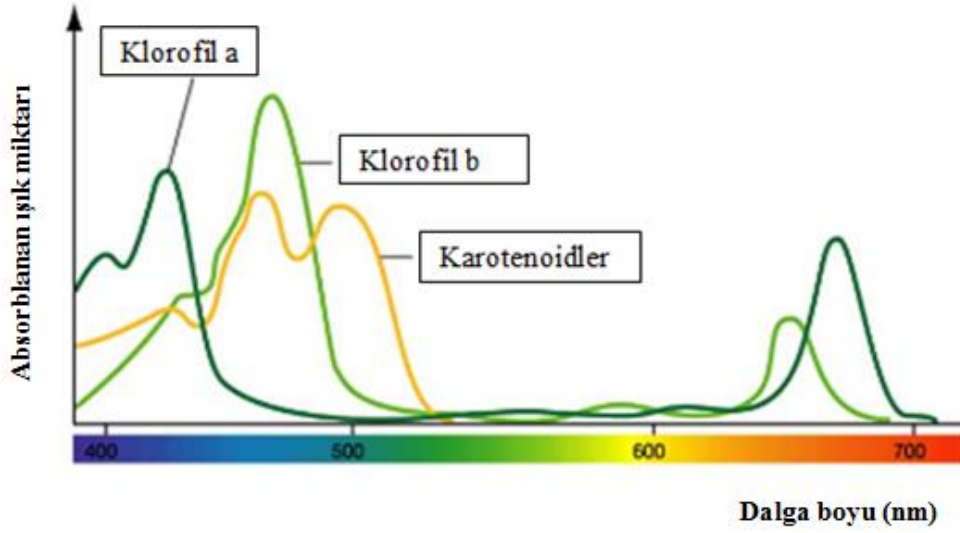
Görünür ışık ya da beyaz ışığın ayrıldığı her bir ışık tayfının belli bir rengi ve dalga boyu vardır (Url-4). Şekil 2.14'te beyaz ışığın prizmadan geçerek kırılması sonucu oluşan renkler ve temsili dalga boyları gösterilmiştir.

Sebzelerdeki yeşil renk klorofil pigmentinin ve sarı/turuncu renk ise karotenoidlerin baskınlığı sonucu oluşmaktadır. Klorofil, ışığı birçok dalga boyunda absorbe ederken, 500-600 nm aralığını yansıtır. Bu nedenle klorofil içeren ürünler yeşil görünür. Karotenoidler ise 400-550 nm aralığında ışığı absorblayıp, 550 nm'nin üzerindeki dalga boylarını yansıtır. Bu nedenle karotenoidlerin baskın olduğu ürünler sarı-turuncu görünmektedir (Lokke, 2012).



Şekil 2.14: Görünür ışık (Url-6).

Sebzelerdeki yeşil renk klorofil pigmentinin ve sarı/turuncu renk ise karotenoidlerin baskınlığı sonucu oluşmaktadır. Klorofil, ışığı birçok dalga boyunda absorbe ederken, 500-600 nm aralığını yansıtır. Bu nedenle klorofil içeren ürünler yeşil görünür. Karotenoidler ise 400-550 nm aralığında ışığı absorblayıp, 550 nm'nin üzerindeki dalga boylarını yansıtır. Bu nedenle karotenoidlerin baskın olduğu ürünler sarı-turuncu görünmektedir (Lokke, 2012).

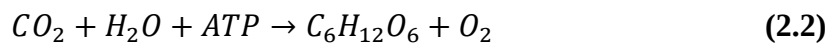


Şekil 2.15: Klorofil a, klorofil b ve karotenoidlerin görünür bölgede absorbansı (Url-7).

Klorofil a, klorofil b ve karotenoidlerin görünür bölgede absorbansı Şekil 2.15’de gösterilmektedir.

Bitkilerin kırmızı ve mavi ışığın algılaması farklı fotoreseptörler ile olmaktadır. Bu nedenle, kırmızı ve mavi ışık bitkilerde farklı morfojenetik ve fotosentetik sonuçlar oluşturur. Örneğin, yetiştirme esnasında mavi ışık uygulanmış domateslerde meyve verimi ve hastalıklara karşı direnç artmakta iken, kırmızı ışık uygulanmış domateslerde ise likopen birikiminde ve toplam karotenoid içeriğinde artış görülmektedir (Ma ve diğ., 2014).

Bitki dokularının fitokimyasal içeriğine etki eden en önemli faktör ışıktır (Massa ve diğ., 2008). Bitkinin bir ışık kaynağından doğru ışığı alabiliyor olması önem taşımaktadır. Fotosentez, birçok reaksiyonu içeren kompleks bir proses olmakla birlikte, bu işlemin başlaması ışığın klorofil (klorofil a ve klorofil b) ve karotenoidler gibi fotosentetik pigmentler tarafından absorplanması önceliğini taşımaktadır. Absorbe edilen ışıktan elde edilen enerji ile kloroplast elektron transfer zincirinin çalışması sonucu adenosin trifosfat (ATP) molekülü oluşmaktadır. Bitki atmosferik karbondioksitten (CO_2) ATP enerjisi ile besin üretir (Avercheva ve diğ., 2014; Lokke, 2012).



Fotosentezin gerçekleşmesi için üründe sadece klorofil a ve klorofil b'nin uyarılması yetmez. Antenna pigmentleri olarak bilinen, klorofil a ($C_{55}H_{72}O_5N_4Mg$) ve klorofil b ($C_{55}H_{70}O_6N_4Mg$) ile birlikte ksantofiller ve karotenoidler gibi diğer pigmentler de fotosentezde rol oynar (Konig, 1994).

Fotosentez reaksiyonları en çok 600-680 nm dalgaboyunda kırmızı ve 380-480 nm dalgaboyunda mavi ışıktaki gerçekleşir.

Bitki davranışı; bitkinin aldığı ışığın rengi, yoğunluğu ve süresi ile belirlenir. Işığın kalitesi bitkinin morfogenezinde ve fotosentezinde önemli rol oynar (Kim ve diğ., 2004).

Bitkiler fotosentez reaksiyonları için yeterli ışıktan fazlasına maruz kaldıklarında oksidatif zararlanmalar oluşur (Cuttriss ve diğ., 2011). Bitkileri ışık zararlanmalarından korumada yapılarında bulunan ksantofiller (zeaksantin, anteraksantin ve lütein), antioksidanlar (askorbat, tokoferoller, karotenoidler) ve antioksidan enzimleri (askorbat peroksidaz) aktivasyonu rol oynar (Bartley ve Scolnik, 1995; Niyogi, 1999).

Bitkilerin hasat sonrası dönemde de ışığa yanıt verdiğini gösteren çalışmalar bulunmaktadır. Örneğin Ayala ve diğ. (2009) 4°C'de 26 gün boyunca tamamen karanlık ve ışıklı ortamlarda PVC filmler içerisinde %10 CO₂ ve %12 O₂ oranlarında atmosfer koşulları altında saklanan pırasalardan; ışıktaki saklananların fotosentez yaptıklarını ve bu nedenle depolamanın 18.gününe kadar ortam atmosferinin benzer seyrettiğini bildirmişlerdir. Hasat sonrası solunum, fotosentezin tetiklenmesi ile dengelenmiştir.

2.4.1 Işık şiddeti

Işık şiddeti birim m²'de güç (watt) cinsinden ölçülür.

Işık şiddetinin düşmesi ile bitkide glukoz sentezi, β-karoten birikimi ve askorbik asit konsantrasyonu azalmaktadır (Lester, 2006).

2.4.2 Işık ortamı

Aydınlatma ortamı yumurta yüzeyi gibi yarı mat beyaz renkli olduğunda ışığın etkisi artmaktadır (Roberto, 2003).

Malzemede kirlilik ve lekeleri silmeye izin verecek şekilde minimum oranda cila kullanımı ışığın maksimum yayılımını sağlamaktadır (Roberto, 2003). Işığ;

- BoPET % 90-95
- Mat beyaz boya %75-80
- Parlak beyaz boya %70-75
- Sarı boya %65-70
- Alüminyum folyo %60-65
- Siyah boya %10'dan daha az yansıtmaktadır (Roberto, 2003).

2.4.3 Fotosentetik aktif radyasyon (FAR)

Bitkinin fotosentez amaçlı kullandığı ışınımsal enerjidir. Işınımsal enerjinin 400–700 nm dalga boyu aralığındaki bölümü bitkiler tarafından fotokimyasal reaksiyonlar için kullanılır (Uzun ve Demir, 2013). Bitkilerin fotosentez amaçlı kullandığı ışınımsal enerji isteği günlük toplam 1,2-1,7 MJ m⁻² arasında değişiklik göstermektedir (Uzun ve Demir, 2013).

Fotosentezde kullanılan ışığın akısı PARmetre ya da kuantummetre ile ölçülür.

2.4.4 Fotosentetik foton akısı (PPF)

PPF, bitkilerin fotosentez amaçlı kullandığı 400-700 nm aralığındaki radyant enerjideki fotonların mol sayısı ya da foton akısıdır ve “ $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ” cinsinden ifade edilir. Bu demektir ki, 400-700 nm dalga boyu aralığında fotonlar benzer fotosentetik etki gösterebilirler (Licor®, Techn. Note #126). 1 mol foton $6,0222 \times 10^{23}$ (Avagadro sayısı) kadar fotonu ifade eder (Url-8).

Fotosentez; $250 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ PPF seviyelerinde gerçekleşir (Avercheva ve diğ., 2014).

2.4.5 Fotoperiyot

Dünya üzerine ulaşan radyant enerjinin şiddeti farklı bölgelerde, bölgenin Güneş'e olan konumuna göre farklılık göstermektedir. Dünya'nın ekstenel ve yörüngesel hareketleri sonucunda solar enerji periyodik olarak değişmektedir (Larcher, W., 2003).

Bitkilerin günlerin uzunluğuna bağlı olarak gösterdikleri fizyolojik davranışa fotoperiyodizm denir (Demirsoy ve diğ., 2012; Bünning, 1967). Bu fizyolojik davranış gösterebilmesi için ışığı kullandığı sürenin uzunluğuna fotoperiyot denir. Bitkilerin yaşam döngüsü genel olarak fotoperiyot ile düzenlenir. Fotoperiyodik sınıflandırma üç grupta yapılır (Demirsoy ve diğ., 2012; Bünning, 1967):

- Kısa gün bitkileri: Fizyolojik davranışlarını belirli bir gün uzunluğunun altında gösteren bitkilerdir. Pamuk, pirinç, şeker kamışı ve çilek bazı kısa gün bitkileridir.
- Uzun gün bitkileri: Fizyolojik davranışlarını belirli bir gün uzunluğunun üzerinde gösteren bitkilerdir. Ispanak, dereotu, bezelye ve arpa bazı uzun gün bitkileridir.
- Gün-nötr bitkiler: Fizyolojik davranışlarını gün uzunluğundan bağımsız gösteren bitkilerdir. Salatalık, domates ve patates bazı gün-nötr bitkileridir.

Bitkilerde fizyolojik davranış; kısa, uzun gün ya da gün-nötr bitkisi olmasına göre genellikle 8-16 saat arasında değişmektedir (Demirsoy ve diğ., 2012).

Kırmızı ve mavi dalga boylarının periyodik olarak değiştiği gün ışığının kalitesi bitkilerde vejetatif gelişmeyi, meyve vermeyi, çiçeklenmeyi ve pigment oluşumunu sağlar (Kamuro ve diğ., 2003; Kondoa ve diğ., 2014).

2.5 Aydınlatma

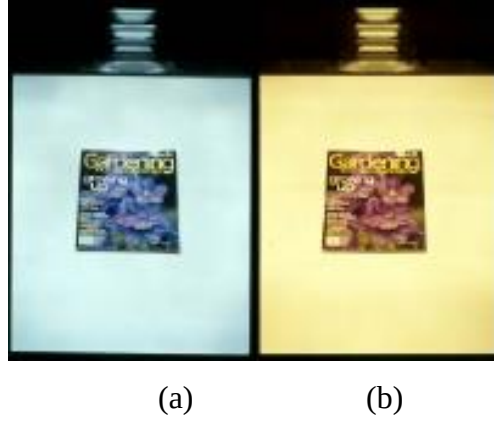
Bitki yetiştirme sistemlerinde, bitkinin en iyi şekilde gelişimi için kullanılan aydınlatma yöntemleri genel olarak yüksek şiddetli deşarjlı lambaların, floresanların ve LED (light emitting diode)'lerin kullanımı ile sağlanmaktadır.

2.5.1 Yüksek şiddetli deşarjlı (HID) lambalar

Farklı renk spektrumlarında kullanılan iki çeşit yüksek şiddetli deşarjlı (HID) lamba bulunmaktadır. Bu lambaların yaydıkları ışıkların renkleri **Şekil 2.16'**da gösterilmiştir.

- i.) Metal halojen (MH) lambalar:** Beyaz/mavi spektrum yaymaktadır. Bu lambalar, ortamda güneş ışığı olmadığında bitki yetiştirmede kullanılan en iyi birincil ışık kaynaklarıdır (Roberto, 2003).

ii.) Yüksek basınçlı sodyum (HPS) lambaları: Sarı/turuncu spektrum yaymaktadır. Bitki yetiştirmede kullanılan en iyi ikincil ışık kaynaklarıdır. Bu lamba türü bitkilerin çiçeklenmesine ve tomurcuklanmasına destek olmaktadır (Roberto, 2003).



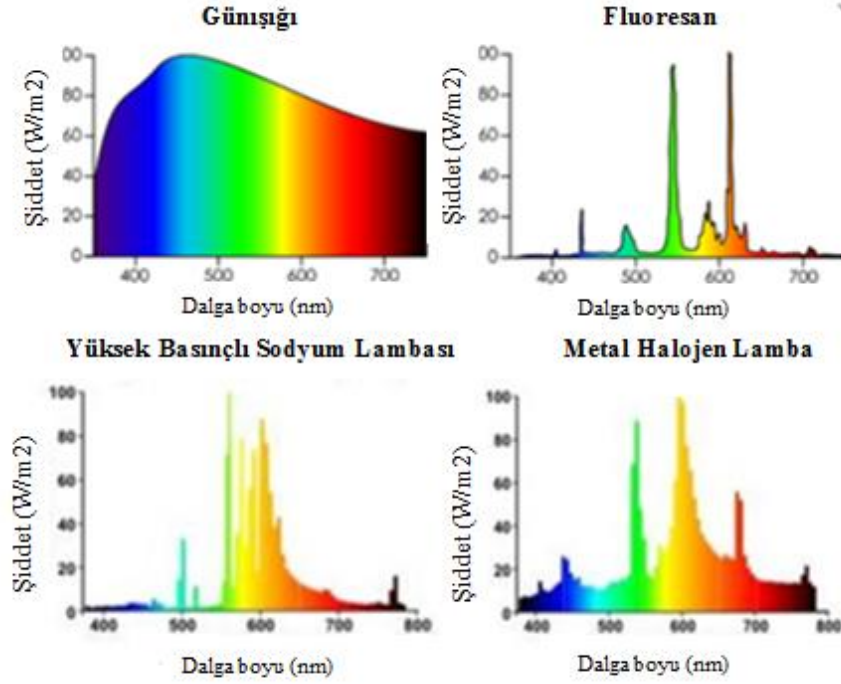
Şekil 2.16: a) Beyaz/mavi tonda metal halojen lamba b) Daha sıcak, sarı/turuncu tonda yüksek basınçlı sodyum lambası (Roberto, 2003).

Metal halojen lambalar ve yüksek basınçlı sodyum lambaları PPF seviyesini arttırmak için de kullanılmaktadır, ancak bu lambalar bitkinin kullanımı için gerekli olmayan dalga boylarında da ışık yaydıklarından bitki için düşük kalitede ışık sağlamaktadır (Kim ve diğ., 2004).

2.5.2 Floresan Lambalar

Floresan lambalar, geniş bir ışık spektrumu yayarlar. Enerji tasarrufu sağlamaları ve nispeten ekonomik olmaları nedeniyle kullanım avantajı sağlarlar. Çok az ısı çıkışı vardır (Roberto, 2003).

Farklı ışık kaynaklarının görünür bölgedeki spektrumları Şekil 2.17’de gösterilmiştir.



Şekil 2.17: Farklı ışık kaynaklarının görünür bölgedeki spektrumu (Url-9).

2.5.3 Işık yayan diyot (LED)

LED (ışık yayan diyot) yarı iletken bir ışık kaynağıdır. Gerilim uygulanarak elektronları harekete geçirilen LED görünür bölgede ışın yayar. LED'ler dar aralıklı spektrumlarda tek renkli ışın yayabilirler (Bourget, 2008; Held, 2009; Url-1). Bu özellikleri sayesinde sadece bitki için gerekli olan dalga boyu aralıklarında ışık uygulamaları yapılabilir. Bir LED'in ortalama ömrü 100.000 saattir, yani yaklaşık 11,5 yıldır (Url-1). LED'lerin daha uzun ömürlü olmaları, diğer lambalara göre daha az enerji harcamaları, küçük boyutlu olmaları, kolay monte edilebilirlikleri, spesifik dalga boylarında lineer ışık yayabilmeleri ve ucuz olmaları önemli diğer avantajlarıdır (Bourget, 2008; Url-1; Massa ve diğ., 2008; Kim ve diğ., 2004). LED'lerin bu avantajları sayesinde gıda saklama uygulamalarında da kullanımları artmaktadır. Doğrudan ısı yaymamaları sayesinde hassas ürünlere zarar vermezler (Url-1). Bu sayede buzdolabı, derin dondurucu gibi soğuk tutulması gereken ortamlarda kullanımları uygun olmaktadır (Bourget, 2008; Url-1).

Seracılıkta bitki yetiştirme sistemlerinde genellikle floresan, metal halojen lambalar ve yüksek basınçlı sodyum lambaları kullanılmaktadır. Ancak bu lambalar, fotosentetik foton akısı seviyesini yükseltse de; bitkinin daha düşük kalitede

gelişmesine neden olan, fotosentetik aktif radyasyon spektrumunun dışında yer alan gerekli olmayan dalga boylarında da ışık yayarlar (Kim ve diğ., 2004). Son yıllarda LED'lerin tek renkte ışık yayma özellikleri, az yer kaplamaları, uzun ömürlü olmaları, daha az toplam maliyet ile daha yüksek performans sağlamaları gibi avantajları bitki yetiştirme sistemlerinde de güneş ışığının yerine kullanılmalarını sağlamaktadır (Jin, P ve diğ., 2003; Bourget, 2008). Bitki yetiştirmede görünür bölgede LED lamba kullanımının bitkinin gelişmesi üzerine etkisinin floresan lamba kullanımına göre daha uygun olduğunu gösteren çalışmalar bulunmaktadır (Kim ve diğ., 2004). Ayrıca floresan lambaların yapısında civa bulunmakta ve bu durum lambanın kırılması durumunda tehlike yaratmaktadır, ancak LED'ler içeriklerinde zararlı madde bulundurmamaları nedeniyle kullanımları oldukça güvenlidir (Bourget, 2008). Uzayda hidroponik (topraksız) bitki yetiştirme sistemlerinin kurulmasında da ışık yayan diyotların kullanımı tercih edilmektedir (Avercheva ve diğ., 2014).

LED kontrol sistemleri sayesinde ışığın parlaklığı, açık kalma süresi (fotoperiyot), RGB LED'lerde ışığın renk karışımı gibi parametrelerin manuel ya da bilgisayar sistemleri ile ayarlanabilir oluşu da kullanıcıya kolaylık sağlamaktadır (Bourget, 2008).

LED gösterge lambaları tam parlaklığa 1 mikrosaniyenin altında ulaşır (Url-1). Bu durum ışığın belli bir frekansta verilmesi istendiğinde oldukça avantaj sağlar. Ayrıca LED lambaların ömrü ve bakımı açma/kapama hızından etkilenmemektedir (Url-1).

Darbe-genlik modülatörü ile ya da akımın düşürülmesi yoluyla yaydıkları ışığın şiddeti azaltılabilmektedir (Url-1).

RGB LED'ler tek bir kılıf içersinde 3 adet LED çipi barındıran çok farklı renklerin elde edilebildiği LED'lerdir. Işık renk karışımları elde etmek için kırmızı (R), yeşil (G) ve mavi (B) renkli LED'ler birlikte kullanılır ya da her bir ışık renginin ayrı ayrı kullanımı tercih edilebilir (Url-1).

Monokromatik (tek renkli) kırmızı ve mavi renkli LED'ler bitki gelişimini ve hücre bileşenlerinin biyosentezini destekler; mavi LED ışık stomaların açılmasını, klorofil sentezini, yaprağın gelişmesini ve biyokütle oluşumunu düzenler (Li ve diğ., 2010; Lin, 2000). Kırmızı LED ışık fotosentezde görev alan maddelerin gelişiminde önemli

olmakla beraber; bitkide çiçeklenmeyi, tomurcuklanmayı, kök gelişimini ve nişasta birikimini arttırır (Saebo ve diğ., 1995; Wu ve diğ., 2007).

2.6 Hasat Sonrası Ürünlerde Işık Uygulamalarının Etkileri

Buzdolabında meyve-sebzelerin saklanması genellikle, sıcaklık ve nem kontrol edilirken; ışık göz ardı edilmektedir. Hasat sonrası dönemde, depo edilen meyve-sebzelerin kalitesi üzerinde yüksek şiddette olmamak kaydıyla ışığın olumlu etkileri bulunmaktadır. Örneğin, düşük sıcaklıkta ışık varlığının taze kesilmiş brokolinin raf ömrünü 3 gün arttırdığı ve besin kalitesini de koruduğu bildirilmiştir (Zhan ve diğ., 2012a).

2.6.1 Işık uygulamasının hasat sonrası yaşlanma üzerine etkisi

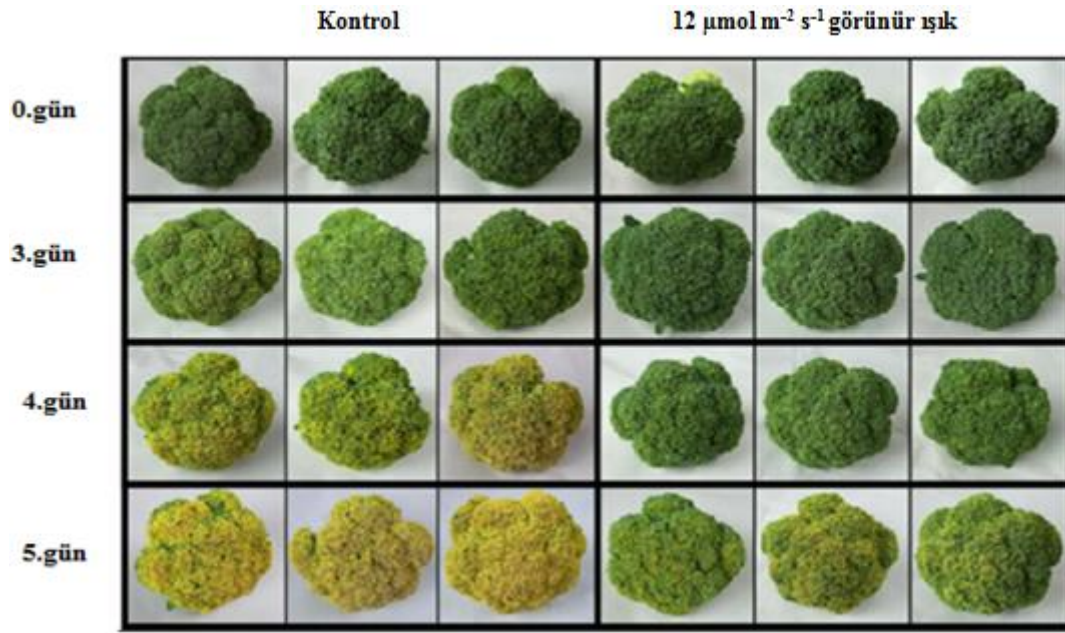
Yeşil yapraklı bitkilerin hasat sonrası dönemde yaşlanmasının hızlanması genel olarak karanlık ortamda fotosentez reaksiyonlarının gerçekleşemiyor olmasından kaynaklanmaktadır (Ella ve diğ., 2003).

Hasat sonrası dönemde meyve-sebzelerin saklama koşulu genellikle 10°C'nin altına düşürülmesi sonucu soğuk zararlanmaları oluşmakta, yaşlanma hızlanmaktadır. Sıcaklığın yükseltilmesinin mümkün olmadığı durumlar için ürünün yaşlanmasının geciktirileceği alternatif teknolojilerin bulunması oldukça önem taşımaktadır (Halloran ve diğ., 1996; Costa ve diğ., 2013).

Karanlıkta saklama yeşil sebzelerin yaşlanmasını tetiklemekte iken, ışık uygulaması ile yaşlanmanın ilk safhasının geri döndürülmesi mümkündür (Zavaleta-Mancera ve diğ., 1999). Yeşil sebzelerin hasat sonrası saklanmaları sırasında sararmaları yaşlanma belirtilerinden biridir. Yeşil sebzelerde klorofilin zamanla yıkımı sonucu yeşil renkte kayıplar ve pigmentsiz ürünlerde kararmalar görülür (Nilsson, 2000). Depolama sırasında ürünün ışığa maruz kalması klorofil sentezinin sürdürülmesi yoluyla bazı durumlarda bu yaşlanma belirtisi olan sararmayı geciktirmektedir (Perrin, 1982).

Costa ve diğ (2013) 20°C ortam sıcaklığında karanlıkta ve günde 2 saat 30-37µmol m⁻² s⁻¹ şiddetinde beyaz ve kırmızı ışıklı ortamlarda saklanan taze fesleğenlerden ışık altında saklananların yaşlanma belirtilerinin (klorofil ve protein seviyelerinin azalması, amonyum birikiminin artması) yavaşladığını bildirmiştir.

Hasat sonrası dönemde 22°C’de 12 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ sabit dozda sürekli görünür ışık uygulamasına maruz kalan brokoli örnekleri karanlıkta saklanan referans örneklerle karşılaştırıldığında, sürekli ve düşük şiddette ışık uygulamasının hasat sonrası yaşlanma belirtilerini yavaşlattığı ve kalite özelliklerinin sürdürüldüğü bildirilmiştir (Büchert ve diğ., 2011). Şekil 2.18’de ışık uygulanmış ve uygulanmamış brokoli örneklerinin renk değişimi farklılığı görülmektedir.



Şekil 2.18: Işık uygulanan ve uygulanmayan brokoli örneklerinde 5 günlük depolama süresi boyunca oluşan renk değişimi (Büchnert ve diğ., 2011).

Ma ve diğ. (2014) hasat edilmiş brokoli örneklerinden kırmızı ışıktaki saklananlarda yaşlanmanın geciktiğini, mavi ışıktaki saklanan örneklerde ise ışığın yaşlanma üzerine herhangi bir etkisinin gözlenmediğini bildirmişlerdir.

2.6.2 Işık uygulamasının hasat sonrası ürünün kalitesi ve fitobesin içeriği üzerine etkisi

Son yıllarda meyve-sebzelerin hasat sonrası saklanmasında ışığın etkisinin araştırıldığı birçok çalışma yapılmaktadır (Costa ve diğ., 2013).

Ürün rengi, gıda kalitesinin duyusal olarak değerlendirilmesinde en önemli kalite unsurlarından birisi olup, ışık varlığından oldukça etkilenmektedir (Cervera ve diğ., 2007). Yetersiz güneş ışığı alımı nedeniyle düzensiz renk dağılımı olan incirlerde hasat sonrası dönemde zenon lamba ile darbeli ışık uygulamaları sayesinde

antosiyenin birikiminin ve renk gelişiminin tetiklendiği görülmüştür (Rodov ve diğ., 2012).

Düşük sıcaklıkta (7°C) 24 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ şiddetinde ışık uygulanmış taze kesilmiş brokoli örneklerinin; klorofil, antioksidan aktivite, toplam fenolik madde ve C vitamini içeriğinin aynı sıcaklıkta karanlıkta saklanan örneklerle göre daha yüksek seviyelerde korunduğu, ancak 5.günden sonra ağırlık kaybının ışık uygulanan örneklerde daha fazla olduğu görülmüştür. Ayrıca ışık uygulanmış brokoli örneklerinin renk, tekstür, koku ve kabul edilebilirlik gibi duyu kalite özelliklerinin raf ömrü süresince daha iyi korunduğu ve bu sayede raf ömrünün arttığı bildirilmiştir (Zhan ve diğ., 2012a).

Zhan ve diğ. (2012b) 4°C'de 7 gün boyunca ışıklı (2500 lux) ve ışısız ortamda saklanan taze marul örneklerinden ışık uygulanan ortamda saklananların klorofil ve toplam şeker içeriğinin daha yüksek seyrettiğini; karanlık ortamda saklananlarda C vitamininde bozunma gerçekleşirken, ışık altında saklanan marul yapraklarında C vitamini birikimi olduğunu bildirmişlerdir.

Lester ve diğ. (2010) 4°C ortam koşullarında, plastik kaplar içerisinde, 24 saat boyunca ışık altında saklanan (26,9 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) ıspanak yapraklarının C vitamini, karotenoid ve tokoferol gibi biyoaktif bileşen içeriğinin karanlıkta saklanan ıspanak yapraklarından daha yüksek seviyelerde olduğunu bildirmiştir. Noichinda ve diğ. (2007) 1°C ve %95 bağıl nem koşullarında saklanan Çin lahanasında floresan ışığın (21,8 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) stomatların açılmasını sağlayarak ağırlık kaybını tetiklediğini, ancak C vitamini içeriğini koruduğunu bildirmiştir.

Ma ve diğ. (2014) 20°C ortam sıcaklığında 4 gün boyunca saklanan brokolilerden kırmızı LED altında saklananlarda sararmanın geciktiğini, etilen üretiminin ve askorbik asit düşüşünün baskılandığını bildirmişlerdir. Mavi ışık altında saklanan brokolilerde ise, askorbik asit içeriği, sararmanın gecikmesi ve etilen faaliyetinin azalmasına dair önemli bir bulgu bulunamamıştır (Ma ve diğ., 2014).

Jin ve diğ. (2015) 25°C ortam sıcaklığında saklanan brokolilerde floresan ve farklı renklerde LED uygulamasının raf ömrü, görsel kalite ve biyoaktif bileşenlerine etkisini araştırmış; mavi ışık altında saklanan brokolilerde sararma yoğun olarak görünürken yeşil renkte LED ışık uygulanmış brokoli örneklerinde klorofil yıkımının

azaldığını, toplam fenolik madde içeriğinin arttığını, görünüş ve besin kalitesinin daha iyi olduğunu ve raf ömrünün uzadığını bildirmişlerdir.

Birçok çalışma ışık uygulamasının meyve-sebzelerin yaşlanmasını geciktirdiğini gösterse de, ışığın hasat sonrası dönemde meyve-sebzelere olan etkisinin altında yatan asıl neden henüz net olarak bilinmemektedir (Costa ve diğ., 2013). Ancak, hasat sonrası evrede meyve-sebzelerin ışığa fizyolojik bir cevap verdiği net olarak görülmektedir ve bu cevabın ürünün pigmentine göre veya pigmentli olup olmadığına göre değiştiği söylenebilir (Jin ve diğ., 2015; Olarte ve diğ., 2009; Braidot ve diğ., 2014).

Saklama esnasında ışık uygulamasının meyve-sebzeler üzerinde negatif etkilerinin olduğu durumlar da gözlenmiştir. Bu durum ışıklı ortamda fizyolojik aktivitenin artıyor olmasına bağlanmıştır (Sanz ve diğ., 2009). Ayrıca, ışık uygulanmış meyve-sebzelerde genel olarak stomaların açılması ile nem kaybının artması üründe istenmeyen kalite sorunlarına neden olabilmektedir (Braidot ve diğ., 2014). Ayala ve diğ. (2009) ışıklı ortamın sebzelerin renk ve tekstür gibi kalite özellikleri üzerine olumsuz etkisi olduğunu belirtmiştir. Olarte ve diğ. (2009) ışık uygulamasının pigmenti olmayan karnıbahar gibi ürünlerde solunumu arttırmak gibi olumsuz bir etkisi olduğunu bildirmiştir. Brokolide ise ışık, hem fotosentezi hem de solunumu tetiklemektedir (Olarte ve diğ., 2009). Xiao ve diğ. (2014) ışığa maruz kalan turp mikro filizlerinin C vitamini değerleri daha yüksek seviyelerde seyretmesine rağmen, raf ömrünün karanlıkta saklanan örneklerle göre daha kısa ve kalitelerinin daha düşük olduğunu belirtmiştir.

Martinez-Sanchez ve diğ (2011) ışıklı ortamda saklanan marul örneklerinin C vitamini ve toplam fenolik madde gibi içeriklerinin karanlık ortamda saklananlardan farklı olmadığını bildirmiştir. Ortam oksijeni ışıklı ortamda fotosentez reaksiyonlarının gerçekleşmesi sonucu yüksek seviyelerde seyretmekte ve bu nedenle yapraklarda kararmalar görülmektedir (Martinez-Sanchez ve diğ., 2011).

Üründe olası ışık hasarının önlenmesi amacıyla, ışık uygulamasının dozu ve şiddeti önem taşımaktadır (Ilieva ve diğ., 2010). Bu nedenle Braidot ve diğ. (2014) düşük şiddetli ($1,4 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) ışığın farklı dozlarının kuzu marulunun kalitesi üzerine etkisini incelemiştir. Işık uygulaması gün içinde 1'er saatten toplamda 8 döngü ve

zararlanmasına maruz kalması nedeniyle buzdolabında da saklanmaması önerilse de, 1800 kişi ile yapılan bir araştırmada bu kişilerin %60'ından fazlasının domatesi buzdolabında sakladığı tespit edilmiştir (Farneti ve diğ., 2012). Ancak, soğukta saklamanın C vitaminini koruyucu etkisi bulunduğundan, domatesi buzdolabında saklamak aynı zamanda avantajlı olmaktadır.

Yapılan çalışmalar, domates tüketimin içerdiği likopen karotenoidi sayesinde, kanser riskini azalttığını ve kardiyovasküler hastalıklardan korunmada etkili olduğunu göstermiştir. Her ne kadar likopenin sağlık üzerine pozitif etkileri olsa da domatesin işlenmesi ve depolanması süreçlerinde lipid oksidasyonu nedeniyle, likopen zamanla azalmaktadır (Ha ve diğ., 2015). Likopenin yanında, içerdiği askorbik asit ve β -karotenin domatestede bulunan en önemli antioksidanlar olduğu bildirilmiştir (Farneti ve diğ., 2012).

Işık, domatestede karotenoid biyosentezini destekler (Khudairi ve Arboleda, 1971; Thomas ve Jen, 1975). Bu noktada, ışığın şiddeti ve kalitesi önemlidir.

Dhakal ve Baek (2014) olgun yeşil domatesin 25°C'de saklanması sırasında uygulanan ilk 7 günlük karanlık (kontrol), kırmızı ve mavi ışık uygulamasının 7.günden sonra karanlığa alınan domateslerin kalitesi üzerine etkisini incelemişlerdir. İlk 7 gün kırmızı ışık altında ve karanlıkta saklanan domateslerin renginin kırmızıya dönerken, mavi ışık altında saklananların sarardığını bildirmişlerdir. 14.gün sonunda ilk 7 gün mavi ışık uygulanmış domateslerin rengi en az kırmızı bulunurken, 21.gün sonunda gruplar arasında renk farkı gözlenmemiştir.

Khudairi ve Arboleda (1971) yaptıkları çalışmada mavi ışığın domatestede likopen biyosentezinde kırmızıdan daha iyi olduğunu ileri sürmüşlerdir. Ancak, Dhakal ve Baek (2014) yaptıkları çalışmanın sonunda ilk 7 gün karanlıkta ve kırmızı ışık altında saklanan domateslerin likopen birikiminin mavi ışık altında saklananlardan önemli oranda daha fazla olduğunu bildirmiştir. Jen (1974a, b) klorofil degradasyonunu en iyi kırmızı ışığın hızlandırıldığını bildirmiştir. Domatesle yapılmış çalışmalarda kırmızı ışığın likopen sentezini tetiklediği bildirilmiştir (Lester, 2006; Liu ve diğ., 2009). Khudairi ve Arboleda (1971) ise, yaptıkları çalışmada mavi ışığın domatestede likopen biyosentezinde kırmızıdan daha iyi olduğunu bildirmişlerdir.

Liu ve diğ. (2009) kırmızı ışık altında ve karanlıkta sakladıkları domates örneklerinin UV-C uygulanmış ve gün ışığına maruz bırakılmış örneklerden 21 günlük depolamanın sonunda daha sıkı olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Ancak Dhakal ve Baek (2014) yaptıkları çalışmada, mavi ışık uygulanmış domateslerdeki sıklık kaybının karanlıkta saklanmış ve kırmızı ışık uygulanmış domateslerden daha az olduğunu bildirmişlerdir.

Literatürde, domates üzerine yapılmış ışık uygulaması çalışmalarında genel olarak tekstür, likopen ve renk değişiminin incelendiği görülmüştür. Bu çalışmada, görünür bölgede LED ışık uygulaması ile hasat sonrası domatesteki sertlik, likopen ve renk değişiminin yanısıra; C vitamini, toplam fenolik madde ve genel tüketilebilirlik (raf ömrü) değişimi de ele alınmıştır. Ayrıca, LED uygulamasının fotoperiyot süresinin değişiminin, farklı dalga boylarında LED'lerin ve bunların bir arada kullanımının +4°C'de saklanan ürünün belirtilen kalite özelliklerinde ve raf ömründe herhangi bir değişiklik yaratıp yaratmadığı araştırılmıştır.

2.7 Patent Araştırması

Daha fazla bilgiye ulaşmak için görünür bölge ışık uygulamasının gıda besin kalitesi ve raf ömrüne etkisine yönelik, özellikle soğutmalı dolap içinde uygulamaları hakkında patent araştırması yapılmıştır. Bu araştırmanın sonucunda bulunan patent başvurularından araştırma konusuyla ilgili olabilecek 15 tanesi Çizelge 2.5'te verilmiştir.

Patent araştırması yapılırken kullanılan anahtar kelimeler aşağıda gösterildiği gibidir:

- Light*diffus*
- Keep* stor* fresh*
- Box* veg* light*
- Light* veg*

Yapılan patent araştırması sonucunda; görünür bölge ışık uygulamasının genellikle buzdolabı sebzeliğinde kullanılmasına yönelik patent başvuruları bulunduğu görülmüştür. Başvurularda, görünür bölge ışık uygulamasının; meyve-sebzelerin C vitamini ve renk maddeleri gibi besin içeriklerinin kaybının azaltılması ve raf ömrünün uzatılmasına yönelik etkileri üzerinde durulduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Patent başvurularında; soğutmalı dolap içinde kullanım açısından kırmızı ve mavi ışığın ön planda olduğu görülmüştür. Yapılan literatür araştırmalarında da en çok kırmızı ve mavi ışığın bitki üzerine etkilerinin incelendiği tespit edilmiştir. Bu durumun, klorofilin hem kırmızı hem mavi spektrumu, fotosentetik pigmentler olan karotenoidlerin ise mavi spektrumu absorblamasından kaynaklanmakta olduğu düşünülmüştür. Ayrıca, fotosentez reaksiyonlarının görünür ışığın en çok kırmızı ve mavi spektrumlarında gerçekleştiği bilinmektedir. Bu nedenle, bu çalışmada da bu iki ışık renginin etkisine odaklanılmış, mavi ışık öncelikli olarak seçilmiş ve denemelerde kullanılmıştır.

Patent araştırması Avrupa Patent Ofisi'nin internet sayfasından gerçekleştirilmiştir (Url-10).

Çizelge 2.5: Işık uygulamasına yönelik patent araştırması sonuçları.

PATENT NUMARASI	BAŞVURU TARİHİ	PATENT SAHİBİ	PATENTİN ADI	PATENTİN KONUSU
JP4501294 (B2)	18.09.2002	MATSUSHITA REFRIGERATION	Refrigerator	Bu patent başvurusu, zayıf ışığın yeşil yapraklı sebzelerin sebzelikte tazeliğinin daha uzun süre sağlanabilmesi için sebzelikte 660 nm'de zayıf kırmızı ışık kullanımı ile ilgilidir.
JP3718216 (B2)	03.02.2005	MATSUSHITA REFRIGERATION	Refrigerator	Bu patentte; buzdolabı içerisinde sebzelikte saklanan yeşil yapraklı sebzelerin tazeliği görünür bölgede ışın uygulaması ile zayıf fotoışınım etkisi sonucu sağlanmaktadır.
JP2005065622 (A)	17.03.2005	MBR KK	Irradiation Device For Preserving Vegetable	Bu patent başvurusu; sebzelikte bulunan kırmızı, mavi, yeşil LED lambaların kullanımıyla saklanan ürüne uygun dalga boyunda ışığın seçilmesi ile ilgilidir.
JP2005164131 (A)	23.06.2005	SHARP KK	Refrigerator	Bu buluş; sebzelik içerisine yükleme yapıp yapılmadığını kontrol eden bir sensörün uyarısı ile sebzelik ortamında ürüne ışık kaynağından zayıf ışık sağlanması ile ilgilidir.
JP4433958 (B2)	19.01.2006	MITSUBISHI ELECTRIC CORP	Refrigerator	Bu buluş; sebzelerin görünüşlerinde herhangi bir değişiklik olmadan sebzelik içerisinde 590-660 nm aralığında sarı-turuncu LED altında saklanması ile ilgilidir. LED lamba periyodik olarak çalışmaktadır.

Çizelge 2.5 (devamı): Işık uygulamasına yönelik patent araştırması sonuçları.

PATENT NUMARASI	BAŞVURU TARİHİ	PATENT SAHİBİ	PATENTİN ADI	PATENTİN KONUSU
JP2006254835 (A)	28.09.2006	MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD	Method For Preserving Farm Crop, And Storage For Farm Crop And Refrigerator	Bu buluş, sebzelerin güçlü ışık altında saklanarak fotosentez yapmalarına olanak verilmesi ve besleyici bileşenlerin azalmasının önlenmesi ile ilgilidir.
WO 2007068645 (A1)	21.06.2007	ARCELİK AS	A Refrigerator With A Light Source Irradiating The Food Therein	Bu patent başvurusu, buzdolabında saklanan gıdaların tazeliğinin bir ışık kaynağı kullanımıyla korunması ile ilgilidir. Buzdolabı içerisindeki ışık kaynağı saklanan meyve ve sebzeler için uygun bir dalga boyunda ışık yaymaktadır. Bu ışık mavi, kırmızı, yeşil ya da turuncu renkli olabilmektedir.
CN1987310 (A)	27.06.2007	LG ELECTRONIC APPLIANCE TIANJIN CO LTD	Refrigerator And Food Storage Method Using Refrigerator	Bu buluş, buzdolabında saklanan gıdaların uzun süre taze kalması ve besleyici bileşenlerinin kaybının önlenmesi ile ilgilidir. Buzdolabı birçok saklama bölmesi içermekte ve görünür bölgede ışık yayan bir ışık kaynağı bulundurmaktadır. Bu ışık kaynağının rengi kırmızı, yeşil, mavi, sarı ve beyaz olmak üzere değiştirilebilmektedir.
KR100756465 (B1)	07.09.2007	LG ELECTRONICS INC	A Lighting Structure Of Vegetable Chamber For For Refrigerator	Bu patent, sebzelikte saklanan sebzelerin beyaz ve sarı ışıkla daha uzun süre taze kalmasına yöneliktir.

Çizelge 2.5 (devamı): Işık uygulamasına yönelik patent araştırması sonuçları.

PATENT NUMARASI	BAŞVURU TARİHİ	PATENT SAHİBİ	PATENTİN ADI	PATENTİN KONUSU
CN 101122437 (B)	13.02.2008	HAIER GROUP	Refrigerator Possessing Light Lumination Fresh- Keeping Function And İts Performance Method	Bu patent, buzdolabında ışığın meyve ve sebzeleri taze tutma fonksiyonuna ve kalite kusurlarının oluşumunun azaltılmasına yöneliktir. Yayılan ışığın dalga boyu 300 ile 800 nm aralığındadır. Işık şiddetinin değişimi güneş ışığın simüle etmektedir.
US7866171 (B2)	20.03.2008	LG ELECTRONICS INC	Food Keeping Refrigerator	Bu patent; gıda saklama dolabının soğutucu ya da dondurucu kısmında saklanan gıdaya göre uygun ışığın yayılması ile ilgilidir.
US2010170278 (A1)	08.07.2010	LG ELECTRONICS INC	Refrigerator	Bu patent başvurusu; meyve-sebzelerin taze durumda saklanması, içerisindeki besin elementlerinin azalmasının önlenmesi amacıyla buzdolabı içerisinde görünür bölgede LED kullanımı ile ilgilidir.

Çizelge 2.5 (devamı): Işık uygulamasına yönelik patent araştırması sonuçları.

PATENT NUMARASI	BAŞVURU TARİHİ	PATENT SAHİBİ	PATENTİN ADI	PATENTİN KONUSU
JP4983900 (B2)	04.03.2010	PANASONIC CORP	Refrigerator	Bu patent, sebzelik haznesi içinde yeşil yapraklı sebzelerin yeterli zayıf ışık sayesinde tazeliğinin korunmasına yöneliktir. Görünür bölgede aydınlatma 660 nm’de kırmızı LED’le sağlanmaktadır. Bu sayede fotosentez sağlanabilmektedir.
CN102589228 (A)	18.07.2012	ENRAYTEK OPTOELECTRONICS CO	Refrigerator	Bu patent başvurusu, sebzelik içinde saklanan meyve-sebzelerin fotosentez yapmaları devam ettirilerek, C vitamini, klorofil ve diğer besin içeriklerinin sentezinin sürdürülmesi amacıyla 300-800 nm aralığında görünür bölge ve UV LED lamba kullanımı ile ilgilidir.
CN103047824 (A)	17.04.2013	HEFEI MIDEA ROYALSTAR REFRIGER	LED Light Wave Device Used For Refrigerator And Refrigerator Provided With Same	Bu patent başvurusu, buzdolabında saklanan meyve-sebzelerin tazeliğinin daha uzun süre korunumu, C vitamini ve klorofil gibi besin elementlerinin azalmasının önlenmesi için kırmızı, mavi ve UV LED lamba kullanılması ile ilgilidir.

3. MATERİYAL METOT

3.1 Materyal

3.1.1 Ürün temini

Deneysel çalışmalarda kullanılan Antalya yöresine ait salkım domates (*Solanum lycopersicum L.*) örnekleri İstanbul ilindeki Bostancı Hali'nden temin edilmiştir. Ürünler hasat sonrası bir gün içinde hale ulaştıktan sonra, aynı gün içinde araçla çalışmaların yürütüldüğü Arçelik A.Ş. Laboratuvarı'na getirilmiş ve deneyler aynı gün başlatılmıştır.

3.1.2 Analizlerde kullanılan kimyasallar

Kimyasal analizlerde; okzalik asit, 2,6-dikloroindofenol, aseton, bütillenmiş hidroksi toluen (BHT), etanol, hekzan, deiyonize su kullanılmış; her biri Merck (Darmstadt, Almanya) firmasından temin edilmiştir.

3.1.3 Işık uygulaması

Arçelik A.Ş. tarafından temin edilen prototip saklama hazneleri ile çalışılmıştır. Saklama haznelerine RGB (kırmızı yeşil mavi) LED'ler monte edilmiş ve ışığın homojen dağılması sağlanmıştır.

Örnekler, prototiplerin kapalı saklama haznelerinde depolanmıştır. Çalışılan saklama hazneleri 460 nm dalga boyunda mavi ışıkla aydınlatılmıştır.

Çalışmalarda kullanılan saklama haznelerinin sıcaklık ve nem değerleri Ebro Logger TH ile sürekli takip edilmiştir. Ortam koşulları 4°C'de %90 bağıl nem değerlerinde tutulmuştur. Saklama çalışmalarından önce yaklaşık bir haftalık dönemde prototip saklama haznelerinin sıcaklıkları çalışılacak sıcaklıklara ayarlanarak, istenilen aralıklarda sabit çalışma düzenine ulaşması beklenmiştir.

Domateslerin saklandığı deney koşulları Şekil 3.1'de şematik olarak özetlenmiştir.

Yapılan denemelerde; 2 prototip saklama haznesi kullanılmıştır.

1. Mavi Işığın Domates Üzerine Etkisinin Belirlenmesi

24 Saat Mavi LED Uygulaması



24 Saat Karanlık Uygulaması



2. Mavi Işığın Fotoperiyot Süresinin Domates Üzerine Etkisinin Belirlenmesi

24 Saat Mavi LED
Uygulaması



12 Saat Mavi LED + 12 Saat Karanlık
Uygulaması



Şekil 3.1: Farklı ışık uygulamaları ile domateslerin soğutmalı saklama haznesi içinde depolandığı deney koşulları.

Yapılan 1.denemede; bir saklama haznesinde 24 saat mavi LED ışık çalıştırılmış, diğer hazne kontrol grubu olarak karanlık bırakılmıştır.

2.deneme; 24 saat mavi LED ve 12 saat mavi LED'lerle aydınlatılmış saklama hazneleri ile gerçekleştirilmiştir.

3.1.4 Domates örneklerinin hazırlanması

Salkım domatesler salkımlarından makas yardımıyla kesilerek sapları kalacak şekilde birbirlerinden ayrılmıştır. Domatesler yüzeyi pürüzsüz, parlak, kırmızı, homojen ve birbirine benzer olacak şekilde seçilmiş, her bir soğutmalı saklama haznesine sayıca eşit miktarda olacak şekilde yerleştirilmiştir. Her bir haznenin dört köşesine renk numuneleri yerleştirilmiş ve kodlanmıştır. Ayrıca, yine her bir haznede, altı adet örnek duyusal analiz testleri için kodlanmış ve hazne içine homojen yerleştirilmiştir. Saklama haznesindeki diğer domatesler kimyasal testler ve suda çözünür kuru madde analizleri için kullanılmıştır.

3.2 Metot

3.2.1 Depolama işlemleri

Örnekler, duyusal analiz sonuçlarına göre kabul edilemez hale gelinceye kadar soğutmalı saklama haznelerinde +4°C'de muhafaza edilmiştir.

3.2.2 Analizler

3.2.2.1 C vitamini analizi

C vitamini analizi Lambda 35 UV Spektroskopi (Waltham, Almanya) cihazı yardımıyla, spektrofotometrik yöntemle, 2,6-diklorofenol indofenol boyasının askorbik asit tarafından indirgenmesi prensibine göre gerçekleştirilmiştir. Askorbik asitle olan reaksiyonu sonucu, asidik ortamda pembe renk alan indirgenmemiş 2,6-diklorofenol indofenol boyasının absorbansı 518 nm dalga boyunda spektrofotometrede ölçülmüştür. Analiz edilecek örnekler 5'er gram tartılıp 20 ml okzalik asit çözeltisi ile homojenize edilmiştir. Kaba filtre kağıdından süzülen çözelti hacmi okzalik asitle 50 ml'ye tamamlanmıştır. Deney tüplerine alınan çözelti 1000 devir/dk'da 5 dk süre ile santrifüjlenmiştir. 1 ml üst faza, 12 mg 2,6-diklorofenol indofenol sodyum dihidratın 1 litre saf suda çözünmesinden elde edilen boyar maddeden 9 ml eklenmiş ve çözelti absorbansı 518 nm'de 1 ml örnek ve 9 ml saf su içeren tanık çözeltiye karşı okunmuştur (Hışıl, 1993). Analizler iki tekrar ve iki paralel olacak şekilde gerçekleştirilmiştir.

3.2.2.2 Likopen analizi

Domateslerin likopen içeriği spektrofotometrik yöntemle göre Lambda 35 UV Spektrofotometre (Waltham, Almanya) cihazı kullanılarak belirlenmiştir. 0,4-0,6 g püre haline getirilmiş domates numunesine 5 ml asetonda hazırlanmış %0,05 (w/v) butillenmiş hidroksi toluen (BHT) içeren çözelti, 5 ml %95'lik etanol ve 10 ml hekzan olmak üzere toplamda 20 ml solvent ilave edilmiştir. Vialler sıkıca kapatılarak, buz dolu kap içine konmuş ve yaklaşık 10 dakika çalkalanmıştır. Bu işlem sonrasında her vial 3 ml deiyonize su eklenmiş ve 5 dakika daha karıştırma gerçekleştirilmiştir. Çalkalama sonrası, faz ayrımı gerçekleşmesi için, vialler 5 dakika oda sıcaklığında bekletilmiştir. Likopen içeren üst fazın absorbans değeri 503 nm'de okunmuştur (Cemeroğlu, 2010). Analizler iki tekrar ve iki paralel olacak şekilde gerçekleştirilmiştir.

3.2.2.3 Renk tayini

Domates numunelerinin renklerinin belirlenmesinde Minolta Chromameter CR-300 (Williams, A.B.D.) model renk ölçüm cihazı kullanılarak, Hunter L, a, b değerleri ölçülmüştür. L değeri parlaklık ve koyuluğu, +a kırmızılığı, -a yeşilliği, +b sarılığı, -b ise maviliği göstermektedir. Tüm örneklemelerde her bir üründen üçer okuma

yapılmış ve her okumada üç ayrı noktadan ölçüm yapılarak, ortalama değer kaydedilmiştir (Küşümler, 2011).

3.2.2.4 Suda çözünür kuru madde analizi

Domates örneklerinin suda çözünür kuru madde miktarı Atango Pocket Refractometer PAL-3 model (Japonya) refraktometre ile ölçülmüştür. Brix° değerleri 3 tekrarlı ve 2 paralelli olacak şekilde refraktometrede Brix° değerleri okunmuştur.

3.2.2.5 Ağırlık kaybı

Ağırlık kaybı değerlendirmesi için soğutmalı haznelerin her birinde saklanan kodlanmış 6'şar duyuşal değerlendirme numuneleri ve 4'er renk numuneleri tartılıp, tekrar haznelere yerleştirilmiştir. Numunelerin başlangıç ağırlıkları kaydedilip, her örneklemede ağırlıkları tekrar tartılarak, aradaki farktan % ağırlık kaybı belirlenmiştir. Ağırlık kayıplarının her bir hazne için ortalaması alınarak ortalamalar üzerinden hazneler arası karşılaştırmalar yapılmıştır. Çalışmalar sırasında ağırlıkları kaydedilen örneklerin ağırlık değişimleri Mettler Toledo MS6002S/01 model (Columbus, A.B.D.) hassas terazi ile izlenmiştir.

3.2.2.6 Stoma görselleme

Domates örneklerinin dış kabuklarında stoma hücreleri Olympus marka BH model Işık Mikroskobu (Japonya) ile incelenmiş ve fotoğrafları kaydedilmiştir. Her bir domates örneği için rastgele seçilmiş 5 stoma çapı µm cinsinden ölçülmüş, saklama süresi boyunca günlere göre değişimi izlenmiştir.

3.2.2.7 Duyusal analiz

Domates örnekleri duyuşal değerlendirmelerinde soğutmalı saklama haznelerinden çıkarıldığı gibi hemen analize alınmıştır. Her koşulda 6'şar adet numune için değerlendirme gerçekleştirilmiştir.

Çalışmada sebzelerin duyuşal değerlendirmesi kapsamında çoklu kıyaslama testi ile puanlama testinden yararlanılmıştır. Bu testlerde ele alınan kriterler daha az veya daha çok yoğunlukta olana göre sıralanabilmekte ve puanlanabilmektedir. Bu testler ile farklılığın olup olmadığı belirlenebildiği gibi, farklılığın derecesi de saptanabilmekte ve örneklerde bir gelişme ya da bozulma olup olmadığı belirlenebilmektedir (Altuğ, 1993). Bu amaçla derecelendirilmiş bir skala

kullanılarak panelistlerin değerlendirme yapması istenmektedir. Skalalardaki kalite derecelendirmeleri rakamsal bir değer verilmek veya tanımlayıcı ifadeler belirtmek suretiyle yapılmaktadır. Puanlama testlerinden elde edilen sonuçların değerlendirilmesi ortalamaları alınarak veya istatistiksel olarak varyans analiz tekniği kullanılarak gerçekleştirilebilmektedir (Küşümler, 2011).

Bu kapsamda örneklerin değerlendirilmesinde; genel görünüş ve duyuşal kalite kriterleri esas alınmıştır. Duyuşal değerlendirmeler Arçelik A.Ş. Ar-Ge çalışanlarından oluşan, 6 kişilik eğitimli panelist grubu tarafından Arçelik A.Ş. duyuşal laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

Domates örneklerinin duyuşal kalitelerinin belirlenmesinde; üründe oluşan su batması, yüzeyde ukurlanma gibi soğuk zararlanmalarının yanı sıra, renk dağılımı, büzüşme, küf oluşumu ve doku kriterleri göz önüne alınmıştır. Duyuşal panellerde kullanılan duyuşal analiz formu Ek A’da paylaşılmıştır.

Örneklerin duyuşal kaliteleri 5’lik skala üzerinden değerlendirmeye alınmıştır (5: genel tüketilebilirlik çok iyi; 4: genel tüketilebilirlik iyi; 3: sınırlı koşullarda tüketilebilir; 2: genel tüketilebilirlik kötü; 1: genel tüketilebilirlik çok kötü, tüketilemez).

3.2.2.8 İstatistiksel analiz

Tüm istatistiksel değerlendirmeler Minitab (Minitab 17 Statistical Software for Windows®, Minitab Inc., Pennsylvania, USA) yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Farklı ışık renklerinin farklı ürünlerin fitobesin içeriği ve kalitesi üzerine etkisinin incelendiği çalışmalarda, etkinin önemli olup olmadığının tespit edilmesi amacıyla analiz sonuçları varyans analizine (ANOVA) tabi tutulmuştur. Varyans analizi sonucu ortaya çıkan farklılıkların hangi düzeyler arasında önemli olduğunu tespit etmek için ise Tukey testi ile %95’lik, p (0,05) güven aralığında çoklu karşılaştırma yapılmıştır.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4°C’de %90-95 bağıl nem aralığında saklanan domates örneklerine depolama süresince uygulanan LED ışık deney koşulları Çizelge 4.1’de paylaşılmıştır.

Çizelge 4.1: Domates örneklerinin soğutmalı saklama haznesi içinde depolandığı deney koşulları.

1. Mavi Işığın Domates Üzerine Etkisinin Belirlenmesi	
24 Saat Mavi LED Uygulaması	24 Saat Karanlık Uygulaması
2. Mavi Işığın Fotoperiyot Süresinin Domates Üzerine Etkisinin Belirlenmesi	
24 Saat Mavi LED Uygulaması	12 Saat Mavi LED + 12 Saat Karanlık Uygulaması

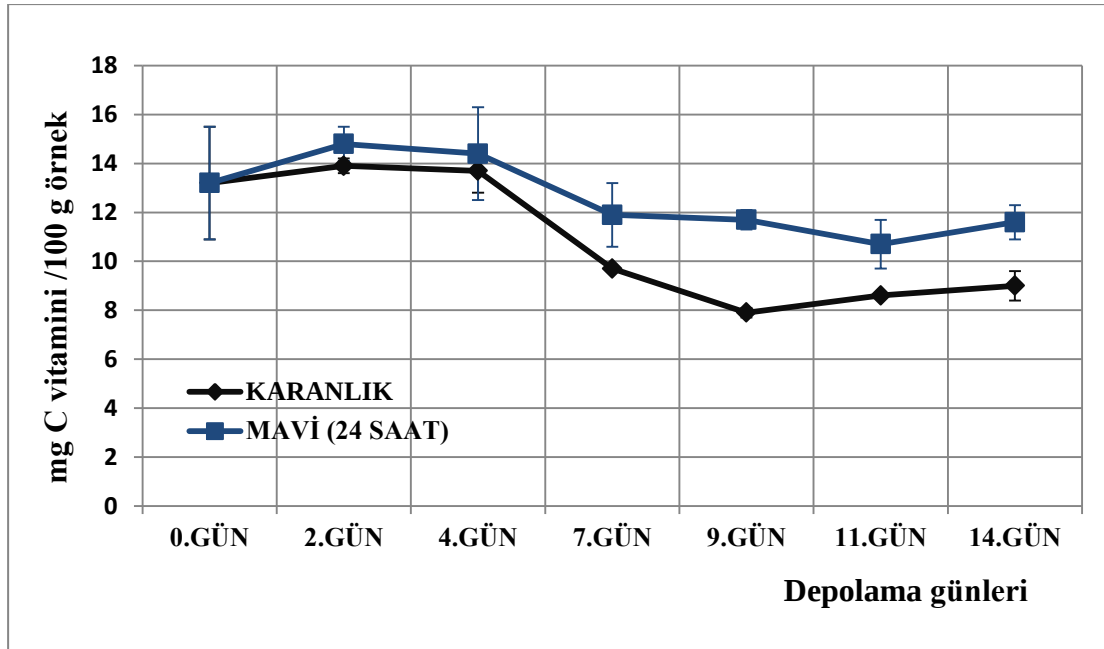
4.1 Mavi LED Uygulamasının Domates Üzerindeki Etkisinin Belirlenmesi

4.1.1 C vitamini içeriği

Domates numunelerinin C vitamini analizi sonuçları Şekil 4.1’de görülmektedir.

Her iki grup için 13,2 mg/100g olan başlangıç C vitamini miktarı depolamanın son günü olan 14.gün karanlıkta saklanan kontrol grubu örneklerinde 9,0 mg/100g, mavi LED uygulaması yapılmış örneklerde ise 11,6 mg/100g ölçülmüştür (Çizelge 4.2).

Şekil 4.1’de de görüleceği üzere, C vitamininin 14 günlük depolama süresince azalma eğiliminde olduğu tespit edilmiştir. Depolamanın 2.gününde her 2 koşulda da C vitamini içeriğinde artış gözlenmektedir. Karanlık durumda C vitaminin artması; meyve-sebzelerde toplam C vitamininin %10-30’u kadar bulunan, C vitamini özelliği gösteren ve depolama ile artabilen dehidro askorbikasitten kaynaklanabilir şeklinde yorumlanmıştır (Lee ve Kader, 2000). Ancak bu artış Tukey testinde istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır.



Şekil 4.1: 24 saat mavi ışık uygulanan ve kontrol grubu domates örneklerinin 14 gün depolama boyunca C vitamini miktarındaki değişimi.

Literatürde, karanlıkta 20°C’de saklanan domates örneklerinin 4.gününde C vitamini içeriğinin depolamanın başlangıcına göre yaklaşık %35 daha az olduğu bildirilmiştir (Wills ve diğ., 1984). Bu çalışmada, soğukta (4°C) ve karanlıkta saklanan domates örneklerinin depolamanın 4.günü C vitamini içeriği başlangıç miktarı ile benzer bulunmuştur. Bu durum, soğukta saklamanın da üründeki C vitaminini bir süre koruduğunu göstermektedir.

Çizelge 4.2: 24 saat mavi LED ışık uygulanan ve kontrol grubu domates örneklerine ait C vitamini ortalamalarının Tukey testi karşılaştırma sonuçları.

Gün	C vitamini (mg/100g örnek)	
	Kontrol (Karanlık)	Mavi LED (24 saat)
0	13,2±2,3 ^a	13,2±2,3 ^{ab}
2	13,9±2,3 ^a	14,8±0,7 ^a
4	13,7±0,9 ^{ab}	14,4±1,9 ^a
7	9,7±0,1 ^b	11,9±1,3 ^{bc}
9	7,9±0,2 ^b	11,7±0,4 ^{bc}
11	8,6±0,1 ^b	10,7±1,0 ^c
14	9,0±0,6 ^b	11,6±0,7 ^{bc}

Aynı sütunda aynı üst harfle işaretlenen ortalamalar arasındaki farklar önemlidir ($p<0,05$).

Aynı satırda aynı alt harfle işaretlenen ortalamalar arasındaki farklar önemlidir ($p<0,05$).

Tukey testine göre; her iki koşulda da saklanan domates örneklerinin C vitamini miktarlarında 14 günlük değişim istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p<0,05$). Ancak, 24 saat mavi ışık altında saklanan örneklerde C vitamini istatistiksel olarak daha yüksek bulunmuş olup ($p<0,05$), bu durum, mavi ışık uygulamasının C vitaminini diğer koşullara göre daha iyi koruduğu şeklinde yorumlanmıştır.

Her ne kadar C vitaminin saklamanın ilk günlerindeki artışı her iki grupta da önemsiz bulunmuş olsa da, mavi ışıkta C vitamini 0.güne göre daha yüksek seviyelere ulaşmıştır. Bu durum, mavi ışık uygulamasının C vitaminini daha iyi koruduğu gibi, belli bir süre arttırdığını göstermektedir.

Ma ve diğ. (2014) yaptıkları çalışmada, 20°C ortam sıcaklığında 4 gün boyunca depolanan brokolilerden mavi LED altında saklanan brokolilerin C vitamini içeriğine dair önemli bir bulgunun bulunmadığını bildirmiştir.

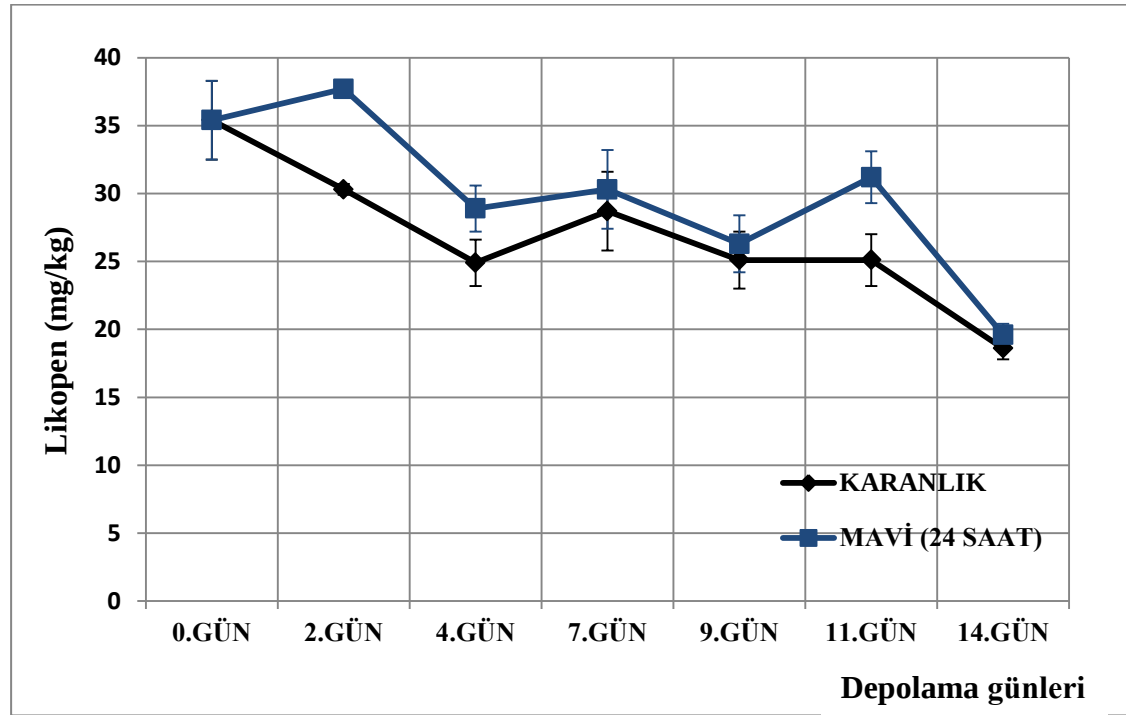
Şekil 4.1’de C vitamini değerlerinin salınımlar gösterdiği görülmektedir. Bu durum, ürünün farklı dokularından alınan örneklerin C vitamini içeriğinin farklı olabilmesinden kaynaklanabileceği gibi, hasat sonrası ışık gören bölgelerle görmeyenler arasında fark olabileceği şeklinde yorumlanmıştır. Ayrıca Wills ve diğ. (1984) yaptıkları çalışmada, 20°C’de saklanan domatesin askorbik asit miktarının depolama süresince azalma eğiliminde olduğunu, ancak C vitamininin dehidroaskorbik asit formunun artış ve azalışlar gösterdiğini bildirmişlerdir. Çizelge 4.2’de görülen bu artış ve azalışların bir nedeninin de C vitamininin düzenli bir eğilim göstermeyen dehidroaskorbik asit formundan olabileceği yorumlanmıştır.

Daha önce yapılmış çalışmalarda; 7°C’de $24 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ şiddetinde görünür ışık uygulanmış brokoli örneklerinde C vitamini içeriğinin aynı sıcaklıkta karanlıkta saklanan örneklerden daha yüksek seviyelerde korunduğu bildirilmiştir (Zhan ve diğ., 2012a). Martinez-Sanchez ve diğ. (2011) ışıklı ortamda saklanan marul örneklerinin C vitamini içeriğinin karanlıkta saklananlardan farklı olmadığını bildirmişse de; 4°C’de 7 gün boyunca ışıklı ve ışıksız ortamda saklanan taze marul örneklerinden karanlıkta saklananlarda C vitamininde bozunma gerçekleşirken, ışık altında saklanan marul yapraklarında C vitamini birikimi olduğu bildirilmiştir (Zhan ve diğ., 2012b).

Elma, narenciye, üzüm, biber ve ıspanak üzerinde yapılmış çalışmalarda; hasat öncesi dönemde ışık uygulamalarının meyve-sebzelerde C vitaminini arttırdığı ve C vitamini içeriğinin daha yüksek seviyelerde seyrettiği görülmüştür (Lester, 2006; Lester, 2010). Lee ve Kader (2000) yüksek ışık şiddetine maruz kalan bitki dokularında C vitamini içeriğinin daha fazla olduğunu bildirmiştir.

4.1.2 Likopen içeriği

Domates numunelerinin likopen analizi sonuçları Şekil 4.2’de gösterilmiştir. Yapılan analizlere göre; likopen içeriğinin depolama süresince genel olarak azalma eğiliminde olduğu görülmektedir.



Şekil 4.2: 24 saat mavi LED ışık uygulanan ve kontrol grubu domates örneklerinde 14 gün depolama boyunca likopen miktarındaki değişim.

Her iki koşulda saklanan domates örneklerinin depolamanın başlangıcındaki likopen değeri 35,4 mg/kg iken, 14.gün sonunda karanlıkta ve mavi LED altında saklanan örneklerde sırasıyla 18,6 mg/kg ve 19,6 mg/kg olarak elde edilmiştir (Çizelge 4.3). İstatistiksel analiz sonucunda; ışık uygulanan ve uygulanmayan domates örneklerinin likopen miktarlarında günlere göre meydana gelen değişim istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,05$). Ayrıca, depolama süresi boyunca mavi LED uygulanmış domates örneklerinde likopen içeriği kontrol grubu örneklerinden istatistiksel olarak

daha yüksektir ($p<0,05$). Bu durum, mavi ışık uygulamasının hasat sonrası üründe likopen miktarını daha iyi koruduğunu göstermektedir.

Şekil 4.2’de görüleceği üzere; depolamanın ilk 2 gününde likopen içeriğinin mavi ışık altında saklanan örneklerde arttığı tespit edilmiştir. Bu artış Tukey testinde de istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p<0,05$). Bu durum, mavi ışık uygulamasının ürünlerdeki likopen içeriğini daha iyi koruduğu gibi, bir kalite özelliği olan likopeni bir süre arttırabildiğini de göstermektedir.

Çizelge 4.3: 24 saat mavi LED ışık uygulanan ve kontrol grubu domates örneklerine ait likopen miktarı ortalamalarının Tukey testi karşılaştırma sonuçları.

Likopen (mg/kg örnek)		
Gün	Kontrol (Karanlık)	Mavi LED (24 saat)
0	35,4±2,9 ^a _a	35,4±2,9 ^{ab} _a
2	30,3±1,6 ^b _b	37,7±0,4 ^a _a
4	24,9±1,2 ^c _b	28,9±1,7 ^{cd} _a
7	28,7±1,4 ^b _a	30,3±2,9 ^{cd} _a
9	25,1±2,1 ^c _a	26,3±2,1 ^d _a
11	25,1±1,4 ^c _b	31,2±1,9 ^{bc} _a
14	18,6±1,6 ^d _b	19,6±0,8 ^e _a

Aynı sütunda ayrı üst harfle işaretlenen ortalamalar arasındaki farklar önemlidir ($p<0,05$).

Aynı satırda ayrı alt harfle işaretlenen ortalamalar arasındaki farklar önemlidir ($p<0,05$).

Bu çalışmada, saklamanın ilk 2 günü domatesteki likopen içeriğinin ışık uygulanan örneklerde artış gösterdiği görülmüştür. Bu durum, ışık uygulamasının karotenoid biyosentezini desteklemesinden kaynaklanıyor olabilir şeklinde yorumlanmıştır (Khudairi ve Arboleda, 1971; Thomas ve Jen, 1975).

Bu denemede, mavi ışık altında saklanan örneklerde 11.gün artış gösteren likopen değerinin likopen analizi metodunun yıkıcı olması nedeniyle aynı domates üzerinde çalışılmaması sonucu örnekler arasındaki saçınıklıklardan kaynaklanıyor olabileceği şeklinde yorumlanmıştır.

Daha önce yapılmış çalışmalarda, düşük sıcaklıklarda (12°C’nin altında) saklanan domateslerde reaktif oksijen türlerinin oluşumunun tetiklendiği ve bu nedenle

buzdolabında saklanan kırmızı domateslerin likopen içeriğinin zamanla azaldığı bildirilmiştir (Farneti ve diğ., 2012).

Liu ve diğ. (2009) yaptıkları çalışmada, 12-14°C aralığında depolama süresince ışık uygulanmış domates örneklerinin likopen içeriklerinin ışık uygulanmamış kontrol grubu örneklerinden önemli oranda daha yüksek olduğunu bildirmişlerdir.

Ancak, Dhakal ve Baek (2014) ilk 7 gün mavi ışık varlığında 25°C’de sakladıkları domates örneklerinden ışık görmeyen kontrol grubu örneklerinin likopen birikiminin daha yüksek olduğunu bildirmişlerdir. Bu domates örneklerinin her biri ilk 7 günlük depolamalarından sonra 14 gün boyunca karanlıkta bekletilmiş, toplamda 21 günlük saklamanın sonunda gruplar arasında likopen farklılığı görülmemiştir (Dhakal ve Baek, 2014).

Costa ve diğ. (2013) 20°C sıcaklık koşulunda 5 gün boyunca düşük şiddetli kırmızı ve mavi ışık uygulanmış fesleğen örneklerinin klorofil ve toplam karotenoid gibi renk pigmentlerinin ışık uygulanmamış örneklerden daha yüksek seviyelerde olduğunu bildirmişlerdir.

4.1.3 Suda çözünür kuru madde içeriği

Suda çözünür kuru madde içeriği; toplam şekerleri, asitleri (sitrik asit, malik asit vb), çözünür pektin, C vitamini ve mineralleri içermektedir (Dhakal ve Baek, 2014).

Domates örneklerinin suda çözünür kuru madde miktarı değişimi Çizelge 4.4’te gösterilmiştir. Saklama süresince suda çözünür kuru madde içeriklerinin günlere göre değişimi net olarak gözlemlenememiş olsa da; depolamanın başlangıcında kontrol grubu ve ışık uygulanmış örneklerde 4,6 olan suda çözünür kuru madde içeriği, depolamanın son günü sırası ile 3,9 ve 3,8 olarak tespit edilmiştir. Bu nedenle, suda çözünür kuru madde içeriğinin her iki grupta da genel olarak azaldığı yönünde yorum yapılmıştır.

Tukey testine göre; 14 günlük depolama süresince karanlık ve mavi ışık koşullarında saklanmış domateslerin °Brix değerleri arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmuş ($p<0,05$) ve ışık altında saklanan domateslerin suda çözünür kuru madde içeriğinin daha yüksek seyrettiği sonucuna ulaşılmıştır. Bu durum, ışık uygulanmış domates örneklerinin lezzetinin (tatlılığının) daha uzun süre korunduğunu göstermektedir (Dhakal ve Baek, 2014).

Çizelge 4.4: 24 saat mavi LED ışık uygulanan ve uygulanmayan kontrol grubu domates örneklerine ait suda çözünür kuru madde ortalamalarının Tukey testi karşılaştırma sonuçları.

Suda Çözünür Kuru Madde (°Brix)		
Gün	Kontrol (Karanlık)	Mavi LED (24 saat)
0	4,6±0,1 ^a _a	4,6±0,1 ^a _a
2	3,8±0,1 ^e _b	4,6±0,1 ^a _a
4	4,2±0,1 ^b _a	4,3±0,1 ^b _a
7	4,5±0,1 ^a _a	4,3±0,1 ^b _b
9	3,8±0,0 ^{de} _b	4,0±0,1 ^c _a
11	4,0±0,1 ^c _b	4,3±0,0 ^b _a
14	3,9±0,0 ^{cd} _a	3,8±0,1 ^d _b

Aynı sütunda ayrı üst harfle işaretlenen ortalamalar arasındaki farklar önemlidir ($p<0,05$).
Aynı satırda ayrı alt harfle işaretlenen ortalamalar arasındaki farklar önemlidir ($p<0,05$).

Yapılmış çalışmalarda, 4°C’de 7 gün boyunca ışıklı ve ışısız ortamda saklanan taze marul örneklerinden ışık uygulananların suda çözünür kuru madde miktarının daha yüksek olduğu bildirilmiştir (Zhan ve diğ., 2012b).

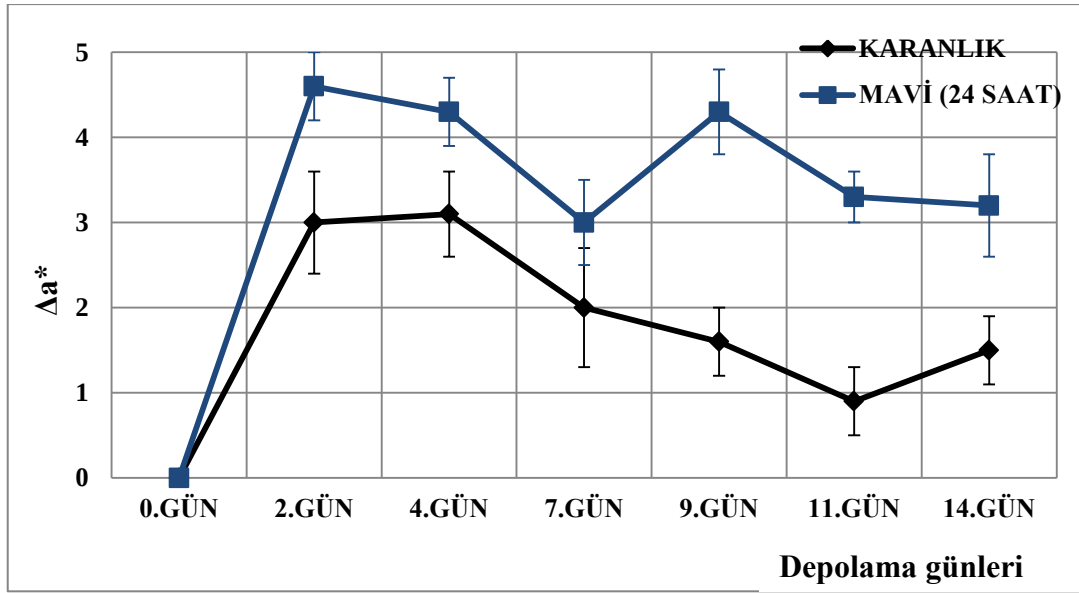
Ancak, Dhakal ve Baek (2014) ilk 7 gün kırmızı ve mavi ışık varlığında, sonraki 14 gün karanlıkta 25°C’de sakladıkları domates örneklerin depolama boyunca suda çözünür kuru madde içeriklerinin azaldığını bildirmişlerdir. Kırmızı, mavi ışık altında saklanan ve herhangi bir ışık uygulaması yapılmayan domates örneklerinin suda çözünür kuru madde içerikleri arasında fark olmadığını belirtmişlerdir (Dhakal ve Baek, 2014).

4.1.4 Dış kabuk rengi

Domatesin kabul edilebilirliğinde en önemli kalite kriterlerinden biri rengidir (Dhakal ve Baek, 2014).

Mavi LED ışık uygulanmış ve uygulanmamış domates örneklerine ait 14 günlük dış kabuk kırmızılık değeri değişimi Şekil 4.3’te paylaşılmıştır.

Dış kabuk rengi kırmızılığının (a^*) depolamanın ilk 2 gününde her iki koşulda da artış gösterdiği görülmüştür. Bu artışın mavi ışık altında saklanan domateslerde daha fazla olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 4.5).



Şekil 4.3: 24 saat mavi LED ışık uygulanan ve kontrol grubu domates örneklerinde 14 gün boyunca dış kabuğun a* değeri değişimi.

Bilindiği gibi domates klimakterik bir üründür (Luthria ve diğ., 2006). Bu nedenle, olgunlaşma belirtileri hasat sonrası dönemde de devam etmektedir. Bu çalışmada, domatesin kabuk kırmızılığının depolamanın ilk 2 gününde karanlık koşulda da artıyor olması, domatesin klimakterik özelliğinden kaynaklanmaktadır.

Çizelge 4.5: 24 saat mavi LED ışık uygulanan ve kontrol grubu domates örneklerine ait dış kabuk a* değeri değişim ortalamalarının Tukey testi karşılaştırma sonuçları.

Gün	Δa*	
	Kontrol (Karanlık)	Mavi LED (24 saat)
0	0,0±0,0 ^c _a	0,0±0,0 ^c _a
2	3,0±0,6 ^a _b	4,6±0,4 ^a _a
4	3,1±0,5 ^a _b	4,3±0,4 ^a _a
7	2,0±0,7 ^{ab} _a	3,0±0,5 ^{ab} _a
9	1,6±0,4 ^{bc} _b	4,3±0,5 ^{ab} _a
11	0,9±1,4 ^{cd} _b	3,3±0,3 ^b _a
14	1,5±0,4 ^{bc} _b	3,2±0,6 ^{ab} _a

Aynı sütunda ayrı üst harfle işaretlenen ortalamalar arasındaki farklar önemlidir ($p<0,05$).

Aynı satırda ayrı alt harfle işaretlenen ortalamalar arasındaki farklar önemlidir ($p<0,05$).

Tukey testine göre; her iki koşuldaki kabuk kırmızılığının günlere göre değişiminin istatistiksel olarak anlamlı olduğu tespit edilmiştir ($p<0,05$). Depolama süresi boyunca mavi LED ışık altında saklanan domateslerin kabuk kırmızılık değerleri

kontrol grubu örneklerinden istatistiksel olarak daha yüksek tespit edilmiştir ($p<0,05$).

Ayrıca, 2.günde her iki koşulda da dış kabuk kırmızılık değeri artış göstermiştir. Bu artış; mavi LED koşulunda saklanan domateslerde karanlıkta saklananlara göre istatistiksel olarak daha yüksek bulunmuştur ($p<0,05$). Buna göre; mavi LED ışık uygulanan domateslerde kabuk kırmızılığının depolama süresi boyunca daha iyi korunduğu gibi, artışının da daha fazla tetiklendiği görülmüştür.

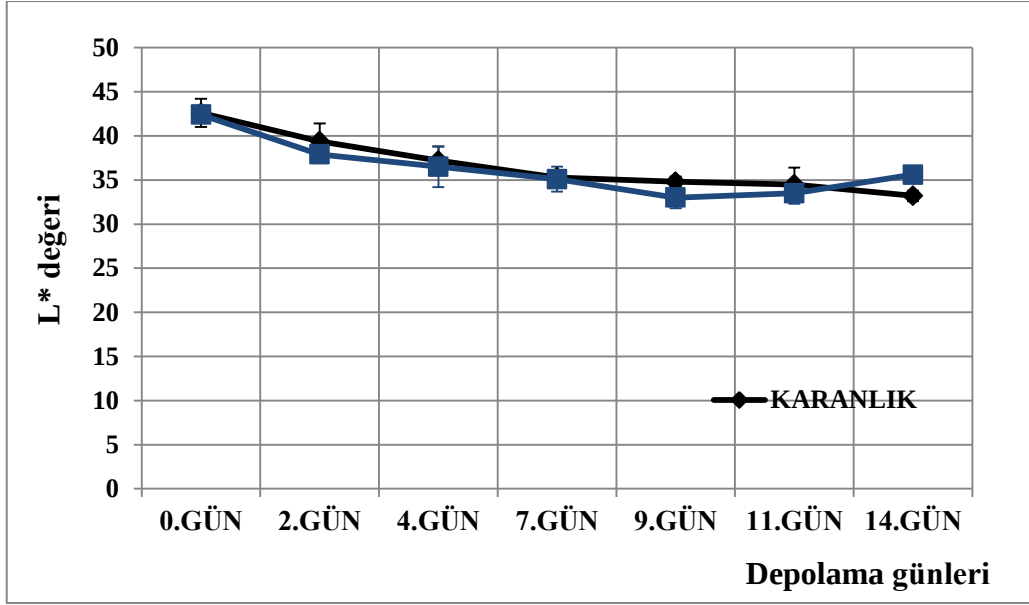
Burada elde edilen sonucun tersine; Dhakal ve Baek (2014) yaptıkları çalışmada, mavi ışığın domateslerin ön depolama safhasında uygulandığı denemelerde 25°C’de 21 günlük saklamada dış kabuk kırmızılık değerinin kontrol (karanlık) örneklerinden önemli oranda daha az olduğunu bildirmişlerdir.

Düşük sıcaklıkta depolama, olgunlaşma ile ilgili görünümdeki değişikliklerin oranını azaltır. Düşük sıcaklıkta, olgunlaşmanın gecikmesi ile bağlantılı olarak, likopen gibi karotenoidlerin birikimi azalır. Olgunlaşma sırasında elde edilen değişimler genellikle istenen değişimlerdir (Küşümler, 2011). Bu çalışmada, ışık uygulaması yapılan domateslerin kırmızılığının daha fazla artması domatesin kabul ediliirliğinde istenen bir özelliktir.

19-21°C sıcaklık, %90-95 bağıl nem aralığı domatesin dış kabuk kırmızılığının artması için en ideal saklama koşuludur (Url-11). 13°C’nin altındaki sıcaklık değerlerinde domatesin dış kabuğunun kızarması oldukça yavaşlamaktadır (Url-11). Ancak, bu çalışmada, 4°C’de saklanan domateslere mavi LED ışığın karanlıkta saklananlara göre dış kabuk kırmızılığını arttırıcı etkisi olduğu görülmüştür.

Mavi LED uygulanmış ve uygulanmamış domateslerin saklandığı haznelardan alınan renk ölçüm numunelerinin 14 günlük L* parlaklık değeri değişimleri aşağıdaki Şekil 4.4’te gösterilmiştir.

Kontrol grubu ve mavi LED uygulanan örneklerin başlangıç L* değeri sırasıyla 42,6 ve 42,4 iken, depolamanın son günü 33,2 ve 35,6 olarak ölçülmüştür (Çizelge 4.6).



Şekil 4.4: 24 saat mavi LED ışık uygulanan ve kontrol grubu domates örneklerinde 14 gün boyunca dış kabuğun L* değeri değişimi.

Depolamanın son günü dikkate alındığında; mavi ışık altında saklanan örneklerin L* değerleri, karanlık ortamda saklanan domateslerden istatistiksel olarak daha yüksek ölçülmüştür ($p < 0,05$). Ancak, 14 günlük depolama boyunca karanlıkta ve mavi ışık altında saklanan domates örneklerinin L* değerleri arasındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır ($p > 0,05$).

Çizelge 4.6: 24 saat mavi LED ışık uygulanan ve kontrol grubu domates örneklerine ait L* değeri ortalamalarının Tukey testi karşılaştırma sonuçları.

Gün	L* değeri	
	Kontrol (Karanlık)	Mavi LED (24 saat)
0	42,6±1,6 ^a	42,4±0,3 ^a
2	39,4±2,0 ^{ab}	37,9±1,0 ^b
4	37,2±1,6 ^{bc}	36,5±2,3 ^{bc}
7	35,3±0,7 ^{cd}	35,1±1,4 ^{bcd}
9	34,8±0,6 ^{cd}	33,0±1,2 ^d
11	34,5±1,9 ^{cd}	33,5±1,2 ^{cd}
14	33,2±0,6 ^d	35,6±0,5 ^{bcd}

Aynı sütunda ayrı üst harfle işaretlenen ortalamalar arasındaki farklar önemlidir ($p < 0,05$).

Aynı satırda ayrı alt harfle işaretlenen ortalamalar arasındaki farklar önemlidir ($p < 0,05$).

Liu ve diğ (2009) ışık uygulamasının yapıldığı domates örnekleri ile ışık uygulanmayan domates örneklerinin dış kabuk L* parlaklık değerlerinin 21 günlük depolama süresince incelendiği çalışmada; L* değerinin her koşul için depolama süresi boyunca azalma eğiliminde olduğunu ve bu değişimin istatistiksel olarak anlamlı bulunduğunu ($p<0,05$) bildirmişlerdir. Ancak, ışık uygulanmış ve uygulanmamış gruplardaki örnekler arasındaki farkın istatistiksel olarak önemsiz olduğu tespit edilmiştir ($p>0,05$).

Bu çalışmada da, her iki grupta saklanan domates örneklerinin L* değerinin 14 günlük depolama süresince azalma eğiliminde olduğu görülmüştür ve bu değişim istatistiksel olarak da anlamlı bulunmuştur ($p<0,05$). Ancak yine, gruplar arasında istatistiksel fark tespit edilememiştir ($p>0,05$).

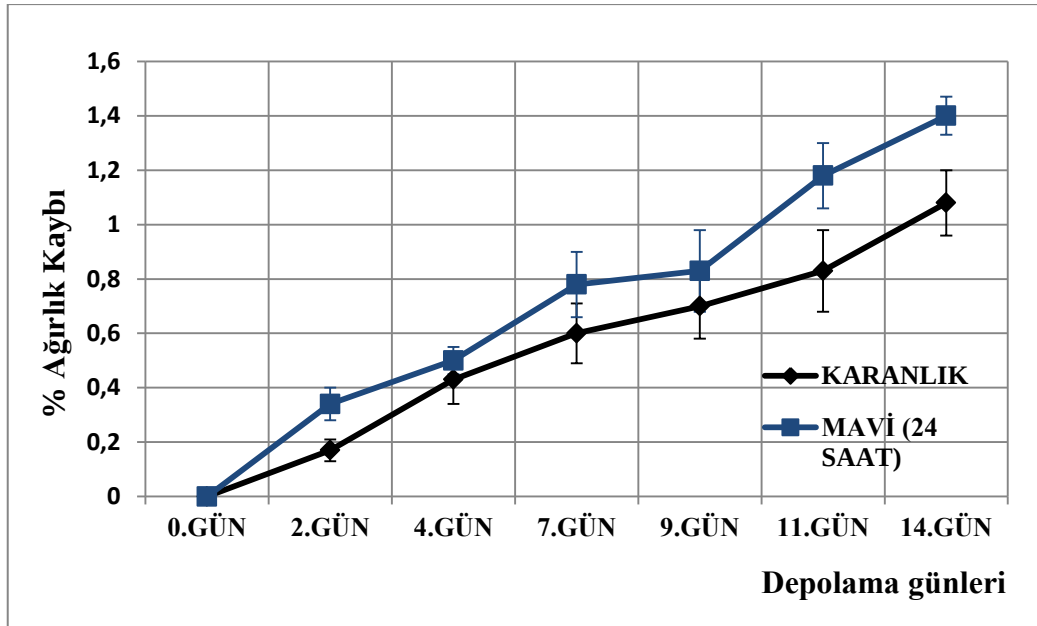
Costa ve diğ. (2013) duyu kalite kriterlerinin en önemli unsurlarından biri olan ürün renginin, ışık varlığından oldukça etkilendiğini belirtmişlerdir. Görünür bölgede ışık uygulanan brokoli örneklerinin renk özelliğinin raf ömrü süresince daha iyi korunduğu bildirilmiştir (Zhan ve diğ., 2012a; Büchnert ve diğ., 2011). Bu çalışmada da, mavi ışık uygulanan domateslerin dış kabuk kırmızılığının karanlıkta saklananlara göre daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Ancak depolamanın son gününe kadar dış kabuk parlaklığında gruplar arası farklılık görülmemiştir.

4.1.5 Ağırlık kaybı

14 gün boyunca mavi LED ışık uygulanmış ve uygulanmamış kontrol grubu domates örneklerine ait % ağırlık kaybı değerleri Şekil 4.5'te verilmiştir.

Depolamanın 14.günü kontrol grubu ve mavi LED ışık uygulanmış domates örneklerinin % ağırlık kayıpları sırasıyla % 1,08 ve % 1,40 olarak tespit edilmiştir (Çizelge 4.6).

Depolama süresince her iki grupta da % ağırlık kaybının artış gösterdiği, ancak mavi ışık altında saklanan domates örneklerinde bu artışın kontrol grubuna göre daha fazla olduğu görülmüştür.



Şekil 4.5: 24 saat mavi LED ışık uygulanan ve kontrol grubu domates örneklerinde 14 gün boyunca % ağırlık kaybı değişimi.

Tukey testi sonuçlarına göre; karanlıkta ve mavi ışık altında saklanmış domateslerin depolama süresince % ağırlık kaybı değişimleri arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p<0,05$). Depolamanın 7.gününden itibaren saklama süresinin sonuna kadar mavi ışık altında saklanan domateslerde % ağırlık kaybı kontrol grubundan önemli oranda yüksek bulunmuştur ($p<0,05$).

Çizelge 4.7: 24 saat mavi LED ışık uygulanan ve kontrol grubu domates örneklerine ait % ağırlık kaybı ortalamalarının Tukey testi karşılaştırma sonuçları.

Ağırlık Kaybı (%)		
Gün	Kontrol (Karanlık)	Mavi LED (24 saat)
0	0,00±0,00 ^e _a	0,00±0,00 ^e _a
2	0,17±0,04 ^{de} _b	0,34±0,06 ^d _a
4	0,43±0,09 ^{cd} _a	0,50±0,05 ^d _a
7	0,60±0,11 ^{bc} _a	0,78±0,12 ^c _a
9	0,70±0,12 ^{bc} _b	0,83±0,15 ^c _a
11	0,83±0,15 ^{ab} _b	1,18±0,12 ^b _a
14	1,08±0,12 ^a _b	1,40±0,07 ^a _a

Aynı sütunda ayrı üst harfle işaretlenen ortalamalar arasındaki farklar önemlidir ($p<0,05$).

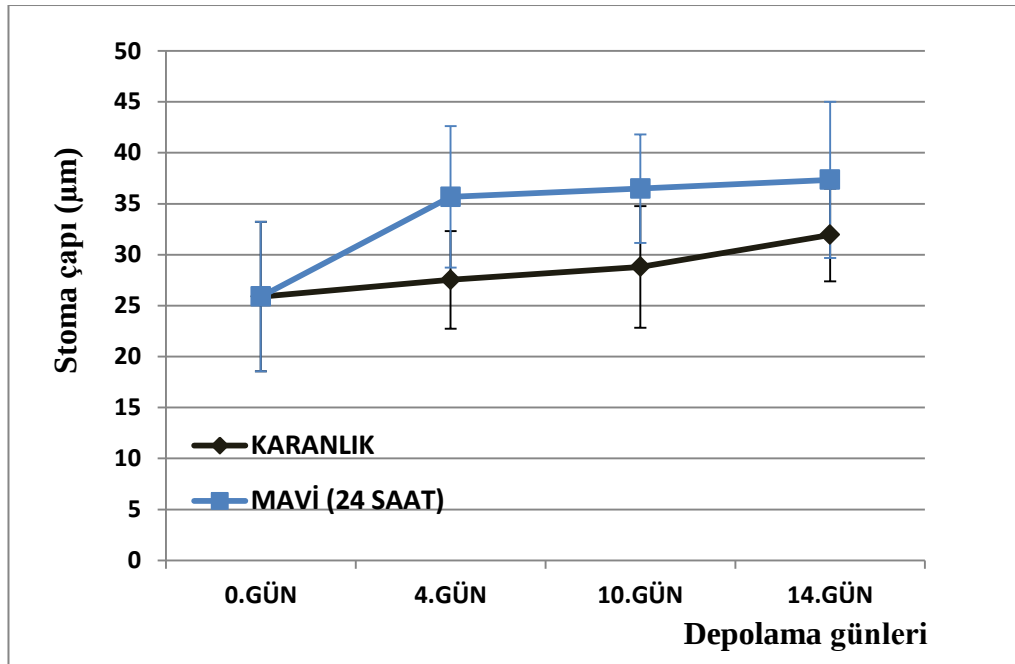
Aynı satırda ayrı alt harfle işaretlenen ortalamalar arasındaki farklar önemlidir ($p<0,05$).

Mavi ışık uygulanan domates örneklerinde daha yüksek görülen ağırlık kaybının nedeni olarak; mavi ışıktaki stomaların daha fazla açılması sonucu nem kaybının artmış olabileceği yorumu yapılmıştır (Li ve diğ., 2010; Lin ve diğ., 2000; Braidot ve diğ., 2014).

Önceki çalışmalarda; 7°C’de $24 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ şiddetinde ışık uygulanmış taze kesilmiş brokoli örneklerinin 5.günden sonra ağırlık kaybının aynı sıcaklıkta karanlıkta saklanan örneklerle göre daha fazla olduğu bildirilmiştir (Zhan ve diğ., 2012a).

4.1.6 Stoma görselleme

14 gün boyunca depolanan domates örneklerinin saklamanın 0., 4., 10. ve 14. günlerinde dış kabuk stoma görüntüleri kaydedilmiş ve stoma çapları ölçülmüştür.



Şekil 4.6: 14 gün boyunca karanlıkta ve 24 saat mavi LED ışık altında saklanan domates örneklerinin stoma çapı ortalamaları değişimi.

Domates örneklerinin stoma çaplarının günlere göre değişimi Şekil 4.6’da gösterilmiştir. Başlangıç stoma çapı ortalaması $25,89 \mu\text{m}$ olan domateslerin saklama süresinin sonu olan 14.günde stoma çapları ortalaması karanlıkta saklanan ve 24 saat mavi LED uygulanan domateslerde sırasıyla $31,95 \mu\text{m}$ ve $37,35 \mu\text{m}$ olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.8). Ortalama stoma çaplarının 14 günlük depolama süresi boyunca artış gösterdiği, ancak bu artışın her 2 grupta da Tukey testinde istatistiksel

olarak önemsiz olduğu görülmüştür ($p>0,05$). Tukey testi sonuçlarına göre; gruplar arası fark istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur ($p>0,05$).

Çizelge 4.8: Karanlıkta saklanan ve 24 saat mavi LED ışık uygulanan domates örneklerine ait dış kabuk stoma çapları ortalamalarının Tukey testi karşılaştırma sonuçları.

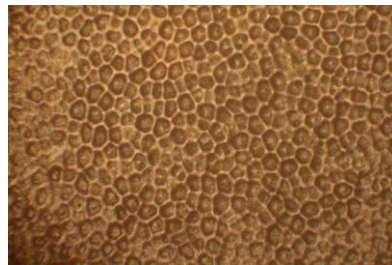
Stoma çapı (µm)		
Gün	Karanlık	Mavi LED (24 saat)
0	25,89±7,33 ^a	25,89±7,33 ^a
4	27,53±4,79 ^a	35,68±6,94 ^a
10	28,80±5,96 ^a	36,49±5,32 ^a
14	31,95±4,56 ^a	37,35±7,67 ^a

Aynı sütunda ayrı üst harfle işaretlenen ortalamalar arasındaki farklar önemlidir ($p<0,05$).

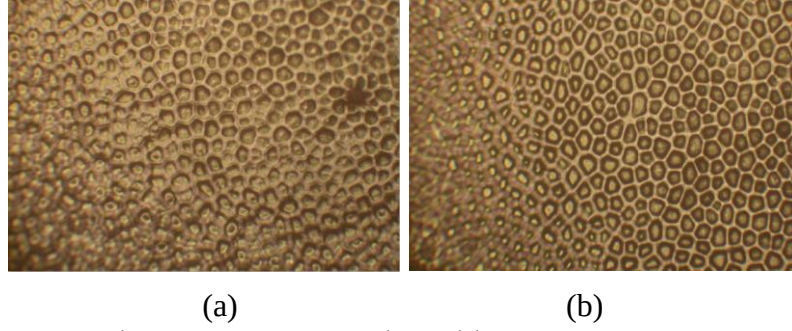
Aynı satırda ayrı alt harfle işaretlenen ortalamalar arasındaki farklar önemlidir ($p<0,05$).

Mavi ışık uygulanan domates örneklerinde daha yüksek görülen ağırlık kaybının nedeni olarak, mavi ışıkta stomaların daha fazla açılması sonucu nem kaybının artması olabileceği yorumu yapılmıştı (Li ve diğ., 2010; Lin ve diğ., 2000; Braidot ve diğ., 2014). Her ne kadar stoma görselleme çalışmalarında ölçülen stoma çapları günler arası ve gruplar arası karşılaştırıldığında istatistiksel fark görülmemiş olsa da ($p>0,05$), saklama süresi boyunca mavi LED altında saklanan domateslerin stoma çapları ortalamalarının karanlıkta saklanana göre daha yüksek olduğu Şekil 4.6’da görülmektedir.

Depolanan domateslerin dış kabuklarının 0.gün stoma görüntüsü Şekil 4.7’de, her 2 koşula ait 14.gün görüntüleri ise Şekil 4.8’de paylaşılmıştır.



Şekil 4.7: Depolamanın 0.günü domates dış kabuk stoma görüntüsü.

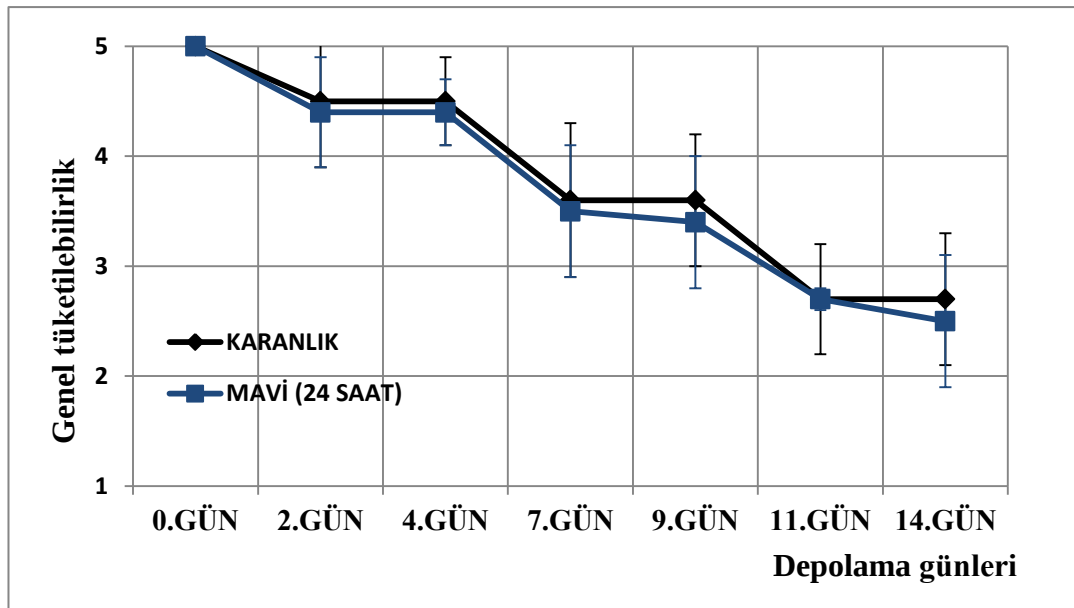


Şekil 4.8: Depolamanın 14.günü (a) karanlıkta (b) 24 saat mavi LED altında saklanan domateslerin dış kabuk stoma görüntüsü.

4.1.7 Duyusal analiz

14 gün boyunca 24 saat mavi LED ışık uygulaması yapılan ve yapılmayan (karanlık) domateslere ait duyusal analizlerde panelistlerin genel beğenisi (genel tüketilebilirlik) değişimi Şekil 4.9’da grafikte paylaşılmıştır.

Ürünün genel tüketilebilirlik değeri, hasat sonrası saklama süresince ürün yapısında meydana gelen olumsuz değişimlere bağlı olarak zamanla azalmaktadır. Başlangıç değeri 5 (5: genel tüketilebilirlik çok iyi) olan duyusal kalite; 11. gün her iki grupta da 3 (sınırlı koşullarda tüketilebilir) değerinin altına düşmektedir.



Şekil 4.9: 24 saat mavi LED ışık uygulanan ve kontrol grubu domates örneklerinde 14 günlük depolama süresi boyunca genel tüketilebilirlik değişimi.

Tukey testi sonuçlarına göre; Çizelge 4.9’de de görüleceği gibi, depolama süresince günler arasındaki genel tüketilebilirlik değişimi istatistiksel olarak anlamlı bulunurken ($p < 0,05$), gruplar arasında fark tespit edilmemiştir ($p > 0,05$).

Çizelge 4.9: 24 saat mavi LED ışık uygulanan ve kontrol grubu domates örneklerine ait genel tüketilebilirlik ortalamalarının Tukey testi karşılaştırma sonuçları.

Genel tüketilebilirlik		
Gün	Kontrol (Karanlık)	Mavi LED (24 saat)
0	5,0±0,0 ^a _a	5,0±0,0 ^a _a
2	4,5±0,6 ^a _b	4,4±0,5 ^a _a
4	4,5±0,4 ^a _a	4,4±0,3 ^a _a
7	3,6±0,7 ^b _a	3,5±0,6 ^b _a
9	3,6±0,6 ^b _a	3,4±0,6 ^b _a
11	2,7±0,5 ^c _a	2,7±0,1 ^c _a
14	2,7±0,6 ^c _a	2,5±0,6 ^c _a

Aynı sütunda ayrı üst harfle işaretlenen ortalamalar arasındaki farklar önemlidir ($p<0,05$).

Aynı satırda ayrı alt harfle işaretlenen ortalamalar arasındaki farklar önemlidir ($p<0,05$).

Depolama süresi boyunca, ürün yapısında meydana gelen renk ve özellikle buruşma, büzüşme, yüzeyde çukurlanma ve su batması gibi tekstürel değişikliklere bağlı olarak domateslerin duyu kalitelerinde bozulmalar olduğu gözlenmiştir. Bu durum her iki koşul altında saklanan numunelerde benzer şekilde gerçekleşmiş olup, mavi ışık uygulamasının genel beğeniye olumlu ya da olumsuz herhangi bir etkisi gözlenmemiştir.

Önceki çalışmalarda, görünür bölgede ışık uygulamasına maruz kalmış brokoli örneklerinin karanlıkta saklanan kontrol grubu örneklerine göre duyu kalite kriterlerini daha uzun süre koruduğu bildirilmiştir (Büchnert ve diğ., 2011; Zhan ve diğ., 2012a). Ancak, Ma ve diğ. (2014) hasat edilmiş brokoli örneklerinde duyu kalite kriterleri üzerine mavi ışığın bir etkisi olmadığını bildirmişlerdir.

Duyu analiz örneklerinde yüzeyde çukurlanma, su batması görünümü, homojen olmayan renk dağılımı gibi belirtilerin her iki grupta saklanan domateslerde benzer seyrettiği görülmüştür. Bu durum, her iki grubun da 13°C'nin altında saklanması nedeniyle benzer soğuk zararlanması belirtilerini gösterdikleri yorumu yapılmıştır (Leibovitz, 2003).

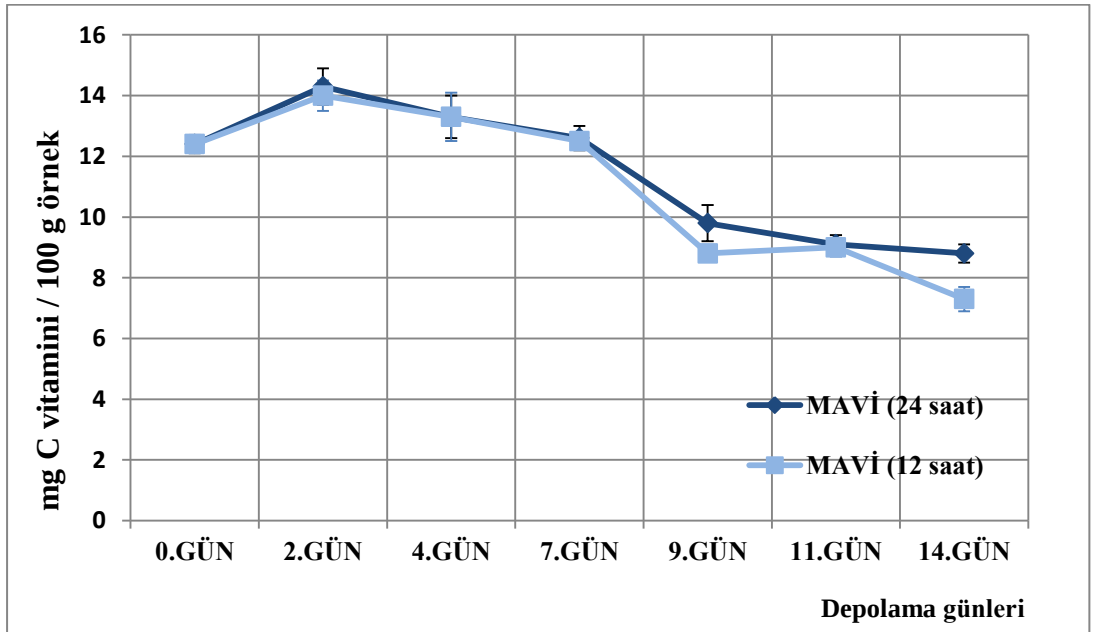
4.2 Mavi LED Işıyla Fotoperiyot Uygulamasının Domates Üzerine Etkisinin Belirlenmesi

Üründe ışık hasarının önlenmesi amacıyla yapılan ışık uygulamasının dozu ve şiddeti önem taşımaktadır (İlieva ve diğ., 2010). Bu çalışmada, ışık uygulamasının ürün kalitesine etkisinin yanı sıra sürekli ya da belli sürelerde (fotoperiyodik) yapılıyor olması da incelenmiştir. Bu amaçla; gün-nötr ile kısa ve uzun gün bitkileri için ortak olan 12 saatlik fotoperiyot süresi seçilmiş, 24 saatlik (sürekli) mavi ışık uygulaması ile karşılaştırılmıştır. Bu sayede, 24 saat yerine 12 saat LED aydınlatması ile enerji tasarrufu yapılması da hedeflenmiştir.

4.2.1 C vitamini içeriği

24 saat ve 12 saat mavi LED ışık uygulamasının yapıldığı domates örneklerine ait C vitamini değerlerinin depolama süresince değişimi Şekil 4.10'de paylaşılmıştır.

Her iki grup için depolamanın başlangıcında 12,4 mg/100 g olarak belirlenen C vitamini miktarı 24 saat ve 12 saat mavi LED uygulanan domates örneklerinde 2.günde sırasıyla 14,3 mg/100g ve 14,0 mg/100g değerlerine ulaşmış, depolamanın son günü olan 14.günde ise 8,8 mg/100g ve 7,3 mg/100 g değerine düşmüştür (Çizelge 4.10).



Şekil 4.10: 24 saat ve 12 saat mavi LED ışık uygulanan domates örneklerinde 14 günlük C vitamini içeriklerinin değişimi.

C vitamini değerlerinin her iki grupta da ilk 2 gün artış gösterdiği, ancak daha sonra azalış eğiliminde olduğu görülmektedir.

Tukey testi sonuçlarına göre, C vitamin miktarının ilk 2 gün artış ve depolamanın ilerleyen günlerindeki azalma göstermesi her iki grup için de istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p<0,05$). Depolamanın son günü olan 14.güne kadar gruplar arasında C vitamini miktarı açısından istatistiksel fark bulunmamıştır ($p>0,05$).

Çizelge 4.10: 24 saat mavi LED ışık uygulanan ve kontrol grubu domates örneklerine ait C vitamini ortalamalarının Tukey testi karşılaştırma sonuçları.

Gün	C vitamini (mg/100g rnek)	
	Mavi LED (24 saat)	Mavi LED (12 saat)
0	12,4±0,3 ^b _a	12,4±0,3 ^b _a
2	14,3±0,6 ^a _a	14,0±0,5 ^a _a
4	13,3±0,7 ^{ab} _a	13,3±0,8 ^{ab} _a
7	12,6±0,4 ^b _a	12,5±0,1 ^b _a
9	9,8±0,6 ^c _a	8,8±0,2 ^c _a
11	9,1±0,3 ^c _a	9,0±0,3 ^c _a
14	8,8±0,3 ^c _a	7,3±0,4 ^d _b

Aynı sütunda ayrı üst harfle ışaretlenen ortalamalar arasındaki farklar önemlidir ($p<0,05$).

Aynı satırda ayrı alt harfle ışaretlenen ortalamalar arasındaki farklar önemlidir ($p<0,05$).

Hasat sonrası ışık uygulamasında C vitamini içeriğinde artış görülmesi sonucu, meyvede karbonhidrat rezervlerinden C vitamini biyosentezinin ışık uygulaması ile sürdürülebildiği yorumu yapılmıştır (Perez ve diğ., 1999; Braidot ve diğ., 2014).

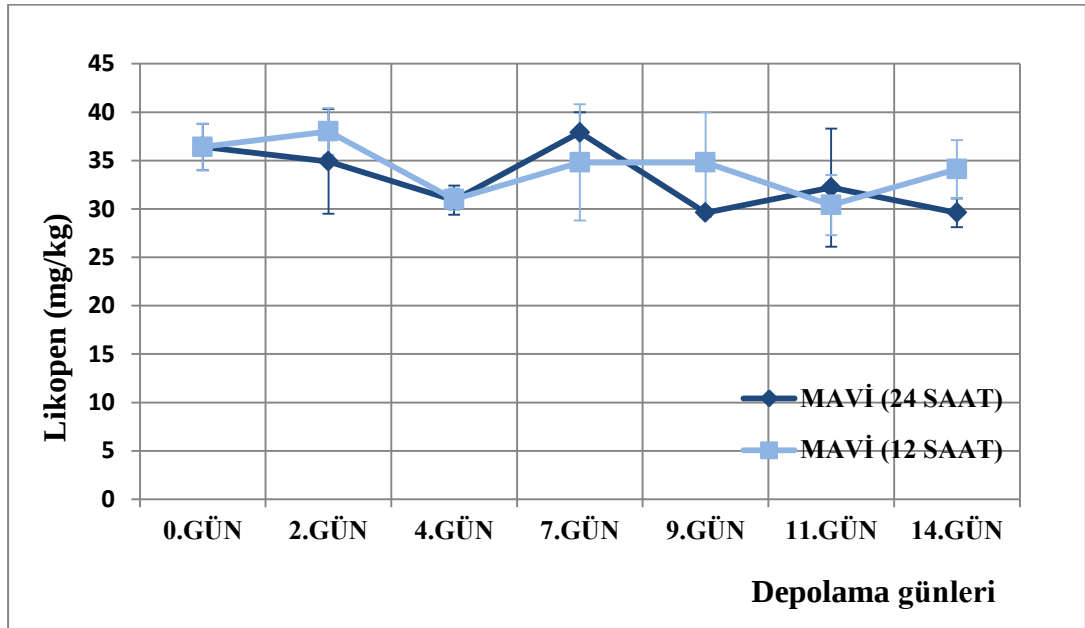
Bu çalışmada; mavi LED ışığın 24 saat sürekli açık kalmasının ya da 12 saat periyotla çalışmasının üründe C vitamini içeriği açısından önemi bulunmamıştır.

Literatürdeki daha önceki hasat sonrası ışık çalışmalarında; C vitamini analizi çoğunlukla yeşil yapraklı sebzelerin saklandığı denemelerde yapılmış ve C vitamini içeriğinde görülen artışın bu ürünlerin hasat sonrasında ışık etkisi ile fotosentez yapıyor olabileceği ileri sürülmüştür. Bu çalışmada, domateste depolamanın ilk 2 günü C vitamini artışının görülmesi; üründe C vitamini miktarının artmasında sadece fotosentez reaksiyonlarının görev almadığını göstermektedir. Braidot ve diğ. (2014) ışık uygulamasının ürün üzerindeki etkisinin foto-sibernetik etki olabileceğini bildirmişlerdir.

Ayrıca, Braidot ve diğ. (2014) kuzu marullarını 0,5 saat ışık uygulaması ve 0,5 saat karanlık döngüsü ya da 1 saat ışık uygulaması ve 1 saat karanlık döngüsü ile toplamda 8 saat ışık uygulaması olacak şekilde soğukta (6°C’de) saklamışlardır. Işık hasarının önlenmiş olması nedeniyle, depolama süresi boyunca fitobesin içeriğinin ve görsel kalitesinin 8 saat sürekli ışık uygulamasından daha iyi olduğunu bildirmişlerdir (Braidot ve diğ., 2014). Bu nedenle, daha sonraki çalışmalarda fotoperiyot sürelerinin (örneğin 8 saat vb) de ürün üzerine etkilerinin çalışılabileceği gibi, bu sürelerin belli periyotlarda (0,5 saat ya da 1 saat gibi) açılıp kapanması durumunun da incelenmesi yararlı olabilir.

4.2.2 Likopen içeriği

24 saat ve 12 saat mavi LED ışık uygulanan domates örneklerinin 14 günlük saklama süresince likopen içerikleri değişimi Şekil 4.11’de gösterilmiştir.



Şekil 4.11: 14 gün boyunca 24 saat ve 12 saat mavi LED ışık uygulanan domates örneklerinde likopen miktarı değişimi.

Likopen miktarı, saklama süresince her iki grupta da salınım göstermiştir.

36,4 mg/kg olan başlangıç likopen değeri, 24 saat ve 12 saat mavi LED ışık uygulanan domates örneklerinde depolamanın son günü sırasıyla 29,6 mg/kg ve 34,1 mg/kg değerine düşmüştür (Çizelge 4.11). Depolamanın son günü olan 14.günün sonunda 12 saatlik periyotla çalışan ve mavi ışık altında saklanan domateslerin

likopen içeriğinin 24 saat mavi LED uygulaması yapılan domates örneklerinden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Tukey testi sonuçlarına göre; depolamanın ilk 7 günü her iki gruptaki likopen içeriği arasında istatistiksel olarak fark bulunmamıştır ($p>0,05$). 14 günlük depolamanın sonunda mavi ışığın periyotlu ve sürekli çalışıyor olmasının; likopen içeriğinde oluşturduğu fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p<0,05$). 14 günlük likopen içerikleri açısından mavi ışığın 12 saatlik periyotla çalıştırılması daha uygun görülmüştür.

Çizelge 4.11: 24 saat ve 12 saat mavi LED ışık uygulanan domates örneklerine ait C vitamini ortalamalarının Tukey testi karşılaştırma sonuçları.

Likopen (mg/kg örnek)		
Gün	Mavi LED (24 saat)	Mavi LED (12 saat)
0	36,4±2,4 ^{ab} _a	36,4±2,4 ^a _a
2	34,9±5,4 ^{abc} _a	38,0±2,4 ^a _a
4	30,9±1,5 ^{cd} _a	31,0±1,1 ^b _a
7	37,9±2,1 ^a _a	34,8±6,0 ^{ab} _a
9	29,6±0,4 ^d _b	34,8±5,2 ^{ab} _a
11	32,2±6,1 ^{bcd} _a	30,4±3,1 ^b _a
14	29,6±1,5 ^e _b	34,1±3,0 ^{ab} _a

Aynı sütunda ayrı üst harfle işaretlenen ortalamalar arasındaki farklar önemlidir ($p<0,05$).

Aynı satırda ayrı alt harfle işaretlenen ortalamalar arasındaki farklar önemlidir ($p<0,05$).

Şekil 4.11’de ve Çizelge 4.11’de likopen değerlerinin günlere göre artış ve azalışlar gösterdiği görülmüştür. Bu durumun nedeni, saklama haznesinin farklı bölgelerinde yer alan farklı domates örneklerinin analize alınmasından olabileceği düşünülmüştür.

Literatürdeki çalışmalarda, düşük sıcaklıklarda (12°C’nin altında) saklanan domateslerin likopen miktarlarının depolama süresince azalma eğiliminde olduğu görülmektedir. Saklama esnasında gerçekleşen likopen degradasyonu nedeniyle, ürünün besin değeri azalmakta ve ayrıca renk gibi görsel kalite paramelerinde yarattığı olumsuz değişiklikler nedeniyle ürünün tüketici tercihini de etkilemektedir (Farneti ve diğ., 2012).

Bu çalışmada, mavi ışığın fotoperiyot süresinin 12 saat olmasının, 24 saatlik sürekli mavi ışık uygulamasına göre likopen içeriğinin korunumunda avantaj yarattığı tespit edilmiştir.

4.2.3 Suda çözünür kuru madde içeriği

24 saat ve 12 saat mavi LED ışık altında saklanan domateslerin 14 günlük suda çözünür kuru madde içeriği değişimi Çizelge 4.12’de paylaşılmıştır. Suda çözünür kuru madde içeriğinin her iki grupta da günlere göre değişimi düzensiz olup, saklamanın 0.günü °Brix değeri 4,0 iken, 24 saat ve 12 saat mavi LED ışığa maruz kalmış domates örneklerinin 14 günlük depolama sonunda °Brix değerleri sırasıyla 3,8 ve 3,9 olarak ölçülmüştür.

Çizelge 4.12: 24 saat ve 12 saat mavi LED ışık uygulanan domates örneklerine ait suda çözünür kuru madde ortalamalarının Tukey testi karşılaştırma sonuçları.

Suda Çözünür Kuru Madde (°Brix)		
Gün	Mavi LED (24 saat)	Mavi LED (12 saat)
0	4,0±0,0 ^b _a	4,0±0,0 ^{bc} _a
2	4,2±0,1 ^e _a	4,1±0,0 ^{ab} _b
4	4,1±0,0 ^b _a	4,0±0,1 ^c _b
7	4,1±0,0 ^{ab} _a	4,2±0,1 ^a _a
9	3,7±0,1 ^d _b	3,8±0,1 ^d _a
11	3,9±0,1 ^c _b	4,0±0,0 ^{bc} _a
14	3,8±0,1 ^{cd} _a	3,9±0,0 ^d _a

Aynı sütunda ayrı üst harfle işaretlenen ortalamalar arasındaki farklar önemlidir ($p<0,05$).

Aynı satırda ayrı alt harfle işaretlenen ortalamalar arasındaki farklar önemlidir ($p<0,05$).

Tukey testine göre; 14 gün boyunca saklanan domateslerin her iki grubunda da günler arası değişim istatistiksel olarak anlamlı bulunurken ($p<0,05$), gruplar arasındaki fark istatistiksel olarak anlamsız bulunmuştur ($p>0,05$).

°Brix değerlerinin günlere göre değişiminin artış ve azalışlar gösterdiği görülmektedir. Bu durumun, domates örnekleri arasındaki farklılıklardan ve domateslerin saklama haznesi içindeki konumları ile ışık kaynağına olan mesafe farklılıklarından kaynaklanabileceği yorumu yapılmıştır.

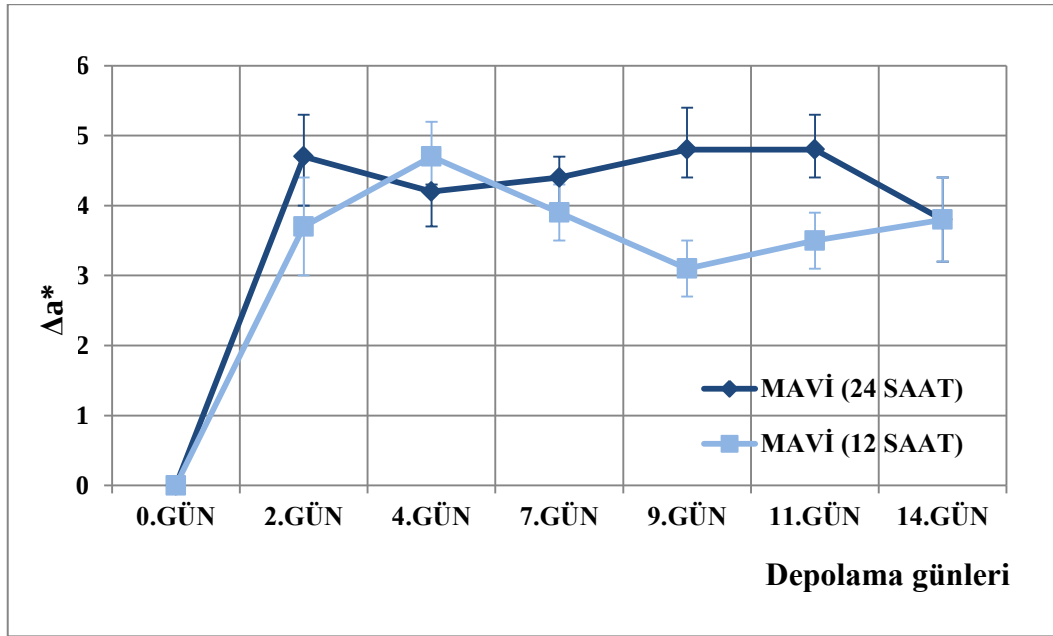
Liu ve diğ. (2009) 21 gün boyunca 12-14°C aralığında güneş ışığı, kırmızı ve UV-C ışığa maruz kalmış ve herhangi bir ışık uygulaması yapılmamış kontrol grubu

domates örneklerinin suda çözünür kuru madde içeriklerinin depolama süresi boyunca sabit kaldığını, depolamanın ve ışık uygulamasının domatesta °Brix değerini değiştirmedğini bildirmişlerdir.

Cornell Üniversitesi'nin bir çalışmasına göre; lezzetin en iyi korunması için domatesin oda sıcaklığında saklanması önerilmektedir. Ancak, bu saklama koşulunda domatesin raf ömrü 5-6 gün civarında olmaktadır (Url-12).

4.2.4 Dış kabuk rengi

24 saat mavi ışıkla aydınlatılmış haznelerde saklanan domateslerin dış kabuk kırmızılık değerlerinin depolama süresince karanlık ortamda saklanan domates örneklerinden daha fazla artış gösterdiği tespit edilmişti.



Şekil 4.12: 14 gün boyunca 24 saat ve 12 saat mavi LED uygulanan domates örneklerinde dış kabuğun a* değeri değişimi.

24 saat sürekli ve 12 saat periyodik mavi LED ışığa maruz kalan domates örneklerine ait 14 gün saklama süresi boyunca dış kabuk kırmızılık değeri değişimleri Şekil 4.12’de gösterilmiştir.

Tukey testine göre; mavi ışığın sürekli veya periyodik çalışması arasında domatesin dış kabuk renginin kırmızılığına olan etkisi açısından istatistiksel olarak önemli bir fark bulunmamıştır ($p>0,05$) (Çizelge 4.13).

Işık uygulamasının 24 saat ve 12 saat yapıldığı bu denemede, domates kabuğundaki kırmızılık değerleri değişimi arasındaki fark önemli bulunmamıştır.

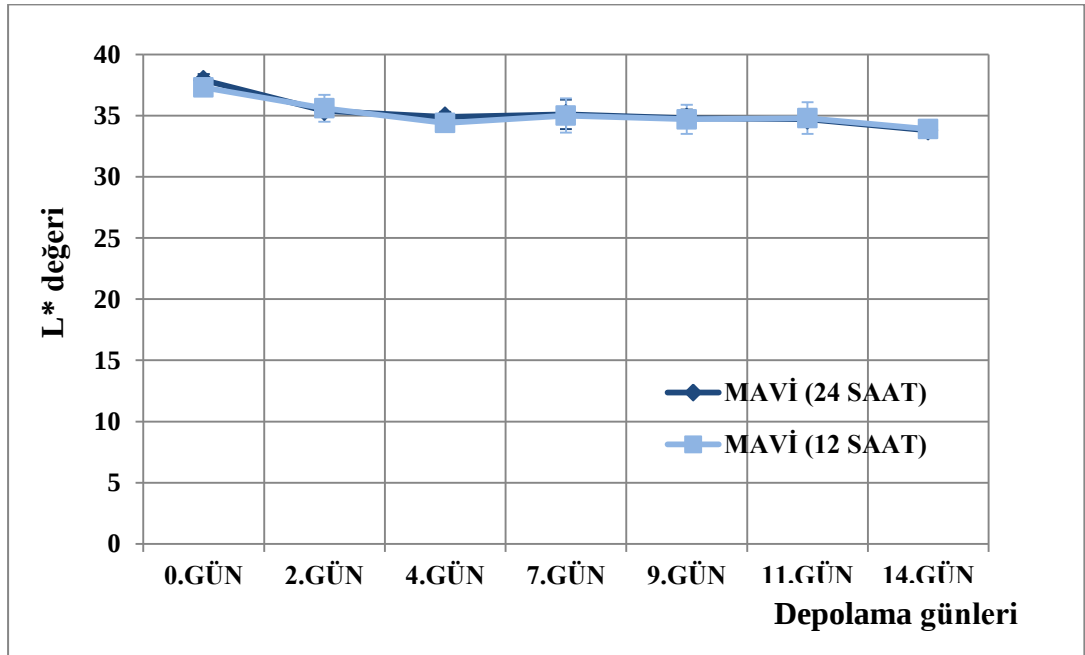
Çizelge 4.13: 24 saat ve 12 saat mavi LED ışık uygulanan domates örneklerine ait dış kabuk a* değeri değişim ortalamalarının Tukey testi karşılaştırma sonuçları.

Gün	Δa^*	
	Mavi LED (24 saat)	Mavi LED (12 saat)
0	0,0±0,0 ^b _a	0,0±0,0 ^d _a
2	4,7±0,6 ^a _a	3,7±0,7 ^{ab} _a
4	4,2±0,1 ^a _a	4,7±0,5 ^a _a
7	4,4±0,3 ^a _a	3,9±0,4 ^c _b
9	4,8±0,6 ^a _a	3,1±0,4 ^b _b
11	4,8±0,5 ^a _a	3,5±0,4 ^b _b
14	3,8±0,6 ^a _a	3,8±0,6 ^{ab} _a

Aynı sütunda ayrı üst harfle işaretlenen ortalamalar arasındaki farklar önemlidir ($p<0,05$).

Aynı satırda ayrı alt harfle işaretlenen ortalamalar arasındaki farklar önemlidir ($p<0,05$).

24 saat sürekli ve 12 saat periyodik mavi LED ışığa maruz kalan domates örneklerine ait 14 günlük saklama süresi boyunca dış kabuk parlaklığının (L^* değeri) değişimleri Şekil 4.13'te gösterilmiştir.



Şekil 4.13: 14 gün boyunca 24 saat ve 12 saat mavi LED ışık uygulanan domates örneklerinde dış kabuğun L^* değeri değişimi.

14 gün boyunca 24 saat ve 12 saat mavi LED ışık altında saklanan domateslerin başlangıç L^* değerleri sırasıyla 37,9 ve 37,3 iken, depolamanın son günü sırasıyla

33,8 ve 33,9 olarak ölçülmüştür (Çizelge 4.14). L* değerinin her iki grupta da saklama süresince azaldığı tespit edilmiştir.

Çizelge 4.14: 24 saat ve 12 saat mavi LED ışık uygulanan domates örneklerine ait dış kabuk L* değeri değişim ortalamalarının Tukey testi karşılaştırma sonuçları.

Gün	L*	
	Mavi LED (24 saat)	Mavi LED (12 saat)
0	37,9±0,5 ^a _a	37,3±0,6 ^a _a
2	35,4±0,3 ^b _a	35,6±1,1 ^{ab} _a
4	34,9±0,4 ^{bc} _a	34,4±0,6 ^b _a
7	35,1±1,2 ^{bc} _a	35,0±1,4 ^{ab} _a
9	34,8±0,7 ^{bc} _a	34,7±1,2 ^b _a
11	34,7±0,4 ^{bc} _a	34,8±1,3 ^b _a
14	33,8±0,4 ^c _a	33,9±0,5 ^b _a

Aynı sütunda ayrı üst harfle işaretlenen ortalamalar arasındaki farklar önemlidir ($p<0,05$).

Aynı satırda ayrı alt harfle işaretlenen ortalamalar arasındaki farklar önemlidir ($p<0,05$).

Tukey testine göre; L* değeri değişimlerinde günler arasında oluşan fark istatistiksel olarak anlamlı bulunurken ($p<0,05$), iki grup arasında istatistiksel fark tespit edilmemiştir ($p>0,05$).

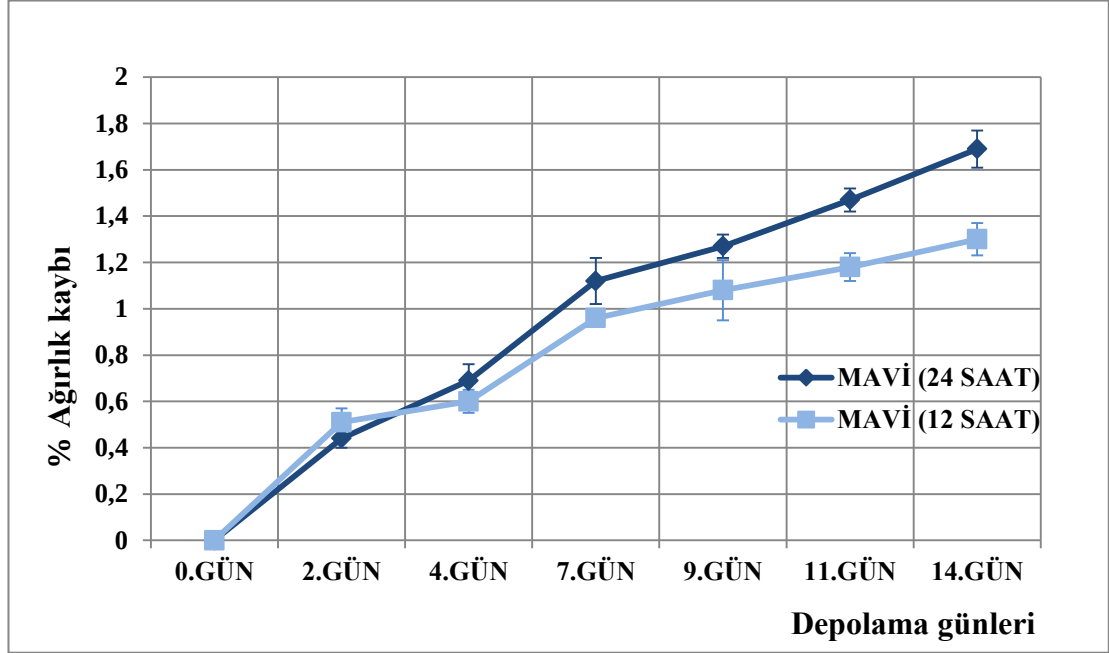
Literatürde, domatesin parlaklık (L*) değerinin depolama süresince azaldığı bildirilmiştir (Znidarcici ve Pozrl, 2006).

Bu çalışmada, mavi LED ışığın 24 saat sürekli veya 12 saatlik periyotla uygulanıyor olması; domatesin dış kabuğunun L* değerinde istatistiksel olarak önemli bir farklılık oluşturmamıştır.

4.2.5 Ağırlık kaybı

Tüketicide taze ürünün kabul edilebilirliğini görünüş, tekstür gibi özelliklerin yanısıra; hasat sonrası dönemde meyve-sebzelerde meydana gelen nem kaybı da etkilemektedir. Taze meyve-sebzelerin ağırlıklarının %5'ini kaybetmeleri sonucu ürün genellikle tüketici tarafından kabul edilmez (Kozuki ve diğ., 2015). Lokke (2012) ise; bir meyve-sebze ürününün tüketici tarafından reddedilme sınırını % 3'lük nem kaybı olarak bildirmiştir.

14 gün boyunca 24 saat sürekli ve 12 saat periyodik mavi LED ışık altında saklanan domateslerin % ağırlık kaybı değişimleri Şekil 4.14’de gösterilmiştir.



Şekil 4.14: 24 saat ve 12 saat mavi LED ışık uygulanan domates örneklerinde 14 günlük % ağırlık kaybı değişimi.

Depolamanın son günü 24 saat sürekli ve 12 saat periyodik mavi LED ışık uygulaması yapılan domates ürünlerinde ağırlık kayıpları sırasıyla, % 1,69 ve % 1,30 olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.15).

Çizelge 4.15: 24 saat ve 12 saat mavi LED ışık uygulanan domates örneklerine ait % ağırlık kaybı ortalamalarının Tukey testi karşılaştırma sonuçları.

Ağırlık Kaybı (%)		
Gün	Mavi LED (24 saat)	Mavi LED (12 saat)
0	0,00±0,00 ^t _a	0,00±0,00 ^d _a
2	0,44±0,04 ^e _b	0,51±0,06 ^c _a
4	0,69±0,07 ^d _a	0,60±0,05 ^c _a
7	1,12±0,10 ^c _a	0,96±0,03 ^b _a
9	1,27±0,05 ^{bc} _a	1,08±0,13 ^{ab} _a
11	1,47±0,05 ^b _a	1,18±0,06 ^{ab} _a
14	1,69±0,08 ^a _a	1,30±0,07 ^a _b

Aynı sütunda ayrı üst harfle işaretlenen ortalamalar arasındaki farklar önemlidir ($p<0,05$).

Aynı satırda ayrı alt harfle işaretlenen ortalamalar arasındaki farklar önemlidir ($p<0,05$).

Ağırlık kayıplarının depolama süresince arttığı, ancak bu artışın 24 saat mavi LED ışık uygulanan domateslerde daha fazla olduğu görülmüştür.

Tukey testi sonuçlarına göre; her iki grupta da görülen ağırlık kaybının günlere göre değişimi istatistiksel olarak anlamlı bulunurken ($p<0,05$), mavi LED ışığın sürekli ya da periyodik çalışmasının ürünün ağırlık kaybı açısından istatistiksel fark oluşturmadığı görülmüştür ($p>0,05$).

Mavi ışığın stomaların açılmasını tetikleyici özelliği nedeniyle mavi ışık altında saklanan ürünlerde nem kaybı artmaktadır (Li ve diğ., 2010; Lin ve diğ., 2000; Braidot ve diğ., 2014). Bu testte 24 saat mavi LED uygulaması yapılan ürünlerde daha fazla ağırlık kaybı artışı görülmesinin nedeni mavi ışığa daha uzun süre maruz kalmaları ile açıklanabilmektedir.

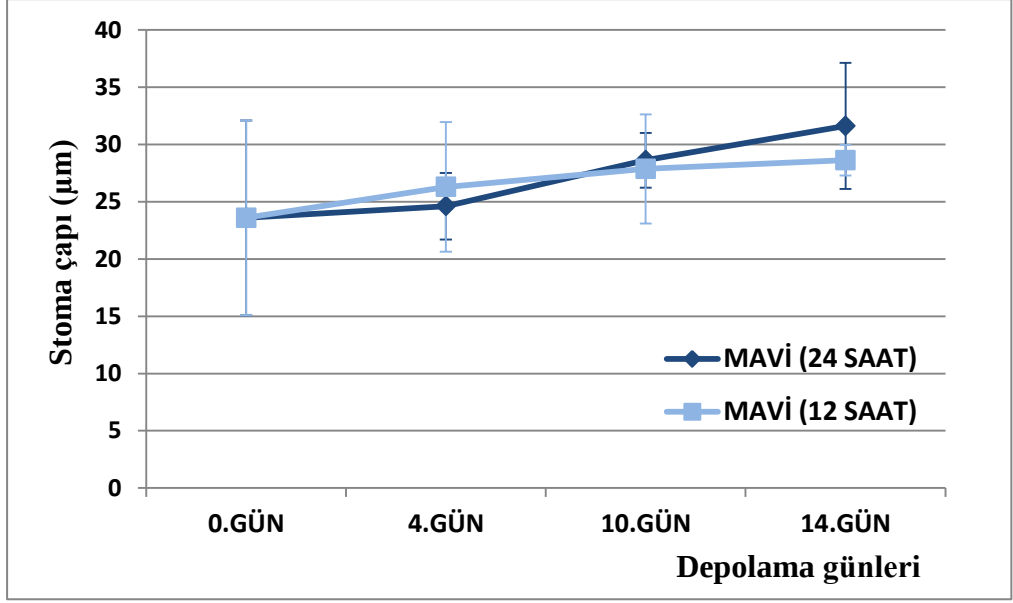
Domatesin su içeriği meyvenin ağırlıkça %90'ı civarındadır (Leibovitz, M., 2003). Bu denemede yüzde ağırlık kayıplarının her üç koşulda da düzenli bir artış gösterdiği görülmektedir. Depolama süresi boyunca, ürünlerin kabul edilebilirlikleri bittiğinde dahi ağırlık kayıpları %3 ve %5 sınırını geçmemiştir. Bu durumda, ürünlerin kabul edilemez bulunmalarının bu test için ağırlık kayıpları ile ilgili olmadığı yorumu yapılmıştır.

4.2.6 Stoma görselleme

14 gün boyunca depolanan domates örneklerinin saklamanın 0., 4., 10. ve 14. günlerinde dış kabuk stoma görüntüleri kaydedilmiş ve stoma çapları ölçülmüştür.

Domates örneklerinin stoma çaplarının günlere göre değişimi Şekil 4.15'te gösterilmiştir.

Başlangıç stoma çapı ortalaması 23,59 μm olan domateslerin saklama süresinin sonu olan 14.günde stoma çapları ortalaması 24 saat mavi LED, 12 saat periyodik mavi LED uygulanan domateslerde sırasıyla 31,62 μm ve 28,63 μm olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.16). Ortalama stoma çaplarının 14 günlük depolama süresi boyunca artış gösterdiği, ancak bu artışın her iki grupta da Tukey testinde istatistiksel olarak önemsiz olduğu görülmüştür ($p>0,05$). Tukey testi sonuçlarına göre; gruplar arası fark istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur ($p>0,05$).



Şekil 4.15: 14 gün boyunca 24 saat mavi ve 12 saat periyodik mavi LED ışık altında saklanan domates örneklerinin stoma çapı ortalamaları değişimi.

Stoma görselleme çalışmaları sonucunda; her ne kadar başlangıç stoma çapları ortalaması ile günlere göre değişimleri istatistiksel olarak benzer bulunmuş olsa da, grafiğe (Şekil 4.12) bakıldığında ortalama stoma çaplarının depolama ile giderek arttığı yorumu yapılmıştır.

Çizelge 4.16: 24 saat mavi ve 12 saat periyodik mavi LED ışık uygulanan domates örneklerine ait dış kabuk stoma çapları ortalamalarının Tukey testi karşılaştırma sonuçları.

Stoma çapı (µm)		
Gün	Mavi LED (24 saat)	Mavi LED (12 saat)
0	23,59±8,52 ^a _a	23,59±8,52 ^a _a
4	24,61±2,90 ^a _a	26,29±5,66 ^a _a
10	28,62±2,39 ^a _a	27,87±4,77 ^a _a
14	31,62±5,51 ^a _a	28,63±1,34 ^a _a

Aynı sütunda ayrı üst harfle işaretlenen ortalamalar arasındaki farklar önemlidir ($p < 0,05$).

Aynı satırda ayrı alt harfle işaretlenen ortalamalar arasındaki farklar önemlidir ($p < 0,05$).

Depolanan domateslerin dış kabuklarının 0.gün stoma görüntüsü Şekil 4.16'da, her iki koşula ait 14.gün görüntüleri ise Şekil 4.17'de paylaşılmıştır.



Şekil 4.16: Depolamanın 0.günü domates dış kabuk stoma görüntüsü.

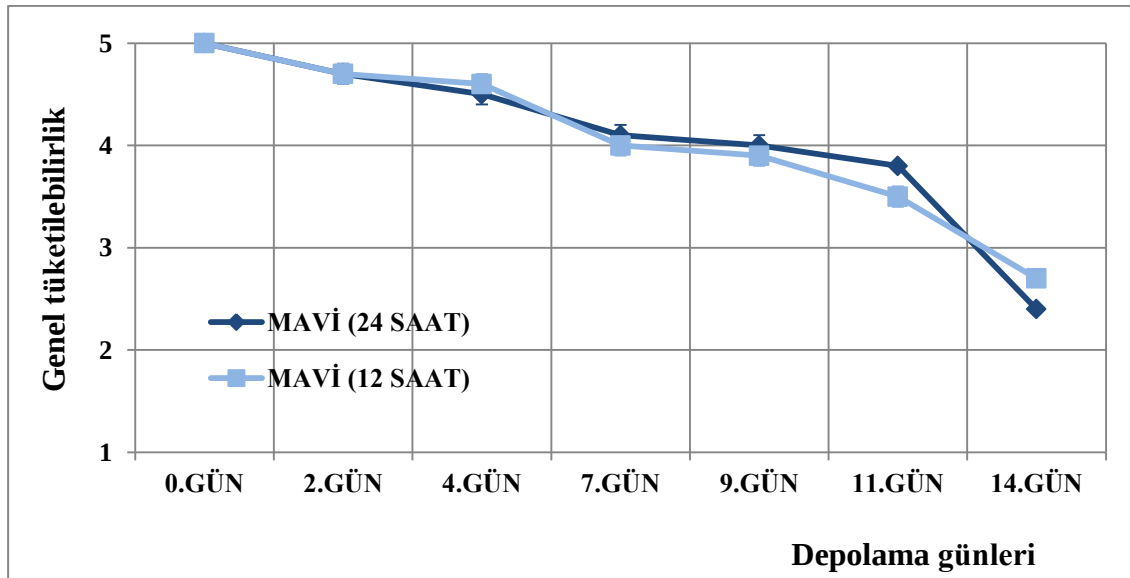


Şekil 4.17: Depolamanın 14.günü (a) 24 saat mavi (b) 12 saat mavi LED altında saklanan domateslerin dış kabuk stoma görüntüsü.

4.2.7 Duyusal analiz

Domateslerin genel tüketilebilirlik değerleri, hasat sonrası saklama süresince ürün yapısında meydana gelen olumsuz değişimlere bağlı olarak zamanla azalmaktadır.

14 gün boyunca 24 saat ve 12 saat mavi LED ışık uygulaması yapılan domateslere ait duysal analizlerde panelistlerin genel beğeni (görsel kalite) puanlarındaki değişim Şekil 4.18’de verilmiştir.



Şekil 4.18: 14 gün boyunca 24 saat ve 12 saat mavi LED ışık uygulanan domates örneklerinde genel tüketilebilirlik değişimi.

Her iki koşula ait görsel kalite değişiminin benzer şekilde azaldığı görülmektedir. Her iki grupta da ürünün görsel kalite değeri 11.günden sonra 3 (sınırlı koşullarda tüketilebilir) değerinin altına düşmektedir (Şekil 4.18).

Çizelge 4.17: 24 saat ve 12 saat mavi LED ışık uygulanan domates örneklerinin görsel kalite ortalamalarının Tukey testi karşılaştırma sonuçları.

Genel tüketilebilirlik		
Gün	Mavi LED (24 saat)	Mavi LED (12 saat)
0	5,0±0,0 ^a	5,0±0,0 ^a
2	4,7±0,1 ^b	4,7±0,1 ^b
4	4,5±0,1 ^c	4,6±0,1 ^b
7	4,1±0,1 ^d	4,0±0,1 ^c
9	4,0±0,1 ^d	3,9±0,1 ^c
11	3,8±0,0 ^e	3,5±0,1 ^d
14	2,4±0,0 ^f	2,7±0,0 ^e

Aynı sütunda ayrı üst harfle işaretlenen ortalamalar arasındaki farklar önemlidir ($p<0,05$).

Aynı satırda ayrı alt harfle işaretlenen ortalamalar arasındaki farklar önemlidir ($p<0,05$).

Tukey testi sonuçlarına göre; Her iki koşula ait görsel kalite değişiminin benzer şekilde azaldığı görülmektedir. Her iki grupta da ürünün görsel kalite değeri 11.günden sonra 3 (sınırlı koşullarda tüketilebilir) değerinin altına düşmektedir. Her iki koşula ait görsel kalite değişiminin benzer şekilde azaldığı görülmektedir. Her iki grupta da ürünün görsel kalite değeri 11.günden sonra 3 (sınırlı koşullarda tüketilebilir) değerinin altına düşmektedir (Şekil 4.18).

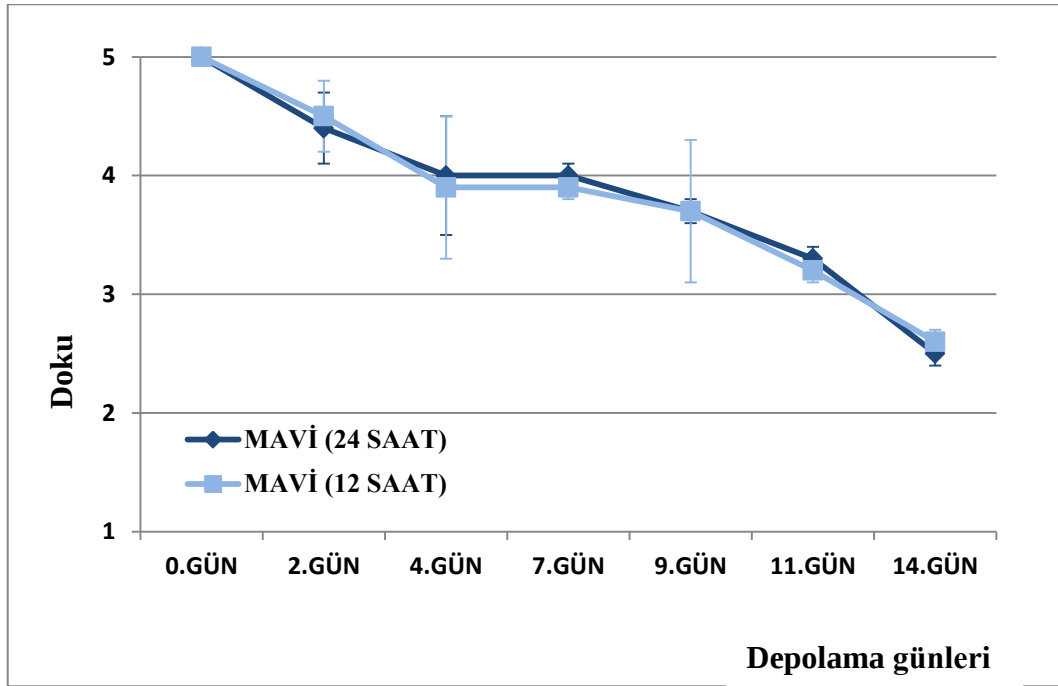
Çizelge 4.17’de de görüleceği gibi saklama süresince genel tüketilebilirlikte oluşan fark istatistiksel olarak anlamlı bulunurken ($p<0,05$), gruplar arasında istatistiksel fark bulunmamıştır ($p>0,05$).

Duyusal analizlerde domates örneklerinin genel tüketilebilirlik değerleri belirlenirken, daha önce de belirtildiği gibi birden fazla kriter göz önüne alınmıştır. Bu deneysel çalışmada, farklı aydınlatma koşulları arasında oluşan raf ömrü (genel tüketilebilirlik) farklılıklarının nedenini tespit etmek adına, panelistlerin yüzeyde çukurlanma ve su batması oluşumu, küf oluşumu, büzüşme ve doku gibi kriterlere verdikleri puanlamalara dikkat çekilmiştir. Bu kriterlerden su batması görünümü ve yüzeyde çukurlanma oluşumu gibi soğuk zararlanması belirtilerinde gruplar arasında

herhangi bir farklılık tespit edilmemiştir. Her grup altında saklanan domates örneklerinde soğuk zararlanması belirtilerinin benzer olduğu görülmüştür. Panelistlerin genel tüketilebilirlik değerlerini belirlemede ve gruplar arasında farkın oluşmasında en büyük etkenin ürünün dokusunda meydana gelen değişim olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Hissetme veya dokunma algıları ile ilgili olan gıdaların kinestetik duyu özellikleri kabul edilebilirliklerinde önemli kalite kriterleridir. Dokunun duyu yönden algılanması tüketicinin gıdayı eline alması ile başlamakta ve tüketip tüketmeme kararı ile sonuçlanmaktadır (Altuğ-Önoğur ve diğ., 2011). Duyusal analizlerde bir kalite kriteri olarak belirlenen sertlik; panelistlerin parmakları ile fiziksel bir sıkıştırma yapmaları ile algılanmaktadır. Doku, en basit ve pratik olarak fiziksel yolla bu şekilde ölçülmüş olur (Altuğ-Önoğur ve diğ., 2011).

14 gün boyunca farklı aydınlatma koşulları altında saklanan domates örneklerinin doku değişimleri Şekil 4.19’da paylaşılmıştır.



Şekil 4.19: 14 gün boyunca 24 saat ve 12 saat mavi LED ışık uygulanan domates örneklerinin duyu analizlerde doku değişimi.

Duyusal analizlerde domates örneklerinin doku özellikleri 5'lik skala üzerinden değerlendirmeye alınmıştır (5: çok sıkı; 4: sıkı, parmak kuvvetine karşı direnç var; 3: hafif oranda yumuşama; 2: yumuşak, parmak kuvvetine çok hafif direnç var; 1: ciddi oranda yumuşak, gevşek, parmak kuvvetine karşı direnç yok).

Tukey testi sonuçlarına göre; her iki grup altında saklanan domates örneklerinin doku değerlerinin günlere göre değişimi istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p<0,05$). Bu değişim; Çizelge 4.18'de de görüleceği üzere, benzer şekilde gerçekleşmiş olup depolama süresi boyunca gruplar arasındaki fark istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur ($p>0,05$).

Çizelge 4.18: 24 saat ve 12 saat mavi LED ışık uygulanan domates örneklerinin duyu analizlerde doku ortalamalarının Tukey testi karşılaştırma sonuçları.

Gün	Doku	
	Mavi LED (24 saat)	Mavi LED (12 saat)
0	5,0±0,0 ^a _a	5,0±0,0 ^a _a
2	4,4±0,3 ^{abc} _a	4,5±0,3 ^{ab} _a
4	4,0±0,5 ^{bcd} _a	3,9±0,6 ^{abc} _a
7	4,0±0,1 ^{bcd} _a	3,9±0,1 ^{abc} _a
9	3,7±0,1 ^{cd} _a	3,7±0,6 ^{bc} _a
11	3,3±0,1 ^d _b	3,2±0,1 ^{cd} _a
14	2,5±0,1 ^e _a	2,6±0,1 ^d _a

Aynı sütunda ayrı üst harfle işaretlenen ortalamalar arasındaki farklar önemlidir ($p<0,05$).

Aynı satırda ayrı alt harfle işaretlenen ortalamalar arasındaki farklar önemlidir ($p<0,05$).

14 günlük doku değişimi sonuçlarının genel tüketilebilirlik sonuçları ile çok benzer olduğu görülmüştür. Doku değerlerinin (genel tüketilebilirlik değerlerinde de olduğu gibi) 11.günden sonra 3: hafif oranda yumuşama değerinin altına düştüğü Şekil 4.19'da görülmektedir. Bu nedenle, duyu analizlerde tüketici tercihini etkileyen en önemli faktörün doku olabileceği yorumu yapılmıştır.

Duyusal analizlerde genel tüketilebilirlik ve doku değerlerine bakıldığında; gruplar arası günlere göre değişimin benzer olması nedeniyle, depolamanın 7.gününden sonra ağırlık kayıplarında görülen farklılığın; tüketici üzerinde herhangi bir farklılık yaratmadığı düşünülmektedir.

Daha önceki çalışmalarda, Liu ve diğ. (2009) 12-14°C’de 21 gün boyunca günışığı, kırmızı ve UV-C ışık altında sakladıkları domates örneklerinin sertlik değerleri ile ışık uygulanmamış örnekler arasında depolamanın ilk 15 günü istatistiksel olarak bir fark bulunmadığını bildirmişlerdir ($p>0,05$). Depolamanın 15.gününden itibaren günışığı ve UV-C ışık uygulanmış domates örneklerinin doku değerlerinin kırmızı ışık uygulanmış ve herhangi bir ışık uygulaması yapılmamış domates örneklerinden istatistiksel olarak düşük olduğu bildirilmiştir ($p<0,05$) (Liu ve diğ., 2009). Ayrıca, sertlik değerlerinin her koşulda da 21 gün depolama süresi boyunca azaldığı bildirilmiştir (Liu ve diğ., 2009).

Dhakal ve Baek (2014) ilk 7 gün kırmızı ve mavi ışık varlığında, sonraki 14 gün karanlıkta 25°C’de sakladıkları domates örneklerinden mavi ışığa maruz kalanların sertlik değerlerinin depolamanın son günü kırmızı ışığa maruz kalan ve herhangi bir ışık uygulaması yapılmayan domates örneklerinden daha yüksek olduğunu bildirmişlerdir.

Meyvelerin hücre duvarındaki enzimatik değişimler nedeniyle dokularında gerçekleşen yumuşamanın nedeni genel olarak; hemiselüloz ve pektik bileşenler gibi polimerik karbonhidratların yıkımından kaynaklanmaktadır (Lee ve diğ., 1997). Lamikanra ve Watson (2003) 4°C ve 15°C’de 24 saat saklanan taze kesilmiş kavunlarda enzimatik aktivitenin sırası ile %40 ve %10 azaldığını bildirmiştir. Her iki sıcaklık koşulunda da pektinmetilesteraz aktivitesi 24 saat depolama sonucunda %25 azalmış, ancak 72 saatin sonunda 15°C’de oldukça yükselmiştir (Lamikanra ve Watson, 2003). Hasat sonrası dönemde olgunlaşmaya devam eden klimakterik meyvelerin tekstüründe poligalakturonaz enzimi faaliyeti nedeniyle de yumuşama gerçekleşmektedir (Eskin ve Goff, 2013).

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Son yıllarda meyve-sebzelerin hasat sonrası saklanması raf ömrünün uzatılmasının yanı sıra ürünün fitobesin içeriği ve doku gibi duyuşal özelliklerinin de mümkün olduğunca korunduğı yaklaşımlar oldukça önem kazanmaktadır

Bu çalışmada, +4°C sıcaklıkta %90 bağıl nem koşullarında saklanan domates örneklerine görünür bölgede farklı dalga boylarında ve bunların birlikte kullanımında LED ışık uygulamasının ürünün fitobesin içeriği ve duyuşal kalitesi üzerine etkisi incelenmiştir.

Hasat sonrası dönemde görünür bölgede ışık uygulamasının ürünün kalitesi üzerine yapılan araştırmalar genel olarak yeşil sebzeler üzerine olup, ışığın etkisi net olarak belirlenememiştir. Ancak, C vitamininde görülen artışın nedeni olarak hasat sonrası depolama koşullarında fotosentez reaksiyonlarının devamlılığının sağlandığı düşünülmüştür (foto-enerjik etki). Bu çalışma; ışığın yeşil yapraklı olmayan meyve-sebze ürünlerine olan etkisinin de belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilmiştir. Saklama testleri için; dünyada en çok tüketilen başlıca meyvelerden olan domates tercih edilmiştir. Ayrıca domates içerdiği diyet lifi, folik asit, potasyum, E ve C vitaminleri, flavonoidler, karotenoidler, fenolik bileşikler ile antioksidan içeriği bakımından da oldukça zengindir (Dolatabadi, ve diğ., 2016; Dhakal ve Baek, 2014; Liu ve diğ., 2009). Domatesin kabul edilebilirliğinde en önemli kalite kriterleri rengi, sertliği ve tadıdır (Dhakal ve Baek, 2014; Liu ve diğ., 2009).

Konuyla ilgili literatür ve patent araştırmalarına bakıldığında; mavi ve kırmızı ışık dalgaboylarının ön plana çıktığı görülmüştür. Bu çalışmalarda mavi dalgaboyunda ışık kullanımı tercih edilmiştir.

Öncelikle sürekli mavi LED uygulamasının domateslerin fitobesin içeriği ve duyuşal kaliteleri üzerine etkisi incelenmiştir. Mavi LED altında saklanan domateslerin 14 günlük saklama süresi boyunca C vitamini ve likopen miktarı, suda çözünür kuru madde içeriği, dış kabuk rengi, ağırlık kaybı ve genel tüketilebilirlik değişimleri

incelenmiştir. Her iki grup için 13,2 mg/100g olan başlangıç C vitamini miktarı depolamanın son günü olan 14.günde karanlıkta saklanan kontrol grubu örneklerinde 9,0 mg/100g, mavi LED uygulaması yapılmış örneklerde ise 11,6 mg/100g ölçülmüştür. Depolama süresi boyunca mavi LED ışık altında saklanan domateslerin C vitamini miktarının kontrol grubu örneklerinden yüksek olduğu tespit edilmiştir. Buna göre, mavi ışık uygulamasının üründe C vitaminini koruyucu etkisi bulunmaktadır, yorumu yapılmıştır. Bu durum, üründe C vitamini miktarının artmasında sadece fotosentez reaksiyonlarının görev almadığını göstermektedir.

Mavi LED uygulamasının domateslerin likopen miktarına etkisi incelendiğinde; likopen içeriğinin 24 saat mavi LED uygulanmış örneklerde daha iyi korunduğu ve depolamanın ilk 2 günü artış göstermesi nedeniyle, daha iyi korunmasının yanısıra likopen birikimini tetikleyici etkisi de olduğu tespit edilmiştir. Benzer şekilde, domateslerin dış kabuklarının da mavi LED ışık uygulanmış örneklerde depolama süresi boyunca kontrol grubu örneklerinden daha kırmızı olduğu tespit edilmiştir. Bilindiği gibi, domates klimakterik bir üründür. Böylece olgunlaşma karanlık ortamda da devam etmektedir. Bu nedenle, depolamanın ilk 2 günü karanlık ortamda saklanan örneklerde de kabuk kırmızılığının arttığı görülmüştür. Ancak bu artış mavi LED ışık uygulanmış ürünlerden daha az gerçekleşmiştir. Ayrıca, dış kabuk kırmızılığındaki artış ile likopen miktarı değişimi arasında herhangi yakın bir ilişki tespit edilememiştir.

Suda çözünür kuru madde miktarlarına bakıldığında; mavi ışık altında saklanan domateslerin Brix° değerlerinin kontrol grubu örneklerinden daha yüksek seyrettiği sonucuna ulaşılmıştır. Bu durumda, ışık uygulanmış domates örneklerinin lezzetinin (tatlılığının) daha uzun süre koruduğu yorumu yapılmıştır (Dhakal ve Baek, 2014). Ayrıca, mavi ışık uygulamasında depolama süresi boyunca üründe gerçekleşen ağırlık kaybının arttığı gözlenmiştir. Işık uygulanmış ve uygulanmamış kontrol grubu örneklerinde 14.gün ağırlık kaybı değerleri sırasıyla %1,40 ve %1,08 olarak belirlenmiştir. Ağırlık kayıplarında görülen bu farklılığın nedeni, mavi ışık uygulaması nedeniyle ürünün stomalarının açılmasına neden olabileceği yorumu yapılmıştır. Bu nedenle, ışık mikroskobu altında stoma görselleme çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalarda, her ne kadar stoma çapı uzunluklarının günlere göre değişimi gruplar arasında istatistiksel bir farklılık oluşturmamış olsa da, stoma

aplarının ortalama uzunluklarının depolama süresince arttığı görülmüştür. Genel tktilebilirlik değerlerinin her iki grupta benzer seyretmesi nedeniyle; aradaki % ağırlık farkının duysal analiz numunelerinde gözle görülür bir farklılık yaratmadığı sonucuna ulaşılmıştır.

Üründe ışık hasarının önlenmesi amacıyla yapılan ışık uygulamasının dozu ve şiddeti önem taşımaktadır (Ilieva ve diğ., 2010). Bu nedenle çalışmanın ikinci kısmında; gün-nötr ile kısa ve uzun gün bitkileri için ortak olan 12 saatlik fotoperiyot süresi seçilmiş, 24 saatlik (sürekli) mavi ışık uygulaması ile karşılaştırılmıştır. Bu sayede, 24 saat yerine 12 saat LED aydınlatması ile enerji tasarrufu yapılması da hedeflenmiştir.

Mavi ışığın 12 saat ve 24 saat çalıştığı durumlar arasında C vitamini, suda çözünür kuru madde miktarı, dış kabuk renk değişimi ve duysal analiz sonuçları arasında istatistiksel olarak fark bulunmamıştır. Depolamanın ilk 7gn likopen içerikleri arasında da fark görülmezken, 14.gün sonunda 12 saatlik periyodik LED uygulamasında likopen miktarının istatistiksel olarak daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. 24 saat ve 12 saat mavi LED uygulaması yapılan domateslerin başlangıç likopen miktarı 35,4 mg/100 g iken, 14.günün sonunda sırasıyla 18,6 mg/100 g ve 19,6 mg/100 g olarak llmştır. Ağırlık kaybının 24 saat mavi LED uygulaması yapılan domates ürünlerinde istatistiksel olarak daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Gruplar arası ağırlık kaybı farklılığının nedeni; ışığa maruz kalma srelerindeki farklılıktan dolayı mavi ışıkta stomaların uyarılması sonucu nem kaybı olabileceği dşnlmştır. ışık mikroskobu altında stoma görselleme çalışmalarında, 24 saat mavi LED ışık altında saklanan domates ürünlerinin stoma çapları ortalamalarının depolama süresince 12 saat mavi LED altında saklananlardan daha yüksek olduğu görülmüşse de, bu durum Tukey testinde istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık oluşturmamıştır. 24 saat ve 12 saat mavi LED uygulaması yapılan domateslerin 14.günün sonunda ağırlık kayıpları sırasıyla % 1,69 ve % 1,30 olarak llmştır. Ağırlık kaybında görülen bu farklılık duysal panellerde yine gözle görülür bir ayırım oluşturmamış, domateslerin genel tktilebilirliklerinin benzer şekilde azaldığı gözlenmiştir. Bu noktada, duysal analizlerde panelistlerin genel tktilebilirlik değerini belirlemede, hangi duysal kalite kriterlerinin daha ayırıcı olduğu incelenmiştir. Sonuçta; yüzeyde kurlanma, su batması gibi soğuk

zararlanmalarının benzer puanlandığı, renk dağılımının ve ağırlık kayıplarındaki farklılığa rağmen büzüşme değerlerinin gözle görülür bir farklılık oluşmadığı görülmüştür. Ancak, kinestetik bir kalite kriteri olan doku değerlerinin günlere göre değişiminin genel tüketilebilirlik değerleri ile benzer kırımın yarattığı sonucuna ulaşılmış, "3: hafif oranda yumuşama" değerinin altına düşen domates örneklerinin duyuşal analizlerde benzer şekilde "3: genel tüketilebilirlik orta" sınır değerinin altında puanlandığı görülmüştür.

Sonuç olarak, bu çalışma kapsamında ışık uygulamasının; 4°C %90 bağıl nem koşulunda depolanan domateslerin fitobesin içeriğinde (özellikle C vitamini ve likopen miktarı açısından) iyileştirmeler sağladığı görülmüştür. Duyusal kalite ve raf ömrü açısından mavi LED uygulamasının herhangi bir etkisinin olduğu görülmemiştir. Sürekli mavi LED ışık uygulamasında C vitamininin arttığı ve daha iyi korunduğı ve mavi ışığın periyodik (12 saat) ya da sürekli (24 saat) çalışması durumunda C vitamini içeriğinde farklılık görölmediğı belirlenmiştir. Likopen içeriğinin 12 saatlik fotoperiyot süresinde en iyi korunduğı görülmüştür. Bu nedenle, mavi LED ışığın 12 saat periyotlu çalışmasına karar verilmiştir. Bu sayede, domates ürününün fitobesin kalitesinde iyileştirmeler sağlanırken, aynı zamanda enerji tasarrufu da sağlanmış olur.

Gelecek çalışmalarda, bu konu diğerk meyve-sebze ürünlerinde, farklı dalgaboylarında ışık uygulamaları ile ve farklı sıcaklık koşullarında tekrarlanabilir. Ayrıca, farklı fotoperiyot sürelerinin (örneğin 8 saat vb) de ürün üzerine etkilerinin çalışılabileceğı gibi, bu sürelerin belli periyotlarda (0,5 saat ya da 1 saat gibi) açılıp kapanması durumunun başka bir çalışma ile incelenmesinin yararlı olacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- Acar, J. ve Gökmen, V.**, 2005. Fenolik Bileşikler ve Doğal Renk Maddeleri, Saldamlı, İ., *Gıda Kimyası*, Bölüm 8, 463-496, *Hacettepe Üniversitesi Yayınları*, Ankara.
- 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.
- An, J., Zhang, M., Lu, Q. ve Zhang, Z.**, 2005. Effect of a prestorage treatment with 6-benzylaminopurine and modified atmosphere packaging storage on the respiration and quality of green asparagus spears. *Journal of Food Engineering*, **77**, 951-957.
- Arsan, B.**, 2012. Gıda Teknolojisi. *Sidas Medya*, İzmir
- Avercheva, O., Berkovich, Y.A., Smolyanina, S., Bassarskaya, E., Pogosyan, S., Ptushenko, V., Erokhin, A. ve 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**, 1574-1581.
- Ayala, F., Echavarri, J.F., Sanz, S. ve Olarte, C.**, 2009. Quality characteristics of minimally processed leek packaged using different films and stored in lighting conditions. *Int. J. Food Sci. Technol.* **44**, 1333-1343.
- Bartley, G. ve Scolnik, P.**, 1995. Plant carotenoids: Pigments for photoprotection, visual attraction, and human health. *The Plant Cell*, **7**, 1027-1038.
- Beltrán, D., Selma, M.V., Marín, A., Gil, M.I.**, 2005. Ozonated water extends the shelf life of fresh-cut lettuce. *J. Agric. Food Chem.* **53**, 5654-5663.
- Bourget, C. M.**, 2008. An introduction to light-emitting diodes. *Hort Science*, **43**, 1944-1946.
- Braidot, E., Pettrussa, E., Peresson, C., Patui, S., Bertolini, A., Tubaro, F., Wählby, U., Coan, M., Vianello, A. ve Zancani, M.**, 2014. Low-intensity light cycles improve the quality of lamb's lettuce (*Valerianella olitoria* [L.] Pollich) during storage at low temperature. *Postharvest Biology and Technology*. **90**, 15-23.
- Büchert, A.M., Gómez Lobato, M.E., Villarreal, N.M., Civello, P.M. ve Martıneza, 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**, 355-361.

- Bünning, E.**, 1967. The Physiological Clock. *Springer*, Newyork.
- Cantwell, M.I., ve Kasmire, R.F.**, 2002. Postharvest handling systems: flower, leafy and stem vegetables. Kader, A.A., Postharvest Technology of Horticultural Crops, 3rd ed., *University of California Agriculture and Natural Resources*, publication **3311**, 423-433.
- Castagna, A., Chiavaro, E., Dall’asta, C., Rinaldi, M. ve Galaverna, G.**, 2013. Effect of postharvest UV-B irradiation on nutraceutical quality and physical properties of tomato fruits. *Food Chemistry*, **137**, 151-158.
- Cazzonelli, C.I.**, 2011. Charotenoids in nature: insights from plants and beyond. *Functional Plant Biology*, **38**, 833-847.
- Cemeroğlu, B.**, 2004. Meyve ve Sebze İşleme Teknolojisi. Ankara Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümü, İkinci Baskı, *Bizim Büro Basımevi*, Ankara
- Cemeroğlu, B.**, 2010. Gıda Analizleri. *Gıda Teknolojisi Derneği Yayınları*, Ankara
- Cervera, S.S., Olarte, C., Echavarri, J.F. ve Ayala, F.**, 2007. Influence of Exposure to Light on the Sensorial Quality of Minimally Processed Cauliflower. *Journal of Food Science*, **72**, 12-18.
- Costa, M. L., Vicente, A. R., Civello, P. M., Chaves, A. R. ve Martínez, G. A.**, 2006. UV-C treatment delays postharvest senescence in broccoli florets, *Postharvest Biol Technol*, **39**, 204-210.
- Costa, L., Montano, Y.M., Carrion, C. ve Rolny, N.**, 2013. Application of low intensity light pulses to delay postharvest senescence of *Ocimum basilicum* leaves. *Postharvest Biology and Technology*, **86**, 181-191.
- Cuttriss, A.J., Cazzonelli, C.I., Wurtzel, E.T. ve Pagson, B.J.**, 2011. Charotenoids. *Advances in Botanical Research*, **58**.
- Davidek, J., Velisek, J. ve Pokorny, J.**, 1990. Chemical Changes During Food Processing. *Elsevier Science Publishers*
- Delian, E., Chira, A., Badulescui L. ve Chira, L.**, 2013. A brief overview of ethylene management to extend the shelf life of tomatoes. *Horticultur*, **LVII**.
- Demirsoy, L., Öztürk, A. ve Serçe, S.**, 2012. Çileklerde (*Fragaria*) Çiçeklenme İle Fotoperiyot Arasındaki İlişkiler. *Anadolu Tarım Bilim. Derg.*, **27(2)**, 110-119.
- Dhakal, R. ve Baek, K-H.**, 2014. Short Period Irradiation of Single Blue Wavelength Light Extends the Storage Period of Mature Green Tomatoes. *Postharvest Biology and Technology*, **90**, 73-77.
- Dhindsa, R. S., Plumb-Dhindsa, P. ve Thorpe, T. A.**, 1981. Leaf senescence: Correlated with increased levels of membrane permeability and lipid peroxidation, and decreased levels of superoxide dismutase and catalase. *Journal of Experimental Botany*, **32**, 93-101.
- Dhindsa, R. S., Plumb-Dhindsa, P.L. ve Reid, D.M.**, 1982. Leaf senescence and lipid peroxidation: Effects of some phytohormones, and scavengers of free radicals and singlet oxygen. *Phsiologica Plantarum*, **56**, 453-457.

- Dolatabadi, Z., Rad, A.H.E., Farzaneh, V., Feizabad, S.H.A., Estri, S.H. ve Bakhshabadi, H.,** 2016. Modeling of the lycopene extraction from tomato pulps. *Food Chemistry*, **190**, 968-973.
- Ella, L., Zion, A., Nehemia, A. ve Ammon, L.,** 2003. Effect of the ethylene action inhibitor 1-methylcyclopropene on parsley leaf senescence and ethylene biosynthesis. *Postharvest Biol. Technol.* **30**, 67–74.
- Eskin, N.A.M. ve Goff, H.D.,** 2013. Fruits and Vegetables. In: Ed. Eskin, M. ve Shahidi, F. Biochemistry of Foods. Chapter 2, *Elsevier*, 4th ed. 49-126.
- Farneti, B., Schouten, R.E. ve Woltering, E.J.,** 2012. Low temperature-induced lycopene degradation in red ripe tomato evaluated by remittance spectroscopy. *Postharvest Biology and Technology*, **73**, 22-27.
- Food And Agriculture Organization Of The United Nations,** 1989. Prevention of post-harvest food losses fruits. *Vegetables and root crops a training manual, Rome, Italy*, <<http://www.fao.org/docrep/t0073e/T0073E05.htm#11>>, alındığı tarih: 28.05.2015.
- Fennema, O.R.,** 1996. Food chemistry. Marcel Dekker, New York.
- Gahler, S., Otto, K. ve Böhm, V.,** 2003. Alterations of vitamin C, total phenolics, and antioxidant capacity as affected by processing tomatoes to different products. *Journal Agriculture and Food Chemistry*, **51**, 7962-7968.
- Gil, M.I., Castaner, M., Ferreres, F., Artés, F. ve Tomás-Barberán, F.A.,** 1998. Modified atmosphere packaging of minimally processed “Lollo Rosso” (*Lactuca sativa*) phenolic metabolites and quality changes. *Z. Lebensm.-Unters. Forsch.*, **206**, 350–354.
- Ha, T.V.A., Kim, S., Choi, Y., Kwak, H-S., Lee, S.J., Wen, J., Oey, I. ve Ko, S.,** 2015. Antioxidant activity and bioaccessibility of size-different nanoemulsions for lycopene-enriched tomato extract. *Food Chemistry*, **178**, 115-121.
- Halloran, N., Çağiran, R. ve Kasım, M.U.,** 1996. Sebzelerde Hasat Sonrası Üşüme Zararı. *Gıda*, 21(5), 359-366.
- Held, G.,** 2009. Introduction to Light Emitting Diode. *Taylor & Francis Group, LLC*
- Hışıl, Y.,** 1993. Enstrümental Gıda Analizleri Laboratuar Kılavuzu. *Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çoğaltma Yayınları*. No:55, İzmir, (45)s.
- Hutchings, J.B.,** 1999. Food Colour And Appearance. *Gaithersburg, MD, USA: Aspen Publishers Inc*, 610.
- Ilieva, I., Ivanova, T., Naydenov, Y., Dandolov, I. ve Stefanov, D.,** 2010. Plant experiments with light-emitting diode module in Svet space greenhouse. *Adv. Space Res.* **46**, 840–845.
- IOM,** 2000. Dietary Reference Intakes: Applications in Dietary Assessment. *Washington, DC: National Academy Press*.

- Jacxsens, L., Devlieghere, F. ve Debevere, J.,** 2002. Temperature dependence of shelf-life as affected by microbial proliferation and sensory quality of equilibrium modified atmosphere packaged fresh produce. *Postharvest Biology and Technology*, **26**, 59–73.
- Jen, J.J.,** 1974a. Influence of spectral quality of light on pigment systems of ripening tomatoes. *J. Food Sci.* **39**: 907–910.
- Jen, J.J.,** 1974b. Spectral quality of light and the ripening characteristics of tomato fruit. *HortSci.* **9**: 548–549.
- Jin, P., Yao, D., Xu, F., Wang, H. ve Zheng, Y.,** 2015. Effect of light on quality and bioactive compounds in postharvest broccoli florets. *Food Chemistry*, **172**, 705–709.
- Kader, A.A. ve Morris, L.L.,** 1978. Prompt handling reduces processing-tomato losses. *Calif. Agric.* **32** (5), 21–22.
- Kamuro, Y., Tohyama, T. ve Okabe, K.,** 2003. New functional photo-selective sheets. *Regul Plant Growth Dev.*, **38**, 132–138.
- Kartal, S., Aday, M.S. ve Caner, C.** 2010. Meyve ve Sebzelerde Denge Modifiye Atmosfer Ambalajlamaya Etki Eden Faktörler. *Akademik Gıda* **8(6)**, 29–34.
- Khudairi, A.K. ve Arboleda, O.P.,** 1971. Phytochrome-mediated carotenoid biosynthesis and its influence by plant hormones. *Physiol. Plant.* **24**: 18–22.
- Kim, S.-J., Hahn, E.-J., Heo, J.-W. ve Paek, K.-Y.,** 2004. Effects of LEDs on Photosynthetic rate, growth and leaf stomata of chrysanthemum plantlets in vitro. *Scientia Horticulturae*, **101**, 143–151.
- Kondoa, S., Tomiyama, H., Rodyounga, A. ve Okawaa, K.,** 2014. Absciscic acid metabolism and anthocyanin synthesis in grape skin are affected by light emitting diode (LED) irradiation at night. *Journal of Plant Physiology*, **171**, 823–829.
- Koning, R. E.,** 1994. Light. *Plant Physiology Information Website*. <http://plantphys.info/plant_physiology/light.shtml>, alındığı tarih: 20.05.2015.
- Kozuki, A., Ishida, Y., Kakibuchi, K., Mishima, T., Sakurai, N., Murata, Y., Nakano, R., Ushijima, K. ve Kubo, Y.,** 2015. Effect of postharvest short-term radiation of near infrared light on transpiration of lettuce leaf. *Postharvest Biology and Technology*, **108**, 78–85.
- Küşümler, A.S.,** 2011. Ultraviyole (UV-C) Işını Uygulamasının Patlıcan ve Salatalıklarda Soğuk Zararlanması Üzerine Etkisi. *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Doktora Tezi.
- Lamikanra, O. ve Watson, M.A.,** 2003. Temperature and storage duration effects on esterase activity in fresh-cut cantaloupe melon. *Journal of Food Science*, **68(3)**, 703–790.

- Larcher, W.**, 2003. Physiological Plant Ecology. Ecophysiology and Stress Physiology of Functional Groups. *J. Pospíšilová in Biologia Plantarum*. Fourth Edition.
- Lee, G.-H., Bunn, J. M., Han, Y. J. ve Christenbury, G. D.**, 1997. Ripening characteristics of light irradiation tomatoes. *Journal of Food Science*, **62**, 138–140.
- Lee, S.K. ve Kader, A.A.**, 2000. Preharvest and postharvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops, *Postharvest Biol.Technol.*, **20**, 207-220.
- Leibovitz, M.**, 2003. Sensory and quality aspects of fresh-cut tomatoes as affected by stage of ripeness and postharvest treatment with 1-methylcyclopropene (1-MCP). *University of Florida, Master Thesis*.
- Lester, G.E.**, 2006. Environmental regulation of human health nutrients (ascorbic acid, β -carotene, and folic acid) in fruits and vegetables. *HortScience* **41(1)**, 59-64.
- Lester, G.E., Makus, D.J. ve Hodges, D.M.**, 2010. Relationship between fresh-packaged spinach leaves exposed to continuous light or dark and bioactive contents: effects of cultivar, leaf size, and storage duration. *J. Agric. Food Chem.* **58**, 2980–2987.
- Li, H., Xu, Z. ve Tang, C.**, 2010. Effect of light-emitting diodes on growth and morphogenesis of upland cotton (*Gossypium hirsutum* L.) plantlets in vitro. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, **103**, 155–163.
- Licor®**. Comparison of Quantum Sensors with Different Spectral Sensitivities. Technical Note #126.
- Lichtenthaler, H.K.**, 1987. Chlorophylls and Carotenoids: Pigments of Photosynthetic Biomembranes, in *Methods in Enzymology*, **148**, 350-382.
- Lin, C.**, 2000. Plant blue-light receptors. *Trend Plant Sci.*, **5**, 337-342.
- Liu, L.H., Zabaras, D., Bennett, L.E., Aguas, P. ve Woonton, B.W.**, 2009. Effects of UV-C, Red Light on the Carotenoid Content and Physical Qualities of Tomatoes During Post-Harvest Storage. *Food Chemistry*, **115**, 495-500.
- Lokke, M. M.**, 2012. Postharvest quality changes of leafy green vegetables. PhD thesis, Aarhus University Department of Food Science.
- Luthria, D.L., Mukhopadhyay, S. ve Krizek, D.T.**, 2006. Content of total phenolic acids in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) fruits as influenced by cultivar and solar UV radiation. *Journal of Food Composition and Analysis*, **19**, 771-777.
- Ma, G., Zhang, L.C., Kato, M., Yamawaki, K., Kiriiwa, Y., Yahata, M., Ikoma, Y. ve Matsumoto, H.**, 2012b. Effect of blue and red LED light irradiation on β -cryptoxanthin accumulation in the flavedo of citrus fruits. *J. Agric. Food Chem.*, **60**, 197-201.

- Ma, G., Zhang, L., Kato, M., Setiawan, C.K., Yamawaki, K., Asai, T., Nishikawa, F., Maezawa, S., Sato, H., Kanemitsu N. ve Kato, M.,** 2014. Effect of red and blue LED light irradiation on ascorbate content and expression of genes related to ascorbate metabolism in postharvest broccoli. *Postharvest Biology and Technology*, **94**, 97–103.
- Martinez-Sanchez, A., Tudela, J. A., Luna, C., Allende, A. ve Gil, M. I.,** 2011, Low oxygen levels and light exposure affect quality of fresh-cut Romaine lettuce. *Postharvest Biology and Technology*, **59**(1), 34–42.
- Massa, G. D., Kim, H. H., Wheeler, R. M. ve Mitchell, C. A.** 2008. Plant productivity in response to LED lighting. *Hort Science*, **43**, 1951–1956.
- Matsumoto, H.,** 2015. Effect of combination of ethylene and red LED light irradiation on carotenoid accumulation and catotenogenic gene expression in the flavedo of citrus fruit. *Postharvest Biology and Technology*, **99**, 99–104.
- Moalemiyan, M. ve Ramaswamy, H.S.,** 2012. Quality Retention and Shelf-Life Extension in Mediterranean Cucumbers Coated with a Pectin-Based Film. *Journal of Food Research*, **1**.
- Moigradean, D., Poiana, M.-A., Gogoasa, I., Harmanescu, M., Gergen, I. ve Lazurenanu, A.,** 2007. The corelations between total antioxidant capacity and total polyphenols content established for tomatoes. *Lucrari Stiintifice Medicina Veterinara*, **XL**, Timișoara.
- Nicola, S., Tibaldi, G. ve Fontana, E.,** 2009. Fresh-cut produce quality: implications for a systems approach. **Florkowski, W., Shewfelt, R., Brueckner, B. ve Prussia, S.,** Postharvest Handling: A Systems Approach. *Elsevier B.V., San Diego, USA*, 247–282.
- Nilsson, T.,** 2000. Postharvest handling and storage of vegetables. **Shewfelt, R.L. ve Brückner, B.,** Fruit and Vegetable Quality. An Integrated View. *Lancaster, PA, USA: Technomic Publishing Company.*, 96–121.
- Noichinda, S., Bodhipadma, K., Mahamontri, C., Narongruk, T. ve 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 Biol.Technol.* **44**, 312–315.
- Niyogi, K. K.,** 1999. Photoprotection revisited: Genetic and molecular approaches. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*. **50**, 333–359.
- Olarte, C., Sanz, S., Echávarri, J.F. ve Ayala, F.,** 2009. Effect of plastic permeability and exposure to light during storage on the quality of minimally processed broccoli and cauliflower. *LWT: Food Sci. Technol.* **42**, 402–411.
- Ötleş, S., Özdestan, Ö., Nakilcioğlu, E. ve Kartal, C.,** 2014. Gıda Kimyası Laboratuvar Deneyleri. *Ege Üniversitesi Yayınları Mühendislik Fakültesi* Yayın No: **61**.

- Perez, A.G., Sanz, C., Ros, J.J., Olas, R ve Olas, J.M.,** 1999. Effects of Ozone Treatment on Postharvest Strawberry Quality. *J. Agric. Food Chem.*, **47(4)**, 1652-1656.
- Perrin, P.W.,** 1982. Poststorage effect of light, temperature and nutrient spray treatments on chlorophyll development in cabbage. *Can. J. Plant Sci.* **62**, 1023–1026.
- Ramos dos Reis, L.C., Ruffo de Oliveira, V., Hagen, M.E.K., Jablonski, A., Flores, S.H. ve Rios, A.O.,** 2015. Carotenoids, flavonoids, chlorophylls, phenolic compounds and antioxidant activity in fresh and cooked broccoli (*Brassica oleracea* var. Avenger) and cauliflower (*Brassica oleracea* var. Alphina F1). *Food Science and Technology*, **63**, 177-183.
- Roberto, K.,** 2003. How-To Hydroponics. *The Future Garden Press*, 4th edition.
- Rodov, V., Vinokur, Y. ve Horev, B.,** 2012. Brief postharvest exposure to pulsed light stimulates coloration and anthocyanin accumulation in fig fruit (*Ficus carica* L.) *Postharvest Biol.Technol.* **68**, 43–46.
- Saebo, A., Krekling, T. ve Appelgren, M.,** 1995. Light quality affects photosynthesis and leaf anatomy of birch plantlets in vitro. *Plant Cell Tissue Organ Cult.*, **41**, 177-185.
- Saeed, N., Khan, M.R. ve Shabbir, M.,** 2012. Antioxidant activity, total phenolic and total flavonoid contents of whole plant extracts *Torilis leptophylla* L. *BMC Complementary and Alternative Medicine*, 12-221.
- Sakaldaş, M., Aslım, A.Ş., Kuzucu, C.Ö. ve Kaynaş, K.** 2010. The effects of modified atmosphere packaging and storage temperature on quality and biochemical properties of dill (*Anethum graveolens*) leaves, *Journal of Food, Agriculture & Environment*, **8**, 21-25.
- Saldamlı, İ. ve Sağlam, F.,** 2005. Vitaminler ve Mineraller. **Saldamlı, İ.,** Gıda Kimyası, Bölüm 6, 365-425, *Hacettepe Üniversitesi Yayınları*, Ankara.
- Salin, M. L.,** 1987, Toxic oxygen species and protective systems of the chloroplast. *Physiol. Plant.* **72**, 681-689.
- Scalzo, J., Politi, A., Pellegrini, N., Mezzetti, B. ve Battino, M.,** 2005. Plant genotype affects total antioksidant capacity and phenolic contents in fruit. *Nutrition*, **21**, 207-213.
- Schelbert, S., Aubry, S., Burla, B., Agne, B., Kessler, F., Krupinska, K., ve Hortensteiner, S.,** 2009. Pheophytin pheophorbide hydrolase (pheophytinase) is involved in chlorophyll breakdown during leaf senescence in *Arabidopsis*. *Plant Cell*, **21**, 767-785.
- Schwartz, S.J. ve Lorenzo, T.V.,** 1990. Chlorophylls in Foods. *Food Science and Nutrition*, **29**, 1-18.
- Sommer, A. ve Davidson, F. R.,** 2002. Assessment and control of vitamin A deficiency: The annecy accords. *The Journal of Nutrition* **132**, S2845.

- Sinha, N. K.**, 2011. Handbook of Vegetables and Vegetable Processing. Wiley-Blackwell, Iowa, USA.
- Thomas, R.L. ve Jen, J.J.**, 1975. Phytochrome-mediated carotenoids biosynthesis in ripening tomatoes. *Plant Physiology*, **56**, 452–453.
- Toivonen, P.M.A. ve Sweeney, M.**, 1998. Differences in Chlorophyll Loss at 13 °C for Two Broccoli (*Brassica oleracea* L.) Cultivars Associated with Antioxidant Enzyme Activities. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, **46**, 20-24.
- Url-1 Elektrik Mühendisleri Odası**, <http://www.emo.org.tr/ekler/956c5080dc82dda_ek.pdf?tipi=2&turu=X&sube>, LED Işık Kaynakları, erişim tarihi: 20.05.15.
- Url-2** <http://en.wikipedia.org/wiki/Vitamin_C>, Vitamin C, erişim tarihi: 20.05.2015.
- Url-3 Larsen, H.R.** <http://www.yourhealthbase.com/vitamin_C.htm> Vitamin C: Your Ultimate Health Insurance, erişim tarihi: 29.07.2015.
- Url-4** <http://cost-fp0903.ipp.cnr.it/Downloads/Rome_Conference/Marek.pdf>, erişim tarihi: 05.11.2015.
- Url-5** <<https://tr.wikipedia.org/wiki/I%C5%9F%C4%B1k>> Işık, erişim tarihi: 25.08.2015.
- Url-6** National Aeronautics and Space Administration. <http://www.nasa.gov/pdf/474243main_RW8-LightPlantsNeed_508.pdf> NASA's Real World, The Light Plants Need, erişim tarihi: 09.09.2015.
- Url-7** <http://cfb.unh.edu/phycokey/Choices/Chlorophyceae/Chloro_key.html> Greens, erişim tarihi: 24.08.2015.
- Url-8 Marek, M.V., Urban, O. ve Janaus, D.** < <https://assets.sylvania.com/assets/documents/FAQ0017-0605.ed512ef3-36b1-47cb-b052-0f9ca74348ca.pdf>> Environmental limits of the biological carbon pumping in the forests. Effect of the solar radiation type – diming effect. *Centre for Globe*, erişim tarihi: 09.09.2015.
- Url-9** <<https://btl.co.za/lighting-for-indoor-cannabis-growing/>> , Lighting for indoor cannabis growing, erişim tarihi: 05.11.2015.
- Url-10 Avrupa Patent Ofisi**, <http://worldwide.espacenet.com/advancedSearch?DB=EPODOC&submitted=false&locale=en_EP&AB=&ST=advanced&compact=false>, erişim tarihi: 29.10.15.
- Url-11 Sargent, S.A. ve Moretti, C.L.**, Tomato. <<http://www.ba.ars.usda.gov/hb66/tomato.pdf>>, erişim tarihi: 19.11.15.
- Url-12 Mccurdy, S., Peutz, J., ve Wittman, G.**, Storing food for safety and quality. <http://extension.oregonstate.edu/fch/sites/default/files/documents/pnw_612_storingfoodforsafetyquality.pdf>, erişim tarihi: 19.11.15.

- Uzun, B. ve Demir, V.,** 2012. Fotosentetik Aktif Radyasyon (FAR) Ölçümlerinde LED ve Fotodiyotların Kullanımı, *Tarım Bilimleri Dergisi*, **18**, 214-225.
- Watzl, B. ve Bub, A.,** 2001. Carotinoide, Ernährungs-Umschau **48/2**, 71-74.
- Wills, R.B.H., Wimalasiri, P. ve Greenfield, H.,** 1984. Dehydroascorbic acid levels in fresh fruit and vegetables in relation to total vitamin C activity. *J. Agric. Food Chem.* **32**, 836-838.
- Wu, M.C., Hou, C.Y., Jiang, C.M., Wang, Y.T., Wang, C.Y., Chen, H.H. ve Chang, H.M.,** 2007. A novel approach of LED light radiation improves the antioksidant activity of pea seedlings. *Food Chem.*, **101**, 1753-1758.
- Xiao, Z., Lester, G. E., Luo, Y., Xie, Z., Yu, L., ve Wang, Q.,** 2014. Effect of light exposure on sensorial quality, concentrations of bioactive compounds and antioxidant capacity of radish microgreens during low temperature storage. *Food Chemistry*, **151**, 472–479.
- Xu, F., Yang, Z., Chen, X., Jin, P., Wang, X., ve Zheng, Y.,** 2012. 6-Benzylaminopurine delays senescence and enhances health-promoting compounds of harvested broccoli. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **60**, 234–240.
- Yuan, G., Sun, B., Yuan, J. ve Wang, Q.,** 2010. Effect of 1-methylcyclopropene on shelf life, visual quality, antioxidant enzymes and health-promoting compounds in broccoli florets. *Food Chemistry*, **118**, 774-781.
- Zavaleta-Mancera, H.A., Franklin, K.A., Ougham, H.J., Thomas, H. ve Scott, I.M.,** 1999. Regreening of senescent Nicotiana leaves: II. Redifferentiation of plastids. *J. Exp.Bot.* **50**, 1677–1682.
- Zhan, L.J., Hu, J.Q., Li, Y. ve Pang, L.,** 2012a. Combination of light exposure and low temperature in preserving quality and extending shelf-life of fresh-cut broccoli (*Brassica oleracea* L.). *Postharvest Biol. Technol.*, **72**, 76-81.
- Zhan, L., Hu, J.Q., Li, Y., Pang, L. ve Fan, H.,** 2012b. Browning inhibition and quality preservation of fresh-cut romaine lettuce exposed to high intensity light. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, **14**, 70-76.
- Zhuang, H. ve Hildebrand, D. F.** 1995. Barth, M. M. Senescence of broccoli buds is related to changes in lipid peroxidation. *J. Agric. Food Chem.*, **43**, 2585-2591.
- Znidarcici, D. ve Pozrl, T.,** 2006. Comparative study of quality changes in tomato cv. 'Malike' (*Lycopersicon esculentum* Mill.) whilst stored at different temperatures. *Acta agriculturae Slovenica*, **87**, 235-243.

EKLER

EK A: Domates Duyusal Analiz Formu

EK A

Domates Duyusal Analiz Formu

Renk Dağılımı



(a)

(b)

Şekil A.1: (a) Homojen renk dağılımlı, kırmızı domates ve (b) Renk dağılımı homojenitesi azalmış, çillenme oluşmuş domates görünümü.

5	Renk dağılımı oldukça homojen
4	Domates yüzey alanının %10'undan daha az bölgesinde homojen olmayan renk dağılımı
3	Domates yüzey alanının %10-25'lik bölgesinde homojen olmayan renk dağılımı
2	Domates yüzey alanının %26-40'lık bölgesinde homojen olmayan renk dağılımı
1	Domates yüzey alanının %41'inden daha fazla bölgesinde homojen olmayan renk dağılımı

Su Batması



Şekil A.2: Domateste su batması görünümü.

5	Su batması görünümü yok.
4	Domates yüzey alanının %10'undan daha az bölgesinde su batması görünümü mevcut.
3	Domates yüzey alanının %10-25'lik bölgesinde su batması görünümü mevcut.
2	Domates yüzey alanının %26-40'lık bölgesinde su batması görünümü mevcut.
1	Domates yüzey alanının %41'inden daha fazla bölgesinde su batması görünümü mevcut.

Yüzeyde Çukurlanma



Şekil A.3: Domateste yüzeyde çukurlanma görünümü.

5	Yüzeyde çukurlanma görünümü yok.
4	Domates yüzey alanının %10'undan daha az bölgesinde yüzeyde çukurlanma görünümü mevcut.
3	Domates yüzey alanının %10-25'lik bölgesinde yüzeyde çukurlanma görünümü mevcut.
2	Domates yüzey alanının %26-40'lık bölgesinde yüzeyde çukurlanma görünümü mevcut.
1	Domates yüzey alanının %41'inden daha fazla bölgesinde yüzeyde çukurlanma görünümü mevcut.

Buruşukluk-Büzüşme



Şekil A.4: Domateste buruşukluk görünümü.

5	Buruşukluk yok.
4	Çok hafif şiddette buruşukluk mevcut.
3	Hafif şiddette buruşukluk mevcut.
2	Buruşukluk mevcut.
1	Ciddi oranda buruşukluk mevcut.

Küf Enfeksiyonu



Şekil A.5: Domateste *Alternaria* küfü gelişimi.

3	Küf gelişimi yok.
2	Küf gelişimi var, ama rahatsız etmiyor.
1	Küf gelişimi yok.

Doku Değerlendirmesi

5	Çok sıkı.
4	Sıkı, parmak kuvvetine karşı direnç var.
3	Hafif oranda yumuşama.
2	Yumuşak, parmak kuvvetine çok hafif direnç var.
1	Ciddi oranda yumuşak, gevşek, parmak kuvvetine karşı direnç yok.

Genel Tüketilebilirlik

5	Tüketilebilirlik çok iyi.
4	Tüketilebilirlik iyi.
3	Sınırlı koşullarda tüketilebilir.
2	Tüketilebilirlik kötü.
1	Tüketilemez, kesinlikle reddedilir.

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad : Halime Esin AKIN

Doğum Yeri ve Tarihi : İzmir / Konak – 11.07.1989

E-Posta : h.esin.akin@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

Lisans : 2013, Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

2010-2011 : Erasmus Öğrenci Değişimi Programı: Universität für Bodenkultur, Gıda Teknolojisi Bölümü, Viyana, Avusturya

2014- : Arçelik A.Ş.
Termodinamik Teknoloji Ailesi
Arge Mühendisi

2015 : Yeni Buluş Ödülü, Arçelik A.Ş. XVII. Buluş Günü